



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

ENTIDAD ACADÉMICA: INSTITUTO DE BIOLOGÍA
CAMPO DE CONOCIMIENTO: ECOLOGÍA

**Los carnívoros del centro-occidente de México y sus hábitats
amenazados; instrumentando el diseño de áreas para la conservación.**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

MARISOL DEL MORAL ALVAREZ

**TUTOR PRINCIPAL: DR. MIGUEL ALFONSO ORTEGA HUERTA
INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM.**

**COMITÉ TUTOR: DRA. LIVIA SOCORRO LEÓN PANIAGUA
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM.**

**DR. VÍCTOR MANUEL GUILLERMO SÁNCHEZ CORDERO DÁVILA
INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM.**

Ciudad Universitaria, CD. MX., AGOSTO, 2022.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

COORDINACIÓN DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE BIOLOGÍA

OFICIO CPCB/543/2022

ASUNTO: Oficio de Jurado

M. en C. Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar, UNAM
P r e s e n t e

Me permito informar a usted que el Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día **17 de mayo de 2021** se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en el campo de conocimiento de **ECOLOGÍA** de la estudiante **DEL MORAL ÁLVAREZ MARISOL** con número de cuenta **305003067** con la tesis titulada **“Los carnívoros del centro-occidente de México y sus hábitats amenazados; instrumentando el diseño de áreas para la conservación”**, realizada bajo la dirección del **DR. MIGUEL ALFONSO ORTEGA HUERTA**, quedando integrado de la siguiente manera:

Presidente: DR. ENRIQUE MARTINEZ MEYER
Vocal: DRA. MELANIE KOLB
Vocal: DR. FRANCISCO JAVIER BOTELLO LOPEZ
Vocal: DR. FERNANDO ALFREDO CERVANTES REZA
Secretario: DRA. LIVIA SOCORRO LEON PANIAGUA

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
Ciudad Universitaria, Cd. Mx., a 07 de junio de 2022

COORDINADOR DEL PROGRAMA



DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA



COORDINACIÓN DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Unidad de Posgrado, Edificio D, 1º Piso. Circuito de Posgrados, Ciudad Universitaria
Alcaldía Coyoacán. C. P. 04510 CDMX Tel. (+5255)5623 7002 <http://pcbiol.posgrado.unam.mx/>

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES.

Se agradece

AL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS DE LA UNAM.

Y A CONACYT BECA CON NÚMERO DE CVU 534983

Por el apoyo otorgado.

A MI TUTOR PRINCIPAL:

DR. MIGUEL ALFONSO ORTEGA HUERTA.

Y A LOS MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:

DRA. LIVIA SOCORRO LEÓN PANIAGUA.

DR. VÍCTOR MANUEL GUILLERMO SÁNCHEZ CORDERO DÁVILA.

Por su revisión a mi manuscrito y sus sugerencias para mejorarlo.

AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL.

A mi madre y mi padre por todo su amor y su apoyo incondicional durante toda mi vida, por trabajar tan duro para brindarme educación y apoyarme y motivarme a alcanzar mis sueños.

A mi hermana Angélica, por amarme profundamente, por su gran apoyo en todo momento y por motivarme y abrazarme cuando más lo necesité.

A mi hermano Manolo, por apoyarme siempre en todos sentidos.

A mi esposo Carlos y mi hermoso hijo Leonardo por ser inspiración y motivación para alcanzar mis sueños, por desvelarse conmigo y estar junto a mí en esta etapa tan importante en mi vida, haciéndola más bella.

A mi tutor, el Dr. Miguel Alfonso Ortega Huerta, por su amistad, por su apoyo incondicional, por su magnífica asesoría, por su paciencia y su interés, por brindarme su mano cuando más lo necesité.

Al Dr. Rodrigo Núñez Pérez, por confiar en mí y brindarme los datos que fueron la base de todo este trabajo, por su asesoría, interés, apoyo y amistad, por estar dispuesto siempre y cuando más lo necesité.

A mis asesores, la Dra. Livia León y el Dr. Víctor Sánchez-Cordero por su interés, apoyo y valiosísimas aportaciones a mi trabajo.

A todas aquellas personas que se cruzaron en mi camino durante esta etapa tan maravillosa y al mismo tiempo tan difícil de mi vida, a mis amigos Lucy y Julio, por las aventuras en campo, por ser inspiración para continuar persiguiendo mis metas y sueños.

¡A mi alma mater... la UNAM, por ser mi casa durante más de 15 años!

DEDICATORIA.

**“LA NATURALEZA TIENE LA CLAVE A NUESTRAS SATISFACCIONES
INTELECTUALES, COGNITIVAS Y AÚN ESPIRITUALES”**

Edward O. Wilson

**Un trabajo arduo en mi vida, motivo de orgullo para mí. Con todo mi amor lo dedico a
toda mi amada familia.**

ÍNDICE.

RESUMEN.	1
SUMMARY	2
1. INTRODUCCIÓN.	3
1.1. Los mamíferos del estado de Michoacán.	3
1.2. Los mamíferos carnívoros como indicadores de biodiversidad.	4
1.3. Modelado de la distribución de las especies.	5
1.4. Identificación de áreas naturales para la conservación.	6
1.5. Áreas Naturales Protegidas en la región occidental del estado de Michoacán.	8
2. ANTECEDENTES.	13
2.1. Concepto de Nicho Ecológico.	13
2.2. Mamíferos del estado de Michoacán.	16
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	22
4. OBJETIVOS.	23
4.1. Objetivo general.	23
4.2. Objetivos particulares.	23
5. DATOS Y MÉTODOS.	24
5.1. Área de estudio.	24
5.2. Datos sobre la presencia de las especies.	25
5.3. Especies de carnívoros seleccionadas.	26
5.4. Algoritmos de modelado de la distribución de especies.	26
5.5. Variables predictivas.	28
5.6. Modelos de distribución potencial de las especies.	28
5.7. Modelos de distribución actual de las especies.	30
5.7.1. Modelos exploratorios de distribución actual de las especies.	30
5.7.2. Análisis de asociaciones de hábitat.	30
5.8. Asociaciones de hábitat y modelos de distribución actual.	33
5.9. Validación de los modelos.	34
5.10. Análisis de cambio de cobertura y uso del suelo.	34
5.11. Identificación de áreas importantes para la conservación.	37

5.12. Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad terrestre de CONABIO (análisis complementario).	38
6. RESULTADOS.	40
6.1. Datos sobre la presencia de las especies.	40
6.2. Especies de carnívoros seleccionadas.	41
6.3. Modelos de distribución potencial de las especies.	42
6.4. Modelos de distribución actual de las especies.	42
6.4.1 Modelos exploratorios de distribución actual de las especies.	42
6.4.2. Análisis de asociaciones de hábitat.	44
6.5. Asociaciones de hábitat y modelos de distribución actual.	47
6.6. Validación de los modelos.	54
6.7. Análisis de cambio de cobertura y uso de suelo.	55
6.8. Identificación de áreas importantes para la conservación.	55
6.9. Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad terrestre de CONABIO (análisis complementario).	58
7. DISCUSIÓN.	62
7.1. Escalas de modelado.	62
7.2. Modelos de distribución actual de las especies.	63
7.3. Distribución de especies y las áreas naturales protegidas y prioritarias.	68
7.4. Priorización de áreas naturales para la conservación.	69
7.5. Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad terrestre de CONABIO (análisis complementario).	72
8. CONCLUSIONES.	73
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	83

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Especies de mamíferos carnívoros analizadas, estado de conservación y número de registros por especie en ambas bases de datos.	27
Tabla 2. Variables predictivas utilizadas en la realización de los modelos de distribución potencial para la región occidental del país.	29
Tabla 3. Resumen de resultados de los análisis GLM.	33
Tabla 4. Pesos asignados a cada especie en Zonation.	40
Tabla 5. Especies de mamíferos carnívoros analizadas.	41

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Localización geográfica del estado de Michoacán de Ocampo, provincias fisiográficas, registros históricos y recientes de mamíferos carnívoros para la vertiente occidental del país contenidos en la base de datos obtenida y área de estudio	4
Figura 2. Sistema de Áreas Naturales Protegidas Federales en México (182 polígonos), Propuesta del sistema de Regiones Terrestres Prioritarias a nivel nacional y Propuesta nacional de Áreas de Importancia para la Conservación de Aves.	9
Figura 3. Áreas Naturales Protegidas Federales y Estatales, Regiones Terrestres Prioritarias y Áreas de Importancia para la Conservación de Aves en el área de estudio.	10
Figura 4. Propuesta de Áreas Prioritarias para la Conservación en el Estado de acuerdo con el enfoque faunístico.	11
Figura 5. Ubicación de las 12 Áreas de Conservación del Estado de Michoacán del Sistema de Áreas de Conservación del Estado de Michoacán.	12
Figura 6. Principales tipos de vegetación en el área de estudio. INEGI, Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V, escala 1: 250 000. México. Modificado.	25
Figura 7. Serie de tiempo del índice de vegetación MODIS de un ciclo estacional completo (2013-2014).	31

Figura 8. Modelo de deforestación para el occidente del estado de Michoacán.	36
Figura 9. Mapa de riqueza obtenido para las 11 especies de carnívoros estudiadas en la región occidental del estado de Michoacán.	39
Figura 10. Modelos exploratorios de la distribución actual de especies de carnívoros en la región occidental del estado de Michoacán.	43
Figura 11. Modelos exploratorios de la distribución actual de especies de carnívoros en la región occidental del estado de Michoacán.	44
Figura 12. Modelos de probabilidad de asociaciones de hábitat de las especies de carnívoros en el occidente del estado de Michoacán.	46
Figura 13. Modelos de probabilidad de asociaciones de hábitat de las especies de carnívoros en el occidente del estado de Michoacán.	47
Figura 14. Modelos de la distribución actual de especies de carnívoros en el occidente de Michoacán, obtenidos a partir de la suma ponderada entre modelos de distribución potencial y modelos sobre las asociaciones de hábitat de las especies.	50
Figura 15. Modelos de la distribución actual de especies de carnívoros en el occidente de Michoacán, obtenidos a partir de la suma ponderada entre modelos de distribución potencial y modelos sobre las asociaciones de hábitat de las especies.	54
Figura 16. Modelos de priorización de áreas importantes para la conservación en el occidente del estado de Michoacán, obtenidos con el software Zonation a partir de modelos de distribución actual de especies de carnívoros.	59
Figura 17. Modelos de priorización de áreas importantes para la conservación en el occidente del estado de Michoacán, obtenidos con el software Zonation a partir de modelos de distribución actual de especies de carnívoros.	60
Figura 18. Modelos de priorización de áreas importantes para la conservación en el occidente del estado de Michoacán, obtenidos con el software Zonation a partir de modelos de distribución actual de especies de carnívoros.	61
Figura 19. Correspondencia espacial entre modelos de priorización de áreas importantes para la conservación obtenidos con el software Zonation y sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad terrestre de CONABIO	62

en el occidente del estado de Michoacán.

Figura 20. Modelos de distribución potencial generados en la vertiente occidental del país de especies de carnívoros (ANEXO I). 77

Figura 21. Modelos de distribución potencial generados en la vertiente occidental del país de especies de carnívoros (ANEXO I). 80

ÍNDICE DE ANEXOS.

ANEXO I. MODELOS DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LAS ESPECIES 75

RESUMEN.

La heterogeneidad topográfica y climática en la región occidental del estado de Michoacán, ha propiciado la existencia de una gran diversidad faunística; sin embargo, existen vacíos de información detallada sobre la presencia y patrones de distribución de diversas especies de mamíferos en esta zona. Esta problemática de conservación de la biodiversidad se suma al hecho de que en la actualidad existe solo un área natural protegida federal, reconocida por poseer una superficie significativa (265,000 hectáreas), la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo” (RBZI).

El presente estudio contribuye a llenar los vacíos de información sobre la presencia y los patrones de distribución de mamíferos carnívoros en el occidente del estado de Michoacán, poniendo de manifiesto la importancia y necesidad del incremento en los esfuerzos dirigidos al estudio y monitoreo de fauna silvestre presente en esta región.

En este trabajo se aborda el modelado de la distribución de especies de carnívoros del occidente de México mediante la aplicación de un enfoque a dos escalas diferentes: una región amplia, correspondiente al occidente del país, para la que se obtuvieron modelos que representan la distribución potencial de las especies, y la segunda área de estudio que comprende solo la porción occidental del estado de Michoacán, en la cual se proponen modelos de la distribución actual de las especies de interés.

Con la integración de modelos de distribución potencial con información sobre las asociaciones de hábitat de las especies, se generaron una serie de modelos predictivos sobre la distribución actual de 11 especies de mamíferos carnívoros (*Canis latrans*, *Urocyon cinereoargenteus*, *Herpailurus yagouaroundi*, *Leopardus pardalis*, *Leopartus wiedii*, *Puma concolor*, *Panthera onca*, *Conepatus leuconotus*, *Bassariscus astutus*, *Nasua narica*, *Procyon lotor*), a partir de los cuales, se realizaron ejercicios de priorización de áreas importantes para la conservación de estas especies, así como la comparación y análisis de las áreas naturales protegidas (ANP) existentes en el área de estudio.

Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren una cobertura insuficiente de ANP en la porción occidental del estado de Michoacán, ya que de las áreas identificadas como importantes en este estudio, menos del 1% se encuentra dentro de los límites de alguna ANP federal o estatal y, por otro lado, se resalta la importancia, por su extensión y posición geográfica, de la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo”, no solo para el estado, sino para el occidente del país.

Los diferentes ejercicios de priorización de áreas para la conservación en este estudio, arrojaron resultados similares y muestran los porcentajes potenciales del paisaje que pueden ser sometidos a programas de protección y conservación.

SUMMARY.

The topographical and climatic heterogeneity in the western region of the state of Michoacán has led to the existence of a great diversity of fauna; however, there are gaps about detailed information on the presence and distribution patterns of various species of mammals in this area, which translates into a biodiversity conservation problem that adds to the fact that there is currently only one area recognized as federal protected natural area with a significant area (265,000 hectares), the “Zicuirán-Infiernillo” Biosphere Reserve (RBZI).

The present study contributes to filling the information gaps on the presence and distribution patterns of carnivorous mammals in the western state of Michoacán, highlighting the importance and need to increase efforts aimed at the study and monitoring of wildlife present in this region.

This paper deals with the modeling of the distribution of carnivore species in western Mexico through the application of an approach at two different scales: a large modeled region, corresponding to the western part of the country, for which models were obtained that represent the distribution potential of the species and, the second modeled study area that includes only the western portion of the state of Michoacán, in which models of the current distribution of the species for this region were proposed.

A series of predictive models were generated on the current distribution of 11 species of carnivorous mammals (*Canis latrans*, *Urocyon cinereoargenteus*, *Herpailurus yagouaroundi*, *Leopardus pardalis*, *Leopartus wiedii*, *Puma concolor*, *Panthera onca*, *Conepatus leuconotus*, *Bassariscus astutus*, *Nasua narica*, *Procyon lotor*).), from which, prioritization exercises were carried out on important areas for the conservation of these species, as well as the comparison and analysis of the existing natural protected areas (NPA) in the study area.

The results obtained in this work suggest an insufficient coverage of ANP in the western portion of the state of Michoacán, since a small percentage of the areas identified as important in this study, less than 1%, is within the limits of some federal or state NPA and . On the other hand, the “Zicuirán-Infiernillo” Biosphere Reserve importance is highlighted, due to its extension and geographical position, not only for the state but also for the western part of the country.

The different exercises for prioritizing areas for conservation yielded similar results and show the potential percentages of the landscape that can be subjected to protection and conservation programs.

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Los mamíferos del estado de Michoacán.

El estado de Michoacán, localizado en la región centro-occidente de la República Mexicana, presenta varias regiones fisiográficas (Fig. 1) a lo largo de las cuales existe una amplia variedad de climas que van desde los tropicales húmedos y subhúmedos (Costas del Sur, Cordillera Costera del Sur, Depresiones del Balsas, Escarpa Limítrofe Sur) y los templados (Sierras y Bajíos Michoacanos, Mil Cumbres, Neovolcánica Tarasca) hasta los cálidos-secos en partes medias y bajas de la Depresión del Balsas y Tepalcatepec (Cervantes-Zamora *et al.*, 1990; Bocco *et al.*, 1999).

Debido principalmente a la historia geológica así como la variedad climática, fisiográfica y litológica del estado de Michoacán, existen diversas condiciones ecológicas que permiten la presencia de numerosas comunidades vegetales (Rzedowski, 1991), lo que propicia ambientes naturales que promueven una gran diversidad faunística. Las zonas de transición que encontramos en las áreas de contacto entre las regiones fisiográficas, juegan un importante papel en la explicación de los elevados niveles de riqueza de especies de vertebrados reportados para la entidad (CONABIO, 2005).

Michoacán representa el 3% del territorio nacional y ocupa el quinto lugar entre las entidades más biodiversas de México (CONABIO, 2005; INEGI, 2007). De las especies de vertebrados presentes en el estado, encontramos que el grupo de los mamíferos está bien representado con 161 especies, lo que corresponde al 32% de las especies a nivel nacional (Monterrubio-Rico *et al.*, 2014). El orden con mayor representación en Michoacán es Chiroptera con 74 especies, mientras que el orden Carnívora tiene 18 especies (correspondientes a cinco familias), números que representan el 53 y 52 % del total de especies a nivel nacional, respectivamente (Monterrubio-Rico *et al.*, 2014).

Una amplia variedad de mamíferos ha sido reportada para el estado de Michoacán, desde roedores (Hall, 1948, 1949; Hall y Villa, 1948, 1949), musarañas (Baker y Alcorn, 1953) y murciélagos (Polaco y Muñiz-Martínez, 1987); mamíferos de talla mediana como *Tamandua mexicana*, *Leopardus wiedii*, *Leopardus pardalis*, *Spilogale pygmaea* y *Herpailurus yagouaroundi* hasta mamíferos de talla grande como *Panthera onca* y *Puma concolor* (Sánchez *et al.*, 1992; Álvarez y Sánchez-Casas, 1997; Sánchez *et al.*, 1999; Chávez-León y Zaragoza, 2009; Charre-Medellín *et al.*, 2010; Charre-Medellín, 2012; Monterrubio-Rico *et al.*, 2012).

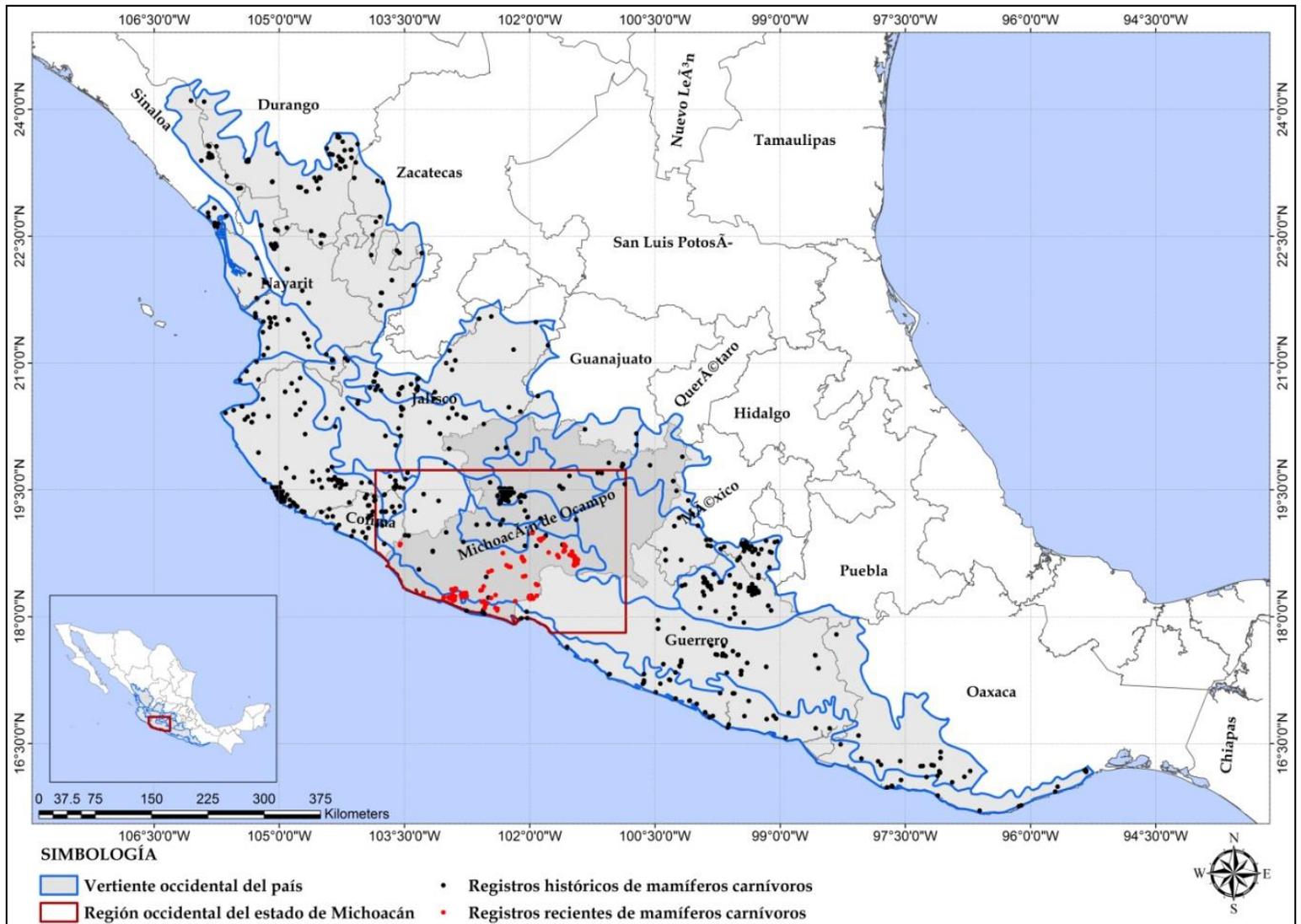


Figura 1. Localización geográfica del estado de Michoacán de Ocampo, provincias fisiográficas, registros históricos y recientes de mamíferos carnívoros para la vertiente occidental del país contenidos en la base de datos obtenida y área de estudio.

1.2. Los mamíferos carnívoros como indicadores de biodiversidad.

En México existe una amplia variedad de tallas de carnívoros que van desde especies que pesan 100 g (*Mustela frenata*), pasando por los llamados mesocarnívoros de talla mediana (entre 4 y 20 kg) hasta los grandes carnívoros que llegan a pesar >70 kg, como *Panthera onca*, *Puma concolor* y *Ursus americanus* (Servín, 2013). Debido principalmente a esta diversidad de tamaños, a la separación de sus nichos tanto espaciales como temporales y a sus hábitos alimenticios, se ha demostrado que el grupo de los carnívoros puede ocupar al menos cuatro niveles tróficos (Gittleman *et al.*, 2001; Ray y Sunquist, 2001). Los carnívoros son especies generalmente nocturnas y elusivas, se les encuentra en densidades

poblacionales bajas debido a su posición al final de la cadena alimenticia (Karanth y Chellam, 2009).

La presencia y las condiciones poblacionales de carnívoros son métricas valiosas, ya que son un grupo indicador del estado de conservación de los diferentes ecosistemas (Gittleman *et al.*, 2001). Algunos carnívoros son considerados especies “sombrilla”, “bandera” o “clave”, debido principalmente a que la protección de sus rangos de distribución, significa al mismo tiempo la protección o conservación de muchas otras especies (Gittleman *et al.*, 2001; Ray y Sunquist, 2001). Al ser grandes depredadores, los carnívoros controlan las poblaciones de sus especies presa, influyendo así en la dinámica de las redes tróficas y por lo tanto en los flujos de energía en los ecosistemas (Barger, 1999).

Varias son las razones que explicarían porqué la presencia de carnívoros podría estar asociada con altos valores de biodiversidad (Sergio *et al.*, 2008): 1) la densidad de carnívoros puede estar directamente relacionada con estimados de productividad; 2) al ser depredadores estrictos son susceptibles de verse afectados por disturbios (e. g., contaminación, alteraciones al hábitat, fragmentación); 3) los carnívoros prefieren hábitats complejos (e. g., topografía y vegetación); y 4) la mayoría de depredadores observan una dieta compuesta de algunas presas principales y de una lista secundaria de presas. Aunque los depredadores estrictos pueden ser indicadores de biodiversidad, Cabeza *et al.* (2008) recomiendan realizar los procedimientos de selección de áreas naturales para la conservación, con base no únicamente en los carnívoros sino complementado por otros grupos indicadores de biodiversidad.

La problemática de conservación de los carnívoros a nivel global está ampliamente documentada. El tipo de hábitos alimenticios y los amplios requerimientos de espacio de los carnívoros, así como su intolerancia a la presencia humana, los hacen muy vulnerables a procesos de extinción (Ripple *et al.*, 2014). Sus peores amenazas son la destrucción y fragmentación del hábitat, así como la caza directa e intensa que disminuye considerablemente las especies de presas de las que dependen los carnívoros (e. g., Karanth y Chellam, 2009).

1.3. Modelado de la distribución de las especies.

El análisis de los patrones de distribución de las especies ha sido una herramienta ampliamente usada en el campo de la conservación, por lo que en las últimas décadas se ha experimentado un incremento en el interés por el modelado de la distribución de especies, lo cual ha generado la creciente necesidad de crear y mejorar técnicas que permitan realizar estas predicciones (Franklin, 2010); tal es el caso de la expansión en el uso de los sistemas de información geográfica (GIS, por sus siglas en inglés), el desarrollo de técnicas estadísticas y de aprendizaje de máquinas que han permitido el uso de una

gran variedad de herramientas para analizar los patrones espaciales de distribución de las especies (Augustin *et al.*, 1996; Edwards *et al.*, 1996; Brito *et al.*, 1999; Manel *et al.*, 1999a; Spitz y Lek, 1999; Venier *et al.*, 1999; Cowley *et al.*, 2000; Jaberg y Guisan, 2001; Peterson, 2001; Anderson *et al.*, 2002; Peterson *et al.*, 2002; Vetaas, 2002; Guisan y Hofer, 2003).

La mayoría de estos modelos comúnmente utilizan asociaciones entre variables ambientales y registros conocidos de presencia de especies con la finalidad de identificar condiciones ambientales bajo las cuales las poblaciones podrían ser mantenidas (Pearson, 2007). Este enfoque ha permitido generar información muy valiosa que ha sido aplicada en diversos campos del conocimiento, tanto en estudios ecológico-evolutivos (e. g., Peterson y Holt, 2003) y de biogeografía (e. g., Lobo *et al.*, 2007; Risto *et al.*, 2006) como en la formulación de recomendaciones para la conservación de la biodiversidad, entre otros (e. g., Hirzel *et al.*, 2001; Guisan y Zimmermann, 2000).

La estrategia más comúnmente usada para estimar la distribución geográfica actual o potencial de una especie es a través de la caracterización de las condiciones ambientales que son idóneas para la especie y entonces identificar la distribución espacial de dichos ambientes idóneos (Pearson, 2007). Dicha caracterización se puede realizar bajo un enfoque mecanístico o un enfoque correlativo (Robertson *et al.*, 2003).

Un modelo mecanístico incorpora los mecanismos de limitación fisiológica en la tolerancia de una especie a las condiciones ambientales; bajo este enfoque se requiere de un entendimiento detallado acerca de la respuesta fisiológica de la especie a factores ambientales, por lo que resulta difícil su desarrollo. Por su parte, la premisa central del enfoque correlativo es que la distribución observada de una especie proporciona información útil acerca de sus requerimientos ambientales, por lo que el objetivo de los modelos correlativos es estimar las condiciones ambientales que son adecuadas para una especie, basándose en la asociación de registros conocidos de presencia de una especie con variables ambientales que, de manera razonable, se espera que afecten la fisiología y probabilidad de persistencia de una especie (Robertson *et al.*, 2003; Pearson, 2007).

En muchos casos el enfoque correlativo ha sido exitoso en la predicción de presencia de especies en ciertos sitios de un paisaje y puede ser una herramienta poderosa para tales aplicaciones (Kearney y Porter, 2004). Se ha demostrado que los modelos correlativos pueden proporcionar información biogeográfica valiosa y, de hecho, la gran mayoría de los modelos de distribución de especies son correlativos (Pearson, 2007).

1.4. Identificación de áreas naturales para la conservación.

Los modelos de distribución de especies han sido utilizados como insumos valiosos en la identificación y selección de sitios o áreas que maximicen la representación de especies haciendo posible protegerlas. Si bien es cierto que el establecimiento de sistemas de

reservas se considera la piedra angular en la mayoría de las estrategias de conservación (Soulé, 1991; Jackson y Gaston, 2008), históricamente el establecimiento de las mismas se ha dado con base en la aplicación de criterios de oportunidad o Ad-hoc (Pressey, 1994; Pressey *et al.*, 1993), lo cual ha tenido como resultado una representación sesgada de los elementos naturales (Pressey, 1994).

En los últimos años, métodos de cómputo conocidos como algoritmos para la selección de sitios, han estado desarrollándose (Cabeza y Moilanen, 2001; Prendergast *et al.*, 1999; Stokland, 1997; Pressey *et al.*, 1997), los cuales se han enfocado principalmente en tres métodos cuantitativos; 1) identificación de sitios críticos de riqueza de especies, 2) áreas críticas de rareza de especies, y 3) complementariedad de áreas naturales (Hopkinson *et al.*, 2000; Williams *et al.*, 1996).

La planeación sistemática para la conservación se ha desarrollado como una alternativa que promueve la utilización de métodos innovadores. Estos métodos implican el uso de algoritmos de selección, mismos que permiten identificar las prioridades de una manera estandarizada y repetible, incluyendo aquellos elementos de biodiversidad mejor conocidos y utilizándolos como indicadores o sustitutos para identificar áreas prioritarias para la conservación. Este enfoque requiere el establecimiento de objetivos claros que puedan ser traducidos en metas de conservación explícitas y medibles (Margules y Sarkar, 2009). El establecimiento de metas de conservación consiste en hacer explícita la cuantificación de la cantidad mínima de algún elemento de biodiversidad (e. g., distribución de especies, tipos de vegetación, etc.), que se podría conservar a partir de acciones de conservación a escalas local, regional, nacional o continental (Possingham *et al.*, 2006).

En términos generales, la planeación sistemática para la conservación, podría entonces definirse como el proceso para localizar, configurar, implementar y mantener áreas naturales que serán manejadas para promover la persistencia de la biodiversidad u otros valores naturales (Pressey *et al.*, 2007). Los esquemas de priorización resaltan usualmente las áreas de alta riqueza de especies, un indicador de fácil interpretación y estimación, el cual se encuentra en eminente riesgo al mismo tiempo (Loyola *et al.*, 2009).

Idealmente, en el proceso de planeación sistemática para la conservación, deberían incluirse los distintos niveles de biodiversidad, desde paisajes y ecosistemas hasta especies, poblaciones y genes; sin embargo, no existe información necesaria para cada nivel, ni para cada uno de sus elementos. Debido a lo anterior, la definición de prioridades de conservación se ha realizado a diversas escalas, abarcando ejercicios a escala global, continental, subcontinental, nacional y, en menor medida, a escala local (Morgan *et al.*, 2005; Cabeza *et al.*, 2010).

1.5. Áreas Naturales Protegidas en la región occidental del estado de Michoacán.

El establecimiento de Áreas Naturales Protegidas (ANP) representa uno de los instrumentos de conservación biológica más importantes a nivel mundial. En respuesta a la necesidad de conservar las condiciones naturales de los ecosistemas, en México se adoptó este esquema, dando como resultado la designación de este tipo de áreas naturales representativas de la biodiversidad (Villaseñor *et al.*, 2005).

Desde la aparición de la primer ANP en México en 1917 y hasta la actualidad se han decretado 182 Áreas Naturales Protegidas de carácter federal, las cuales cubren una superficie terrestre aproximada de 90,839,522 hectáreas (Fig. 2a); se dividen en seis categorías: Reservas de la Biosfera (45), Parques Nacionales (66), Áreas de Protección de Flora y Fauna (40), Santuarios (18), Áreas de Protección de Recursos Naturales (8) y Monumentos Naturales (5; CONANP, 2017).

Además de las ANP decretadas con jurisdicción federal, existen áreas protegidas que se encuentran bajo la administración de secretarías o institutos ambientales de los gobiernos estatales. Actualmente los 32 estados de la República Mexicana cuentan con este tipo de áreas protegidas (Red Nacional de Sistemas Estatales de Áreas Naturales Protegidas, 2013). Sin embargo, a pesar de contar con áreas protegidas que se encuentran bajo la administración de algún nivel gubernamental, diversos procesos que amenazan el mantenimiento de la biodiversidad del país se han acentuado en las últimas décadas (e. g., cambio de uso de suelo, deforestación, degradación ambiental, cambio climático global, etc.), por lo que la conservación continúa siendo una prioridad nacional, aunado al sistema de ANP (Gómez-Mendoza y Arriaga, 2007; Mas *et al.*, 2004; Vázquez y Gaston, 2006).

Debido a lo anterior, se han desarrollado diversas iniciativas a nivel nacional enfocadas a la identificación y selección de áreas importantes para la conservación, entre las que destacan las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) por parte de la Comisión Nacional de Biodiversidad (CONABIO; Fig. 2b; Arriaga *et al.*, 2000) y las Áreas de Importancia para la Conservación de Aves (AICA), mismas que identifican sitios de importancia internacional para la conservación de la avifauna a escalas tanto subregional como global (Fig. 2c; Arizmendi y Márquez-Valdelamar, 2000).

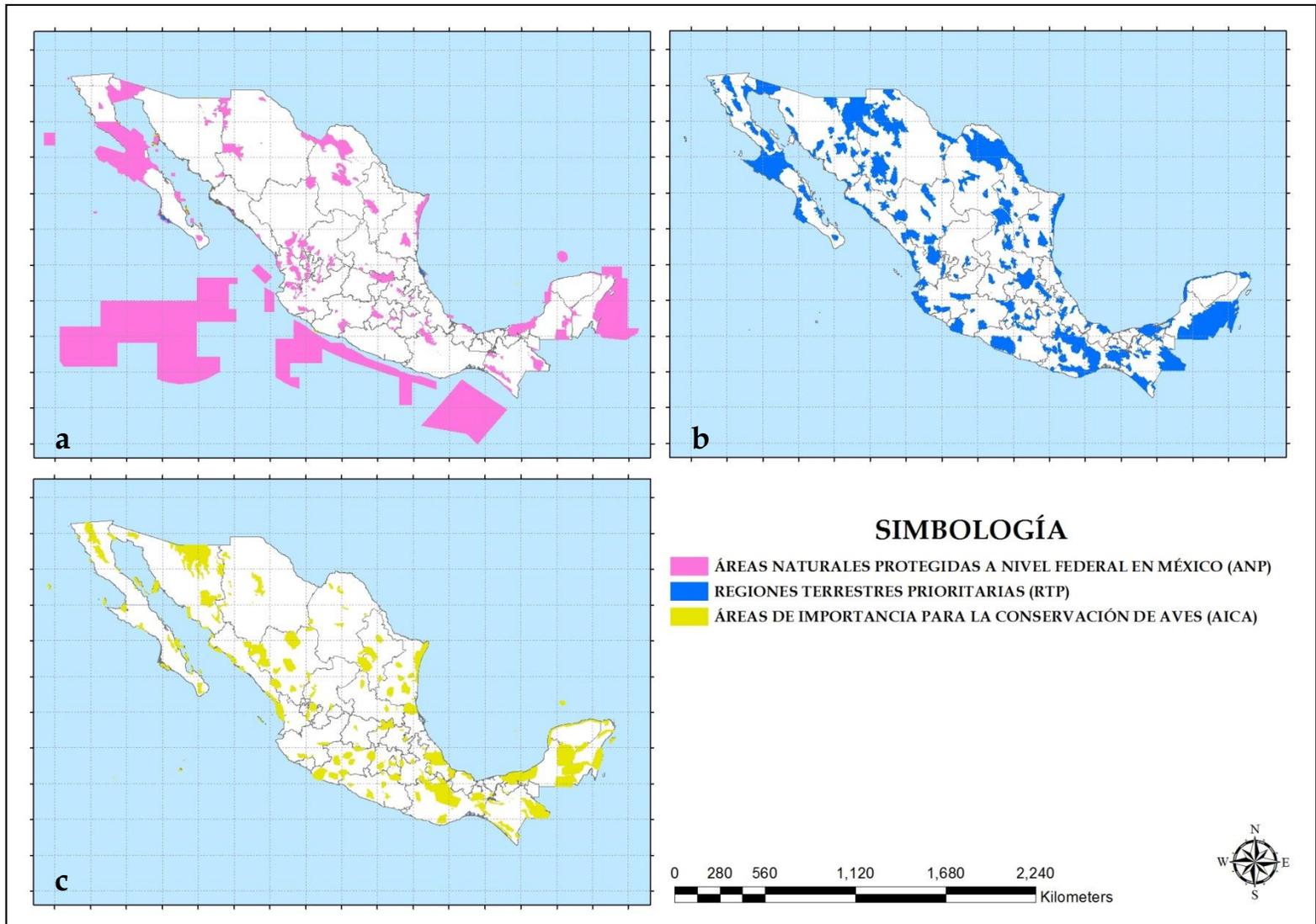


Figura 2. Sistema de Áreas Naturales Protegidas Federales en México (182 polígonos), Propuesta del sistema de Regiones Terrestres Prioritarias a nivel nacional y Propuesta nacional de Áreas de Importancia para la Conservación de Aves.

En lo que respecta a la región occidente del estado de Michoacán se localizan nueve ANP de jurisdicción federal, las cuales cubren una superficie terrestre aproximada de 308,368 hectáreas, siendo la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo” (RBZI) la de mayor extensión (Villaseñor, 2005; CONANP, 2012). En cuanto a las áreas protegidas de jurisdicción estatal, en esta región existen 27, que en conjunto abarcan una superficie terrestre aproximada de 19,259 hectáreas (Fig. 3; Red Nacional de Sistemas Estatales de Áreas Naturales Protegidas, 2013).

Existen propuestas de áreas importantes para la conservación en la región occidente de Michoacán, las cuales provienen tanto de esquemas nacionales- tres RTP y ocho AICA

(Fig. 3), como a nivel estatal. Dentro de estas últimas encontramos principalmente dos propuestas: las Áreas Prioritarias para la Conservación en el Estado (APC; Fig. 4; UMSNH-SEDUE, 2000; Villaseñor, 2005) y el Sistema de Áreas de Conservación del Estado de Michoacán (SACEM; Fig. 5; Velásquez *et al.*, 2005).

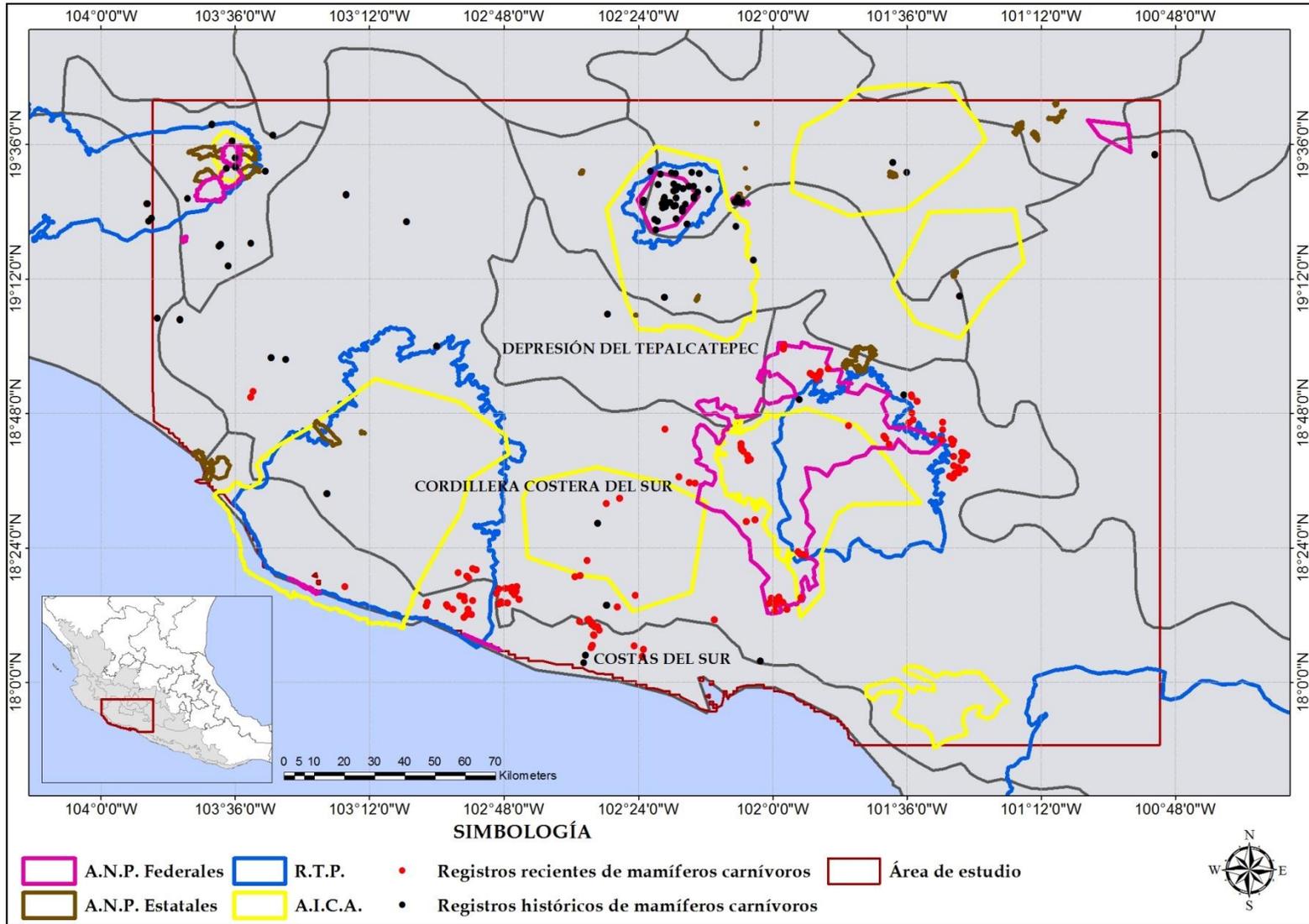


Figura 3. Áreas Naturales Protegidas Federales y Estatales, Regiones Terrestres Prioritarias y Áreas de Importancia para la Conservación de Aves en el área de estudio.

Áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad en Michoacán de acuerdo con el enfoque faunístico

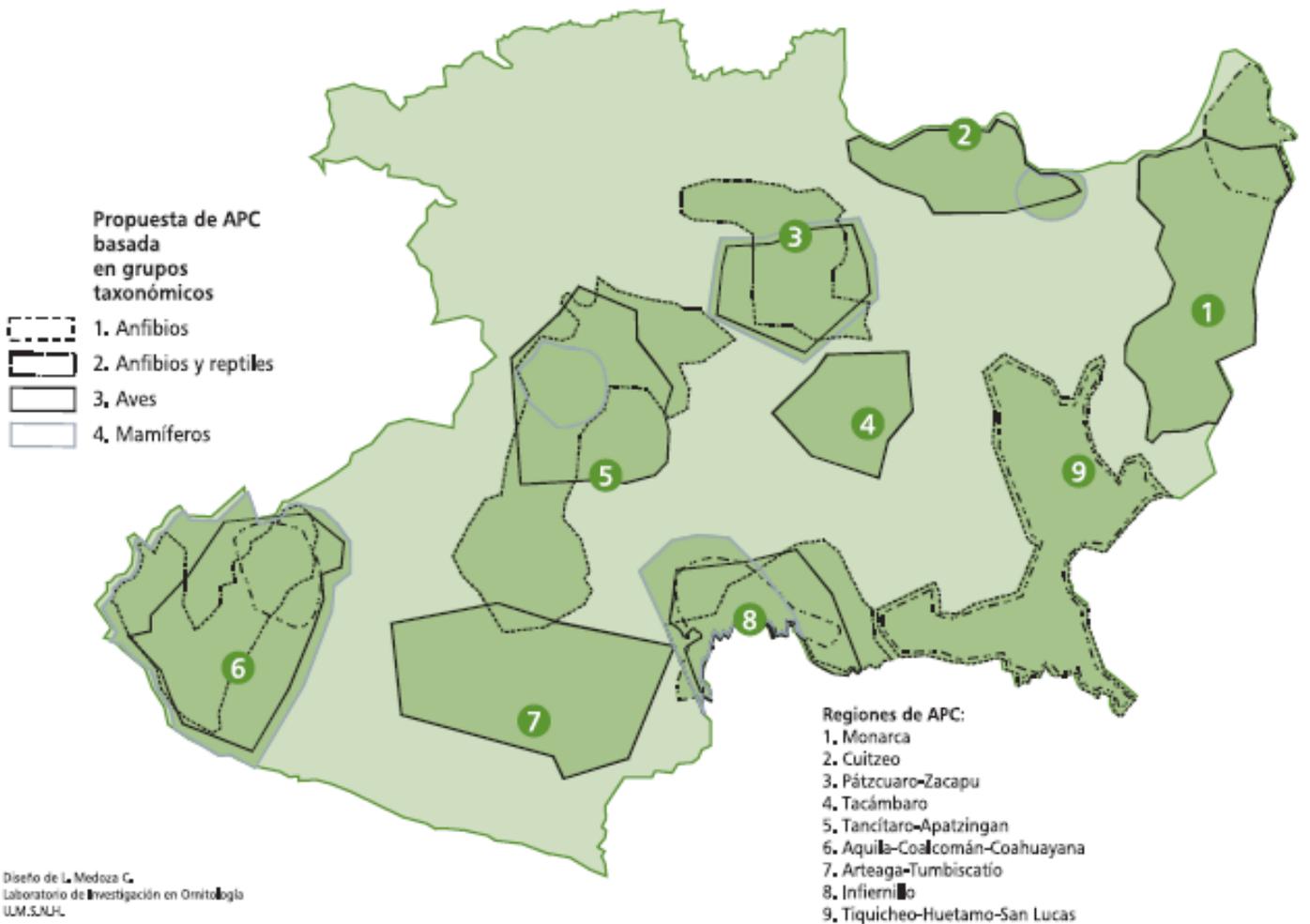


Figura 4. Propuesta de Áreas Prioritarias para la Conservación en el Estado de acuerdo con el enfoque faunístico (Tomado de Villaseñor (ed.), 2005). En La Biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. Pp. 193.

2. ANTECEDENTES.

2.1. Concepto de Nicho Ecológico.

La mayoría de las propuestas de áreas para la conservación se basan en el uso de modelos de la distribución de especies o modelos de nicho ecológico, sin embargo, es de suma importancia contar con un marco conceptual sólido que abarque la comprensión del concepto de nicho y los factores involucrados en los patrones espaciales de distribución de especies obtenidos a partir de la implementación de las diversas herramientas digitales usadas para generar dichos modelos. Sobre todo, la interpretación de estos modelos es una etapa sumamente importante que requiere el manejo y comprensión adecuada de la teoría para lograr una interpretación con sentido biológico y ecológico que permita la correcta toma de decisiones en materia de conservación.

De manera general, el concepto de nicho ecológico describe cómo los organismos en diferentes niveles de organización interactúan con su ambiente y con otros organismos a diversas escalas espacio-temporales. Al ser la ecología la ciencia que estudia las interacciones de los sistemas biológicos con el ambiente, el concepto de nicho se convierte en la base central de esta ciencia (Leibold y Geddes, 2005); una gran parte de las construcciones conceptuales de la ecología involucran el término nicho, explícita o implícitamente (Milesi y Lopez de Casenave, 2005).

El concepto de nicho ecológico es un término ampliamente usado en diversos campos de investigación tales como biología de la conservación, ecología y biología evolutiva (Pearson, 2007); sin embargo, en cualquiera que sea su campo de aplicación el término “nicho” involucra la comprensión de cómo los organismos están distribuidos tanto a escala local como geográfica (Shugart, 1998). A continuación se presenta un resumen de los trabajos más importantes sobre el estudio, conocimiento y desarrollo del término nicho, mismo que a pesar de que su formalización se dio en el primer tercio del siglo XX no está del todo completa y, quizá por esta razón, la aplicación de la terminología puede ser confusa.

- En 1917 Grinnell consideró los factores involucrados en la distribución de una especie de ave que habita vegetación de chaparral en California (*Toxostoma redivivum*), y utilizó el término “nicho” para describir los factores influyentes en la determinación de los lugares dónde se podría encontrar a la especie. En su discusión incluye consideraciones que tienen que ver con el alimento de la especie y sus preferencias por ciertos tipos de vegetación, entre otros factores que podrían influir en su localización.
- Grinnell (1924) define de manera formal el nicho como “La unidad de distribución final en la que cada especie está condicionada por sus limitaciones instintivas y estructurales”, es decir, cada especie presenta características fisiológicas,

morfológicas y conductuales, que determinan pueda ocupar ciertos espacios ofrecidos por la naturaleza.

- Charles Elton (1927) formuló un concepto de nicho en un sentido muy diferente que el de Grinnell (1917). Elton hace énfasis en la función de las especies y lo definió de la siguiente manera: “El nicho describe el estatus de un animal en su comunidad, indicando qué hace y no solamente como se ve; el nicho de un animal es el lugar que ocupa en el ambiente biótico y su relación con el alimento y sus enemigos”. El enfoque de este concepto resalta el papel funcional de las especies en las redes tróficas y no considera las condiciones abióticas.
- Gause (1932) desarrolló diversos experimentos con tres especies de *Paramecium*, con el objetivo de investigar las implicaciones teóricas de Lotka (1925) y Volterra (1926). Los resultados obtenidos en este trabajo influenciaron de manera importante el concepto de nicho Eltoniano, y de centrarse en las interacciones tróficas (depredador-presa) pasó a centrarse en interacciones intratróficas, principalmente interacciones competitivas.
- En 1934, Gause asoció sus resultados directamente con las ideas de nicho Eltoniano y escribió... “como resultado de la competencia entre dos especies similares, éstas casi nunca ocupan nichos similares, pero una desplaza a la otra”. Lo anterior se conoce como el Principio de Gause o Principio de exclusión competitiva.
- En 1957 Hutchinson explica el nicho de una especie como un volumen en un espacio con dimensiones constituidas por variables ambientales relevantes; si el espacio está formado por “n” dimensiones relevantes, entonces se denomina como un espacio n-dimensional o un hiperespacio. El nicho de las especies es un volumen ubicado en dicho hiperespacio, el cual está delimitado en alguna medida por el éxito o supervivencia de las especies. Bajo este enfoque, las condiciones en las cuales las especies podrían vivir son generalmente más amplias que las condiciones en donde en realidad viven, lo cual es debido frecuentemente a las interacciones bióticas. Por lo tanto, el rango potencial completo de condiciones bajo las cuales una especie podría estar presente es llamado “nicho fundamental”. El nicho fundamental de una especie puede estar restringido en un sitio en particular, ya sea debido a que todas las condiciones bajo las cuales la especie puede vivir no se presentan o porque está siendo excluida competitivamente por otra especie. Este conjunto restringido del nicho fundamental, es llamado “nicho realizado”.

- Mac Arthur (1968) definió el nicho de las especies como su distribución con respecto a una variable relacionada con un recurso cuantificable (e. g., el tamaño de las semillas consumidas por aves). Bajo esta concepción, para cada especie la función que describe su distribución es llamada “función de utilización de recursos” y con frecuencia las variables para las cuales esta función ha sido aplicada han sido tiempo, alimento y espacio.
- Vandermeer (1972), realizó una asociación entre el nicho y el hábitat y señaló que el concepto de Elton era una versión cualitativa de lo que después Hutchinson definiría como nicho realizado y que la concepción de Grinnell era entonces, la versión cualitativa del nicho fundamental.
- Whittaker *et al.* (1973) intentaron establecer la separación definitiva de los conceptos de nicho y hábitat y postularon que los conceptos de Elton y Hutchinson hacían referencia al papel intracomunitario de la especie, mientras que Grinnell se refería al hábitat o a la relación de variables intercomunitarias.
- Chase y Leibold (2003) formulan un concepto de nicho basado en la interacción entre los requerimientos de las especies y su impacto en el ambiente, a partir de la cual proponen los mecanismos para entender cómo pueden las especies coexistir en las comunidades. La propuesta de estos autores se basa en la teoría de interacciones consumidor-recurso y desarrollan un marco conceptual, mediante el uso de análisis gráficos de dos ejes críticos (recurso vs. consumidor), con la finalidad de entender la dinámica de los nichos ecológicos de las especies dentro del contexto de comunidades y hasta el funcionamiento de los ecosistemas. De acuerdo a lo anterior, “El nicho de una especie es la descripción conjunta de las condiciones ambientales que le permiten a una especie satisfacer sus requerimientos mínimos, de tal manera que la tasa de natalidad de la población local es igual o mayor que su tasa de mortalidad, además del conjunto de impactos *per capita* de la especie sobre estas condiciones ambientales”.

Es claro que el concepto nicho nació casi como una generalización empírica, a partir de la identificación de consistencias o analogías en las distribuciones geográficas, las diferentes formas de vida y las relaciones tróficas. Así la idea de nicho se desarrolló en un ámbito fuertemente teórico y fue cambiando con el fin de encontrar la manera más conveniente de relacionarse con otros conceptos relevantes. Al igual que el resto de la teoría, el concepto de nicho se enfrenta con una definición de objetivos diferente al entrar al terreno aplicado. Es decir, no solo se necesita explicar los patrones observados sino también predecir la distribución y abundancia de los organismos en condiciones diferentes y es justo en este

contexto que aparece el primer problema en el intento por usar al nicho como una herramienta en la ecología aplicada (Milesi y Lopez de Casenave, 2005).

2.2. Mamíferos del estado de Michoacán.

La vertiente del Pacífico mexicano, en particular la zona delimitada por el estado de Michoacán, es una región de difícil acceso debido principalmente a su compleja topografía, consecuencia de la convergencia de estas condiciones deben ser consideradas para explicar la carencia de información detallada sobre la presencia y distribución de diversas especies de mamíferos (Garduño-Monroy, 2005).

En la actualidad, el paisaje de la región delimitada por el estado de Michoacán se caracteriza por un complejo mosaico de diferentes tipos de cobertura y usos de suelo, tales como bosques tropicales y templados, los cuales pueden encontrarse altamente fragmentados por actividades agropecuarias. El creciente impacto de las actividades humanas sobre los ecosistemas naturales de la región aumenta la importancia de llenar los vacíos de información sobre los patrones actuales de distribución de las diversas especies de mamíferos (Bocco *et al.*, 2001; Charre-Medellín *et al.*, 2015). Se han desarrollado diversos esfuerzos de investigación en las últimas décadas encaminados a generar y mejorar el conocimiento disponible sobre la presencia y distribución de especies de mamíferos en la entidad. A continuación se presenta un resumen de tal información.

- Fa y Morales (1991) analizaron las especies de mamíferos y el papel que desempeñan las áreas protegidas a nivel de ecorregión en el cinturón del Eje Neovolcánico Transversal. Los autores reportan la presencia de 219 especies de mamíferos a lo largo de esta región y 26 áreas protegidas, que corresponden al 20% de los parques nacionales de México. Sin embargo, los resultados demuestran que aunque la mayoría de estas áreas cubren sitios importantes para la conservación, otros hábitats del Eje Neovolcánico Transversal, principalmente áreas occidentales ricas en especies en el estado de Michoacán no son incluidas.
- Alvarez y López (1998), con el apoyo de la CONABIO, integraron una base de datos sobre los mamíferos del estado de Michoacán proveniente de una revisión bibliográfica de 177 trabajos que abarcan un periodo de 100 años (1894-1993) en el estudio y conocimiento de la mastofauna del estado; a su vez recabaron información proveniente de la Colección de Mastozoología de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del IPN. Como resultado de la conjunción de ambas fuentes, los autores reportan un total de 6,663 registros de 148 especies de mamíferos presentes en el estado de Michoacán, agrupadas en nueve órdenes y 22 familias. Los resultados de este trabajo reportan la presencia de 14 especies de mamíferos carnívoros, entre los que destacan las seis especies de felinos silvestres presentes en México.

- En el año 2000, Orduña *et al.* analizaron la diversidad de mamíferos en cuatro tipos de vegetación de la Meseta Tarasca en el estado de Michoacán (bosque de pino-encino, bosque tropical caducifolio, bosque de oyamel y áreas de ecotono). Los registros obtenidos en este trabajo provienen de 49 localidades diferentes, ubicadas a lo largo de la Sierra Purépecha; se enlistan un total de 49 especies de mamíferos, entre las cuales reportan la presencia de dos carnívoros, *Mephitis macroura* y *Mustela frenata*. Los autores reportan que el bosque de pino-encino fue el tipo de vegetación con la mayor diversidad de mamíferos.
- En 2005, Núñez realizó una integración de datos sobre los mamíferos reportados para el estado de Michoacán, en la cual incluye información de especímenes depositados en las colecciones del Instituto de Biología de la UNAM, UAM Iztapalapa y ENCB del IPN. También se incluye información de especímenes depositados en colecciones de Estados Unidos y Canadá, además de la búsqueda y consulta de bibliografía especializada (diversidad, biología e importancia de cada especie). En este trabajo se reporta la presencia de 161 especies de mamíferos para la entidad, lo cual representa el 32.9% de las especies a nivel nacional, 18 especies corresponden al orden Carnívora, agrupadas en cinco familias.
- En 2005, se reportan en el estudio de estado de la CONABIO, un total de 141 especies de mamíferos presentes en el estado de Michoacán, de las cuales se identifican tres como endémicas para el estado. En cuanto al orden Carnívora, se reporta la presencia de 18 especies, de las cuales tres se encuentran listadas como amenazadas y tres más en peligro de extinción.
- Chávez-León y Zaragoza (2009) reportaron la presencia de 43 especies de mamíferos en el Parque Nacional Barranca de Cupatitzio en Michoacán, ubicado en el límite de los municipios de Uruapan y Nuevo Parangaricutiro, al centro-occidente del estado. El orden Carnívora presentó el mayor número de familias (5) y un total de 10 especies, entre las que encontramos dos especies de felinos, *L. wiedii* y *L. rufus*. Los autores mencionan que con este trabajo se incrementó en un 25.6% los estimados de riqueza hechos en años anteriores para la zona de estudio, lo cual atribuyen principalmente al incremento en el esfuerzo de muestreo. Por otro lado, se documenta la ausencia de nueve especies reportadas hace más de 20 años. A partir de este inventario, los autores identifican un total de ocho especies prioritarias para su conservación, entre las que se encuentra el tigrillo, con base en criterios de riesgo, endemismo y restricción de distribución.

- En 2009, Vázquez *et al.* realizaron un análisis de complementariedad para la selección de áreas importantes para la conservación de los mamíferos de México basados en datos sobre la distribución geográfica de 833 especies de mamíferos de Norte América. Identificaron de manera general tres regiones prioritarias para la conservación; la primera basada en endemismos se localiza a lo largo del centro y occidente de México (Eje Neovolcánico Transversal y provincias naturales de la Costa del Pacífico) y soporta valores intermedios de riqueza de especies de mamíferos. La segunda región prioritaria se basó en riqueza de especies y se localiza en el sur de México (Sierra Madre del Sur y tierras altas de Chiapas), mientras que la tercera región prioritaria para la conservación de mamíferos se localiza al norte del país y la porción norte de la Sierra Madre Occidental. Esta última región consiste de tierras áridas y semiáridas y su reconocimiento se basó en sus altos valores de vulnerabilidad y endemismos. Por último, los autores encontraron que su análisis de complementariedad presenta una pobre correspondencia espacial con las actuales áreas protegidas y concluyen que es necesaria la generación de nuevos mapas de distribución de mamíferos en México, requiriéndose análisis a escalas más finas.
- En 2010, Charre-Medellín *et al.* mediante el uso de cámaras trampa realizaron un estudio sobre la utilización de manantiales de filtración por vertebrados en la costa de Michoacán, municipio de Lázaro Cárdenas. Los autores mencionan que, ante la ausencia de información sobre las especies que usan los manantiales en el Pacífico de México y estando la costa de Michoacán severamente afectada por la deforestación, es indispensable el conocimiento sobre el uso de tales manantiales durante la época de sequía más crítica. Se hace necesario considerar la conservación de estos suministros de agua, ya que representan la única fuente disponible para la fauna en grandes extensiones, durante la época más seca y en los fragmentos de selva remanentes de la costa de Michoacán. Entre las especies registradas en este estudio, se encuentran cinco especies de carnívoros, el coatí y cuatro felinos, de los cuales tres se encuentran listados en alguna categoría de riesgo; ocelote y tigrillo (en peligro de extinción) y jaguaroundi (amenazado).
- Monterrubio-Rico *et al.*, (2012), confirmaron la presencia del jaguaroundi en el estado de Michoacán con base en evidencia fotográfica, biológica y genética. A pesar de que existía sospecha sobre la presencia de este animal en el estado y de que mapas de distribución generados a nivel nacional lo identificaban como área de distribución potencial de esta especie, solo existía un registro del año 1970. Los autores mencionan que con base en la distribución observada en este estudio se puede afirmar que la especie está presente en al menos tres regiones fisiográficas de Michoacán (Bajo Balsas, Sierra Madre del Sur y Costa del Pacífico). Por un lado,

el mayor número de registros se obtuvo en bosque tropical subcaducifolio y otro más en bosque de encino, lo cual representa el primer registro del jaguarundi en bosques templados de Michoacán. Basados en la distancia e independencia de los registros, los autores proponen la hipótesis de que la distribución continúa a lo largo de la Sierra Madre del Sur y la Costa del Pacífico del estado, aunque desconocen si existe conectividad hacia la Depresión del Balsas. Se recomienda la realización de investigaciones en el centro y norte de la costa de Michoacán, el norte de la Sierra Madre del Sur y al interior de las cuencas de los ríos Tepalcatepec y Balsas, con el fin de cuantificar y delimitar con precisión la distribución de esta especie.

- Charre-Medellín (2012) proporcionó un listado de 19 especies de mamíferos en la costa de Michoacán, mediante el uso de cámaras trampa, en donde destacan múltiples registros de tres especies de carnívoros en peligro de extinción (jaguar, ocelote y tigrillo) y dos amenazadas (jaguarundi y zorrillo pigmeo). Este estudio destaca los primeros registros poblacionales del jaguar para el estado de Michoacán.
- Guido-Lemus (2012), realizó un estudio sobre la comunidad de mamíferos silvestres en la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán. A partir de un muestreo en campo y a través de diferentes métodos de captura y registro de especies, generó un listado actualizado de la riqueza de mamíferos en esta región. En este trabajo se obtuvo un total de 580 registros de mamíferos de 44 especies agrupadas en siete órdenes, 15 familias y 33 géneros. Después del orden Rodentia y Chiroptera, el orden Carnívora fue el mejor representado con nueve especies, de las cuales solo una corresponde a un felino silvestre (Lince).
- En 2013, Monterrubio-Rico *et al.* reportaron la presencia de *Potos flavus* en el municipio de Arteaga en Michoacán. Los registros de la especie en este trabajo representan la primera evidencia biológica y fotográfica de su presencia en el estado después de 30 años. Estos registros permiten delimitar con mayor precisión la distribución más norteña a lo largo del Pacífico Mexicano de la especie. Los autores consideran que, en caso de existir una población residente de Martucha en Michoacán, su futuro es incierto, debido a la drástica reducción de su hábitat principal (bosque tropical subcaducifolio) en la costa del Pacífico, encontrando áreas remanentes con fragmentos grandes y continuos en la Sierra Madre del Sur en los municipios de Arteaga, Aquila y Lázaro Cárdenas. Por último, mencionan que las áreas protegidas en el estado no incluyen poblaciones de Martucha, por lo que estos nuevos registros proporcionan información valiosa para crear áreas protegidas que contemplen su protección.

- Charre-Medellín *et al.* (2013) registraron por primera vez, con base en evidencia sólida, la presencia del jaguar en el estado de Michoacán, misma que hasta el momento había sido anecdótica. Se obtuvieron fotografías de dos individuos de jaguar en la localidad de San José de los Pinos en el municipio de Arteaga. Los autores mencionan que se trata de una hembra adulta y una cría subadulta, lo cual podría ser evidencia de que existe actividad de crianza en esta área; además de reforzar la hipótesis de que Michoacán podría ser un área clave de conectividad, por su localización central a lo largo de la Costa del Pacífico Mexicano, entre poblaciones del norte y sur de la Costa del Pacífico y el centro de México. Por último, sugieren el establecimiento de áreas protegidas adicionales.
- Charre-Medellín *et al.* (2014) presentan nuevos registros de *Panthera onca* en la región conocida como Depresión del Bajo Balsas en el estado de Michoacán. A pesar de que esta especie había sido reportada con anterioridad en el estado, se sospechaba que su distribución podría estar muy restringida a zonas de bosques tropicales primarios de la costa y a bosques de pino-encino de la sierra Madre del Sur; sin embargo, los autores mencionan que los registros obtenidos en este trabajo refuerzan, por un lado, la hipótesis de que ciertas regiones del estado de Michoacán podrían ser aptas para funcionar como corredores entre las poblaciones de jaguar a lo largo del Pacífico. Por otro lado, fortalecen predicciones sobre la distribución del jaguar (modelos de nicho ecológico) e informes anecdóticos que suponían su presencia en diversas regiones del estado, como el Bajo Balsas.
- Monterrubio-Rico *et al.* (2014) realizaron una investigación documental mediante la consulta de publicaciones históricas, artículos de investigación publicados, tesis de licenciatura y posgrado y bases de datos de la CONABIO, provenientes de diversos proyectos de investigación, sobre el registro de mamíferos en el estado de Michoacán. Dicha investigación reveló que existe evidencia de que en el estado podrían estar presentes 161 especies de mamíferos silvestres terrestres que representan el 32% de las especies a nivel nacional, las cuales se encuentran agrupadas en nueve órdenes, 25 familias y 94 géneros. El orden Carnívora es el tercero más diverso del estado, con 18 especies que representan el 52% de las especies de carnívoros del país. Con base en los resultados obtenidos en este trabajo, se reporta la presencia de 41 especies endémicas. En cuanto al estado de conservación se menciona que están presentes poblaciones importantes de mamíferos listados en alguna categoría de riesgo, entre las que encontramos tres especies de carnívoros en peligro de extinción (jaguar, ocelote y tigrillo), tres listadas como amenazadas (jaguaroundi, nutria neotropical de río y zorrillo pigmeo) y una sujeta a protección especial (Martucha). Se menciona que es

necesario actualizar la información, ya que en los últimos 10 años se han incrementado las tasas de deforestación, especialmente en las selvas tropicales, por lo que recomiendan poner especial atención en regiones como la Costa, la Sierra Madre del Sur y la Depresión de Balsas.

- En 2015, Charre-Medellín *et al.* analizaron los patrones de distribución de felinos en el trópico seco del Centro-Occidente de México, específicamente en el estado de Michoacán. El estudio se basó en la revisión de información bibliográfica y bases de datos sobre la presencia de felinos en esta región, obteniendo un total de 29 registros. En una fase de campo para registrar la presencia de estas especies a través de diferentes métodos de detección durante un periodo de 10 años, se obtuvieron 672 registros, lo cual incrementó en un 2,000% la información disponible. Se logró registrar la presencia de las seis especies de felinos distribuidos en el país; sin embargo, el 65% de los registros provenientes de la literatura corresponden a sitios que actualmente están sujetos a usos agropecuarios o zonas urbanas. Después de aplicar diversos análisis, los autores mencionan que las especies con la distribución más amplia son el puma y el ocelote, las cuales incluyeron las ecorregiones de Bajo Balsas, Costa y Sierra Madre del Sur (con el mayor número de registros). Por otro lado, la ecorregión con el menor número de registros fue la del Bajío y correspondieron solamente a Lince.
- Urrea-Galeano *et al.* (2016) reportan la presencia de *Puma yagouaroundi* en la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo” (RBZI), Michoacán. En el área de estudio (zona de amortiguamiento de la RBZI) los autores mencionan que el registro de esta especie había sido, hasta el momento, anecdótico. A partir de este registro, los autores sugieren que el área de distribución reportada para la especie con anterioridad a lo largo de la Sierra Madre del Sur y la zona costera de Michoacán podría tener conectividad hacia la Depresión del Balsas, además resaltan la importancia de seguir conservando los ecosistemas donde habitan los felinos silvestres, particularmente, el bosque tropical caducifolio. Aunado al registro del jaguaroudi, en este trabajo registraron la presencia de 12 especies más de mamíferos carnívoros, entre los que se encuentran *Nasua narica*, *Bassariscus astutus*, *Leopardus pardalis*, *Panthera onca*, *Spilogale pygmaea* y *Urocyon cinereoargenteus*.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La elaboración de esquemas nacionales de priorización para la conservación de mamíferos ha hecho evidente la necesidad de generar modelos más confiables sobre la distribución de estas especies en México, mismos que debieran realizarse a escalas más finas (Vázquez *et al.*, 2009). La mayoría de los estudios sobre mamíferos, realizados en el estado de Michoacán y considerados como los más relevantes en este trabajo, se enfocan a la estimación de la riqueza de especies (e. g., Alvarez & López, 1998; Orduña *et al.*, 2000; Chávez-León & Zaragoza, 2009; Charre-Medellín, 2012; Monterrubio-Rico *et al.*, 2013; Charre-Medellín *et al.*, 2013; Monterrubio-Rico *et al.*, 2014; Urrea-Galeano *et al.*, 2016). Sin embargo, reportes sobre la distribución de mamíferos en Michoacán sugieren que esta región es clave para la conectividad de poblaciones.

La región occidental del estado de Michoacán es representativa de la biodiversidad y endemismos que caracterizan a la vertiente occidental del país. Aunque se reconoce que tales áreas de endemismos y riqueza de especies se distribuyen desde el sur de Sonora hasta el Istmo de Tehuantepec, la Faja Transvolcánica y la Sierra Madre del Sur se identifican como regiones particularmente relevantes debido a sus concentraciones de endemismos tanto de plantas como de animales (Ramamoorthy *et al.* 1993).

El área de estudio del presente proyecto está constituida por la parte norte de la referida provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur o Cordillera Costera del Sur (Cervantes-Zamora *et al.*, 1990), junto con las provincias Costas del Sur y Depresión del Tepalcatepec, dentro del estado de Michoacán.

Son varios los factores que explican la problemática de conservación de la biodiversidad en esta región y su importancia de investigación: 1) es una región representativa de las características de biodiversidad descritas para el occidente del país; 2) existe relativamente poca información respecto a las condiciones que guardan los diferentes aspectos de la biodiversidad regional (patrones de distribución); 3) en la actualidad existe un área natural protegida federal reconocida con una superficie significativa (265,000 hectáreas), la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo” (RBZI), junto con otras áreas protegidas estatales y federales pero de tamaños mucho menores; 4) existen múltiples propuestas de áreas prioritarias para la conservación, ocho Áreas Importantes para la Conservación de Aves (CIPAMEX-CONABIO, 1999), tres Regiones Terrestres Prioritarias (CONABIO, 2004), así como seis áreas que conforman el Sistema de Áreas de Conservación del Estado de Michoacán (Velásquez *et al.*, 2005); y 5) existen datos e información sobre la presencia de especies de carnívoros y otros mamíferos, generada por proyectos dirigidos o asesorados por ejemplo, por Rodrigo Núñez, tal como el Proyecto para la Conservación y Manejo del jaguar en México (SEMARNAT, 2006), datos que pueden utilizarse para analizar y documentar la ecología y recomendaciones de conservación de tales grupos de especies.

Si bien, por una parte, en la región domina por su tamaño un área natural protegida, la RBZI, por otro lado, existen múltiples propuestas de áreas importantes para la conservación. Algunas de tales propuestas consisten de varias regiones con áreas muy amplias que tienden a cubrir gran parte del territorio, circunstancias que insinúan una falta de realismo y requieren ser analizadas de manera más particular.

Una primera pregunta puede referirse al papel que juega tal Reserva de la Biosfera para resguardar los sitios de alta riqueza de grupos de especies como los carnívoros. Otra tendría que ver con la correspondencia entre juegos de áreas naturales, por ejemplo las existentes vs aquellas identificadas en este estudio.

Debido a que los carnívoros son un grupo de especies indicador de biodiversidad, este estudio aplicará un enfoque de planeación sistemática de la conservación para identificar áreas que no solamente por su riqueza y rareza de especies sugieran ser importantes para la conservación de otros grupos de especies, sino también por sus condiciones de conservación y su vulnerabilidad a los procesos de destrucción y fragmentación de hábitats naturales.

4. OBJETIVOS.

4.1. Objetivo general.

El objetivo del presente estudio es modelar y analizar los patrones de distribución de las especies de carnívoros que existen en la región occidental del estado de Michoacán, con la finalidad de evaluar e identificar áreas importantes para la conservación de la biodiversidad.

4.2. Objetivos particulares.

- 1.- Generar modelos de la distribución actual de las especies de carnívoros en la porción occidental del estado de Michoacán, a partir de modelos de distribución potencial correspondientes a la región occidental del país.
- 2.- Obtener estimados de vulnerabilidad de las áreas de distribución de las especies de carnívoros, debida a los procesos de destrucción y fragmentación de sus hábitats (cambios de la cobertura vegetal y usos del suelo).
- 3.- Identificar áreas importantes para la conservación, con herramientas de planeación sistemática de la conservación (e. g., priorización y complementariedad), basados en la distribución de carnívoros y el potencial de transformación de la cobertura del terreno.

5. DATOS Y MÉTODOS.

5.1. Área de estudio.

La definición de la región a modelar es una etapa importante y básica en el proceso de modelado, ya que aspectos como la localización y dispersión de los datos de presencia de las especies, así como la resolución de las variables ambientales predictivas, son factores determinantes en la generación de modelos de distribución de especies (Guisan *et al.*, 2007; Gillingham *et al.*, 2012). El presente estudio aplica un enfoque que integra dos escalas (extensión) de análisis; una porción significativa de la vertiente occidental del país y la región occidental del estado de Michoacán (ver Fig. 1).

La región más amplia corresponde a una porción representativa del occidente de México que incluye porciones sur-suroeste de los estados de Guanajuato, México, Oaxaca, Sinaloa, Durango y Zacatecas y gran parte de Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán y Guerrero. Esta área incluye gran parte de la Costa del Pacífico y Depresión del Balsas así como las porciones occidentales de la Sierra Madre del Sur y el Eje Neovolcánico; a su vez está conformada por 16 subprovincias: Mesetas y Cañadas del Sur, Delta del Río Grande de Santiago, Sierras Neovolcánicas Nayaritas, Altos de Jalisco, Sierra de Jalisco, Sierras de la Costa de Jalisco y Colima, Guadalajara, Chapala, Sierras y Bajíos Michoacanos, Mil Cumbres, Neovolcánica Tarasca, Cordillera Costera del Sur, Volcanes de Colima, Escarpa Limítrofe del Sur, Depresión del Balsas, Depresión del Tepalcatepec, Sierras y Valles Guerrerenses y Costas del Sur (Fig. 1).

Esta delimitación de la región occidental del país obedeció a la necesidad de modelar la distribución potencial de las especies de interés, con base en la información contenida en las bases de datos sobre colecciones científicas (registros históricos y recientes). El objetivo fue modelar la diversidad de ambientes naturales en los que se distribuyen las especies, considerando en primera instancia la extensión y límites basados en rasgos fisiográficos, variables bioclimáticas, la inclusión prioritaria de los ecosistemas tropicales del occidente de México, así como continuidad geográfica de los hábitats.

Por otra parte, y con la finalidad de llevar a cabo análisis espaciales detallados, asociados a la distribución de las especies de interés (e. g., modelado de distribución actual de carnívoros y priorización de áreas naturales para la conservación), la porción occidental del estado de Michoacán fue delimitada con base en los trabajos de monitoreo de especies de carnívoros que se han desarrollado en esa región (Núñez, 2015). Como se aprecia en la Figura 1, esta área se encuentra localizada al centro de la región más amplia, incluyendo porciones de las provincias fisiográficas Costas del Sur y Cordillera Costera del Sur, así como la Depresión del Tepalcatepec. La cobertura del terreno de esta segunda área de estudio está compuesta principalmente por selva baja caducifolia, selva mediana

subcaducifolia, bosques templados y áreas de cultivo (Fig. 6; Valderrama-Landeros *et al.*, 2014).

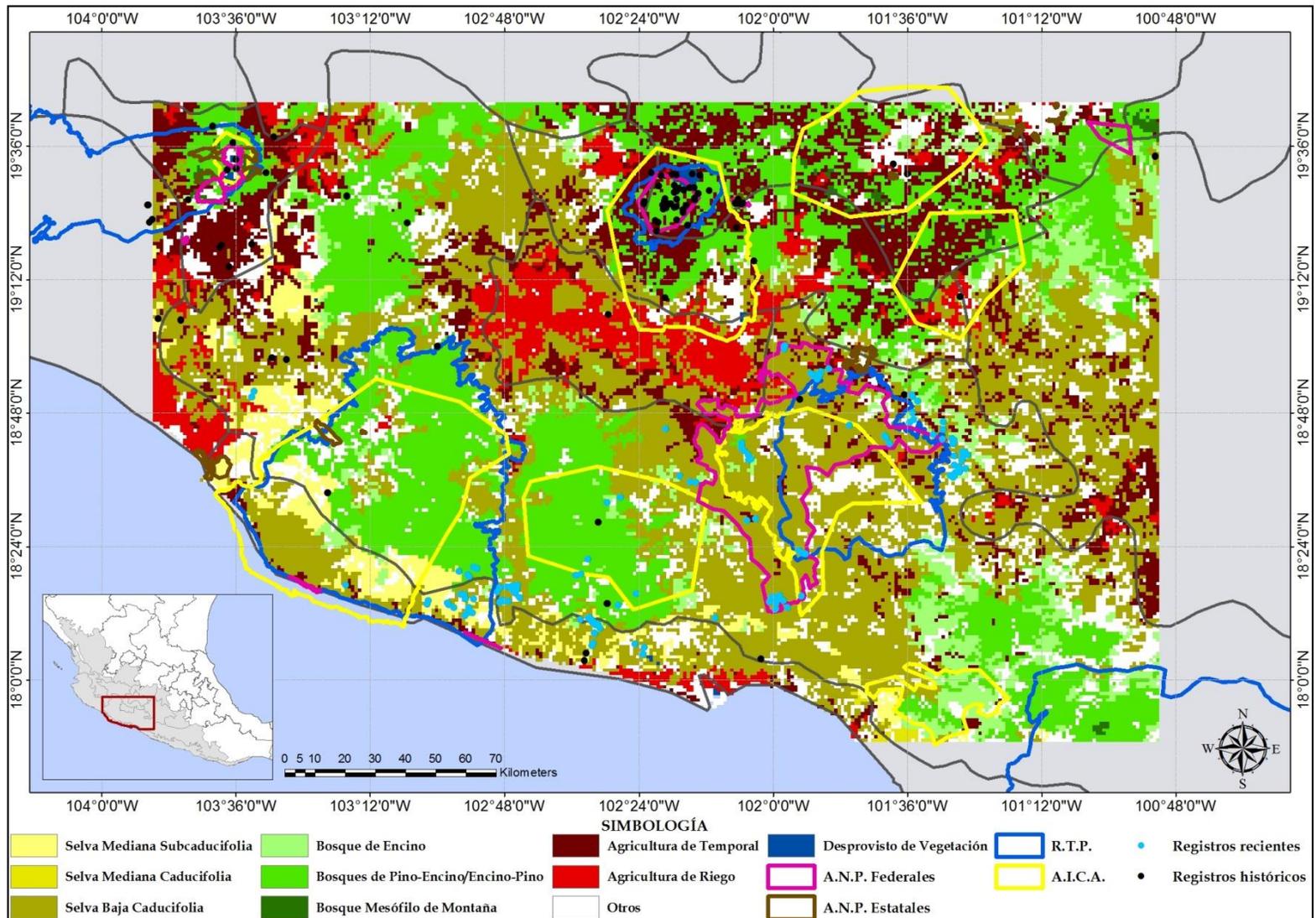


Figura 6. Principales tipos de vegetación en el área de estudio. INEGI, Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V, escala 1: 250 000. México. Modificado.

5.2. Datos sobre la presencia de las especies.

La información sobre la presencia de especies de carnívoros en el estado de Michoacán, fue obtenida a partir del monitoreo de estas especies durante el periodo 2010-2014, y como parte de los trabajos del proyecto Conservación del jaguar (Núñez, 2015). Los registros de presencia de las diferentes especies fueron principalmente obtenidos mediante un sistema de fototruampas localizadas en los municipios La Unión de Isidoro Montes de Oca, Lázaro

Cárdenas, Aquila, Arteaga, Tumbiscatío, Huetamo, Churumuco, Chinicuila, Coalcomán de Vázquez Pallares, La Huacana, Turicato y Apatzingán en el estado de Michoacán.

Por otra parte, se realizaron consultas en las bases de datos públicas GBIF (Global Biodiversity Information Facility), MaNIS (Mammal Networked Information System), UNIBIO (Unidad de Informática para la Biodiversidad, UNAM) y CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). Estas bases de datos fueron depuradas e integradas para obtener todos los registros limpios y revisados sobre la presencia histórica de las especies de mamíferos carnívoros distribuidas a lo largo de la región más amplia que incluye el occidente de Michoacán (Fig. 1). Particular atención fue puesta en la eliminación de aquellos registros con información insuficiente sobre su procedencia, datos geográficos y/o información incompleta sobre el estatus taxonómico de la especie registrada. También se eliminaron los registros duplicados, manteniendo información básica y complementaria para cada registro (e. g., localidad, fecha y procedencia del registro).

5.3. Especies de carnívoros seleccionadas.

A partir de una lista preliminar de especies de mamíferos carnívoros reportados para el estado de Michoacán (Monterrubio-Rico *et al.*, 2014) y de las especies registradas en la base de datos de Núñez (2015), se realizó una revisión del estatus taxonómico y de la nomenclatura actual. El análisis estuvo principalmente basado en Ramírez-Pulido *et al.* (2005; 2014), y complementado con los trabajos de Ceballos *et al.* (2005), Ceballos y Arroyo-Cabrales (2012) así como información actual de la CONABIO.

Con esta revisión taxonómica y considerando los tamaños de muestras sobre la presencia de las especies de carnívoros dentro de la región occidental del estado de Michoacán, 11 especies fueron seleccionadas para realizar los análisis de distribución del presente estudio (Tabla 1).

5.4. Algoritmos de modelado de la distribución de especies.

Para obtener los modelos de distribución de las especies, se aplicó un enfoque de modelado de consenso (Araújo y New, 2006); ejercicios de modelado de nicho ecológico fueron generados, utilizando algoritmos de predicción diseñados para el análisis de solo-presencias de las especies. Los modelos obtenidos consisten de valores continuos que representan estimados de probabilidad de presencia de las especies.

Mediante el software MODECO (<http://gis.ucmerced.edu/ModEco/>) se corrieron los algoritmos Support Vector Machine (SVM), Generalized Linear Model (GLM) y Artificial Neural Networks (ANN). También se corrió MaxEnt (Maximum Entropy), pero de manera independiente, ya que este sistema de predicción genera un análisis integral que incluye análisis de exactitud, evaluación de variables predictivas, etc.

Tabla 1. Especies de mamíferos carnívoros analizadas, estado de conservación y número de registros por especie en ambas bases de datos (Occ. Mex. = Occidente de México; Occ. Mich = Occidente del estado de Michoacán). Arreglo sistemático de acuerdo a Ramírez Pulido *et al.*, 2014. UICN: NT= Casi amenazada, EN= En peligro. NOM-059-SEMARNAT-2010: P= Peligro, A= Amenazada.

ORDEN CARNIVORA	ESPECIES	ESTADO DE CONSERVACIÓN			N° DE REGISTROS	
		SEMARNAT	CITES	IUCN	Occ. Méx.	Occ. Mich.
CANIDAE	<i>Canis latrans</i> Say, 1823				216	25
	<i>Urocyon cinereoargenteus</i> (Schreber, 1775)				366	20
FELIDAE	<i>Herpailurus yagouaroundi</i> (Lacépède, 1809)	A	I	EN	91	6
	<i>Leopardus pardalis</i> (Linnaeus, 1758)	P	I	EN	127	43
	<i>Leopartus wiedii</i> (Schinz, 1821)	P	I	NT	77	11
	<i>Puma concolor</i> (Linnaeus, 1771)				97	33
	<i>Panthera onca</i> (Linnaeus, 1758)	P		NT	84	18
MEPHITIDAE	<i>Conepatus leuconotus</i> (Lichtenstein, 1832)				231	6
PROCYONIDAE	<i>Bassariscus astutus</i> (Lichtenstein, 1830)				239	6
	<i>Nasua narica</i> (Linnaeus, 1766)		III		376	81
	<i>Procyon lotor</i> (Linnaeus, 1758)				242	14
TOTAL REGISTROS					2,146	263

5.5. Variables predictivas.

Las variables de predicción utilizadas para modelar la distribución potencial de las especies dentro de la vertiente occidental del país, incluyeron la topografía (elevación, aspecto y posición topográfica) y 19 variables bioclimáticas del proyecto WorldClim (WorldClim, 2006). Este juego de variables fue utilizado para generar modelos preliminares, a partir de los cuales se seleccionaron las variables de predicción que más significativamente contribuyeron en las predicciones. El juego de variables predictivas utilizado en la generación de los modelos de distribución de las especies consistieron de variables tanto topográficas como bioclimáticas. La definición del conjunto de variables importantes para cada especie varía en número y composición; sin embargo, en todos los casos la suma del porcentaje de importancia fue de $\geq 95\%$.

5.6. Modelos de distribución potencial de las especies.

El primer paso para la generación de los modelos de distribución potencial de las especies consistió en generar un modelo con el algoritmo MaxEnt para cada especie, utilizando el juego completo de variables bioclimáticas y topográficas referido anteriormente. A partir de la estimación de la importancia que tienen las diferentes variables predictivas y considerando aspectos de la ecología de las especies (e. g., preferencia de ciertos tipos de hábitat, requerimientos de agua, disponibilidad de recursos, tolerancia a diversas condiciones ambientales, etc.), se seleccionaron aquellas variables particulares para cada especie, que en la generación del modelo tuvieran en conjunto un porcentaje de importancia de $\geq 95\%$ (Tabla 2).

Posteriormente los conjuntos de variables predictivas seleccionadas fueron utilizadas para correr los cuatro diferentes algoritmos (MaxEnt, Support Vector Machine, Generalized Linear Model y Artificial Neural Networks), a partir de los cuales se obtuvieron los modelos de consenso para cada especie. De esta manera, dado que se corrieron modelos independientes para cada especie, se obtuvo un total de 44 modelos.

Una vez obtenidos los cuatro modelos de distribución potencial para cada especie, se aplicó un enfoque de consenso de modelos, utilizando la mediana como estadístico representativo de la combinación de modelos (Araújo y New, 2006). Es importante recordar que estos modelos de consenso representan modelos de distribución potencial con valores continuos, para la vertiente occidental del país, mismos que fueron utilizados para obtener aproximaciones a la distribución actual de las especies en la región occidental de Michoacán.

Tabla 2. Variables predictivas utilizadas en la realización de los modelos de distribución potencial para la región occidental del país. El conjunto de variables por especie representa el $\geq 95\%$ de importancia en la generación del modelo.

ESPECIES (ORDEN CARNIVORA)	VARIABLES PREDICTIVAS																				
	BIOCLIMÁTICAS (bio)																			TOPOGRÁFICAS	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Aspecto	Elevación
FAMILIA CANIDAE																					
<i>Canis latrans</i> Say, 1823		X		X	X	X						X	X	X				X	X	X	X
<i>Urocyon cinereoargenteus</i> (Schreber, 1775)				X			X	X	X			X		X		X	X		X		X
FAMILIA FELIDAE																					
<i>Herpailurus yagouaroundi</i> (Lacépède, 1809)		X				X	X						X		X	X		X	X	X	X
<i>Leopardus pardalis</i> (Linnaeus, 1758)		X	X	X		X	X			X	X										X
<i>Leopardus wiedii</i> (Schinz, 1821)		X	X	X			X					X				X					
<i>Puma concolor</i> (Linnaeus, 1771)			X	X							X					X	X	X	X		
<i>Panthera onca</i> (Linnaeus, 1758)			X	X			X									X	X		X		X
FAMILIA MEPHITINAE																					
<i> Conepatus leuconotus</i> (Lichtenstein, 1832)		X		X		X	X	X	X				X			X	X				
FAMILIA PROCYONIDAE																					
<i>Bassariscus astutus</i> (Lichtenstein, 1830)		X	X		X				X			X	X	X	X			X			X
<i>Nasua narica</i> (Linnaeus, 1766)	X	X				X	X	X	X		X	X		X			X	X			X
<i>Procyon lotor</i> (Linnaeus, 1758)		X					X	X			X		X					X	X		

5.7. Modelos de distribución actual de las especies.

5.7.1. Modelos exploratorios de distribución actual de las especies.

Dada la intensidad y actualidad de los datos de presencia de especies de carnívoros en la región occidental de Michoacán, como primera aproximación, se obtuvieron modelos de distribución actual para cada especie en esta área, utilizando el algoritmo MaxEnt y solo los registros de presencia actuales contenidos en la base de datos de Núñez (2015). Se utilizaron las variables bioclimáticas y topográficas identificadas preliminarmente como importantes para cada especie (MaxEnt) y se agregaron dos variables predictivas adicionales: índice de posición topográfica y los tipos de vegetación y uso de suelo de la Serie V del INEGI (INEGI, 2014a; 2014b).

Por otra parte, considerando la influencia potencial que tienen los ritmos fenológicos de la vegetación en la ecología de las poblaciones de especies de carnívoros (e. g., disponibilidad de recursos, refugios, condiciones ambientales, etc.), se exploró la capacidad del índice de vegetación EVI (Enhanced Vegetation Index) para predecir la distribución actual de las especies de interés en el occidente de Michoacán, utilizando solo los registros de presencia actuales (Núñez, 2015). Para lo anterior, una serie de tiempo del EVI-MODIS fue integrada con imágenes mensuales de satélite MODIS que correspondieron al ciclo estacional completo durante el cual se obtuvieron los datos de presencia de las especies, es decir los años 2013 y 2014 (Fig. 7).

Estos modelos se realizaron con el propósito de contar con primeras aproximaciones a la distribución actual de las especies, probar diferentes variables predictivas que pudieran influir de manera significativa sobre esta y se tomaron como punto de partida y comparación para los modelos de distribución actual generados a partir de las asociaciones de hábitat y los modelos de distribución potencial.

5.7.2. Análisis de asociaciones de hábitat.

Considerando que los datos de presencia de las especies para la porción occidental de Michoacán, son datos recientes (2013-2014) obtenidos de manera sistemática, se llevó a cabo un análisis de asociaciones de hábitat mediante la aplicación de Modelos Lineales Generalizados (GLM, por sus siglas en inglés), para lo cual fue necesario generar datos de pseudo-ausencias.

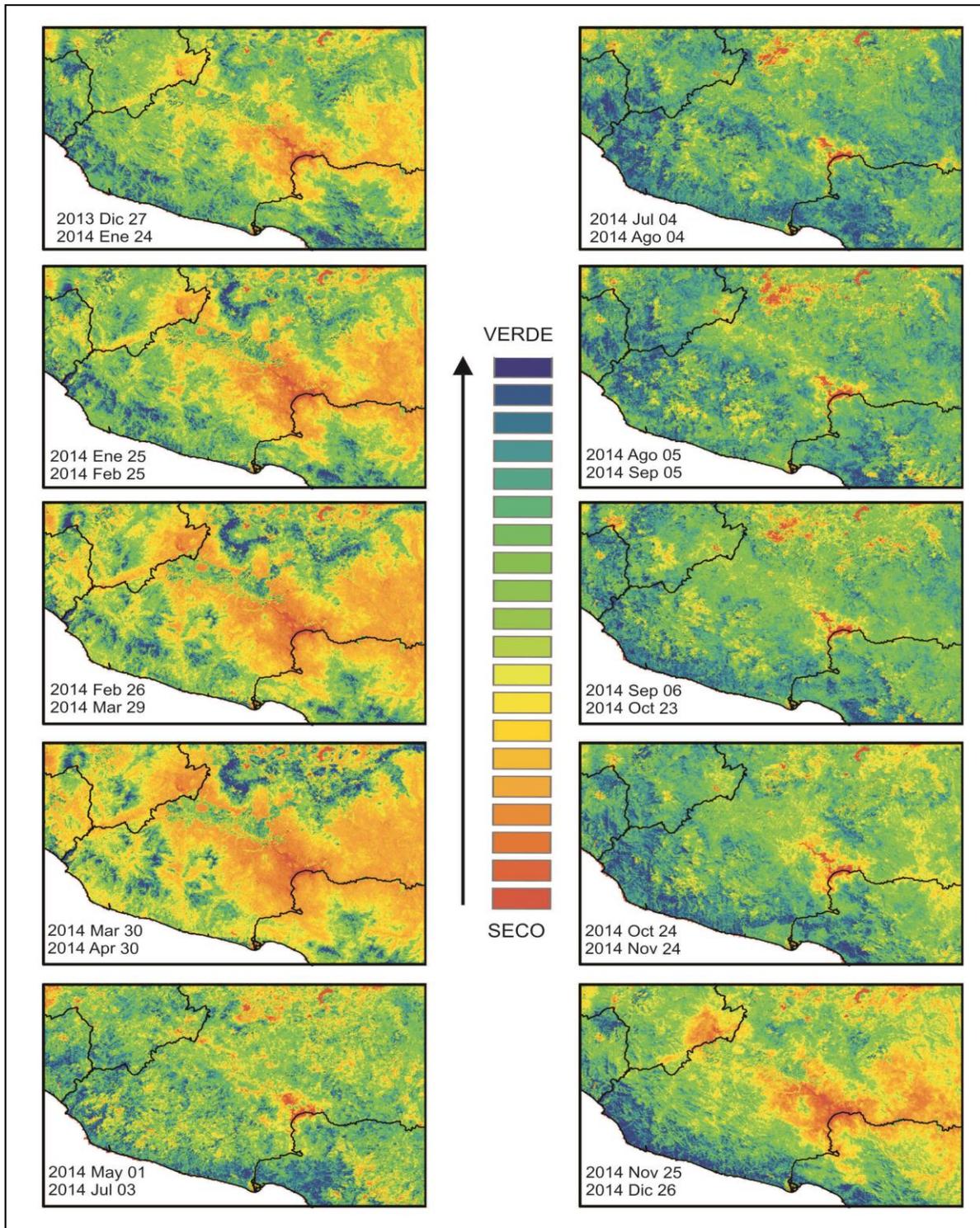


Figura 7. Serie de tiempo del índice de vegetación MODIS de un ciclo estacional completo (2013-2014).

Los datos de pseudo-ausencias para las once especies de carnívoros, utilizados en los análisis lineales generalizados, fueron generados a partir de las predicciones contenidas en los modelos de distribución potencial para el occidente del país; se identificaron y

delimitaron las áreas con probabilidad nula para la presencia potencial predicha de las especies y se generaron dentro de éstas sitios al azar. Este enfoque difiere de otras maneras para generar pseudo-ausencias, tales como crear un conjunto de puntos completamente al azar en toda la extensión del área de estudio (Hirzel *et al.*, 2001; Zaniewski *et al.*, 2002). La utilización de las áreas predichas como ausencias de las especies es un intento de evitar, en la mayor medida posible, el riesgo de generar ausencias en sitios que son idóneos para la presencia de las especies (Engler *et al.*, 2004). El uso de mapas de idoneidad de hábitat preliminares como guía espacial para generar pseudo-ausencias es una técnica eficiente para reducir la posibilidad de generar falsos negativos como pseudo-ausencias (Zaniewski *et al.*, 2002; Engler *et al.*, 2004).

Por otro lado, los GLM son una extensión de los modelos lineales y permiten manejar conjuntos de datos cuya distribución de errores no es normal y las varianzas no son constantes. Variables de respuesta binaria, como la presencia/ausencia de especies, muestran justamente estas características, por lo que los GLM ofrecen una buena opción para analizar la significancia en las asociaciones especies/tipos de hábitats.

En este trabajo se realizó un análisis de GLM (distribución binomial) para predecir la relación existente entre la presencia/ausencia de las especies estudiadas y los tipos de hábitat presentes en el área de estudio correspondiente al occidente de Michoacán. Estos análisis fueron realizados con el programa R (R Core Team, 2013), utilizando la función GLM.

R permite hacer estas predicciones espacialmente explícitas, por lo que fue posible obtener mapas de asociaciones de hábitat expresadas como medida de probabilidad de presencia. Las variables independientes consistieron en los tipos de vegetación y uso de suelo de la Serie V (valores categóricos; INEGI, 2014a; 2014b) y el índice de posición topográfica (TPI, valores numéricos), obteniendo un modelo de asociaciones de hábitat por especie.

Además, el programa R permite visualizar los resultados de cada modelo, mostrando los valores de coeficientes como el valor de P, el valor de la devianza o el llamado índice de Criterio de Información de Akaike (AIC, por sus siglas en inglés), que indican, por ejemplo, si existen variables estadísticamente significativas que influyan sobre la presencia/ausencia de especies, o en el caso del índice AIC nos muestra la evaluación de ajuste de los datos al modelo (ver Tabla 3). Sin embargo, es importante mencionar que además se realizó una evaluación independiente para cada uno, utilizando los mapas resultantes, mediante la prueba de ROC parcial, lo cual permite usar los resultados como probabilidades de presencia.

Tabla 3. Resumen de resultados de los análisis GLM.

ESPECIES (ORDEN CARNIVORA)	COEFICIENTES Y PARÁMETROS DE DISPERSIÓN								
	Nº de presencias	Nº de ausencias	Variables significativas	Devianza nula	Devianza residual	Devianza (D ²)	AIC	Z value	P value
FAMILIA CANIDAE									
<i>Canis latrans</i> Say, 1823	25	25	TPI	205.1	143.2	15.6%	171.2	1.841	0.0656
<i>Urocyon cinereoargenteus</i> (Schreber, 1775)	20	20	TPI/ SerieV (Bosque Encino)	213.4	164.9	22.7%	190.9	3.142	0.00168/ 0.092
FAMILIA FELIDAE									
<i>Herpailurus yagouaroundi</i> (Lacépède, 1809)	6	6	(-)	30.4	22.7	25.5%	38.7	(-)	(-)
<i>Leopardus pardalis</i> (Linnaeus, 1758)	43	43	TPI	155.2	105.7	31.8%	137.7	2.365	0.018
<i>Leopartus wiedii</i> (Schinz, 1821)	11	11	TPI	72.0	34.3	52.3%	60.3	1.942	0.0522
<i>Puma concolor</i> (Linnaeus, 1771)	33	33	TPI	130.3	44.8	65.5%	78.8	3.231	0.00123
<i>Panthera onca</i> (Linnaeus, 1758)	18	18	TPI	55.4	20.6	62.6%	42.6	1.719	0.0855
FAMILIA MEPHITINAE									
<i>Conepatus leuconotus</i> (Lichtenstein, 1832)	6	6	(-)	63.7	36.7	42.4%	60.7	(-)	(-)
FAMILIA PROCYONIDAE									
<i>Bassariscus astutus</i> (Lichtenstein, 1830)	6	6	(-)	77.6	39.9	48.5%	65.9	(-)	(-)
<i>Nasua narica</i> (Linnaeus, 1766)	81	81	TPI	291.1	179.2	38.4%	215.2	2.942	0.00327
<i>Procyon lotor</i> (Linnaeus, 1758)	14	14	(-)	88.7	57.4	35.2%	85.4	(-)	(-)

5.8. Asociaciones de hábitat y modelos de distribución actual.

La obtención de modelos de distribución actual de las especies ha sido un procedimiento realizado por varios autores, cuyo enfoque aplica una técnica consistente en utilizar mapas

sobre tipos de vegetación y usos del suelo, con el fin de identificar los hábitats adecuados para la presencia de las especies y entonces mediante una intersección restringir espacialmente los modelos de distribución potencial a tales zonas de hábitats idóneos, los modelos de distribución resultantes han sido llamados modelos de distribución actual.

En este trabajo, las aproximaciones de modelos de distribución actual de las especies fueron obtenidas a partir del ajuste o recorte de modelos de distribución potencial utilizando las probabilidades de asociación entre las especies con los tipos de hábitat, calculadas a partir de la obtención de Modelos Lineales Generalizados (GLM).

Para lo anterior, se aplicó un procedimiento de suma ponderada de ambos modelos (distribución potencial + asociaciones de hábitat), asignando un peso de 2 y 1 respectivamente y utilizando la herramienta Weighted Sum del programa ArcGIS 10.0 (ESRI, 2011). Bajo este esquema, la ponderación de la distribución potencial de las especies tiene el doble de importancia que la significancia estimada de las asociaciones especies/tipos de hábitats.

El resultado consistió en la obtención de modelos continuos de la distribución actual de las especies, cuyos valores representan estimados de probabilidad de la presencia de las especies, de acuerdo no solamente a las predicciones obtenidas de variables bioclimáticas y topográficas, sino también a las condiciones de la cobertura del terreno (e. g. tipos de hábitat). Estos fueron los modelos utilizados en el análisis de identificación de áreas importantes para la conservación.

5.9. Validación de los modelos.

La evaluación de todos los modelos que se generaron en este trabajo se realizó utilizando el análisis de la curva ROC parcial (Receiver Operating Characteristic; Peterson *et al.*, 2008), el cual estima el valor parcial de la razón del área bajo la curva (AUC, por sus siglas en inglés); si dicho valor se aleja de 1 significa que el modelo mejora con respecto a lo esperado por un modelo aleatorio.

El cálculo de la ROC parcial se llevó a cabo mediante la herramienta “NicheToolBox”, CONABIO (<http://shiny.conabio.gob.mx:3838/nichetoolb2/>) (Osorio-Olvera, 2016), utilizando el 20% del total de los datos de entrenamiento con 500 iteraciones y calculando el promedio de la razón AUC (Peterson *et al.*, 2008).

5.10. Análisis de cambio de cobertura y uso del suelo.

Con la finalidad de incluir estimados de vulnerabilidad a la deforestación (probabilidad de deforestación), dentro de los procedimientos de identificación de áreas importantes para la conservación, se realizó un ejercicio de modelado de cambios de la cobertura del

terreno para la región occidental de Michoacán, utilizando las Series II y V del INEGI (1996 y 2013, respectivamente).

La Serie II corresponde a las condiciones de la cobertura del terreno del año 1993, que fue la fecha en que se recabaron las imágenes Landsat TM Multi-espectrales, utilizadas en la elaboración de la cartografía de vegetación y usos del suelo. La Serie V corresponde a las condiciones de los años 2012 y 2013, fechas en las que se recabaron las imágenes SPOT utilizadas en el mapeo.

El módulo Land Change Modeller (LCM) del programa IDRISI Selva fue utilizado para obtener los modelos de probabilidades de transición de tres submodelos principales, nombrados de acuerdo al tipo de transición: *Deforestación* (cambios de bosques y selvas conservadas a agricultura y pastizales introducidos); *Regeneración* (cambios de agricultura y pastizales introducidos a bosques y selvas conservadas y secundarias) y *Disturbio* (cambios de bosques y selvas conservados a bosques y selvas secundarias). Sin embargo, en este estudio solamente se utilizaron los valores estimados de probabilidades de transición del submodelo *Deforestación*, debido a que nuestro interés fue incluir tales probabilidades como indicadores de vulnerabilidad a los cambios en la cobertura del terreno que significan la remoción y disminución de los hábitats naturales originales para las especies de carnívoros, objeto de interés de este estudio.

Se decidió obtener el inverso de tales valores de vulnerabilidad, para de esta manera aplicar la lógica de que valores elevados representan probabilidades bajas en el avance de la deforestación (ver Fig. 8). Finalmente, estos cálculos que incluyeron re-escalar el rango de valores de $0 < 1.0$ a $0 - 1.0$, fueron realizados con el programa ArcGIS 10.0 (ESRI, 2011).

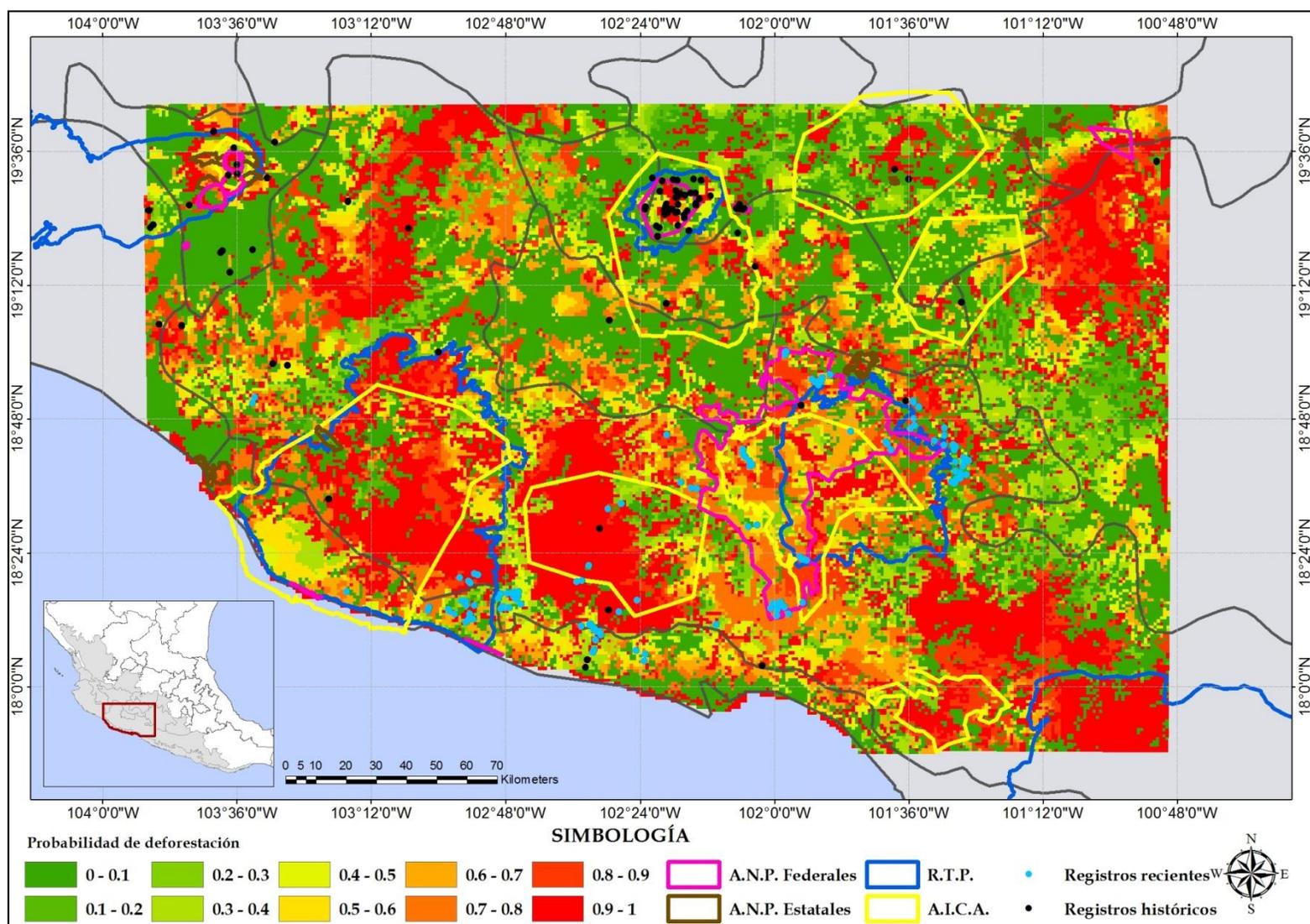


Figura 8. Modelo de *Deforestación* para el occidente del estado de Michoacán. Elaborado a partir de los cambios de cobertura del suelo entre 1996 y 2013. Consiste de valores de probabilidad invertidos; los valores más bajos de probabilidad correspondientes a las zonas de color verde indican zonas con mayor posibilidad de deforestación (menos probabilidad de conservación) y las zonas con los valores más altos de probabilidad correspondientes a las zonas de color rojo e indican áreas con la menor posibilidad de deforestación (mayor probabilidad de conservación).

5.11. Identificación de áreas importantes para la conservación.

Con la finalidad de contar con una primera aproximación de las posibles áreas geográficas con presencia de la mayoría de las especies objeto de este estudio, se generó un modelo de riqueza de especies de manera manual mediante la sobreposición de los modelos de distribución actual de las especies. Los modelos continuos fueron convertidos a modelos binarios aplicando un umbral de corte basado en el criterio de maximización de la suma sensibilidad+especificidad (Jiménez-Valverde & Lobo, 2007), utilizando tramas con diferente tamaño de unidad de celda o “pixel”, y obteniendo un mapa de riqueza de especies (Fig. 9).

Por otro lado, mediante el uso del software Zonation (Moilanen, 2007) se realizó un análisis de priorización de áreas para la conservación. Este software se basa en la complementariedad de áreas y jerarquiza balanceadamente las prioridades de conservación a través de todo el paisaje mediante la eliminación iterativa de celdas o unidades de planeación que conduzcan a la menor pérdida agregada del valor de conservación. El orden en el que se eliminan las celdas depende de la llamada regla de remoción o eliminación y esta debe elegirse de acuerdo a los objetivos de conservación establecidos en el trabajo (Moilanen, 2007; Moilanen *et al.*, 2011; Laitila & Moilanen, 2012).

En este estudio se utilizó la función de beneficio aditivo (ABF, por sus siglas en inglés) y la zonificación de áreas nucleares (CAZ, por sus siglas en inglés) como reglas de remoción y, como insumos, los modelos de distribución actual de las especies (valores continuos) y nuestro modelo de deforestación. De manera general, la regla de eliminación ABF prioriza exclusivamente áreas de alta riqueza de especies, mientras que CAZ tiene la propiedad de identificar como importantes áreas con alta riqueza de especies y al mismo tiempo áreas donde una sola o pocas características o elementos de biodiversidad tienen una presencia importante (áreas de rareza).

Por otra parte, se asignaron diferentes pesos a cada especie, dependiendo de su estado de conservación (Tabla 4), y además se realizaron diferentes pruebas utilizando diversos parámetros como dos diferentes métodos de agregación, los cuales producen soluciones relativamente más compactas: Distribución suavizada (Smoothing) y Penalización por longitud del límite (BLP, por sus siglas en inglés). El primero conserva áreas bien conectadas con otras, lo cual resulta en soluciones más compactas, este método se basa en la utilización de un “smoothing kernel” el cual suaviza el valor de una celda al área que lo rodea y debido a que se basa en el valor de la celda, este parámetro es específico a cada elemento. Por su parte, BLP es el método de agregación más comúnmente usado, sin embargo, no es específico para el elemento de biodiversidad que evalúa, por lo que no considera los efectos de la fragmentación sobre las especies, es un método rápido que penaliza la estructura de la red de reserva (longitud) para producir una reserva más compacta.

Se obtuvieron un total de 18 modelos de priorización de áreas para la conservación, mismos que se compararon entre sí y con el modelo de riqueza (Fig. 9). Los modelos de priorización se analizaron con base en las características de la cobertura vegetal del paisaje (Fig. 6), en la localización de las áreas naturales protegidas, tanto estatales como federales y en las diversas propuestas que existen de áreas importantes para la conservación en el área de estudio (Fig. 3).

Los modelos de priorización muestran diferentes tramas de colores, los cuales corresponden al porcentaje de área priorizada durante el proceso de modelado. El software utilizado permite manipular el porcentaje de área deseado para conservar, así, dependiendo de las metas de conservación abordadas en el trabajo, se puede establecer el umbral. Se eligió conducir los análisis de cada modelo de priorización basándonos en el 15% del área más importante.

5.12. Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad terrestre de CONABIO (análisis complementario).

En un análisis complementario, se realizó una comparación espacial de las áreas identificadas como importantes para la conservación de la biodiversidad obtenidas en el presente estudio y los sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad terrestre de CONABIO, los cuales constituyen un avance con respecto a las Regiones Terrestres Prioritarias, ya que la delimitación de los mismos correspondió a un análisis más detallado y de mayor resolución, en comparación con las RTP que son áreas extensas.

El análisis se llevo a cabo utilizando el programa ArcGIS 10.0 (ESRI, 2011), mediante el cual se realizó una sobre posición espacial de los mapas de priorización obtenidos en el presente estudio y los polígonos identificados como sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad terrestre, obtenidos a partir del geoportal de CONABIO, los cuales corresponden a hexágonos de 256 km², clasificados en sitios de media, alta y extrema prioridad, según la optimización de los mismos mediante el programa Marxan.

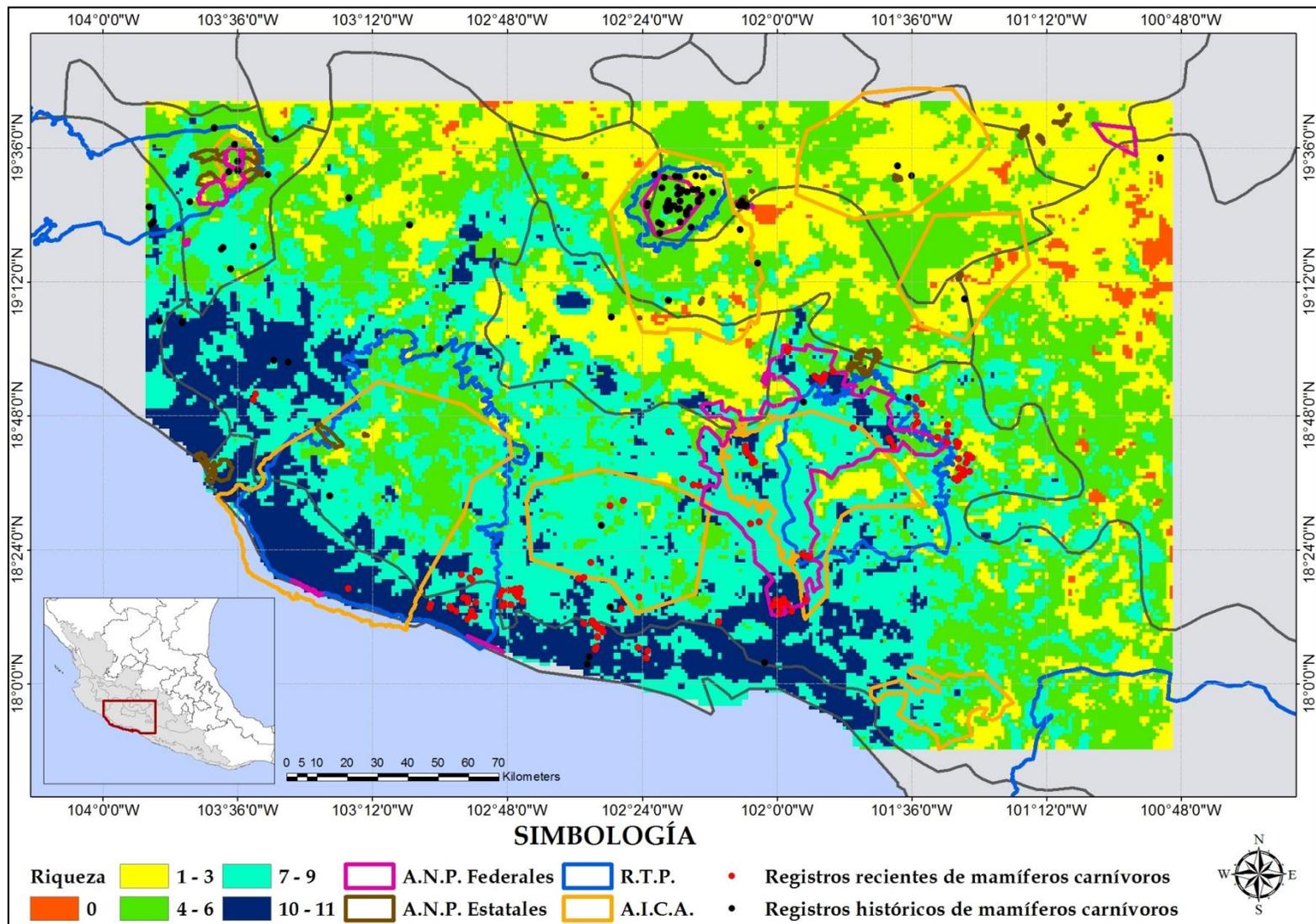


Figura 9. Modelo de riqueza de especies obtenido para las 11 especies de carnívoros estudiadas en la región occidental del estado de Michoacán.

Tabla 4. Pesos asignados a cada especie en Zonation. Nom-059-semarnat-2010: p= peligro, a= amenazada.		
ESPECIES (ORDEN CARNIVORA)	CATEGORÍA DE RIESGO (NOM 059)	PESO
FAMILIA CANIDAE		
<i>Canis latrans</i> Say, 1823	-	1
<i>Urocyon cinereoargenteus</i> (Schreber, 1775)	-	1
FAMILIA FELIDAE		
<i>Herpailurus yagouaroundi</i> (Lacépède, 1809)	A	2
<i>Leopardus pardalis</i> (Linnaeus, 1758)	P	3
<i>Leopartus wiedii</i> (Schinz, 1821)	P	3
<i>Puma concolor</i> (Linnaeus, 1771)	-	1
<i>Panthera onca</i> (Linnaeus, 1758)	P	3
FAMILIA MEPHITINAE		
<i>Conepatus leuconotus</i> (Lichtenstein, 1832)	-	1
FAMILIA PROCYONIDAE		
<i>Bassariscus astutus</i> (Lichtenstein, 1830)	-	1
<i>Nasua narica</i> (Linnaeus, 1766)	-	1
<i>Procyon lotor</i> (Linnaeus, 1758)	-	1

6. RESULTADOS.

6.1. Datos sobre la presencia de las especies.

Como parte de los trabajos de monitoreo del proyecto Conservación del jaguar (Núñez, 2015), se obtuvo un total de 273 registros de mamíferos carnívoros (2010-2014) en el occidente de Michoacán, la especie con el mayor número de registros es *Nasua narica* con 81 presencias, mientras que *Bassariscus astutus*, *Conepatus leuconotus* y *Herpailurus yagouaroundi* están presentes solo con seis registros cada una.

Por otro lado, a partir de la consulta de las bases de datos públicas, se obtuvo una base integrada por 2,146 registros históricos de mamíferos carnívoros distribuidos a lo largo de la región representativa del occidente del país. La especie con mayor número de registros es *Nasua narica* con 376 presencias, mientras que *Leopardus wiedii* es la especie con el menor número de registros (77).

6.2. Especies de carnívoros seleccionadas.

La lista preliminar sobre la presencia de mamíferos carnívoros en el estado de Michoacán estuvo conformada por un total de 18 especies: *Canis latrans*, *Urocyon cinereoargenteus*, *Herpailurus yagouaroundi*, *Leopardus pardalis*, *Leopardus wiedii*, *Lynx rufus*, *Puma concolor*, *Panthera onca*, *Lontra longicaudis*, *Mustela frenata*, *Conepatus leuconotus*, *Mephitis macroura*, *Spilogale gracilis*, *Spilogale pygmaea*, *Potos flavus*, *Bassariscus astutus*, *Nasua narica* y *Procyon lotor* (Monterrubio-Rico *et al.*, 2014), de las cuales 13 conforman la base de datos de Núñez (2015). Como resultado de la revisión del estatus taxonómico y de la nomenclatura actual de estas especies, así como de la cantidad de registros actuales disponibles, se obtuvo un listado final de 11 especies, agrupadas en cuatro familias y 10 géneros (Tabla 5).

Tabla 5. Especies de mamíferos carnívoros analizadas.	
ORDEN CARNIVORA	ESPECIES
FAMILIA	
CANIDAE	<i>Canis latrans</i> Say, 1823
	<i>Urocyon cinereoargenteus</i> (Schreber, 1775)
FELIDAE	<i>Herpailurus yagouaroundi</i> (Lacépède, 1809)
	<i>Leopardus pardalis</i> (Linnaeus, 1758)
	<i>Leopardus wiedii</i> (Schinz, 1821)
	<i>Puma concolor</i> (Linnaeus, 1771)
	<i>Panthera onca</i> (Linnaeus, 1758)
MEPHITIDAE	<i>Conepatus leuconotus</i> (Lichtenstein, 1832)
PROCYONIDAE	<i>Bassariscus astutus</i> (Lichtenstein, 1830)
	<i>Nasua narica</i> (Linnaeus, 1766)
	<i>Procyon lotor</i> (Linnaeus, 1758)

6.3. Modelos de distribución potencial de las especies.

A partir de la utilización de los algoritmos MaxEnt, Support Vector Machine, Generalized Linear Model y Artificial Neural Networks se obtuvieron un total de 44 modelos de distribución potencial, un conjunto de cuatro modelos por especie para la región occidental del país. Después de aplicar un enfoque de consenso de modelos, se obtuvo un modelo por especie, el cual consta de valores continuos de probabilidad de presencia (Anexo 1).

La mayoría de los conjuntos de variables individuales constan de al menos una variable topográfica y cinco bioclimáticas, aunque hay especies cuyo conjunto de variables está compuesto sólo por variables bioclimáticas (Tabla 2).

6.4. Modelos de distribución actual de las especies.

6.4.1. Modelos exploratorios de distribución actual de las especies.

A partir de la utilización del algoritmo MaxEnt se obtuvieron las primeras aproximaciones a la distribución actual de las especies para el occidente de Michoacán. Un modelo de distribución actual fue obtenido por cada especie, utilizando el conjunto de variables predictivas correspondiente y utilizando el índice de posición topográfica y los tipos de vegetación y uso de suelo de la Serie V del INEGI (INEGI, 2014a; 2014b).

La mayoría de las áreas con mayor probabilidad de presencia de las especies se distribuyen entre las provincias fisiográficas Costas del Sur y Cordillera Costera del Sur, encontrándose zonas de alta probabilidad dentro de los límites de la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo”, en los municipios de Arteaga y La Huacana, principalmente. Fuera de los límites de esta reserva, la mayoría de las especies modeladas presentan zonas de alta probabilidad en los municipios de Aquila y Lázaro Cárdenas. Localizadas a lo largo de la costa, éstas últimas áreas corresponden espacialmente con dos ANP (Santuarios “Playa Maruata y Colola” y “Playa Mexiquillo”), un AICA (“Coalcomán-Pomaro”), una RTP (“Sierra de Coalcomán”), los polígonos 6 (“Aquila-Coalcomán-Coahuayana”) y 7 (“Arteaga-Tumbiscatío”) de las APC y las Áreas 01 y 02 del SACEM. También existen zonas predichas de alta probabilidad de presencia de varias especies, hacia el centro del estado de Michoacán entre los municipios de Churumuco, Turicato y Huetamo, que corresponden geográficamente con otras dos AICA (“Tumbiscatío” y “Cuenca Baja del Balsas”), una RTP más (“Infiernillo”), los polígonos 5 (“Tancítaro-Apatzingan”) y 8 (“Infiernillo”) de las APC y las Áreas 03, 04, 05 y 08 del SACEM (Figs. 10 y 11).

En el caso del jaguar, la distribución observada presenta zonas de alta probabilidad de presencia en la línea costera del estado, dentro de la provincia fisiográfica Costas del Sur,

en los municipios de Aguila, Lázaro Cárdenas, Arteaga, Coahuayana y Chinicuila, así como dentro de los límites de la Reserva de la Biosfera "Zicuirán-Infiernillo".

Las áreas de alta probabilidad de presencia de la mayoría de las especies corresponden a tres tipos de vegetación principales: selva baja caducifolia, bosques templados y selva mediana subcaducifolia. Por otro lado, ningún modelo presentó zonas de alta probabilidad de presencia en la provincia fisiográfica Depresión del Tepalcatepec, ya que esta región presenta en la gran mayoría de su extensión geográfica áreas de uso agrícola, con pequeños fragmentos remanentes de selva baja caducifolia (Fig. 6).

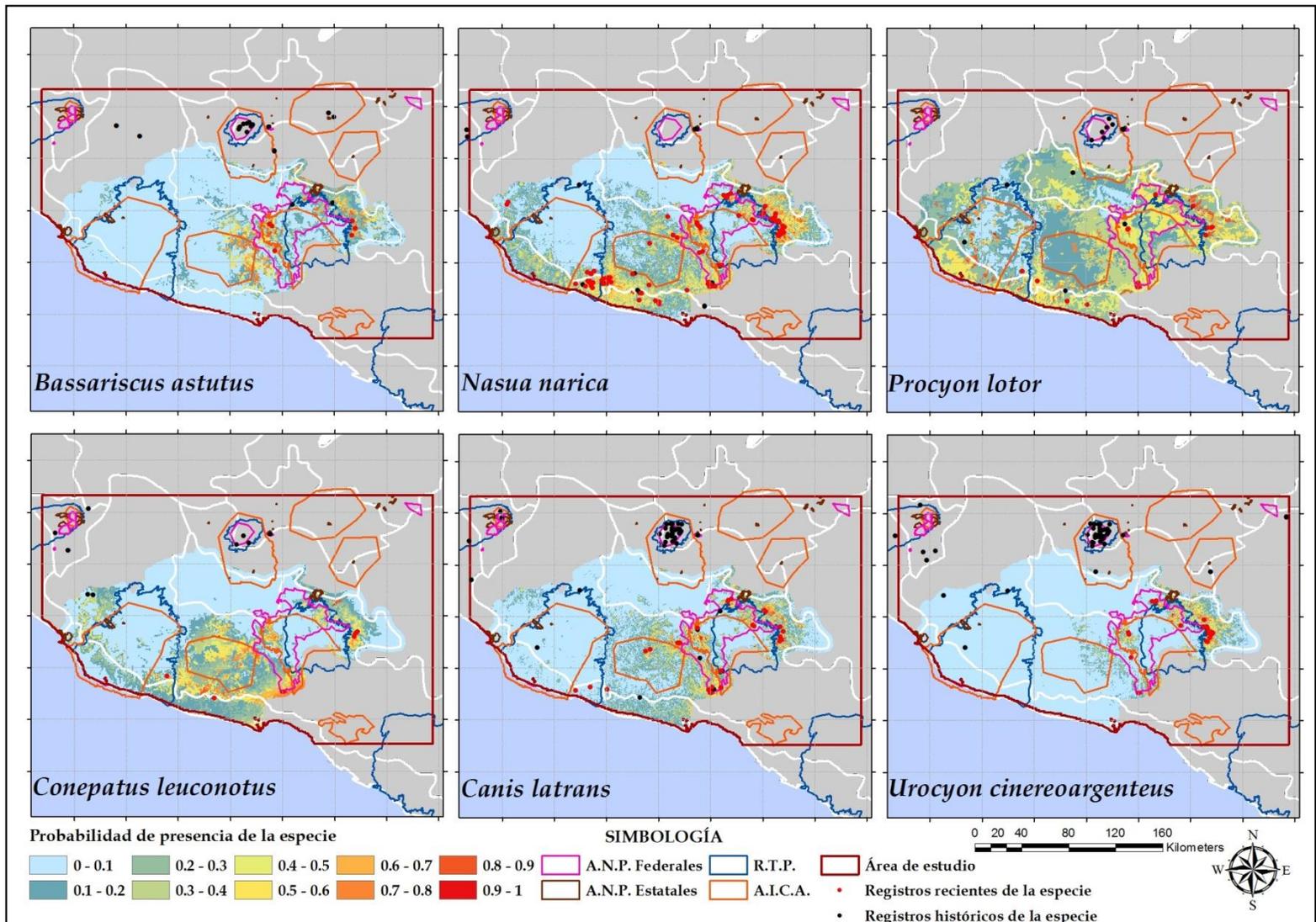


Figura 10. Modelos exploratorios de la distribución actual de especies de carnívoros en la región occidental del estado de Michoacán.

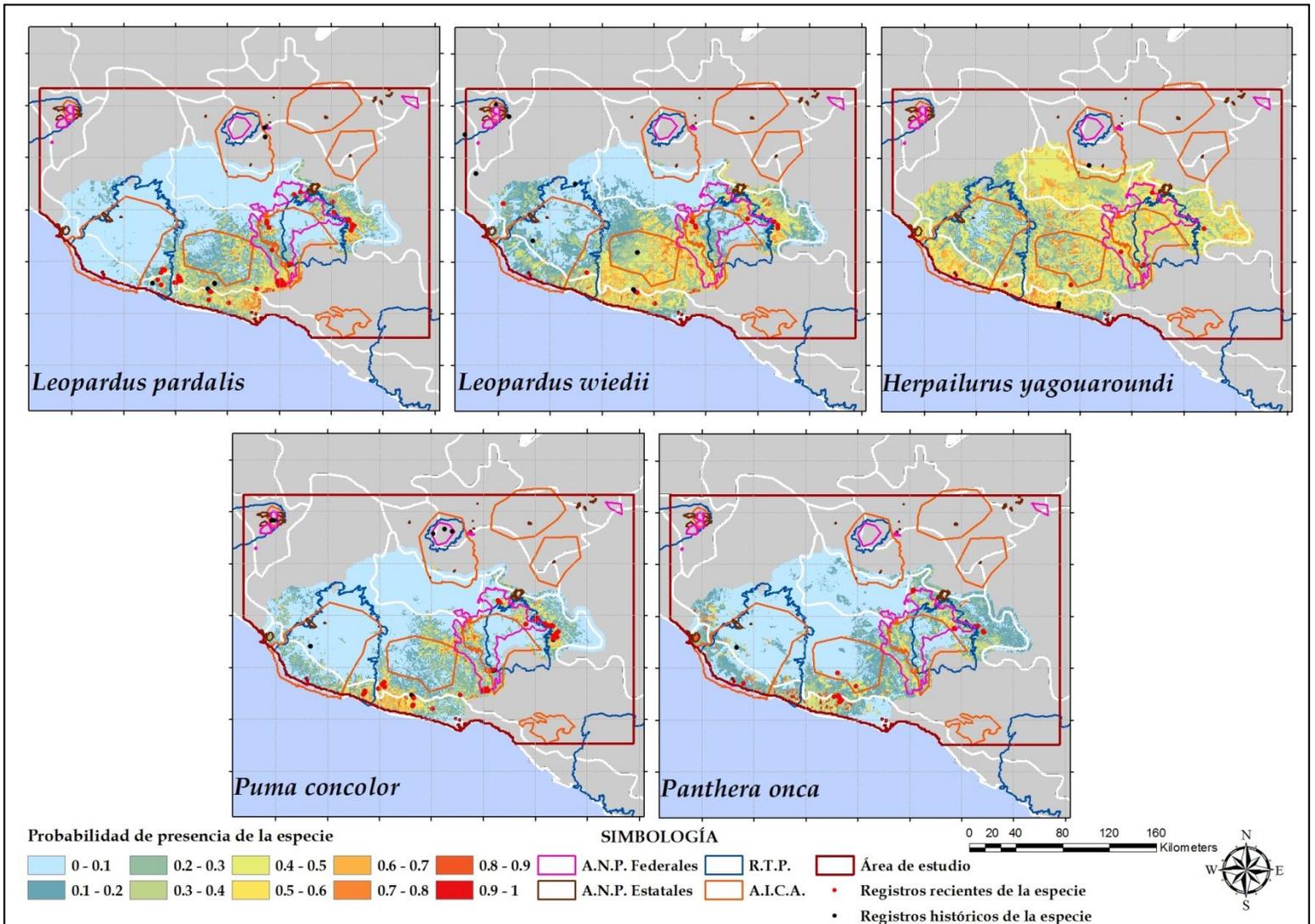


Figura 11. Modelos exploratorios de la distribución actual de especies de carnívoros en la región occidental del estado de Michoacán.

6.4.2. Análisis de asociaciones de hábitat.

A partir de la aplicación de Modelos Lineales Generalizados, mediante el uso del programa R (función GLM) se obtuvieron modelos de asociaciones de hábitat para cada especie, expresados en estimados de probabilidad de presencia de las especies, dentro de la región occidental de Michoacán. Las variables independientes consistieron en los tipos de vegetación y uso de suelo de la Serie V del INEGI (INEGI, 2014a; 2014b; variable categórica) y el índice de posición topográfica (TPI, variable numérica).

Los resultados obtenidos muestran que las áreas con las probabilidades más bajas o nulas de presencia de las 11 especies corresponden a zonas desprovistas de vegetación y áreas agrícolas. En los casos particulares de *Urocyon cinereoargenteus*, *Herpailurus yagouaroundi* y *Leopardus pardalis*, además de presentar las probabilidades de presencia más bajas en estos tipos de vegetación y uso de suelo, las presentan también en áreas de bosques templados;

y en el caso de *Conepatus leuconotus* y *Bassariscus astutus* en áreas de selva mediana subcaducifolia (Figs. 6, 12 y 13). Es importante mencionar que todos los modelos obtuvieron un valor de AUC ratio por encima de 1.2, lo cual nos indica que mostraron un buen desempeño.

Por otro lado, en el caso de *Urocyon cinereoargenteus*, *Leopardus pardalis* y *Nasua narica* las áreas con las probabilidades más altas de presencia corresponden casi exclusivamente a zonas de selva mediana subcaducifolia; en el caso de *Canis latrans*, *Leopardus wiedii* y *Procyon lotor* las áreas de mayor probabilidad de presencia se encuentran en zonas tanto de selva mediana subcaducifolia como de bosques templados; y en el caso de *Panthera onca* en zonas de selva mediana subcaducifolia y selva baja caducifolia.

Las zonas correspondientes exclusivamente a bosques templados, son las áreas de mayor probabilidad de presencia de *Conepatus leuconotus* y *Bassariscus astutus*, mientras que en el caso de *Herpailurus yagouaroundi* y *Puma concolor* las áreas de mayor probabilidad de presencia corresponden casi exclusivamente a zonas de selva baja caducifolia.

En cuanto a los resultados del modelo estadístico, se tiene que el TPI (valores numéricos) fue la variable que presentó una influencia significativa sobre la presencia de siete especies, las cuales corresponden a *Canis latrans* ($p= 0.065$), *Leopardus pardalis* ($p=0.018$), *Leopardus wiedii* ($p=0.052$), *Puma concolor* ($p=0.0012$), *Panthera onca* ($p=0.085$), *Nasua narica* ($p=0.0032$) y *Urocyon cinereoargenteus* ($p= 0.0016$). Esta última especie fue la única que presentó un valor de p reducido (0.092) también para la variable de tipos de vegetación y uso de suelo, correspondiente a la categoría 8 ("bosque de encino"); sin embargo ésta influye de manera negativa (Estimate = $-2.432e+00$), lo cual indicaría que a medida que nos alejamos de este tipo de vegetación la probabilidad de presencia de la especie aumentaría (Tabla 3).

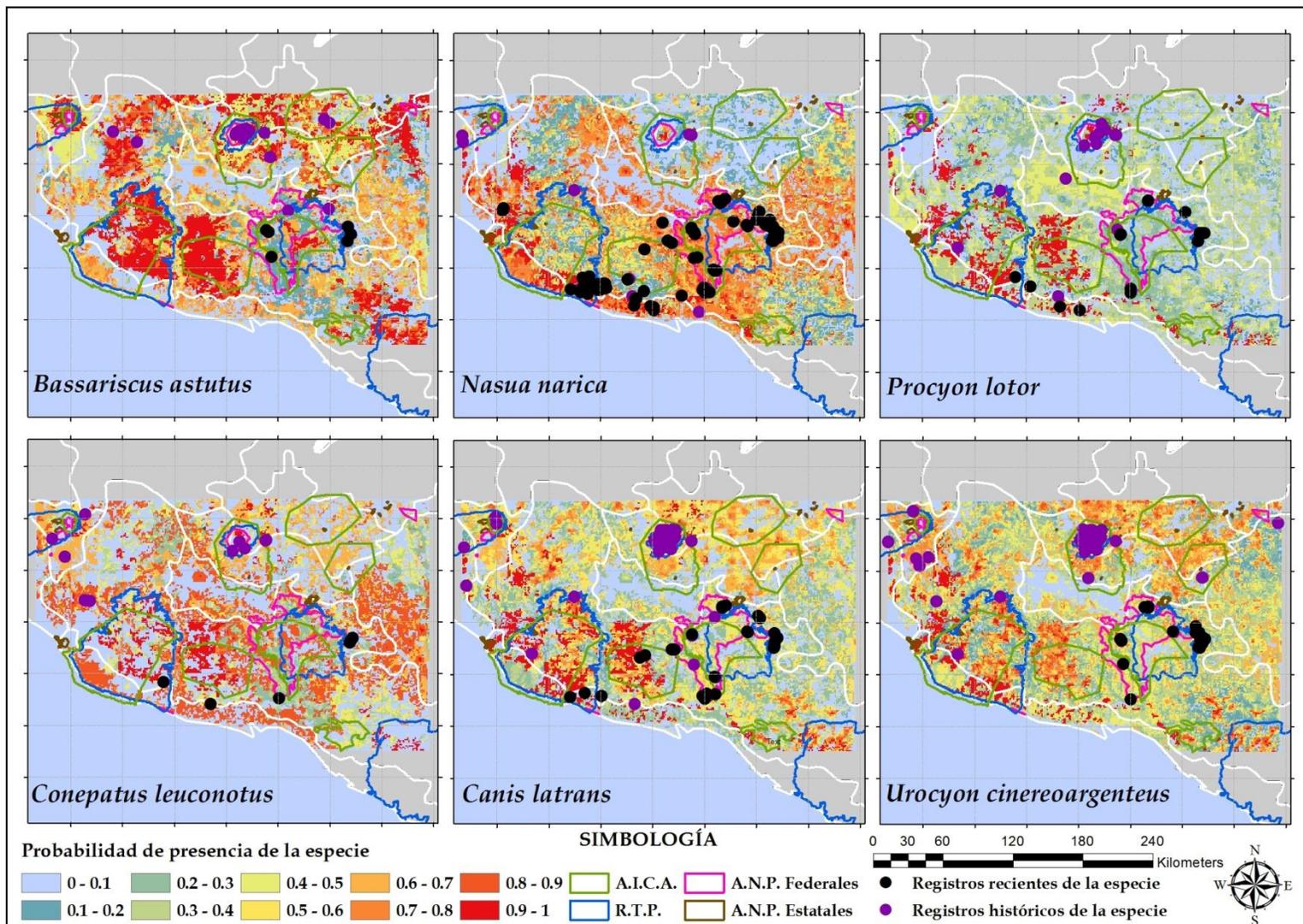


Figura 12. Modelos de probabilidad de asociaciones de hábitat de las especies de carnívoros en el occidente del estado de Michoacán.

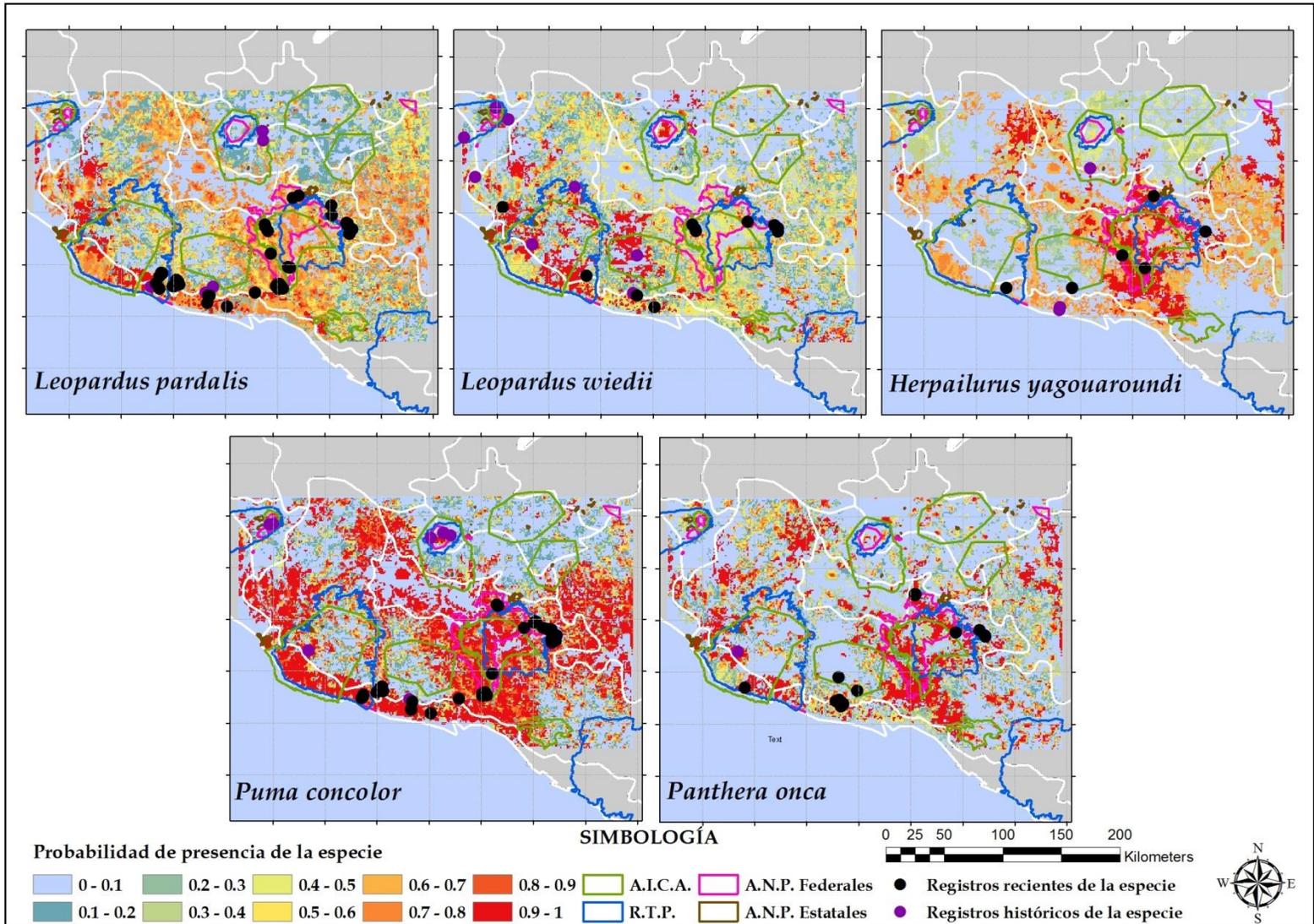


Figura 13. Modelos de probabilidad de asociaciones de hábitat de las especies de carnívoros en el occidente del estado de Michoacán.

6.5. Asociaciones de hábitat y modelos de distribución actual.

A partir de la suma ponderada realizada entre los modelos de distribución potencial y las asociaciones de hábitat, se obtuvieron modelos de distribución actual para cada una de las especies estudiadas en la región occidental del estado de Michoacán.

Siete de las 11 especies (*Urocyon cinereoargenteus*, *Herpailurus yagouaroundi*, *Leopardus pardalis*, *Panthera onca*, *Conepatus leuconotus*, *Nasua narica* y *Procyon lotor*) presentan una distribución actual casi exclusivamente en la región de la costa de Michoacán, correspondiente a la provincia fisiográfica Costas del Sur, en los municipios de Aquila, Coahuayana, Chinicuila, Lázaro Cárdenas, Coalcomán de Vázquez Pallares y Arteaga, los cuales corresponden espacialmente con zonas de selva baja caducifolia y selva mediada

subcaducifolia. Con respecto a las ANP del área de estudio, la distribución actual de tales especies corresponde con la Reserva Patrimonial “Lagunas Costeras y Sarranías Aledañas de la Costa Norte de Michoacán”, los Santuarios “Playa Maruata y Colola” y “Playa Mexiquillo”, con la RTP “Sierra de Coalcomán”, el AICA “Coalcomán-Pomaro”, el polígono 6 (“Aquila-Coalcomán-Coahuayana”) de las APC y las áreas 01 y 02 del SACEM (Figs. 14 y 15).

Las cuatro especies restantes (*Canis latrans*, *Leopardus wiedii*, *Puma concolor* y *Bassariscus astutus*) presentan una distribución actual que se extiende desde la región costera y hacia el centro del estado, en las provincias fisiográficas Costas del Sur y Cordillera Costera del Sur, abarcando zonas de bosques templados, principalmente (Figs. 14 y 15).

A pesar de que se tienen registros recientes dentro de los límites de la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo” de todas las especies, solo *Panthera onca* y *Puma concolor* presentan áreas de distribución actual con probabilidades altas de presencia dentro de la misma (Fig. 15). Por otro lado, la mayoría de las especies presentan porciones de zonas con alta probabilidad de presencia que corresponden espacialmente con las ANP Santuario “Playa Maruata y Colola”, Santuario “Playa Mexiquillo”, Parque Nacional “El Barrancón de la Guacamayas” y las Reservas Patrimoniales “Lagunas Costeras y Serranías Aledañas de la Costa Norte de Michoacán” y “Volcán El Jorullo”; con la RTP “Sierra de Coalcomán” y con el AICA “Coalcomán-Pomaro”.

Por su parte, la especie que presenta la predicción de distribución actual más reducida es *Bassariscus astutus*, encontrando pequeñas áreas de alta probabilidad de presencia en la provincia fisiográfica Cordillera Costera del Sur, en los municipios de Coalcomán de Vázquez Pallares y Aguililla (Fig. 14a). Por otra parte, *Puma concolor* fue la especie con la predicción de distribución actual más amplia, encontrando correspondencia espacial con la mayoría de las ANP, RTP y AICA localizadas en la región occidental del estado de Michoacán, desde la costa y hacia la región central de la entidad (Fig. 15d).

Por último, es importante mencionar que en el caso de la región delimitada por la provincia fisiográfica Depresión del Tepalcatepec, no encontramos áreas con altas probabilidades de presencia para la mayoría de las especies; la mayor parte de la extensión geográfica de esta región se encuentra cubierta por zonas dedicadas al uso agrícola (Fig. 6).

A continuación, se presenta un análisis más detallado sobre las predicciones de distribución actual de cada una de las especies estudiadas.

- *Canis latrans* Say, 1823.

El modelo de distribución actual del coyote muestra principalmente dos áreas geográficas con las probabilidades de presencia más altas, mismas que se encuentran dentro de la provincia fisiográfica Cordillera Costera del Sur, en los municipios Coalcomán de Vázquez

Pallares y Aguililla que corresponden a zonas de bosques templados, principalmente (Fig. 14e).

A pesar de que 11 de los 25 registros recientes de la especie se localizan dentro de la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo”, se observa que las áreas con las probabilidades más altas se encuentran fuera de los límites de alguna área protegida. Las áreas de mayor probabilidad de presencia de la especie corresponden espacialmente con el Área de Protección de Flora y Fauna “Pico de Tancítaro”, las RTP “Coalcomán” y “Tancítaro”, y con las AICA “Coalcomán-Pomaro” y “Tancítaro”, así como con el área 03 del SACEM.

- ***Urocyon cinereoargenteus* (Schreber, 1775).**

Las áreas de mayor probabilidad de presencia predicha de la zorra gris, se ubican en la provincia fisiográfica Costas del Sur, en los municipios de Aquila, Coahuayana, Chinicuila y Lázaro Cárdenas, donde encontramos selva baja caducifolia y selva mediana subcaducifolia (Fig. 14f).

Algunas porciones de estas áreas corresponden geográficamente con el Santuario “Playa Maruata y Colola” y con la Reserva Patrimonial “Lagunas Costeras y Serranías Aledañas de la Costa Norte de Michoacán”. Sin embargo, aunque siete de los 20 registros recientes se encuentran dentro de la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo”, la mayor proporción de estas áreas, se encuentran fuera de alguna área protegida y dentro de los límites de la RTP “Sierra de Coalcomán”, el AICA “Coalcomán-Pomaro”, el área 02 del SACEM y el polígono 6 (“Aquila-Coalcomán-Coahuayana”) de las APC.

- ***Herpailurus yagouaroundi* (Lacépède, 1809).**

En el caso del jaguaroundi, el modelo muestra que es más probable que la especie esté presente actualmente en áreas costeras del estado de Michoacán, dentro de la provincia fisiográfica Costas del Sur y principalmente en el municipio de Aquila en zonas de selva baja caducifolia.

Una porción de esta predicción corresponde espacialmente con el Santuario “Playa de Maruata y Colola”; sin embargo, la mayor parte de estas áreas se encuentra fuera de los límites de alguna área protegida y coinciden con la RTP “Sierra de Coalcomán”, el AICA “Coalcomán-Pomaro”, el área 02 del SACEM y el polígono 6 (“Aquila-Coalcomán-Coahuayana”) de las APC (Fig. 15c).

En cuanto a los registros de la especie, tres de los seis recientes se encuentran dentro de la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo”.

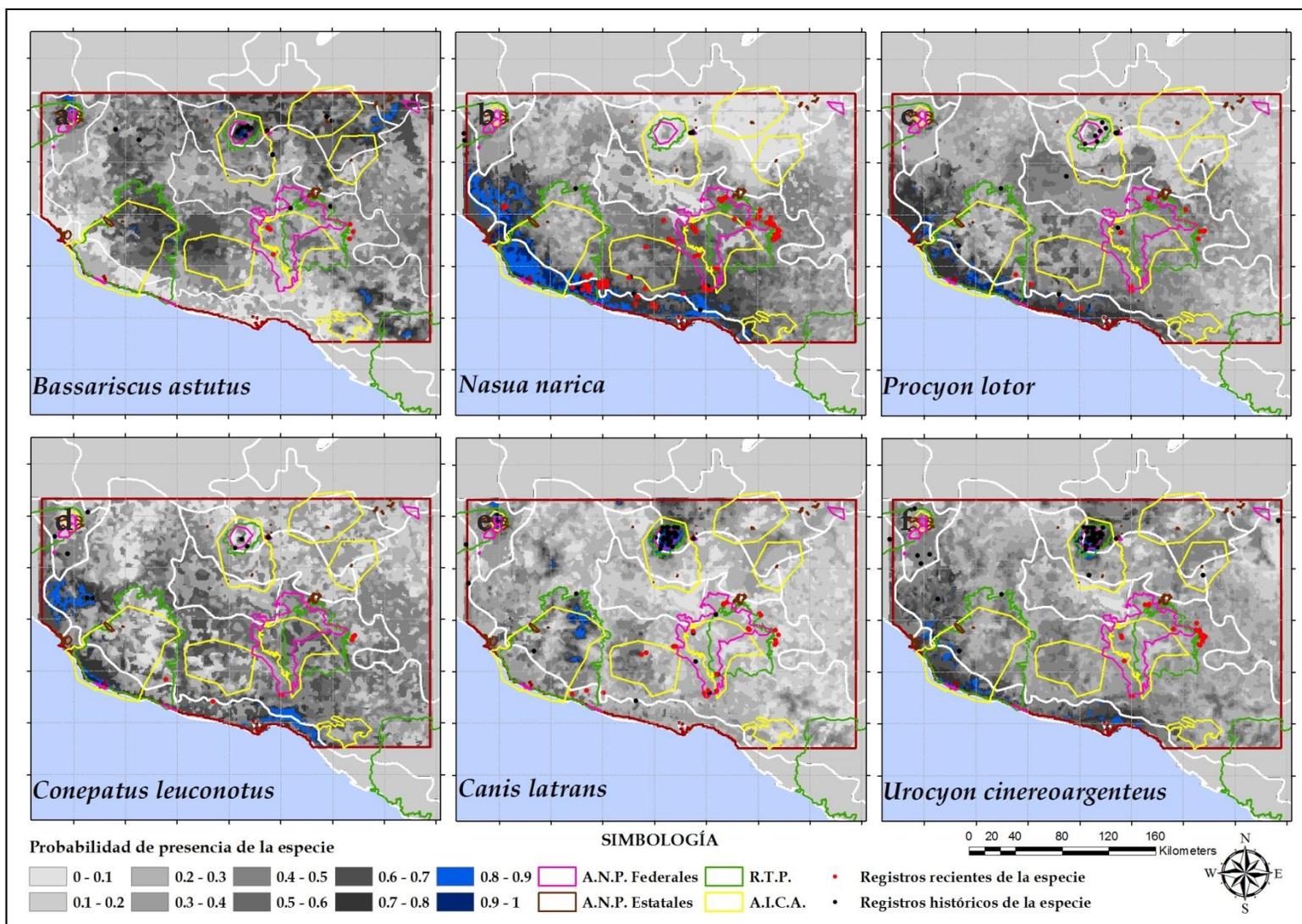


Figura 14. Modelos de la distribución actual de especies de carnívoros en el occidente de Michoacán, obtenidos a partir de la suma ponderada entre modelos de distribución potencial y modelos sobre las asociaciones de hábitat de las especies.

- *Leopardus pardalis* (Linnaeus, 1758).

En el modelo de distribución actual del ocelote se observa que las áreas de mayor probabilidad de presencia de la especie en el estado de Michoacán se localizan, principalmente, a lo largo de la provincia fisiográfica Costas del Sur, en los municipios de Coahuayana, Aquila, Chinicuila y Lázaro Cárdenas, en zonas de selva baja caducifolia y selva mediana subcaducifolia.

Porciones de estas áreas corresponden con los Santuarios “Playa Maruata y Colola” y “Playa Mexiquillo” y la Reserva Patrimonial “Lagunas Costeras y Serranías Aledañas de la Costa Norte de Michoacán”, sin embargo, la mayor parte de las áreas con probabilidades altas de presencia actual de la especie se encuentran fuera de alguna área protegida, ya sea

federal o estatal (Fig. 15a). En cuanto a las áreas propuestas como importantes para la conservación, las áreas predichas con alta probabilidad corresponden solo con la RTP “Sierra de Coalcomán”, el AICA “Coalcomán-Pomaro”, el polígono 6 (“Aquila-Coalcomán-Coahuayana”) de las APC y el área 02 del SACEM.

En cuanto a la localización de los registros de la especie, tenemos que 16 de los 43 recientes se encuentran dentro de la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo”.

- ***Leopardus wiedii* (Schinz, 1821).**

El modelo de distribución actual del tigrillo muestra que las áreas de mayor probabilidad de presencia se localizan principalmente, a lo largo de las provincias fisiográficas Cordillera Costera del Sur y Costas del Sur, en los municipios de Chinicuila, Coahuayana, Aquila, Coalcomán de Vázquez Pallares, Aguililla, Tumbiscatío, Arteaga y Lázaro Cárdenas, en áreas de selva mediana subcaducifolia, principalmente, aunque también ocupa áreas de bosques templados y selva baja caducifolia.

Porciones de estas áreas se encuentran dentro del Santuario “Playa Muruata y Colola”, la Reserva Patrimonial “Lagunas Costeras y Serranías Aledañas de la Costa Norte de Michoacán” y el Parque Natural “El Barrancón de las Guacamayas” (ANP estatales), sin embargo, la mayor proporción de estas no corresponde con ninguna área protegida. En cuanto a las diversas propuestas de áreas para la conservación, las áreas de mayor probabilidad de presencia de la especie corresponden con la RTP “Sierra de Coalcomán”, las AICA “Coalcomán-Pomaro” y “Tumbiscatío”, las áreas 01, 02, 03 y 04 del SACEM y los polígonos 6 (“Aquila-Coalcomán-Coahuayana”) y 7 (“Arteaga-Tumbiscatío”) de las APC (Fig. 15b). Cuatro de los 11 registros recientes de la especie se localizan dentro de la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo”.

- ***Puma concolor* (Linnaeus, 1771).**

El puma presenta la distribución actual más amplia de las especies estudiadas. En el caso del estado de Michoacán, el modelo muestra que existe una gran porción de áreas con probabilidades altas de presencia, las cuales se distribuyen en buena parte de la provincia fisiográfica Costas del Sur, seguida de la provincia Cordillera Costera del Sur, principalmente. En cuanto a los tipos de vegetación, encontramos estas áreas en zonas de selva baja caducifolia y selva mediana subcaducifolia y en menor proporción en zonas de bosques templados.

Al ser una distribución amplia, existen porciones que corresponden espacialmente con varias áreas protegidas. Sin embargo, de las porciones que corresponden con alguna ANP, la de la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo” es la de mayor extensión. En esta área encontramos 12 de los 33 registros recientes de la especie.

Otras áreas protegidas que corresponden con pequeñas áreas de distribución actual con probabilidades altas de presencia, son las Reservas Patrimoniales “Lagunas Costeras y Serranías Aledañas de la Costa Norte de Michoacán” y “Volcán El Jorullo”, el Parque Nacional “El Barrancón de las Guacamayas” y los Santuarios “Playa de Maruata y Colola” y “Playa Mexiquillo”.

En cuanto a las propuestas de áreas importantes para la conservación, la distribución actual de la especie presenta correspondencia con seis de las ocho AICA, las tres RTP, los polígonos 5, 6, 7 y 8 de las APC y las Áreas 01, 02, 03, 04, 05, 07 y 08 del SACEM (Fig. 15d).

- ***Panthera onca* (Linnaeus, 1758).**

En el caso del jaguar, la mayoría de las áreas con las probabilidades de presencia más altas, se observan principalmente en las provincias fisiográficas Costas del Sur y Cordillera Costera del Sur, en los municipios de Coahuayana, Chinicuila, Coalcomán de Vázquez Pallares, Aquila, Arteaga, Lázaro Cárdenas, y en menor proporción Aguililla y Tumbiscatío, en zonas de selva baja caducifolia y selva mediana subcaducifolia.

Porciones de esta predicción se observan dentro de la Reserva Patrimonial “Lagunas Costeras y Serranías Aledañas de la Costa Norte de Michoacán”, Parque Natural “El Barrancón de las Guacamayas” y la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo”, dentro de la cual se localizan cuatro de los 18 registros recientes.

En cuanto a las áreas propuestas como importantes para la conservación la RTP “Sierra de Coalcomán”, el AICA “Coalcomán-Pomaro”, las áreas 01, 02, 03 y 04 del SACEM y el polígono 6 de las APC coinciden con las áreas de distribución actual del jaguar (Fig. 15e).

- ***Conepatus leuconotus* (Lichtenstein, 1832).**

El modelo de distribución actual del zorrillo de espalda blanca muestra reducidas áreas de alta probabilidad de presencia. Éstas se encuentran principalmente, dentro de la provincia fisiográfica Costas del Sur en el municipio de Aquila, en zonas de selva baja caducifolia; aquí una porción de estas áreas corresponde espacialmente con el Santuario “Playa Maruata y Colola”. Solamente uno de los seis registros recientes de la especie se encuentra dentro de la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo”.

La RTP “Sierra de Coalcomán”, el AICA “Coalcomán-Pomaro” y el polígono 6 de las APC son las propuestas de áreas importantes para la conservación que coinciden espacialmente con la distribución actual de este zorrillo (Fig. 14d).

- ***Bassariscus astutus* (Lichtenstein, 1830).**

En el modelo de distribución actual del cacomixtle se observa que las áreas de mayor probabilidad de presencia son muy reducidas. En el área de interés se observan algunas de

estas áreas en la provincia fisiográfica Cordillera Costera del Sur, en los municipios de Coalcomán de Vázquez Pallares y Aguililla, dentro de zonas de bosques templados, principalmente.

Solamente tenemos seis registros recientes de la especie, de los cuales, tres se localizan dentro de la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo”. La predicción muestra que solo una pequeña fracción de la distribución actual de la especie está dentro de los límites del Área de Protección de Flora y Fauna “Pico de Tancítaro” que a su vez corresponde con la RTP y el AICA “Tancítaro”. Respecto a las pequeñas áreas de distribución actual de la especie dentro de la provincia fisiográfica Cordillera Costera del Sur, éstas se ubican dentro de la RTP “Sierra de Coalcomán”, el AICA “Coalcomán-Pomaro” y el polígono 6 de las APC (Fig. 14a).

- *Nasua narica* (Linnaeus, 1766).

El modelo de distribución actual del coatí presenta áreas de mayor probabilidad de presencia, principalmente en la zona costera del estado de Michoacán; éstas se extienden a lo largo de la provincia fisiográfica Costas del Sur, en los municipios Coahuayana, Aquila y Lázaro Cárdenas, y en menor proporción en la provincia fisiográfica Cordillera Costera del Sur, en los municipios de Chinicuila y Arteaga, en zonas de selva baja caducifolia y selva mediana subcaducifolia.

Porciones de estas áreas corresponden geográficamente con la Reserva Patrimonial “Lagunas Costeras y Serranías Aledañas de la Costa Norte de Michoacán” y con los Santuarios “Playa Maruata y Colola” y “Playa Mexiquillo”. Por su parte, 26 de los 81 registros recientes se localizan dentro de la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo”.

La RTP “Sierra de Coalcomán”, el AICA “Coalcomán-Pomaro” y el polígono 6 de las APC son las áreas propuestas como importantes para la conservación que coinciden espacialmente con la distribución actual de la especie (Fig. 14b).

- *Procyon lotor* (Linnaeus, 1758).

Las áreas con las probabilidades de presencia más altas en el modelo de distribución actual del mapache se presentan, principalmente dentro de la provincia fisiográfica Costas del Sur, en los municipios de Coahuayana, Aquila y Lázaro Cárdenas, dentro de zonas de selva mediana subcaducifolia. Solamente una pequeña porción de estas áreas corresponde con la Reserva Patrimonial “Lagunas Costeras y Serranías Aledañas de la Costa Norte de Michoacán”.

En cuanto a la localización de los registros recientes de la especie, cinco de 14 están dentro de los límites de la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo”. Por su parte, la RTP “Sierra de Coalcomán”, el AICA “Coalcomán-Pomaro” y el polígono 6 de las APC contienen dentro de sus límites áreas de la distribución actual de esta especie (Fig. 14c).

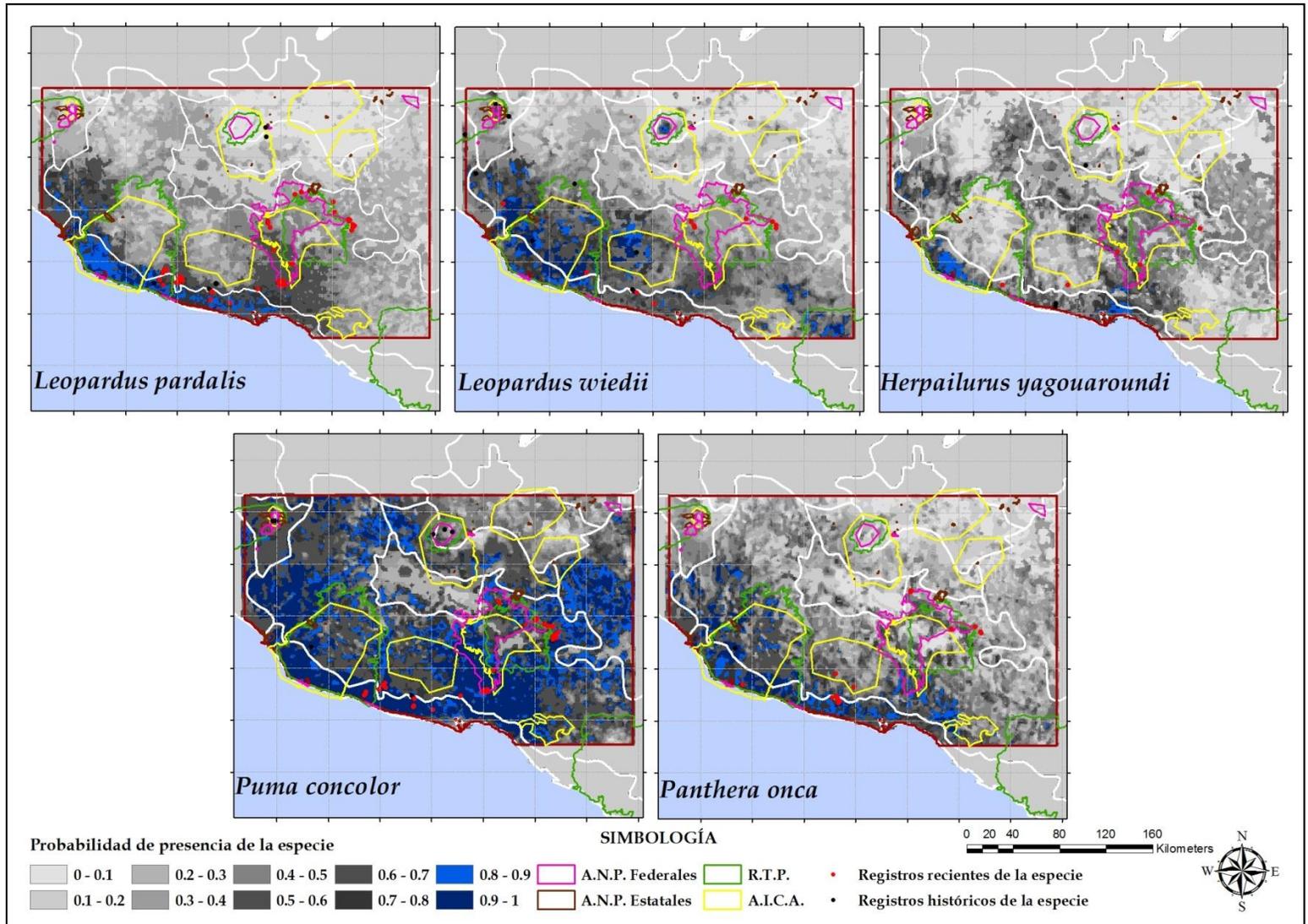


Figura 15. Modelos de la distribución actual de especies de carnívoros en el occidente de Michoacán, obtenidos a partir de la suma ponderada entre modelos de distribución potencial y modelos sobre las asociaciones de hábitat de las especies.

6.6. Validación de los modelos.

A partir del análisis de la curva ROC parcial (Receiver Operating Characteristic; Peterson *et al.*, 2008), para cada modelo generado en este trabajo, se obtuvieron estimaciones del valor parcial de la razón del área bajo la curva (AUC, por sus siglas en inglés). Todas las estimaciones realizadas presentaron un valor de AUC ratio por encima de 1.2, lo cual

indica que todos los modelos presentaron un buen desempeño; el criterio de la prueba indica que si dicho valor se aleja de uno significa que el modelo mejora con respecto a lo esperado por un modelo aleatorio.

6.7. Análisis de cambio de cobertura y uso de suelo.

A partir del análisis de modelado de cambios de la cobertura del terreno para la región occidental de Michoacán, se obtuvo un modelo de deforestación, el cual expresa estimados de probabilidades de transición de áreas de bosques y selvas conservadas a áreas agrícolas y de pastizales introducidos.

Teniendo en cuenta que este modelo presenta estimados de vulnerabilidad a la deforestación que van originalmente de cero a uno, se decidió invertir dichos valores, por lo que valores elevados representan probabilidades bajas en el avance de la deforestación y viceversa.

Se puede observar que las áreas con los valores más elevados en el modelo corresponden principalmente a zonas de bosques templados, mientras que los valores más bajos corresponden, principalmente con zonas de selvas tropicales. Lo anterior, nos indicaría, por un lado, que los bosques templados del occidente de Michoacán han presentado un ritmo de degradación o deforestación menos acelerado en el periodo comprendido entre 1993 y 2013 que los ecosistemas tropicales típicos del occidente mexicano, por lo que se puede decir que estos últimos presentan un mayor grado de vulnerabilidad a la deforestación actualmente (Fig. 8).

6.8. Identificación de áreas importantes para la conservación.

Como resultado de la sobreposición (suma) de los modelos de distribución actual, se obtuvo un mapa de riqueza para la región occidental del estado de Michoacán (Fig. 9). La riqueza de especies en este mapa se refiere solo a las 11 especies objetivo de este trabajo, por lo que áreas con la mayor riqueza de especies corresponderían a áreas con presencia de 10 a 11 especies de mamíferos carnívoros (Fig. 9).

El mapa muestra que las áreas con el mayor número de especies actualmente para la región occidental del estado, se distribuyen principalmente en la zona costera de Michoacán correspondiente a la provincia fisiográfica Costas del Sur y en los municipios de Coahuayana, Aquila y Lázaro Cárdenas, aunque podemos encontrar áreas de este tipo, esparcidas dentro de las dos provincias fisiográficas restantes.

Dentro de la provincia fisiográfica Cordillera Costera del Sur encontramos que su mayor parte, presenta áreas de riqueza que van de siete a nueve especies, seguido de áreas con presencia de cuatro a seis especies. Por su parte, la provincia fisiográfica Depresión del

Tepalcatepec presenta, en la mayor parte de su extensión, áreas de poca riqueza de especies (1-3) (Fig. 9).

En lo que respecta a la correspondencia entre los valores de riqueza y las ANP en el área de estudio, entre las áreas protegidas de tipo estatal, solamente la Reserva Patrimonial “Lagunas Costeras y Serranías Aledañas de la Costa Norte de Michoacán”, se localiza en áreas de alta riqueza de especies, dentro de la provincia fisiográfica Costas del Sur. Dentro de la provincia fisiográfica Cordillera Costera del Sur, se localizan tres áreas protegidas de tipo estatal, mismas que no corresponden espacialmente con las áreas de valores más altos de riqueza; sin embargo, en el Parque Natural “El Barrancón de las Guacamayas” encontramos valores de riqueza que van de siete a nueve especies. Por último, dentro de la provincia fisiográfica Depresión del Tepalcatepec se localiza solo un área protegida de tipo estatal, la cual no presenta correspondencia con valores altos de riqueza de especies.

En cuanto a las áreas protegidas de tipo federal, solamente se localizan tres, dos Santuarios en la provincia fisiográfica Costas del Sur que corresponden con áreas de alta riqueza de especies y la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo” que se localiza, en gran medida, dentro de la provincia fisiográfica Cordillera Costera del Sur. Ésta área protegida es la de mayor extensión geográfica y presenta correspondencia, principalmente con zonas de valores de riqueza de siete a nueve especies, y en menor proporción áreas con los valores de riqueza más altos.

En cuanto a la identificación de áreas importantes para la conservación, mediante el uso del software Zonation se obtuvo un total de 18 modelos de priorización de áreas para la conservación, ya que se realizaron diversas pruebas basadas en la diferencia entre el uso de dos reglas de eliminación o remoción de celdas, dos métodos de agregación, inclusión y no inclusión de pesos para cada especie dependiendo de su estatus de conservación actual e inclusión y no inclusión del modelo de deforestación como un elemento más de biodiversidad.

Con base en el análisis de cada modelo, se puede decir de manera general, que en cada uno la mayor parte de las áreas identificadas como prioritarias para la conservación se encuentran en mayor proporción en la región costera del estado de Michoacán. En la mayoría de los modelos se observa una agrupación de áreas prioritarias a lo largo de toda la costa; sin embargo en el caso de la mayoría de los modelos generados con la regla CAZ (zonificación de áreas nucleares), se identifica un conjunto de pequeñas áreas prioritarias hacia el centro del estado o bien hacia el norte del área de estudio.

Se decidió considerar como áreas prioritarias para la conservación a aquellas que en su conjunto abarcaran el 15% de la extensión geográfica total del área de estudio; estas áreas se encuentran coloreadas de amarillo, rosa, guinda y rojo. Si quisiéramos conservar, por ejemplo, el 10% del total del paisaje, tendríamos que elegir aquellas áreas coloreadas de

rosa, guinda y rojo; en el caso de querer conservar el 5% del paisaje tendríamos que elegir las zonas guindas y rojas, y en el caso de estar interesados en solo el 2% se elegirían zonas exclusivamente de color rojo (Figs. 16 - 18).

Con respecto a la aplicación de los dos diferentes métodos de agregación, éstos producen resultados un poco distintos en la homogeneización de las áreas identificadas como prioritarias. Se puede decir de manera general que BLP (Penalización por longitud del límite) tiende a generalizar e incrementar un poco el tamaño de las áreas prioritarias, reduciendo así el grado de fragmentación, independientemente de la regla de eliminación usada. Por otra parte, el uso del método de agregación Smoothing (distribución suavizada) parece no presentar grandes cambios en cuanto al grado de fragmentación de las áreas prioritarias con respecto a los modelos generados sin incluir algún método de agregación (Figs. 16 - 18).

Los modelos generados agregando diferentes pesos a las especies estudiadas dependiendo de su estatus de conservación, presentan un cambio notable en la continuidad de las áreas identificadas como prioritarias para la conservación. Ponderando cada especie, se genera un continuo en la región costera del área de estudio, independientemente del uso de los dos diferentes métodos de agregación y reduciendo la extensión de áreas prioritarias identificadas al norte del área del estudio con la regla de remoción CAZ (Figs. 17 y 18).

Cuando se incluye en el análisis el elemento “deforestación” se observan pequeños cambios en cuanto a la continuidad entre las áreas identificadas como prioritarias; sin embargo el cambio más drástico se presentó en el modelo generado con la regla de remoción CAZ, pues se observa la aparición de un conjunto de áreas prioritarias en la porción noroeste del área de estudio (Fig. 18).

A pesar de las variaciones anteriores, se puede observar que los diversos modelos obtenidos presentan un patrón similar, que es la concentración de áreas prioritarias para la conservación en la región costera del área de estudio, lo cual coincide con el modelo de riqueza de especies (Figs. 9, 16 - 18). Por otro lado, se puede decir también que la mayoría de las áreas identificadas como importantes para la conservación se encuentran, en su mayoría, en zonas correspondientes a ecosistemas tropicales, mismos que presentan un mayor grado de vulnerabilidad a procesos de fragmentación y deforestación (Figs. 6 y 8).

Porciones significativas de la RTP “Sierra de Coalcomán”, el AICA “Coalcomán-Pomaro”, el polígono 6 de las APC, las áreas 01 y 02 del SACEM (propuestas de áreas prioritarias), los Santuarios “Playa de Maruata y Colola” y “Playa Mexiquillo” (ANP federales) y la Reserva Patrimonial “Lagunas Costeras y Serranías Aledañas de la Costa Norte de Michoacán” (ANP estatal) presentan una coincidencia espacial con áreas identificadas como importantes en los 18 modelos de priorización obtenidos en este trabajo. Por su parte, la porción sur de la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo”, presenta en todos

los modelos, correspondencia espacial con áreas identificadas como importantes (Figs. 16 – 18).

Otras ANP como el Área de Protección de Flora y Fauna Silvestres “Pico de Tancítaro”, la Zona de Protección Forestal y Refugio de Fauna Silvestre “El Jabalí”, el Parque Nacional “Volcán Nevado de Colima”, el Área de Protección de Recursos Naturales “Las Huertas” (ANP federales), el Parque Estatal “Bosque Mesófilo Nevado de Colima” y la RTP y AICA “Tancítaro”, presentan una correspondencia espacial con zonas identificadas como importantes, en nuestro ejercicio de priorización, solo con los mapas generados con la regla de eliminación CAZ (CAZ, CAZ-BLP y CAZ-Smoothing; Fig. 18).

6.9. Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad terrestre de CONABIO (análisis complementario).

Se identificaron 54 hexágonos correspondientes a sitios prioritarios para la conservación terrestre de CONABIO dentro del área de estudio, de los cuales 10 son considerados de alta prioridad y seis de extrema prioridad. Por lo menos ocho hexágonos de alta y extrema prioridad, se distribuyen principalmente, a lo largo de la costa del estado de Michoacán, al igual que las áreas identificadas como importantes para la conservación en el presente estudio (Fig. 17).

Al realizar la sobre posición de los 18 modelos de priorización obtenidos en este estudio, se observa un patrón espacial muy similar de correspondencia entre las áreas identificadas como importantes para la conservación y los ocho sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad terrestre de alta y extrema prioridad.

La mayoría de estos últimos sitios, contienen áreas con valores altos de importancia. Por ejemplo, en cinco de los ocho polígonos, se encuentran áreas con valores más altos en importancia para la conservación (i.e., priorización) y que corresponden del 2% al 15% de los paisajes analizados en el área de estudio (Fig. 17).

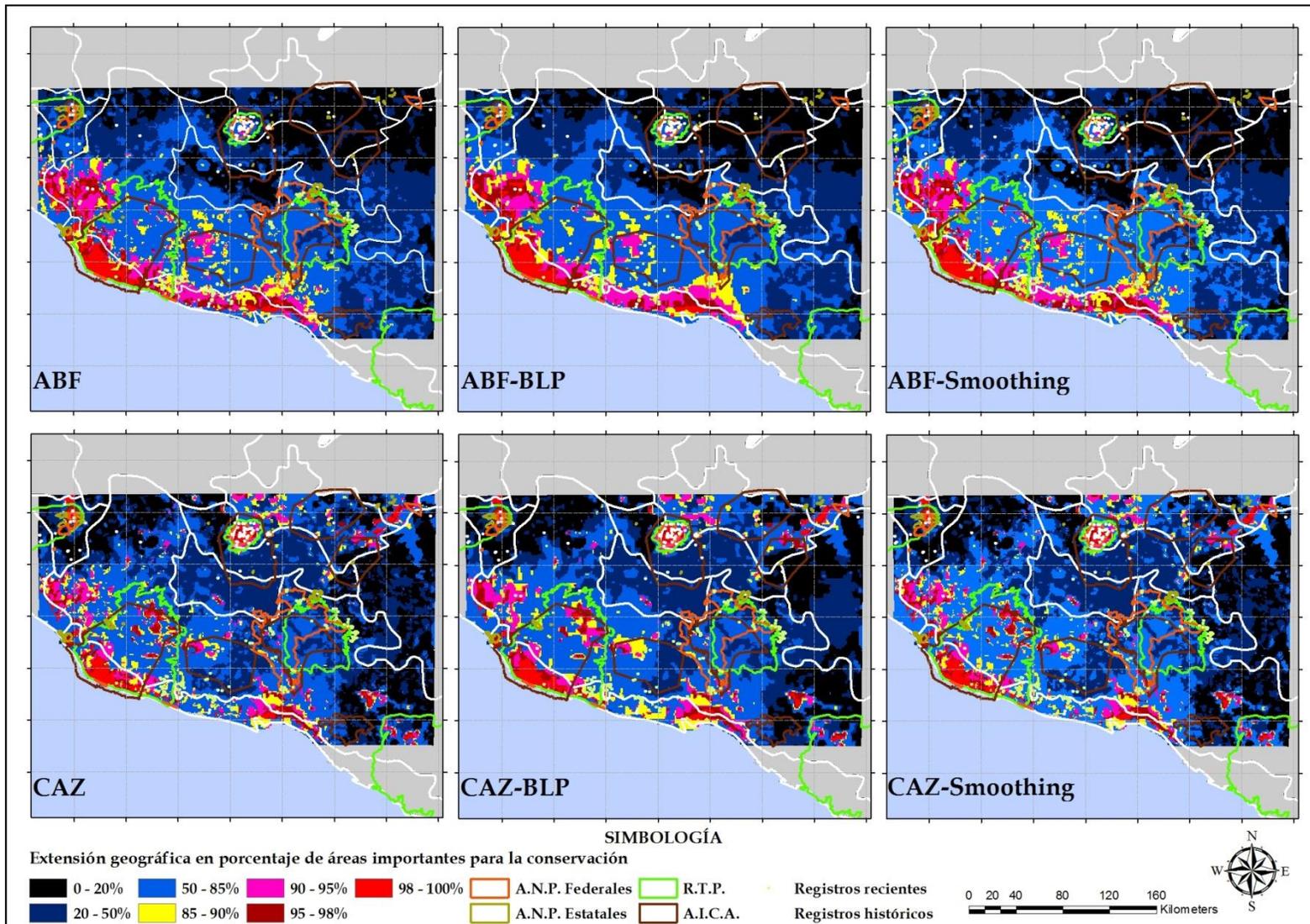


Figura 16. Modelos de priorización de áreas importantes para la conservación en el occidente del estado de Michoacán, obtenidos con el software Zonation a partir de modelos de distribución actual de especies de carnívoros. (Reglas de priorización de áreas: ABF, por sus siglas en inglés = función de beneficio aditivo; CAZ, por sus siglas en inglés = zonificación de áreas nucleares. Métodos de agregación de áreas: BLP, por sus siglas en inglés = función de beneficio aditivo; Smoothing = Distribución suavizada).

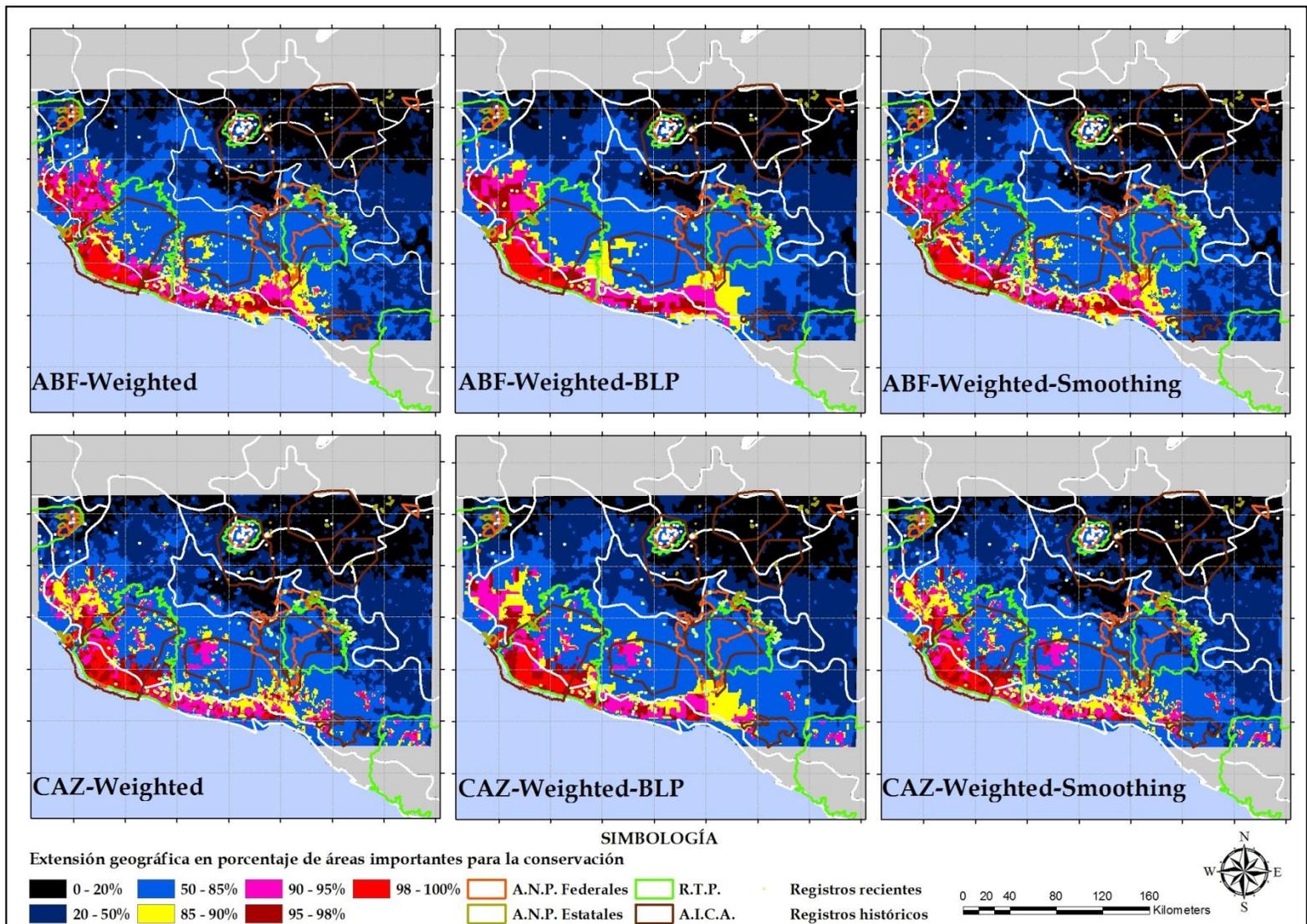


Figura 17. Modelos de priorización de áreas importantes para la conservación en el occidente del estado de Michoacán, obtenidos con el software Zonation a partir de modelos de distribución actual de especies de carnívoros. (Reglas de priorización de áreas: ABF, por sus siglas en inglés = función de beneficio aditivo; CAZ, por sus siglas en inglés = zonificación de áreas nucleares. Métodos de agregación de áreas: BLP, por sus siglas en inglés = función de beneficio aditivo; Smoothing = Distribución suavizada. Weighted = pesos de las especies con base en su estado de conservación).

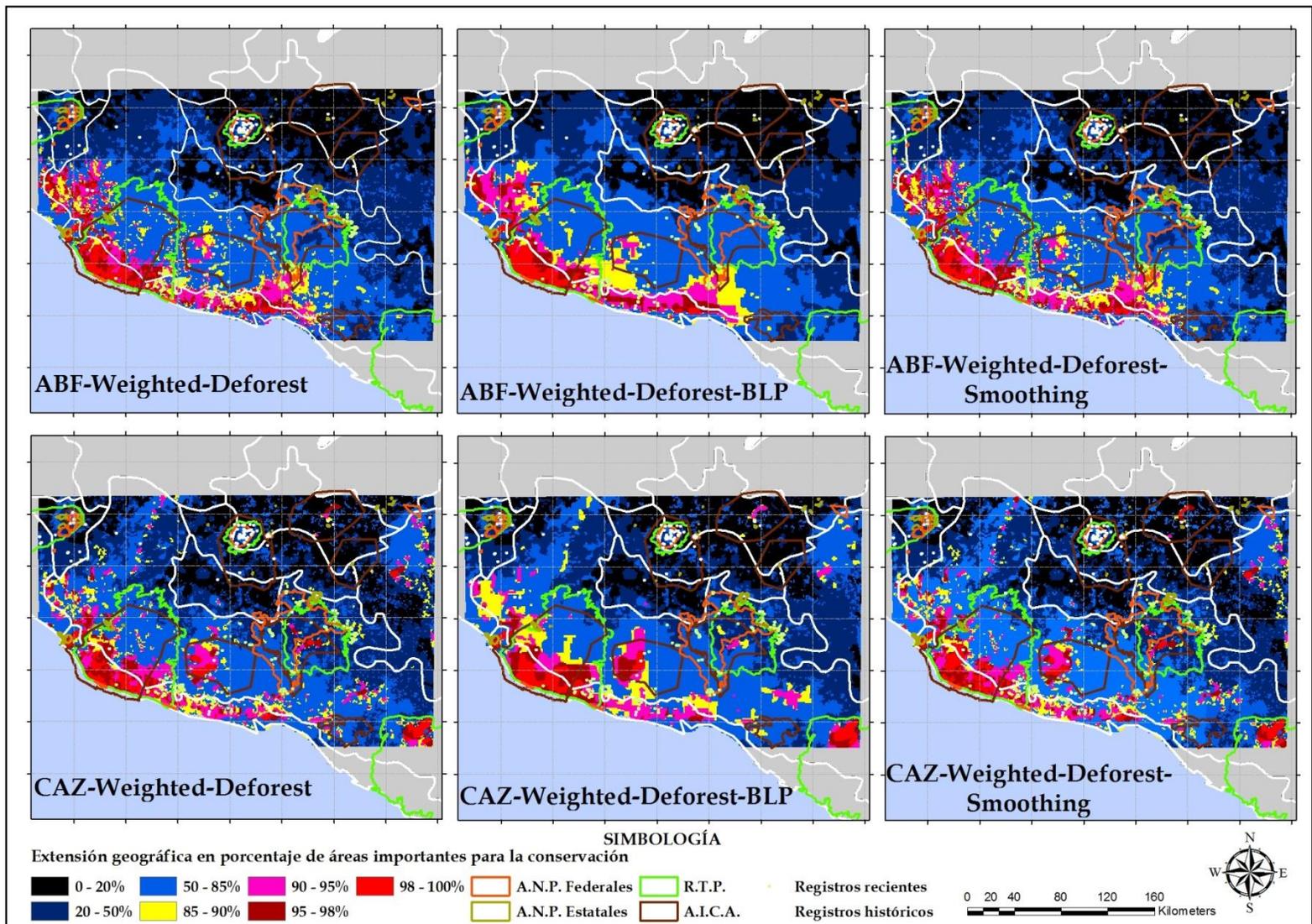


Figura 18. Modelos de priorización de áreas importantes para la conservación en el occidente del estado de Michoacán, obtenidos con el software Zonation a partir de modelos de distribución actual de especies de carnívoros. (Reglas de priorización de áreas: ABF, por sus siglas en inglés = función de beneficio aditivo; CAZ, por sus siglas en inglés = zonificación de áreas nucleares. Métodos de agregación de áreas: BLP, por sus siglas en inglés = función de beneficio aditivo; Smoothing = Distribución suavizada. Weighted = pesos de las especies con base en su estado de conservación. Deforest = Modelo de probabilidad de deforestación).

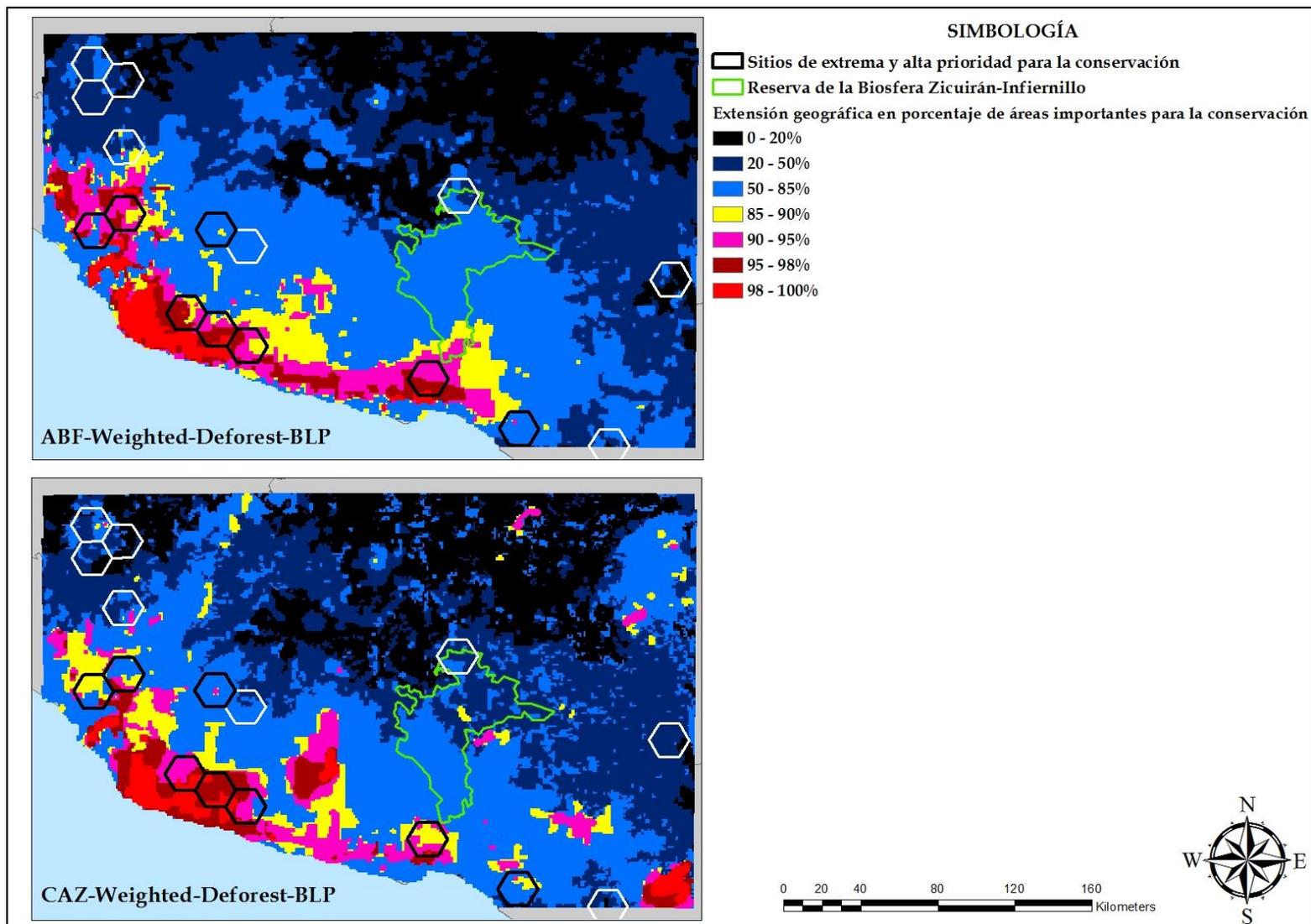


Figura 19. Correspondencia espacial entre los modelos de priorización de áreas importantes para la conservación obtenidos con el software Zonation y los sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad terrestre de CONABIO en el occidente del estado de Michoacán.

7. DISCUSIÓN.

7.1. Escalas de modelado.

Dentro de los procesos de modelado de la distribución de especies, la definición de la extensión geográfica del área de estudio es una etapa fundamental debido a que sobre tal extensión el modelo realizará extrapolaciones, basadas en las asociaciones entre los datos biológicos (presencia de las especies) y la totalidad de condiciones ambientales sobre las

cuales se realizará la predicción (Franklin, 2010). El presente estudio aborda el modelado de la distribución de especies de carnívoros del occidente de México mediante la aplicación de un enfoque a dos escalas diferentes:

La región modelada más amplia corresponde al occidente del país y permitió, por un lado, incluir la mayoría de ambientes regionales característicos del occidente de México y en los cuales han estado históricamente distribuidas las especies objeto del presente estudio; esta región ocupa una porción significativa del país, por lo que incluye cantidades significativas en el número de registros contenidos en las bases de datos de colecciones científicas. El modelado de las especies dentro de esta región fue realizado principalmente con base en variables de predicción climáticas, aplicando el principio de que a escalas regionales la distribución de las especies responde mayormente a este tipo de factores ambientales (Soberón, 2007; 2010; Soberón y Peterson, 2005). Estos modelos de distribución obtenidos para la región más amplia representan modelos de la distribución potencial de las especies, dadas las determinaciones ambientales climáticas y topográficas utilizadas para proyectar los modelos de nicho fundamental en el espacio geográfico (Peterson, 2006).

La segunda área de estudio modelada, comprende la porción occidental del estado de Michoacán y se localiza al centro de la región más amplia, representando en extensión, aproximadamente una quinta parte de ésta última. La definición del área de estudio más pequeña, obedeció a la necesidad de proponer modelos de la distribución actual de las especies, modelos que buscan aproximarse a la proyección geográfica de los modelos de nicho realizado, necesarios para abordar los objetivos del presente estudio, es decir las consideraciones que las transformaciones de los paisajes tienen en la distribución de las especies, así como la aplicación de técnicas analíticas de planificación de la conservación y diseño de sistemas de reservas (e. g., Guisan y Thuiller, 2005; Peterson, 2006). Por lo tanto y utilizando un lenguaje simple, este estudio hace la distinción entre modelos de distribución potencial, es decir las áreas donde las especies pueden vivir, con respecto a los modelos de distribución actual o realizada, los cuales representan las áreas donde las especies viven de hecho (Jiménez-Valverde *et al.*, 2008).

Este estudio propone modelos de distribución actual de especies de carnívoros para Michoacán, obtenidos a partir de la combinación de modelos de distribución potencial de especies en el occidente del país con modelos de asociaciones entre las especies y los tipos de hábitats que corresponden a las condiciones actuales de los paisajes en Michoacán.

7.2. Modelos de distribución actual de las especies.

Modelos de la distribución actual de las especies se han obtenido a partir de la refinación de modelos de distribución potencial, enfoque aplicado por varios autores cuyos trabajos están orientados al campo de la conservación (e. g., Sánchez-Cordero *et al.*, 2005a; 2005b;

2009; Ortega-Huerta y Peterson, 2004; Peterson, 2006; Botello *et al.*, 2015). Tal enfoque aplica una técnica consistente en utilizar datos digitales (mapas) sobre tipos de vegetación y uso de suelo, con el fin de identificar los hábitats adecuados para la presencia de las especies y entonces mediante una intersección restringir espacialmente los modelos de distribución potencial a tales zonas de hábitats idóneos.

Apoyados en el principio de que a escalas locales la distribución de las especies responde significativamente a diversas variables del hábitat (e. g., Soberón, 2007), en este trabajo se substituye el “recorte” anteriormente descrito con la utilización de modelos de asociaciones de hábitat, para la obtención de modelos de la distribución actual de un grupo de especies de carnívoros en Michoacán. La combinación de los modelos de asociaciones de hábitat con los modelos de distribución potencial, hace posible tomar en cuenta las transformaciones que han experimentado los paisajes así como incluir las predicciones realizadas a partir de variables climáticas, dado su importante papel en la predicción de la distribución de especies, aún a escalas locales (Guillingham *et al.*, 2012).

La utilización de modelos de asociaciones de hábitat para obtener modelos de distribución actual de las especies, tiene como referencia los análisis de uso y selección de hábitat, ampliamente utilizados en el campo de la ecología. Este tipo de análisis es aplicado para obtener información acerca de la biología de las especies, ecología de poblaciones y de comunidades, así como la distribución local de especies. Sin embargo, estos estudios generalmente se realizan a escalas locales, limitando su aplicación en el campo de la conservación (Pinto-Ledezma *et al.*, 2014). Estos análisis ecológicos, han generalmente consistido en medir diversos atributos del hábitat *in situ*, tales como la estructura de la vegetación y la disponibilidad de recursos. Considerando los sitios donde se realiza el monitoreo de las especies como variables de respuesta, se aplican diversas pruebas estadísticas, tales como las regresiones logísticas, para establecer los niveles de asociaciones entre las especies y las variables del hábitat (e. g., Rodas-Trejo *et al.*, 2010; Charre-Medellín *et al.*, 2010; Briceño-Méndez *et al.*, 2014; Carrillo-Reyna *et al.*, 2015).

En este estudio se utilizaron Modelos Lineales Generalizados para obtener estimaciones sobre las asociaciones de hábitat de las especies, sustituyendo la caracterización del hábitat *in situ*, por datos espaciales sobre tipos de vegetación y uso de suelo así como valores del índice de posición topográfica (TPI). A diferencia de los análisis ecológicos a escalas locales, las estimaciones de este estudio corresponden a una escala más amplia, basada en la utilización de datos de trama (raster) sobre los tipos de vegetación y usos del suelo con un tamaño de pixel de 250x250 m y que cubre la totalidad del área de estudio en Michoacán.

Los datos de pseudo-ausencias para las once especies de carnívoros, utilizados en los análisis lineales generalizados, fueron generados a partir de las predicciones contenidas en los modelos de distribución potencial para el occidente del país; se identificaron y

delimitaron las áreas con probabilidad nula para la presencia potencial predicha de las especies y se generaron dentro de éstas sitios al azar. Este enfoque difiere de otras maneras para generar pseudo-ausencias, tales como crear un conjunto de puntos completamente al azar en toda la extensión del área de estudio (Hirzel *et al.*, 2001; Zaniewski *et al.*, 2002). La utilización de las áreas predichas como ausencias de las especies es un intento de evitar, en la mayor medida posible, el riesgo de generar ausencias en sitios que son idóneos para la presencia de las especies (Engler *et al.*, 2004). El uso de mapas de idoneidad de hábitat preliminares como guía espacial para generar pseudo-ausencias es una técnica eficiente para reducir la posibilidad de generar falsos negativos como pseudo-ausencias (Zaniewski *et al.*, 2002; Engler *et al.*, 2004).

Los resultados de los GLM revelan que siete especies presentaron una relación significativa con alguna de las variables utilizadas (Tabla 3); podemos decir entonces, que las variables de predicción utilizadas en la generación de dichos modelos mostraron capacidades predictivas para la mayoría de las especies; el hecho de que los resultados de estos modelos pudieran hacerse espacialmente explícitos y expresar en medida de probabilidad de presencia de las especies, las asociaciones de hábitat de las mismas, provee un método objetivo y cuantitativo para la determinación de los niveles de idoneidad de los diferentes tipos de hábitat para cada una de las especies de carnívoros, definidos por su tipo de cobertura del terreno y la topografía. En el caso de las cuatro especies que no presentaron una relación significativa con alguna de las variables predictivas utilizadas en la generación de los GLM, se observa que tales especies mostraron los tamaños de muestra más pequeños en los registros de presencia de cada especie. En un ámbito más amplio, se ha demostrado que el tamaño de la muestra tiene una relación directamente proporcional con el desempeño de los modelos de distribución de especies, lo cual sería una primera causa para explicar la falta de significancia en la predicción de la relación presencia de las especies/tipo de hábitat (Hirzel y Guisan, 2002; Reese *et al.*, 2005; Wisz *et al.*, 2008).

La identificación de áreas con condiciones idóneas para la presencia de las especies representa por sí misma una herramienta útil en el campo de la conservación, ya que permite obtener evaluaciones cuantitativas preliminares para, posteriormente, llevar a cabo acciones de conservación, sobre todo cuando no existe información suficiente sobre las especies (e. g., Anderson y Martínez-Meyer, 2003; De la Torre y Torres-Knoop, 2007; Torres y Jayat, 2010; Cuervo-Robayo y Monroy-Vilchis, 2012; Charre-Medellín *et al.*, 2015). Los modelos de distribución geográfica de las especies han sido utilizados para desarrollar análisis posteriores de identificación de áreas importantes para la conservación a partir de la implementación de diversas técnicas que incluyen el uso de diferentes algoritmos y diversas herramientas disponibles en sistemas de información geográfica (e. g., Ortega-Huerta y Peterson, 2004; Yañez-Arenas *et al.*, 2014).

La elaboración de esquemas nacionales de priorización para la conservación de mamíferos ha hecho evidente la necesidad de generar modelos más confiables sobre la distribución de estas especies en México, mismos que debieran realizarse a escalas más finas (Vázquez *et al.*, 2009). La mayoría de los estudios sobre mamíferos, realizados en el estado de Michoacán y considerados como los más relevantes en este trabajo, se enfocan a la estimación de la riqueza de especies (e. g., Alvarez y López, 1998; Orduña *et al.*, 2000; Chávez-León y Zaragoza, 2009; Charre-Medellín, 2012; Monterrubio-Rico *et al.*, 2013; Charre-Medellín *et al.*, 2013; Monterrubio-Rico *et al.*, 2014; Urrea-Galeano *et al.*, 2016). Sin embargo, reportes sobre la distribución de mamíferos en Michoacán sugieren que esta región es clave para la conectividad de poblaciones. Tal es el caso del jaguar cuya localización central a lo largo de las costas del Pacífico Mexicano, posibilita que se distribuya al norte y sur de la Costa del Pacífico así como en el centro del país (Rodríguez, 2010; Charre-Medellín *et al.*, 2013). El modelo de distribución actual del jaguar obtenido en este trabajo, apoya esta hipótesis, ya que las áreas predichas con la mayor probabilidad de presencia actual de esta especie, se extienden principalmente a lo largo de la provincia fisiográfica Costas del Sur y una porción de la provincia Cordillera Costera del Sur. Por otra parte, existen registros de la presencia del jaguar en la parte norte de la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo”, lo cual también coincide tanto con lo reportado en 2014 por Charre-Medellín *et al.*, quienes obtuvieron nuevos registros de la especie en la región del Bajo Balsas en Michoacán, como con Urrea-Galeano *et al.* (2016), quienes reportan la presencia del jaguar en la zona de amortiguamiento de dicha reserva.

Estudios de otras especies como el jaguarundi revelan que esta especie se encuentra presente dentro de Michoacán en al menos tres regiones fisiográficas: Bajo Balsas, Sierra Madre del Sur y Costa del Pacífico, pero se desconoce si existe conectividad hacia la Depresión del Balsas (Monterrubio-Rico *et al.*, 2012; Urrea-Galeano *et al.*, 2016). El modelo de distribución actual obtenido para el jaguarundi en este trabajo, parece apoyar la hipótesis anterior, ya que muestra áreas de mayor probabilidad para su presencia, principalmente en la provincia fisiográfica Costas del Sur y en menor proporción en la provincia Cordillera Costera del Sur (norte de la Sierra Madre del Sur).

Los resultados obtenidos en este trabajo revelan que, entre las especies modeladas, el puma es la especie con la distribución actual más amplia, seguida entre los felinos de la predicción correspondiente al tigrillo, la cual abarca las ecorregiones del Bajo Balsas, Costa del Pacífico y Sierra Madre del Sur. Estos resultados corroboran lo reportado en la literatura, en el sentido de que el ocelote, el tigrillo y el puma, son las especies de felinos que presentan las distribuciones más amplias en la región (Charre-Medellín *et al.*, 2015).

El conocimiento de los patrones de distribución de los mamíferos carnívoros en Michoacán, está basado principalmente en estudios centrados mayormente en especies de felinos (e. g., Monterrubio-Rico *et al.*, 2012; Charre-Medellín *et al.*, 2015; Urrea-Galeano *et*

al., 2016;) y en aproximaciones a la distribución de mamíferos que provienen de análisis realizados a nivel nacional (e. g., Ceballos, 2008).

Para las especies objeto de este estudio, excepto el cacomixtle, se cuentan con aproximaciones a su distribución potencial en el estado de Michoacán, provenientes del “Proyecto DS006 Modelado de la distribución de las especies de mamíferos de México para un análisis GAP” (Ceballos, 2008). La referencia de algunos ejemplos de los modelos de distribución GAP permite conocer sus características, así como hacer una comparación con los modelos de distribución actual propuestos en el presente estudio.

Para las especies, zorrillo de espalda blanca, zorra gris, mapache y coatí, el proyecto GAP predice áreas de alta probabilidad de presencia prácticamente en todo el estado de Michoacán, lo cual contrasta con los resultados obtenidos en este trabajo, ya que las predicciones sobre su distribución actual en el área de estudio, se restringen principalmente a la región de la Costa. En el caso del coyote, la predicción sobre su distribución potencial en Michoacán presenta zonas de alta probabilidad de presencia formando un continuo en la mayor parte de la provincia fisiográfica Cordillera Costera del Sur, sin embargo, la predicción de su distribución actual muestra que las áreas de alta probabilidad de presencia son pequeñas y no forman un continuo, de hecho se observan restringidas al centro-occidente de esta provincia fisiográfica.

Estos ejemplos de las diferencias entre modelos son esperados, dadas las diferencias metodológicas y de escala entre los juegos de datos. En primer lugar, se ponen de manifiesto las diferencias entre modelos de distribución potencial (proyecto GAP) y actual (este estudio). Por otra parte, existen múltiples factores que determinan los resultados de los procesos de modelado de la distribución de especies, tales como el papel de escala, la aplicación de diferentes algoritmos predictivos, la cantidad y calidad de los datos biológicos, así como al uso de diferentes variables de predicción (Guisan *et al.*, 2007; Gillingham *et al.*, 2012).

No obstante que no se cuenta con mapas sobre la distribución del cacomixtle, que incluyan el área de estudio, se ha reportado que ésta es una especie con amplia distribución en el país, incluyendo prácticamente todo el estado de Michoacán (Ceballos y Oliva, 2005). Si bien existen reportes históricos de su presencia en el estado (e. g., Nelson y Goldman, 1932; Hall y Villa, 1949; Burt, 1961), en los últimos 10 años pocos trabajos han obtenido registros de su presencia (e. g., Guido-Lemus, 2012; Urrea-Galeano *et al.*, 2016). En este trabajo, la cantidad de registros de presencia del cacomixtle en el área de estudio (Núñez, 2015) está reducida a solamente seis observaciones, por lo que se le considera como una especie rara en esta zona. El cacomixtle fue la especie con las distribuciones tanto potencial como actual más reducidas entre todas las especies objeto de este estudio.

La compleja topografía de la zona de estudio en Michoacán, resultado de la convergencia del Eje Neovolcánico, la Sierra Madre del Sur y las Depresiones del Balsas y Tepalcatepec, ha condicionado el acceso a esta región (Garduño-Monroy, 2005), dificultando así llenar los vacíos de información sobre la presencia y distribución de especies de mamíferos en la vertiente del Pacífico Mexicano y en particular el estado de Michoacán. Debido a la creciente actividad humana desarrollada en esta zona, ésta se caracteriza actualmente por un diverso y complejo mosaico de diferentes tipos de vegetación y usos de suelo, encontrándose bosques tropicales y templados fuertemente fragmentados por la agricultura y la ganadería (Bocco *et al.*, 2001). Como evidencia de estas transformaciones de los hábitats naturales, se ha demostrado que una cantidad significativa de registros provenientes de la literatura, sobre la presencia de felinos en Michoacán, se ubican en sitios que actualmente están sometidos a usos agropecuarios o están ocupados por asentamientos humanos (Charre-Medellín *et al.*, 2015).

7.3. Distribución de especies y las áreas naturales protegidas y prioritarias.

La necesidad por modelar la distribución actual de las especies de carnívoros en la zona, no solamente se justifica por los niveles de transformación de los paisajes anteriormente referidos, sino también por las implicaciones que tiene la escasa cobertura de áreas naturales protegidas (ANP), principalmente en las regiones Costera y Sierra Madre del Sur. El estado de Michoacán cuenta con básicamente dos áreas protegidas federales, cuyas áreas son significativas y se encuentran dentro del área de estudio; la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo” (RBZI) que es la de mayor extensión (>265,000 ha, aproximadamente 4.5% del territorio del estado) y el Área de Protección de Flora y Fauna Silvestres “Pico de Tancítaro” (PT; >23,000 ha). Fuera del estado de Michoacán, en el extremo noroeste del área de estudio, se encuentran también el Parque Nacional “Volcán Nevado de Colima” (6,555 ha) así como la Zona de Protección Forestal y Refugio de la Fauna Silvestre “El Jabalí” (5,179 ha). Si bien todas las especies de carnívoros estudiados cuentan con registros recientes de presencia dentro de los límites de la reserva RBZI, una buena cantidad de ellos no están incluidos.

Además de que las actuales ANP no incluyen a la mayoría de los sitios de observación de las especies de carnívoros, existen varias estaciones (fototrampas) cuya localización cae fuera de los límites de las diversas áreas propuestas como importantes para la conservación de esta región, tales como las regiones terrestres prioritarias (RTP), las áreas importantes para la conservación de aves (AICA), las áreas prioritarias para la conservación en el estado de Michoacán (APC) y el sistema de áreas para la conservación del estado de Michoacán (SACEM) (Figs. 3, 4 y 5). En efecto, las preguntas sobre la importancia y viabilidad que potencialmente tendrían las regiones RTP, AICAS y APC para la conservación de la biodiversidad, tienen que ver no solamente con su localización geográfica sino también con las grandes extensiones que éstas incluyen. No obstante que

tanto las RTP como las AICA y las APC abarcan grandes extensiones de terreno, la mayor parte de los registros de las especies de carnívoros estudiadas caen fuera de las RTP “Sierra de Coalcomán” e “Infernillo”. Por otra parte, aunque entre las AICA se agrega a la región “Tumbiscatío” - localizada entre las AICA “Coalcomán-Pomaro” y “Cuenca Baja del Balsas” (“Infernillo”)- aún la mayoría de los registros de carnívoros no están incluidos dentro de alguna de las regiones RTP y AICA.

El modelo de riqueza actual de las especies de carnívoros muestra también los vacíos de las coberturas tanto de ANP actuales como de RTP, AICA, APC y SACEM, con respecto a los patrones de distribución de las especies; la mayoría de áreas con valores más elevados de riqueza (10-11 especies) se extienden a lo largo de la provincia fisiográfica Costas del Sur y algunas zonas de la Cordillera Costera de Sur (Fig. 9), mientras que en la mayor parte de la superficie de la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo” y sus equivalentes RTP (“Infernillo”), AICA (“Cuenca Baja del Balsas”), APC (“polígono 08, región infiernillo”) y SACEM (área 08) se muestran valores de riqueza menores (7-9 especies). La “Sierra de Coalcomán” es la región que incluye mayores áreas con la riqueza de especies más alta, debido a que parte de ésta se localiza dentro de la región fisiográfica Costas del Sur. Por otra parte, las zonas con los valores de riqueza de especies más bajos, se extienden hacia el centro del estado de Michoacán, cubriendo la mayor parte de la Depresión del Tepalcatepec, misma que en la actualidad, se encuentra significativamente sometida al uso agrícola. Más al norte el “Pico de Tancintaro” y en el extremo noroeste el “Volcán Nevado de Colima” y “El Jabali”, incluyen áreas de riqueza de especies con valores medianos (4-6 especies).

Es evidente que estos resultados están asociados a los esfuerzos que, durante la última década, se han hecho para registrar la presencia de mamíferos en el estado de Michoacán y la región occidental de México. Sin embargo, aunque el presente estudio contribuye en el avance del conocimiento sobre los patrones actuales de distribución de especies de carnívoros en Michoacán, se sugiere aumentar los inventarios de éstas y otras especies de mamíferos, abarcando una mayor diversidad de ambientes tanto naturales como transformados. La finalidad es realizar estudios comparativos e integrales, a partir de los cuales la propuesta para el establecimiento de nuevas ANP, se base en la comparación de resultados obtenidos a partir del estudio de “especies sombrilla” con otros grupos de especies y en los que se incluyan las interacciones entre las especies y los ambientes transformados.

7.4. Priorización de áreas naturales para la conservación.

Para la identificación de áreas importantes para la conservación, este estudio generó un total de 18 modelos diferentes de priorización de áreas para la conservación de la biodiversidad en el área de estudio (Figs. 16 - 18). Las diferencias de los modelos radican en la utilización de los diversos parámetros de modelado: métodos de agregación,

asignación de ponderación diferencial de las especies, inclusión de un modelo de probabilidad de transformación de los paisajes (e. g., transición de usos del suelo y cubierta del terreno), así como la utilización de dos reglas diferentes de priorización; la función de beneficio aditivo (ABF, por sus siglas en inglés) y la zonificación de áreas nucleares (CAZ, por sus siglas en inglés). Ya ha sido demostrado cómo las características de los elementos de biodiversidad utilizados en el análisis de priorización, así como el uso de diferentes herramientas y parámetros de modelado, influyen en las predicciones de priorización y complementariedad de áreas importantes para la conservación (e. g., Moilanen *et al.*, 2005; 2011;). En este trabajo, la aplicación de parámetros diferentes de modelado, no redundaron en diferencias drásticas en las predicciones; los diversos modelos de priorización mostraron patrones espaciales similares, con la localización de la mayor parte de las áreas identificadas como importantes para la conservación en la región de la Costa y en menor proporción zonas en la provincia Cordillera Costera del Sur (norte de la Sierra Madre del Sur). Una de las pocas diferencias substanciales entre los modelos de priorización consiste en la identificación de zonas localizadas en la porción norte del área de estudio, incluidos el “Pico de Tancántaro” y el “Volcán Nevado de Colima”, como zonas de alta prioridad, cuando el modelado aplica la regla de priorización zonificación de áreas nucleares (CAZ) y sin ponderar la importancia de las especies (Fig. 16), lo cual pone de manifiesto ciertos niveles de rareza en la distribución de algunas especies.

De manera similar a lo expuesto anteriormente (relación entre la localización de los sitios de muestreo y los modelos de riqueza de especies), existe una correspondencia espacial con mediana importancia en la priorización de áreas (50-85% importancia) con las actuales ANP (e. g., “Zicuirán-Infiernillo”, “Pico de Tancántaro” y “Volcán Nevado de Colima”). Sin embargo, los Santuarios “Playa de Maruata y Colola” y “Playa Mexiquillo”, dos ANP federales ubicadas en la costa del estado de Michoacán, están localizadas en áreas predichas como de máxima prioridad (95-100% importancia). Si bien estas áreas obtuvieron alta prioridad como áreas de distribución del grupo de especies de carnívoros en este estudio, su muy reducida superficie (220 y 74 ha, respectivamente) ha sido definida por los objetivos de protección de las tortugas marinas golfina (*Lepidochelys olivacea*), laúd (*Dermochelys coriacea*) y negra (*Chelonia agassizii*) (CONANP, 2018). Estos santuarios (sitios delimitados, que incluyen unidades geográficas muy específicas, tales como cuevas, cenotes, cañadas, relictos, entre otros) deberían ser considerados como una referencia a partir de la cual la conservación también pueda ser diseñada para extensiones de terrenos mucho más amplios, correspondientes a la parte continental y atendiendo las necesidades de recursos y movimientos de los carnívoros objeto de este estudio.

La Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo” (RBZI) en el estado de Michoacán, tiene un tamaño y delimitación que coinciden con las que tienen la región APC “Infiernillo”, el “polígono 08” del SACEM, la RTP “Infiernillo” y el AICA “Cuenca Baja del Balsas”, éstas últimas consideradas como prioritarias para la conservación terrestre y de aves,

respectivamente (Arriaga *et al.*, 2000; CONABIO, 2004; CIPAMEX-CONABIO, 2015). Debido a su riqueza biótica y endemismos, la RBZI fue legalmente creada en 2007, constituyéndose como una de las reservas más grandes del país y de las pocas que actualmente existen para proteger los bosques tropicales secos de México. Los resultados de modelado de la distribución de especies y priorización de áreas naturales en este estudio, revelan que aún con las importantes características de la RBZI para la conservación de la biodiversidad regional, existen otras regiones que incluyen áreas mucho más amplias y continuas, predichas como de mayor prioridad para la conservación del grupo de especies de carnívoros del presente estudio. Sin embargo, la importancia de la RBZI queda destacada dado que esta reserva está ocupada en su mayor parte por la segunda categoría más importante en lo que respecta al modelo de riqueza de especies (7-9 especies). Evidentemente estos resultados se obtuvieron del análisis de un grupo reducido de especies, por lo que existe la posibilidad de que otros análisis basados en diversos grupos taxonómicos con números de especies más amplios, podrían determinar valores de priorización más elevados dentro de la RBZI, basados en la maximización de la elevada biodiversidad de esta reserva. Este estudio aplicó el enfoque basado en la poca información existente sobre los patrones de distribución de las especies; se utilizó un grupo de especies de carnívoros, dentro del cual se encuentran especies llamadas “especies sombrilla”, las cuales pueden servir como indicadores de biodiversidad. Estudios como el presente constituyen herramientas importantes para obtener primeras aproximaciones en evaluaciones de áreas importantes para la conservación (Gittleman *et al.*, 2001; Ray y Sunkist, 2001).

Además de la RTP “Sierra de Coalcomán” y las dos AICA “Coalcomán-Pomaro” y “Tumbiscatío”, existen otras áreas identificadas- a partir de análisis enfocados exclusivamente en el estado de Michoacán- como importantes para la conservación y que mostraron espacial correspondencia con las áreas modeladas como de alta prioridad: dos regiones de las Áreas Prioritarias para la Conservación en el Estado (6 “Aquila-Coalcomán-Coahuayana” y 7 “Arteaga-Tumbiscatío” en Fig. 4; UMSNH-SEDUE, 2000; Villaseñor, 2005) y cuatro áreas del Sistema de Áreas para la Conservación del Estado de Michoacán (01, 02, 04 y 05 en Fig. 5.; Velásquez *et al.*, 2005). Es importante mencionar que la porción costera de la mayoría de estas propuestas, se ubica principalmente en el municipio de Aquila, no abarcando la mayor parte del municipio de Lázaro Cárdenas, en el cual este trabajo identifica también extensas áreas prioritarias para la conservación.

El modelo llamado “deforestación”, representa en realidad un modelo de la probabilidad de que determinada área continúe con su cubierta del terreno original, después de que las probabilidades de cambios de uso del suelo y tipos de vegetación fueron convertidas a sus valores inversos. Al usar el modelo “deforestación” se encontró que zonas correspondientes a selva mediana subcaducifolia, selva baja caducifolia y bosques templados mostraron al mismo tiempo la menor probabilidad de deforestación y valores

máximos de importancia en la priorización de áreas importantes para la conservación. Sin embargo, estos modelos de priorización que incorporaron al modelo de “deforestación”, muestran básicamente los mismos patrones de importancia, respecto a aquellos modelos de priorización en los que no intervino el modelo de deforestación. Una primer hipótesis para explicar lo anterior se basaría en que las áreas con alta probabilidad para conservarse (áreas donde los tipos de vegetación original tienen baja probabilidad de deforestación) coinciden con las áreas modeladas como de elevada riqueza de especies, las cuales a su vez fueron identificadas como de alta importancia en el proceso de priorización.

Este estudio proporciona bases sólidas para posteriores evaluaciones sobre 1) sitios importantes para conducir el monitoreo de especies, 2) conservación de la zona costera del estado de Michoacán, correspondiente principalmente a los municipios de Aquila y Lázaro Cárdenas, 3) consideraciones sobre la extensión de las áreas propuestas como importantes para la conservación, ya que al ser áreas que abarcan grandes extensiones geográficas dificultan su implementación, 4) conectividad de áreas identificadas como prioritarias para la conservación, y 5) comparación de ejercicios de priorización y complementariedad de áreas importantes para la conservación, con base en el análisis de múltiples grupos taxonómicos que incluyan animales y plantas con diferentes jerarquías taxonómicas y grupos funcionales, tales como especies clave y sombrilla.

7.5. Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad terrestre de CONABIO (análisis complementario).

Los sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad terrestre de CONABIO, se obtuvieron a partir de un análisis de optimización de áreas que incluyó 1, 450 elementos de la biodiversidad de interés para la conservación, entre los que se encuentran tipos de vegetación críticos, especies vegetales en alguna categoría de riesgo, riqueza de plantas y vertebrados, así como la presencia de aves residentes, reptiles, anfibios y mamíferos, y 19 capas correspondientes a diversos factores de amenaza (CONABIO *et al.*, 2007), mientras que la generación de modelos de priorización de áreas importantes para la conservación de la biodiversidad del presente estudio contempló solo 11 especies de mamíferos carnívoros, cuyo modelo de distribución actual de cada especie correspondió a un elemento de biodiversidad y en cuanto a factores de riesgo o amenaza solo se incluyó un modelo de probabilidad de deforestación en el área de estudio.

A pesar de las diferencias en cuanto a la cantidad y diversidad de factores incluidos en ambos análisis, es interesante que alrededor de la mitad de los sitios identificados como de alta y extrema prioridad (CONABIO) en el área de estudio coincidan espacialmente con nuestros resultados. La diferencia en cuanto a factores incluidos en el análisis es enorme, sin embargo, la correspondencia o coincidencia espacial observada podría sugerir que la región costera del estado de Michoacán es, efectivamente, una región que debe considerarse como de alta prioridad en los planes y programas de conservación de la

biodiversidad a nivel nacional. Por otro lado, los resultados pueden sugerir que el grupo de mamíferos carnívoros analizados en el presente estudio podría constituir un grupo útil e interesante al ser utilizado como subgrupos de la biodiversidad para generar primeras aproximaciones y brindar un panorama general en cuanto a la importancia de conservación de ciertas regiones del país, además podría constituir una herramienta de primera mano ya que la mayoría de estas especies son carismáticas y están relativamente bien estudiadas, generando una cantidad importante de datos disponibles con los cuales comenzar a trabajar, sobre todo en aquellos sitios donde la información sobre el estado actual que guarda la biodiversidad es limitado.

8. CONCLUSIONES.

El presente estudio contribuye a llenar los vacíos de información sobre la presencia y los patrones de distribución de mamíferos carnívoros en el occidente del estado de Michoacán. Al mismo tiempo se pone de manifiesto la importancia y necesidad del incremento en esfuerzos dirigidos al estudio y monitoreo de fauna silvestre presente en esta región. Los acelerados procesos de cambios en los usos de suelo identificados en esta zona colocan a los ecosistemas tropicales secos, típicos del occidente de México, como uno de los ecosistemas más vulnerables/amenazados.

Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren una cobertura insuficiente de ANP en la porción occidental del estado de Michoacán, sin dejar de resaltar la importancia, por su extensión y posición geográfica, de la Reserva de la Biosfera “Zicuirán-Infiernillo”, la cual juega un importante papel en la conservación de la biodiversidad, no solo del estado, sino del occidente del país.

En cuanto a las distintas propuestas de áreas importantes para la conservación en el área de estudio, principalmente las RTP y las AICA, se observa que constan de polígonos muy grandes que tienden a cubrir gran parte del estado, lo cual resulta en un cuestionamiento basado en la viabilidad de la implementación de tales propuestas, sugiriendo así futuros análisis sobre las mismas.

Las áreas que se identifican como de máxima importancia para la conservación de carnívoros en el occidente de Michoacán, en todos los análisis de priorización realizados en este estudio y en la gran mayoría de las predicciones sobre la distribución actual de las especies de carnívoros estudiadas, son las provincias fisiográficas Costas del Sur y Cordillera Costera del Sur (norte de la Sierra Madre del Sur), en los municipios de Aguililla, Coalcomán de Vázquez Pallares, Chinicuila, Tumbiscatío, Arteaga y principalmente en Aquila y Lázaro Cárdenas, mismos que deberían considerarse para implementar políticas públicas de conservación biológica.

Los resultados obtenidos en los modelos de asociaciones de hábitat (GLM), ofrecen una herramienta confiable para generar aproximaciones que permitan realizar una evaluación de la relación que guarda la presencia de las especies con la localización y disponibilidad actuales de hábitats idóneos. Sin embargo, es indispensable contar con un tamaño de muestra significativo para realizar este tipo de análisis, ya que como ha quedado de manifiesto en este estudio, es un factor importante en la obtención de predicciones significativas.

El estado de Michoacán tiene una localización geográfica clave, ya que, al estar en el centro de la vertiente del Pacífico, podría influir en la conexión de poblaciones de mamíferos carnívoros que se distribuyan al norte y al sur de la vertiente del Pacífico y al centro del país.

El grupo de mamíferos carnívoros, usado en este trabajo como un indicador de biodiversidad, fue apropiado para generar una primera aproximación sobre la priorización de áreas naturales para la conservación de la biodiversidad en esta región. Las áreas identificadas como prioritarias, reflejan no solo la maximización de la riqueza de especies, sino también la vulnerabilidad a procesos de cambios en los usos del suelo. Se sugiere realizar futuros estudios que puedan incluir un grupo de especies más amplio y diverso taxonómicamente, con el objeto de validar los alcances de conservación del presente estudio.

ANEXO I. MODELOS DE DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LAS ESPECIES.

A continuación, se presenta un análisis de los modelos consenso, enfocándose en el área occidental de Michoacán y en las áreas con las probabilidades de presencia más altas, con valores de 0.8 a 1.0 (representadas en tonos azules).

- ***Canis latrans* Say, 1823.**

Se obtuvieron un total de 216 registros para el Coyote en el occidente del país, de los cuales 25 corresponden a registros recientes (2014; Tabla 1). El modelo de distribución potencial obtuvo un valor de 1.56 de AUC ratio, lo cual indica que tuvo un buen desempeño y que es mejor de lo esperado por el azar.

Reportes sobre la distribución geográfica del Coyote mencionan que tiene presencia en todo el territorio mexicano, por lo que ocupa diversos hábitats que incluyen pastizales, desiertos y montañas (Servín y Huxley, 1995; Sosa-Escalante *et al.*, 1997). Sin embargo, la distribución potencial obtenida se observa ajustada; las áreas de mayor probabilidad de presencia, en el occidente de Michoacán, se ubican dentro de la provincia fisiográfica Cordillera Costera del Sur, principalmente dentro de los límites del municipio Coalcomán de Vázquez Pallares, en zonas de elevaciones altas y bosques templados (Fig. 20e).

- ***Urocyon cinereoargenteus* (Schreber, 1775).**

Se obtuvieron un total de 366 registros de Zorra gris para el occidente del país, de los cuales 20 corresponden a registros recientes (2014; Tabla 1). El valor obtenido de AUC ratio fue de 1.46, lo cual indica que el modelo presentó un buen desempeño.

La Zorra gris es una especie de presencia cosmopolita en México, se menciona que es posible encontrarla desde bosques templados hasta matorrales xerófilos y es considerada una especie omnívora (Wood, 1958; Leopold, 1977; Hall, 1981; Servín y Chacón 2005).

La distribución potencial obtenida de la Zorra gris se observa ajustada, principalmente hacia las zonas costeras. En el occidente de Michoacán se observan zonas con probabilidades altas de presencia dentro de la provincia fisiográfica Costas del Sur, en los municipios de Aquila y Lázaro Cárdenas, en elevaciones bajas donde encontramos principalmente selva baja caducifolia (Fig. 20f).

- ***Herpailurus yagouaroundi* (Lacépède, 1809).**

En el caso del Jaguaroundi se obtuvieron un total de 91 registros a lo largo de la región occidental del país, de los cuales solo seis corresponden a registros recientes (2014; Tabla

1). El valor de AUC ratio para este modelo fue de 1.73, lo que indica que presentó un buen desempeño.

En México, el Jaguarundi sigue una distribución a lo largo de las vertientes del Pacífico y el Atlántico, desde Sonora y Tamaulipas hasta Chiapas y la península de Yucatán, respectivamente. Es posible encontrarlo en diversos ecosistemas que van desde matorrales xerófilos hasta selvas húmedas y es común registrarlo cerca de áreas de cultivo (Oliveira, 1998; Aranda, 2005). Su dieta se compone de una amplia gama de presas de invertebrados y pequeños vertebrados (Aranda, 2005) y de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) es una especie amenazada.

La predicción sobre la distribución potencial de esta especie, muestra que las áreas de mayor probabilidad de presencia se ubican en zonas costeras, principalmente. Dentro de la región occidental de Michoacán, se observan porciones de estas áreas dentro de la provincia fisiográfica Costas del Sur, en los municipios de Aquila y Lázaro Cárdenas, en elevaciones bajas en donde predomina la selva baja caducifolia (Fig. 21c).

- ***Leopardus pardalis* (Linnaeus, 1758).**

Se obtuvieron en total 127 registros de Ocelote para el occidente del país, de los cuales 43 corresponden a datos recientes (2014; Tabla 1). El modelo obtuvo un valor de AUC ratio de 1.75, por lo que se dice que mostró un buen desempeño.

El Ocelote es una especie catalogada en peligro de extinción por la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010). En México su distribución presenta un continuo tanto en el área costera del Pacífico, como en el Golfo de México (Leopold, 1983; Aranda, 2005). Si bien se le puede encontrar en una amplia variedad de hábitats que incluyen bosques tropicales húmedos hasta matorrales secos, es necesaria la presencia de vegetación densa y, aunque se les puede encontrar en elevaciones hasta de 3,800 msnm, es más frecuente encontrarlos en elevaciones por debajo de los 1,200 msnm (Ludlow y Sanquist, 1987; Oliveira, 1994; Nowell y Jackson, 1996; Harveson *et al.*, 2004).

El modelo de distribución potencial del Ocelote muestra que, efectivamente, las áreas de mayor probabilidad de presencia se encuentran en la línea costera; las encontramos continuamente a lo largo de toda la costa del estado de Michoacán, en la provincia fisiográfica Costas del Sur, en los municipios Aquila y Lázaro Cárdenas. Este continuo se observa desde las costas del estado de Jalisco hasta las costas de Michoacán (Fig. 21a). Los tipos de vegetación que encontramos en esta zona corresponden principalmente a selva baja caducifolia y selva mediana subcaducifolia.

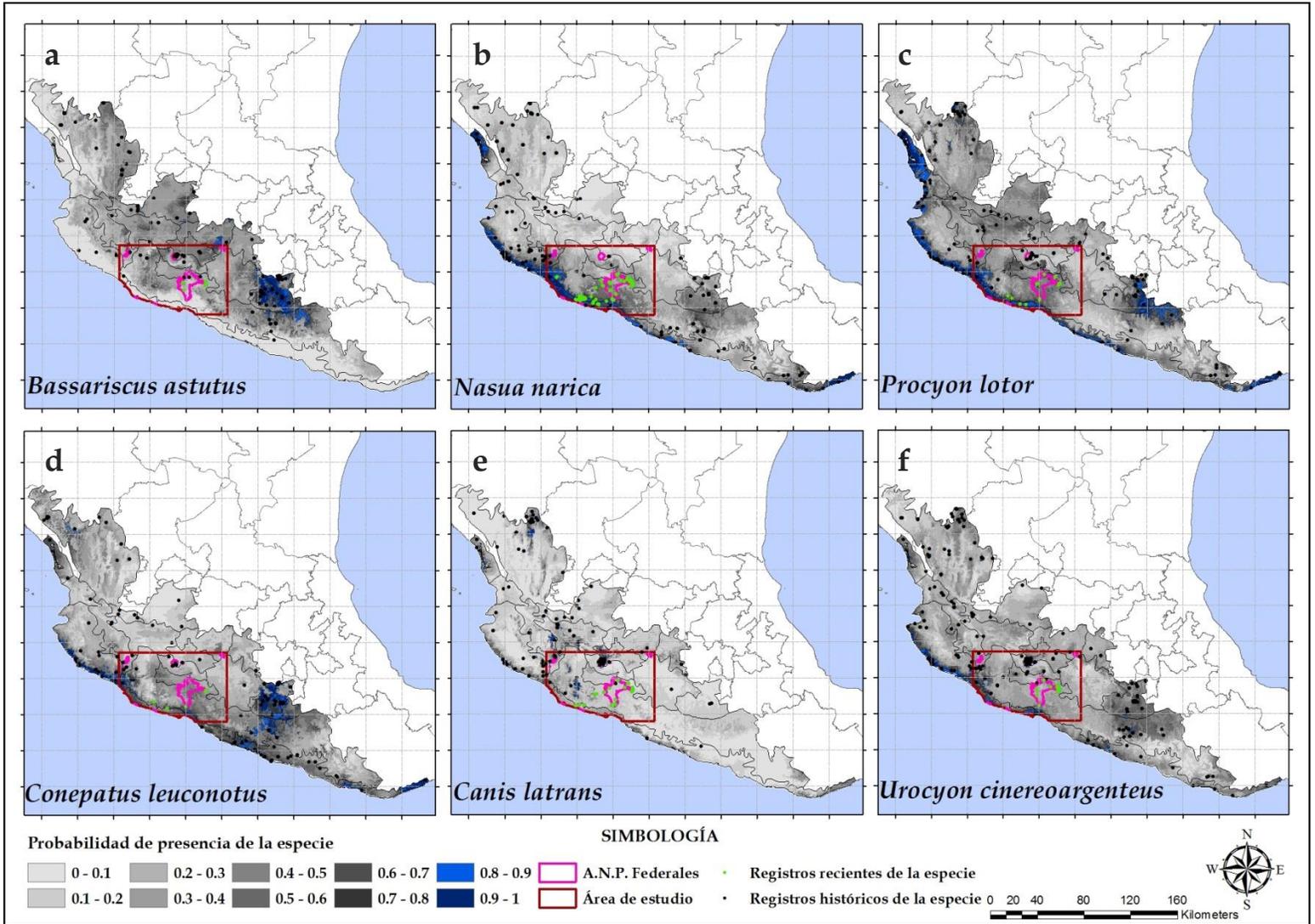


Figura 20. Modelos de distribución potencial de especies de carnívoros, generados en la vertiente occidental del país.

- *Leopardus wiedii* (Schinz, 1821)

Para el Tigrillo se obtuvieron un total de 77 registros en el occidente del país, de los cuales 11 corresponden a registros recientes (2014; Tabla 1). Este modelo presentó 1.64 como valor de AUC ratio, obteniendo un buen desempeño.

El Tigrillo, frecuentemente confundido con el Ocelote, es una especie que habita en diferentes tipos de hábitats que van desde selvas altas, medianas, manglares y bosques mesófilos hasta las características selvas bajas del occidente mexicano. Es una especie considerada como rara y se encuentra catalogada en peligro de extinción, de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Aranda, 2005; Oliveira, 1998; SEMARNAT, 2010).

En el modelo de distribución potencial del Tigrillo, podemos observar que las áreas de mayor probabilidad de presencia en el occidente de Michoacán, se ubican tanto en zonas costeras que principalmente corresponden a selva baja caducifolia y selva mediana subcaducifolia, dentro de la provincia fisiográfica Costas del Sur, como en zonas de elevaciones altas donde principalmente encontramos bosques templados, dentro de la provincia fisiográfica Cordillera Costera del Sur, abarcando los municipios de Coahuayana, Aquila, Chinicuila, Coalcomán de Vázquez Pallares, Aguililla, Tumbiscatío, Arteaga y Lázaro Cárdenas (Fig. 21b).

- ***Puma concolor* (Linnaeus, 1771)**

Se obtuvieron un total de 97 registros de Puma en el occidente del país, de los cuales 33 son registros recientes (2014; Tabla 1). El valor de AUC ratio para este modelo fue de 1.4, presentando un buen desempeño.

De los mamíferos terrestres presentes en el continente americano, el Puma es el que presenta la distribución geográfica más amplia, desde el centro de Canadá hasta el sur de Argentina y Chile (Chávez, 2006). En cuanto a su distribución histórica en México, abarcaba prácticamente todo el territorio, sin embargo, en las últimas décadas ha desaparecido de grandes extensiones del territorio nacional (Chávez, 2006).

De todas las especies estudiadas, la predicción de la distribución potencial del Puma es la más amplia (Fig. 21d). Dentro del área occidental de Michoacán, se puede observar que las áreas de mayor probabilidad de presencia de la especie se extienden desde zonas costeras, abarcando la mayor parte de las provincias fisiográficas Costas del Sur y Cordillera Costera del Sur, llegando hasta el centro del estado de Michoacán, a excepción de la provincia fisiográfica Depresión del Tepalcatepec, en donde encontramos, principalmente, áreas agrícolas (Fig. 6).

- ***Panthera onca* (Linnaeus, 1758)**

En el caso del Jaguar se obtuvieron un total de 84 registros para el occidente del país, de los cuales 18 corresponden a datos recientes (2014; Tabla 1). El modelo presentó un buen desempeño, obteniendo un valor de AUC ratio de 1.61.

La distribución histórica del Jaguar en México comprendía las vertientes del Pacífico y del Golfo (regiones tropicales y subtropicales) desde los estados de Sonora y Tamaulipas hasta

Chiapas y la Península de Yucatán, respectivamente; en lo que respecta al centro del país penetraba por la cuenca del Río Balsas hasta el Estado de México. Sin embargo, su distribución actual es más reducida (Aranda, 1998; Chávez *et al.*, 2005; Monroy-Vilchis *et al.*, 2005). En México es una especie que se encuentra en peligro de extinción, de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010).

El modelo de distribución potencial del Jaguar, muestra que las áreas de mayor probabilidad de presencia se ubican a lo largo de la línea costera, desde el sur del estado de Sinaloa hasta Oaxaca (Fig. 21e). En el área occidental de Michoacán encontramos estas áreas en la mayor parte de la provincia fisiográfica Costas del Sur, cubierta principalmente por selva baja caducifolia y selva mediana subcaducifolia; también encontramos algunas porciones dentro de la provincia fisiográfica Cordillera Costera del Sur, donde se localizan en zonas de bosques templados, principalmente.

- ***Conepatus leuconotus* (Lichtenstein, 1832)**

Se obtuvieron un total de 231 registros de Zorrillo de espalda blanca para el occidente del país, de los cuales solo seis corresponden a registros recientes (2014; Tabla 1). El modelo obtuvo un buen desempeño con 1.5 como valor de AUC ratio.

La distribución del Zorrillo de espalda blanca comprende casi todo el territorio nacional, a excepción de las penínsulas de Baja California y Yucatán (Hall, 1981). Se ha reportado en una gran variedad de hábitats en México, que incluyen matorrales secos y pastizales (Matson y Baker, 1986), áreas tropicales, montañas y llanuras costeras (Dalquest, 1953), áreas de cultivo (Hall y Dalquest, 1963), entre otros.

La distribución potencial del Zorrillo de espalda blanca dentro del área occidental de Michoacán es reducida, encontramos algunas áreas con probabilidades altas de presencia en zonas costeras, dentro de la provincia fisiográfica Cosas del Sur en el municipio de Aquila y en una pequeña porción de la provincia fisiográfica Cordillera Costera del Sur, en los municipios de Coahuayana y Chinicuila (Fig. 20d).

- ***Bassariscus astutus* (Lichtenstein, 1830)**

Se obtuvieron un total de 239 registros de Cacomixtle para el occidente del país, de los cuales solo seis corresponden a registros recientes (2014; Tabla 1). El valor de AUC ratio de este modelo fue de 1.6, mostrando un buen desempeño.

El Cacomixtle presenta una distribución bastante amplia, la cual abarca gran parte del territorio nacional, por lo que ocupa una gran variedad de hábitats, que van desde bosques templados hasta zonas de pastizal y desierto, abarcando altitudes desde el nivel del mar hasta los 2,900 msnm (Poglayen-Neuwall y Toweill, 1988).

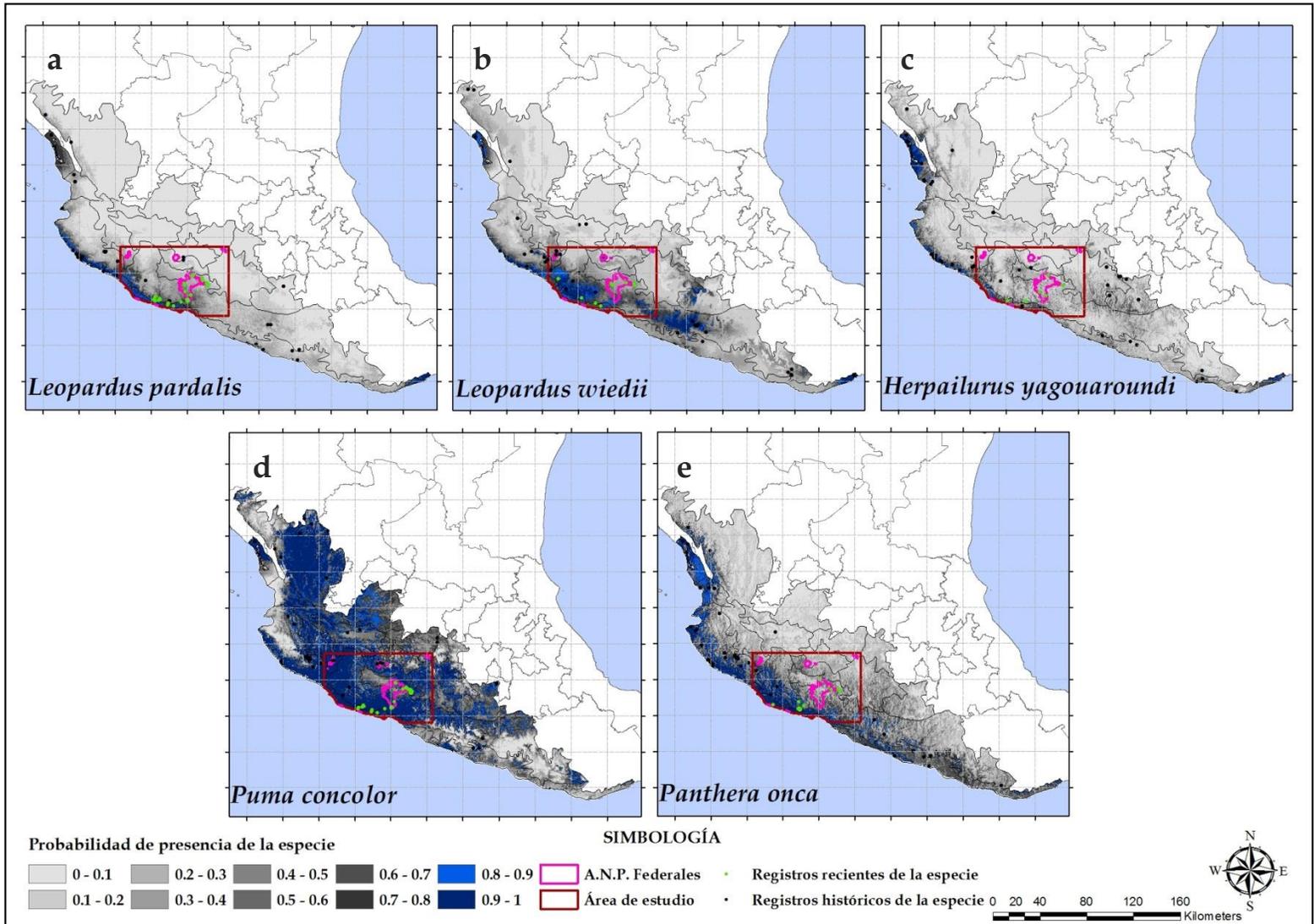


Figura 21. Modelos de distribución potencial de especies de carnívoros, generados en la vertiente occidental del país.

Si bien existen registros tanto históricos como recientes de Cacomixtle dentro de la zona occidente de Michoacán, en el modelo de distribución potencial se observa que las áreas de mayor probabilidad de presencia se localizan fuera del área de estudio. En el área de estudio, encontramos que las probabilidades más altas de presencia tienen valores alrededor de 0.7; sin embargo, algunas áreas muy pequeñas presentan valores de 0.8-1.0, algunas de las cuales corresponden espacialmente con el Parque Estatal “Bosque Mesófilo Nevado de Colima”; otras áreas limitadas con estos valores se ubican dentro de la

provincia fisiográfica Cordillera Costera del Sur, en los municipios de Aguililla y Coalcomán de Vázquez Pallares (Fig. 20a).

- ***Nasua narica* (Linnaeus, 1766)**

Se obtuvieron un total de 376 registros de Coatí en la porción occidental del país, de los cuales 81 son datos recientes (2014: Tabla 1), siendo de hecho la especie con el mayor número de registros en la base de datos. El valor de AUC ratio para este modelo fue de 1.51, presentando un buen desempeño.

El Coatí es una especie de amplia distribución en el continente americano. En México, a excepción de la península de Baja California y las porciones más secas de la Altiplanicie Mexicana, su distribución es muy amplia e incluye todos los estados de la República (Godínez-Navarro *et al.*, 2008). Es una especie que ocupa diversos hábitats, como bosques tropicales y templados y, ocasionalmente desiertos y sabanas, encontrándose desde el nivel del mar hasta altitudes de 3,500 msnm (Gompper, 1995; Wilson y Reeder, 2005).

La predicción sobre la distribución potencial del Coatí muestra que las áreas de mayor probabilidad de presencia se localizan, principalmente, en la línea costera. En el caso del área occidental de Michoacán, se observa que estas áreas forman un continuo dentro de la provincia fisiográfica Costas del Sur, en los municipios de Coahuayana, Aquila y Lázaro Cárdenas; sin embargo, existen también pequeñas porciones en la provincia fisiográfica Cordillera Costera del Sur, en los municipios de Chinicuila y Arteaga (Fig. 20b). El tipo de vegetación que encontramos en estas zonas corresponde, principalmente, a selva baja caducifolia y selva mediana subcaducifolia.

- ***Procyon lotor* (Linnaeus, 1758)**

Se obtuvieron un total de 242 registros de Mapache para la porción occidental del país, de los cuales 14 corresponden a datos recientes (2014; Tabla 1). El valor de AUC obtenido para este modelo fue de 1.48, mostrando un buen desempeño.

A excepción del centro de la península de Baja California, el Mapache habita en prácticamente todo el territorio nacional (Hall, 1981; Ceballos y Arroyo-Cabrales, 2013). Al ser una especie de amplia distribución, su capacidad de adaptación a diferentes ambientes es grande, habitando prácticamente cualquier tipo de ambiente, siempre y cuando tenga agua cercana, de preferencia durante todo el año (Leopold, 1977).

La predicción de la distribución potencial del Mapache es similar a la del Coatí, dentro del área occidental del estado de Michoacán. Se observa que las áreas de mayor probabilidad de presencia de la especie se distribuyen, principalmente, a lo largo de la provincia fisiográfica Costas del Sur, en los municipios de Coahuayana, Aquila y Lázaro Cárdenas, aunque también encontramos pequeñas áreas dentro del municipio de Chinicuila, en la

provincia fisiográfica Cordillera Costera del Sur (Fig. 20c), con vegetación de tipo selva baja caducifolia y selva mediana subcaducifolia, principalmente.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Álvarez-Solórzano, T. y López-Vidal, J. C. 1998. Biodiversidad de los mamíferos en el Estado de Michoacán. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Base de datos SNIB2010-conabio proyecto No. P020. México D.F.
- Álvarez, T. y Sánchez-Casas, N. 1997. Contribución al conocimiento de los mamíferos, excepto Chiroptera y Rodentia, de Michoacán, México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, 42: 47-74.
- Anderson, R. P., Gómez-Laverde, M. y Peterson, T. 2002. Geographical distribution of spiny pocket mice in South America: insights from predictive models. *Global Ecology and Biogeography*, 11: 131-141.
- 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.
- Aranda, M. 1998. Densidad y estructura de una población del jaguar (*Panthera onca*) en la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 75: 199-201.
- Aranda, M. 2005. *Herpailurus yagouaroundi* (Lacépède, 1809). En *Los mamíferos silvestres de México*, Ceballos, G. y Oliva, G. (eds.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Fondo de Cultura Económica, México, D. F. p. 358-359.
- Araújo, M. B. y New, M. 2006. Ensemble forecasting of species distributions. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 22: 42-47.
- Arizmendi, C., y Márquez-Valdelamar, L. 2000. Áreas de importancia para la conservación de las aves en México (AICA). CIPAMEX-CONABIO-CCN-FMCN, México.
- Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. y Loa, E. (Coords.). 2000. *Regiones terrestres prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Augustin, N., Muggleston, M. A., y Buckland, S. T. 1996. An autologistic model for spatial distribution of wildlife. *Journal of Applied Ecology*, 33: 339-347.
- Baker, R. H. y Alcorn, A. A. 1953. Shrews from Michoacán, México, found in barn owl pellets. *Journal of Mammalogy*, 34: 116.

- Berger, J. 1999. Antropogenetic extinction of top carnivores and interspecific animal behavior: implications of the rapid decoupling a web involving wolves, bears, moose and ravens. *Proceeding of the Royal Society London*, 266: 2261-2267.
- Bocco, G., Mendoza, M. E., Velázquez, A. y Torres, A. 1999. La regionalización geomorfológica como una alternativa de regionalización ecológica en México. El caso de Michoacán de Ocampo. *Investigaciones Geográficas*, 40: 6-22.
- Bocco, G., Mendoza, M., y Masera, O. R. 2001. La dinámica del cambio de uso de suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Boletín de Investigaciones Geográficas*, 44: 18-38.
- 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
- Briceño-Méndez, M., Reyna-Hurtado, R., Calmé, S. y García-Gil, G. 2014. Preferencias de hábitat y abundancia relativa de *Tayassu pecari* en un área con cacería en la región de Calakmul, Campeche, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: 242-250.
- Brito, J. C., Crespo, E. G., y Paulo, O. S. 1999. Modelling wildlife distributions: logistic multiple regression vs overlap analysis. *Ecography*, 22: 251-260.
- Burt, W.H. 1961. Some effects of volcan Paricutin on vertebrates. *Occasional Papers of the Museum of Zoology, University of Michigan*, 620: 1-24.
- Cabeza, M., Arponen, A., Jäätelä, L., Kujala, H., Van Teeffelen, A. y Hanski, I. 2010. Conservation planning with insects at three different spatial scales. *Ecography* 33: 54-63.
- Cabeza, M., Arponen, A., y Van Teeffelen, A. 2008. Top predators: hot or not? A call for systematic assessment of biodiversity surrogates. *Journal of Applied Ecology* 45: 976-980.
- Cabeza, M. y Moilanen, A. 2001. Design of reserve networks and the persistence of biodiversity. *Trends in Ecology y Evolution*, 16(5): 242-248.
- Carrillo-Reyna, N., Reyna-Hurtado, R. y Schmook, B. 2015. Abundancia relativa y selección de hábitat de *Tapirus bairdii* en las reservas de Calakmul y Balam Kú, Campeche, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86: 202-207.
- Ceballos, G. 2008. Modelado de la distribución de las especies de mamíferos de México para un análisis GAP. Informe final SNIB-CONABIO proyecto DS006. EcoCiencia, S. C. Ciudad de México, México.

- Ceballos, G. y Arroyo-Cabrales, J. 2013. Lista actualizada de los Mamíferos de México. *Revista Mexicana de Mastozoología Nueva época*, 2(1): 27-80.
- Ceballos, G., Arroyo-Cabrales, J., Medellín, R. y Domínguez-Castellanos, Y. 2005. Lista actualizada de los Mamíferos de México. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 9: 21-71.
- Ceballos, G. y Oliva, G. (Coords.). 2005. Los mamíferos silvestres de México. CONABIO/Fondo de Cultura Económica, México D. F.
- Cervantes-Zamora, Y., Cornejo-Olgín, S. L., Lucero-Márquez, R., Espinoza-Rodríguez, J. M., Miranda-Viquez, E. y Pineda-Velázquez, A. 1990. Provincias Fisiográficas de México. Extraído de Clasificación de Regiones Naturales de México II, IV.10.2. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Charre-Medellín, J. F. 2012. Uso de manantiales por los mamíferos silvestres en bosques tropicales de Michoacán. Tesis de grado de Maestro en Ciencias en Conservación y Manejo de Recursos Naturales. Facultad de Biología, Maestría Institucional en Ciencias Biológicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Charre-Medellín, J. F., Colín-Soto, C. Z. y Monterrubio-Rico, T. C. 2010. Uso de manantiales de filtración por los vertebrados durante la época seca en un bosque tropical fragmentado en la costa de Michoacán. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 26(3): 737-743.
- Charre-Medellín, J. F., Monterrubio-Rico, T. C., Botello, F. J., León-Paniagua, L. y Núñez, R. 2013. First Records of Jaguar (*Panthera onca*) from the State of Michoacán, Mexico. *The Southwestern Naturalist* 58(2): 264-268.
- Charre-Medellín, J. F., Monterrubio-Rico, T. C. y Guido-Lemus, D. 2014. Nuevo registro de jaguar (*Panthera onca*), en el centro occidente de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 1295-1299.
- Charre-Medellín, J. F., Monterrubio-Rico, T. C., Guido-Lemus, D. y Mendoza, E. 2015. Patrones de distribución de felinos silvestres (Carnívora: Felidae) en el trópico seco del Centro-Occidente de México. *Revista de Biología Tropical*, 63(3): 783-797.
- Chase, J. M., y Leibold, M. A. 2003. Ecological niches: linking classical and contemporary approaches. University of Chicago Press.
- Chávez, C. 2006. *Puma concolor*. En Los mamíferos silvestres de México, Ceballos G. y Oliva, G. (eds.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Fondo de Cultura Económica, México, D.F. p. 364-367.

- Chávez, C., Aranda, M. y Ceballos, G. 2005. El jaguar. *En* Los mamíferos silvestres de México, Ceballos G. y Oliva, G. (eds.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Fondo de Cultura Económica, México, D.F. p. 256-262.
- Chávez-León, G. y Zaragoza, S. R. 2009. Riqueza de mamíferos del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80: 95-104.
- CIPAMEX (Sección Mexicana del Consejo Internacional para la Preservación de las Aves) - CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 1999. Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves. Escala 1:250000. México. Financiado por CONABIO-FMCN-CCA. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F.
- CIPAMEX (Sección Mexicana del Consejo Internacional para la Preservación de las Aves) - CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2015. Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves. Escala 1:250000. México. Financiado por CONABIO-FMCN-CCA. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2017. Áreas Naturales Protegidas.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2018. Áreas Naturales Protegidas. Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación. <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=47y=11><https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=52y=11>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2004. Regiones Terrestres Prioritarias. Escala 1:1000000. México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2005. La Biodiversidad en Michoacán, Estudio de Estado. Consejo Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México, D. F.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), The Nature Conservancy-Programa México (TNC), Pronatura-FCF, Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). 2007. Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad terrestre de México.
- Cowley, M., Wilson, R. J., León-Cortés, J. L., Gutierrez, D., Bulman, C. R. y Thomas, C. D. 2000. Habitat-based statistical models for predicting the spatial distribution of butterflies and day-flying moths in a fragmented landscape. *Journal of Applied Ecology*, 37: 60-72.

- Cuervo-Robayo, A. P. y Monroy-Vilchis, O. 2012. Distribución potencial del jaguar *Panthera onca* (Carnivora: Felidae) en Guerrero, México: persistencia de zonas para su conservación. *Revista de Biología Tropical*, 60(3): 1357-1367.
- Dalquest, W. W. 1953. Mammals of the Mexican State of San Luis Potosi. Louisiana State University Studies. Biological Sciences Serie, 1: 1-299.
- De la Torre, J. A. y Torres-Knoop, L. 2007. Distribución potencial del puma (*Puma concolor*) en el estado de Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Mastozoología Nueva época*, 4(2): 45-56.
- Edwards, T. C., Deshler, E. T., Foster, D. y Moisen, G. G. 1996. Adequacy of wildlife habitat relation models for estimating spatial distributions of terrestrial vertebrates. *Conservation Biology*, 10: 263-270.
- Elton, C. 1927. *Animal Ecology*. Sidgwick and Jackson. Londres, Inglaterra.
- Engler, R., Guisan, A. y Rechsteiner, L. 2004. An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. *Journal of Applied Ecology*, 41: 263-274.
- Escalante, P., Navarro, A. G. y Peterson, A. T. 1998. Un análisis geográfico, ecológico e histórico de la diversidad de aves terrestres de México. *En* Diversidad Biológica de México, orígenes y distribución, Ramamoorthy, T. P., Bye, R., Lot, A. y Fa, J. (eds.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. p. 279-304.
- ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, C A: Environmental Systems Research Institute.
- Fa, J. E. y Morales, L. M. 1991. Mammals and protected areas in the Trans-Mexican Neovolcanic Belt. *En* Latin American mammalogy: history, biodiversity, and conservation, Mares M. A. y Schmidly, D. J. (eds.). University of Oklahoma, Press, Norman, Oklahoma. p: 199-226.
- Fa, J. E. y Morales, L. M. 1998. Patrones de diversidad de mamíferos de México. *En* Diversidad Biológica de México, orígenes y distribución, Ramamoorthy, T. P., Bye, R., Lot, A. y Fa, J. (eds.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. p. 315-352.
- Franklin, J. 2010. Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press.
- Garduño-Monroy, V. 2005. El Relieve. *En* La biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado, Villaseñor-Gómez, L. E. (ed.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la

Biodiversidad (CONABIO), Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. p. 21-24.

Gause, G. F. 1932. Experimental studies on the struggle for existence I mixed population of two species of yeast. *J. Exp. Biol.*, 9: 389-402.

Gause, G. F. 1934. *The Struggle for Existence*. Baltimore: Williams y Wilkins. 163 pp.

Gillingham P. K., Palmer, S. C. F., Huntley, B., Kunin, W. E., Chipperfield, J. D. y Thomas C. D. 2012. The relative importance of climate and habitat in determining the distributions of species at different spatial scales: a case study with ground beetles in Great Britain. *Ecography*, 35: 831-8.

Gittleman, J. L., Funk, S. M., Macdonald, D. W. y Wayne, R. K. 2001. Why "carnivore conservation"? *En Carnivore conservation*, Gittleman, J. L., Funk, S. M., Macdonald, D. W. y Wayne R. K. (eds). Cambridge University Press. Cambridge, UK. p. 1-8.

Gómez-Mendoza, L. y Arriaga, L. 2007. "Modeling the effect of climate change on the distribution of oak and pine species of Mexico". *Conservation Biology*, 21(6): 1545-1555.

Godínez-Navarro, E., Río-Vélez, A., Covarrubias-Legaspi, H. y Velázquez-López, R. 2008. *Guía de mamíferos de Arcediano*. Gobierno del Estado de Jalisco. Guadalajara, México.

Gompper, M. 1995. *Nasua narica*. *Mammalian Species* 487:1-10.

Grinnell, J. 1924. Geography and evolution. *Ecology*, 5:225-229.

Grinnell, J. 1917. The niche-relationships of the California thrasher. *Auk*, 34: 427-433.

Guido-Lemus, D. 2012. Riqueza de la comunidad de los mamíferos silvestres de la cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán, una comparación utilizando métodos de muestreo. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Guisan, A., Graham, C. H., Elith, J., Huettmann, F. y NSDM group. 2007. Sensitivity of predictive species distribution models to change in grain size. *Diversity and Distributions*, 13: 332-340.

Guisan, A. y Hofer, U. 2003. Predicting reptile distributions at the mesoscale: relation to climate and topography. *Journal of Biogeography*, 30: 1233-1243.

Guisan, A. y Thuiller, W. 2005. Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8: 993-1009.

- Guisan, A., y Zimmermann, N. E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135:147-186.
- Hall, E. R. y Villa, B. R. 1948. A new pocket gopher (*Thomomys*) and a new spiny pocket mouse (*Liomys*) from Michoacan, Mexico. University of Kansas Publications, Museum of Natural History, 1: 249-256.
- Hall, E. R. 1949. A new subspecies of cotton rat, *Sigmodon hispidus*, from Michoacan, Mexico. *Proceedings of Biological Society of Washington*. 62: 149-150.
- Hall, E. R. 1981. The mammals of North America. John Wiley and Sons (eds). New York, EE.UU.
- Hall, E. R. 1948. Tow new meadow mice from Michoacan , Mexico. University of Kansas Publications, Museum of Natural History. 1: 423-427.
- Hall, E. R., y Dalquest, W. W. 1963. The mammals of Veracruz. University of Kansas Publications, Museum of National History, 14 (14), 165-362.
- Hall, E.R. y Villa, B. R. 1949a. An annotated check list of the mammals of Michoacan, Mexico. University of Kansas Publications, Museum of Natural History, 1:431-472.
- Hall, E. R. y Villa, B. R. 1949b. A new harvest mouse from Michoacan, Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 62: 163-164.
- Harverson, P. M, Tewes, M. E., Anderson, G. L. y Laack, L. L. 2004. Habitat use by ocelots in south Texas, implications for restoration. *Wildlife Society Bulletin*, 32: 948-954.
- Hirzel, A. y Guisan, A. 2002. Which is the optimal sampling strategy for habitat suitability modelling. *Ecological Modelling*, 157: 331-341.
- Hirzel, A. H., Helfer, V. y Metral, F. 2001. Assessing habitat-suitability models with a virtual species. *Ecological Modelling*, 145: 111-121.
- Hopkinson, P., Travis, J., Prendergast, J., Evans, J., Gregory, R., Telfer, M. y Williams, P. 2000. A preliminary assessment of the contribution of nature reserves to biodiversity conservation in Great Britain. *Animal Conservation*, 3: 311-320.
- Hutchinson, G. E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*. 22: 415-427. Reimpreso en: *Classics in Theoretical Biology*. Bull. of Math. Biol. 53: 193-213.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2014b. Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V, escala 1: 250 000. México.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2007. Censo Agropecuario: Características del sector agropecuario y forestal en Michoacán. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2014a. Guía para la interpretación de cartografía de uso de suelo y vegetación: escala 1:250,000: Serie V, Mexico.
- Jaberg, C. y Guisan, A. 2001. Modelling the distribution of bats in relation to landscape structure in a temperate mountain environment. *Journal of Applied Ecology*, 38: 1169-1181.
- Jackson, S. F. y Gaston, K. J. 2008. Land use change and the dependence of national priority species on protected areas. *Global Change Biology*, 14: 2132-2138.
- Jenness, J. 2006. Topographic Position Index (tpi_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.2. Jenness Enterprises. Disponible en: <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>.
- Jiménez-Valverde, A. y Lobo, J. M. 2007. Threshold criteria for conversion of probability of species presence to either-or presence-absence. *Acta Oecologica*, 31: 361-369.
- Jiménez-Valverde, A., Lobo, J. M. y Hortal, J. 2008. Not as good as they seem: the importance of concepts in species distribution modelling. *Diversity and Distributions*, 14:885-890.
- Karanth, K. U. y Chellam, R. 2009. Carnivore conservation at the crossroads. *Fauna y Flora International*, *Oryx*, 43(1): 1-2.
- Kearney, M. y Porter, W. P. 2004. Mapping the fundamental niche: physiology, climate, and the distribution of a nocturnal lizard. *Ecology*, 85(11): 3119-3131.
- Laitila, J. y Moilanen, A. 2012. Use of many low-level conservation targets reduces high-level conservation performance. *Ecological Modelling*, 247: 40-47.
- Leopold, A. S. 1977. Fauna Silvestre de México. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. Ciudad de México, México.
- Leopold, A. S. 1983. Fauna silvestre de México. Pax-México. 655 p.
- Leibold, M. A. y Geddes, P. 2005. El concepto de nicho en las metacomunidades. *Ecología Austral*, 15: 117-129.
- Lobo, J. M., Jimenez-Valverde, A. y Real, R. 2007. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography*, 17: 145-151.
- Lotka, J. 1925. *Elements of Physical Biology*, Williams y Wilkins Co., Baltimore.

- Loyola, R. D., Oliveira-Santos, L. G. R., Almeida-Neto, M., Nogueira, D. M., Kubota, U., Diniz-Filho, J. A. F. y Lewinsohn, T. M. 2009. Integrating economic costs and biological traits into global conservation priorities for carnivores. *PLoS ONE*, 4(8): e6807. doi:10.1371/journal.pone.0006807.
- Ludlow, M. E. y Sunquist, M. E. 1987. Ecology and behavior of ocelots in Venezuela. *National Geographic Research*, 3: 447-461.
- MacArthur, R. H. 1968. The theory of the niche. *En Population Biology and Evolution*, Lewontin, R. C. (ed.). Syracuse Univ. Press. p. 159-176.
- Manel, S., Dias, J. M., Buckton, S. T. y Ormerod, S. J. 1999. Alternative methods for predicting species distribution : an illustration with Himalayan river birds. *Journal of Applied Ecology*, 36: 743-747.
- Margules, C. y Sarkar, S. 2009. Planeación sistemática de la conservación. UNAM-CONANP-CONABIO, Mexico.
- Mas, J. F., Velásquez, A., Reyes, J., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, C., Bocco, G., Castro, R., Fernández, T. y PérezVega, A. 2004. Assessing land use/cover changes: a nationwide multirate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(4): 249-338.
- Matson, J. O. y Baker, R. H. 1986. Mammals of Zacatecas. Special Publications. The Museum Texas Tech University, 24: 1-88.
- Milesi, F. A. y Lopez de Casenave, J. 2005. El concepto de nicho en Ecología aplicada: del nicho al hecho hay mucho trecho. *Ecología Austral*, 15:131-148.
- Moilanen, A., Anderson, B. J., Eigenbrod, F., Heinemeyer, A., Roy, D. B., Gillings, S., Armsworth, P. R., Gaston, K. J. y Thomas, C. D. 2011. Balancing alternative land uses in conservation prioritization. *Ecological Applications*, 21: 1419-1426.
- Moilanen, A. 2007. Landscape Zonation, benefit functions and target-based planning. Unifying reserve selection strategies. *Biological Conservation*, 134: 571-579. Doi: 10.1016/j.biocon.2006.09.008.
- Moilanen, A., Franco, A. M. A., Early, R. E., Fox, R., Wintle, B. A. y Thomas, C. D., 2005. Prioritizing multiple-use landscapes for conservation: methods for large multi-species planning problems. *Proceedings of the Royal Society of London Series B*, 272: 1885-1891.
- Monroy-Vilchis, O., Sánchez-Herrera, O., Aguilera, U. y Suárez, P. 2005. First record of *Panthera onca* in the state of Mexico, Central Mexico. *Universidad de Aliante*.

- Monterrubio-Rico, T. C., Charre-Medellín, J. F., Colín-Soto, C. Z. y León-Paniagua, L. 2014. Los Mamíferos del estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Mastozoología Nueva época*, 2: 1-17.
- Monterrubio-Rico, T. C., Charre-Medellín, J. F., Villanueva-Hernández, A. I. y León-Paniagua, L. 2013. Nuevos registros de la martucha (*Potos flavus*) para Michoacán, México, que establecen su límite de distribución al norte por el Pacífico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84: 1002-1006.
- Monterrubio-Rico, T. C., Charre-Medellín, J. F., Zavala-Páramo, M. G., Cano-Camacho, H., Mario Quetzal, P. R. y León-Paniagua, L. 2012. Evidencias fotográfica, biológica y genética de la presencia actual del jaguarundi (*Puma yagouaroundi*) en Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83: 825-833.
- Morgan, L., Maxwell, S., Tsao, F., Wilkinson, T. A. C. y Etnoyer, P. 2005. Áreas prioritarias marinas para la conservación, Baja California al Mar de Bering. Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, Marine Conservation Biology Institute, Montreal.
- Nelson, E. W. y Goldman, E. A. 1932. Two new cacomistles from Mexico, with remarks on the genus *Jentinkia*. *J. Washington Acad. Sci.*, 22(16-17):484-488
- Nowell, K. y Jackson, P. 1996. Wild cats: status survey and conservation action plan. UICN, Gland. 382 p.
- Núñez, A. 2005. Los Mamíferos Silvestres de Michoacán. Diversidad, Biología e Importancia. UMSNH. México.
- Oliveira, T. G. 1998. *Herpailurus yagouaroundi*. *Mammalian Species*, 578: 1-6.
- Oliveira, T. G. 1994. Neotropical cats: ecology and conservation. Edufma, São Luís Maranhão. 220 p.
- Orduña T.C., Castro, C. A. y Ramírez, P. J. 2000. Mammals from the Tarascan Plateau, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 4: 53-68.
- Osorio-Olvera, L. 2016. Niche TollBox: A web tool for exploratory data analysis and niche modeling.
- Ortega-Huerta, M. A. y Peterson, A. T. 2004. Modelling spatial patterns of biodiversity for conservation prioritization in North-eastern Mexico. *Diversity and Distributions*, 10: 39-54.

- Pearson, R. G. 2007. Species' Distribution Modeling for Conservation Educators and Practitioners. Synthesis. American Museum of Natural History. Disponible en: <http://ncep.amnh.org>.
- Peterson, A. T. 2001. Predicting Species' Geographic Distributions Based On Ecological Niche Modeling. *The Condor*, 103: 599-605.
- Peterson, A. T. 2006. Uses and requirements of ecological niche models and related distributional models. *Biodiversity Informatics* 3: 56-72.
- Peterson, A. T., Ball, L. G. y Cohoon, K. C. 2002. Predicting distributions of tropical birds. *Ibis*, 144: e27-e32.
- Peterson, A. T., Flores, V. O. A., Leon P. L. S., Llorente, B. J. E., Luis, M. M. A., Navarro, A. G., Sigüenza, M. G., Torres, C., y Vargas, F. I. 1993. Conservation priorities in northern Middle America: Moving up in the world. *Biodiversity Letters*, 1: 33-38.
- Peterson, A. T., y Holt, R. D. 2003. Niche differentiation in Mexican birds: using point occurrences to detect ecological innovation. *Ecology Letters*, 6: 774-782.
- Peterson, A. T. y Navarro-Singuenza, A. G. 2000. Western Mexico: a significant center of avian endemism and challenge for conservation action. *Cotinga*, 14: 42-46.
- Peterson, A. T., Papes, M. y Soberón, J. 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling*, 213: 63-73.
- Pinto-Ledezma, J. N., Sandoval, X. V., Pérez, V. N., Caballero, T. J., Mano, K., Pinto, V. M. A. y Sosa R. 2014. Desarrollo de un modelo espacial explícito de hábitat para la paraba jacinta (*Anodorhynchus hyacinthinus*) en el Pantanal boliviano (Santa Cruz, Bolivia). *Ecología en Bolivia*, 49(2): 51-64.
- Poglayen-Neuwall, I. y Toweill, D. E. 1988. *Bassariscus astutus*. *Mammalian Species*, 327:1-8
- Polaco, O. J. y Muñiz-Martínez, R. 1987. Los murciélagos de la costa de Michoacán. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, México*, 31: 68-89.
- Possingham, H. P., Wilson, K. A., Andelman, S. J., Vynne, C. H. 2006. Protected areas: goals, limitations, and design. *En Principles of conservation biology*, Groom, M. J., Meffe, G. K. y Carroll, C. R. (eds.). Sinauer Associates Inc., Sunderland, MA. p. 509-533.
- Prendergast, R. J., Quinn, M. R. y Lawton, H. J. 1999. The gaps between theory and practice in selecting nature reserves. *Conservation Biology*, 13(3): 484-492.

- Pressey, R. L. 1994. Ad hoc reservations: forward or backward steps in developing representative reserve systems?. *Conservation Biology*, 8(3): 662-668.
- Pressey, R. L., Cabeza, M., Watts, M. E., Cowling, R. M., Wilson, K. A. 2007. Conservation planning in a changing world. *Trends in ecology y evolution*, 22: 583-592.
- Pressey, R. L., Humpries, C. J., Margules, C. R., Vane-Wright, R. I. y Williams, P. H. 1993. Beyond opportunism; key principles for systematic reserve selection. *Tree*, 8(4): 124-128.
- Pressey, R. L., Possingham, H. P. y Day, J. R. 1997. Effectiveness of alternative heuristic algorithms for identifying indicative minimum requirements for conservation reserves. *Biological Conservation*, 80: 207-219.
- Ramamoorthy, T. P., Bye, R., Lot, A. y Fa, J. (Eds). 1993. *Biological diversity of Mexico: Origins and distribution*. Oxford Univ. Press, New York.
- Ramírez-Pulido, J., Arroyo-Cabrales, J. y Castro-Campillo, A. 2005. Estado actual y relación nomenclatural de los mamíferos terrestres de México. *Acta Zoológica Mexicana*, 21(1): 21-82.
- Ramírez-Pulido, J., González-Ruíz, N., Gardner, A. L. y Arroyo-Cabrales, J. 2014. List of recent land mammals of Mexico, Special Publications Museum of Texas Tech University, 63.
- Ray, J. y Sunquist, M. 2001. Trophic relations in a community of African rainforest carnivores. *Oecologia*, 127: 395-408.
- R Core Team. 2013. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Red Nacional de Sistemas Estatales de Áreas Naturales Protegidas, 2013. <https://www.anpsestatales.mx/index.php>.
- Reese, G. C., Wilson, K. R., Hoeting, J. A. y Flather, C. H. 2005. Factors affecting species distribution predictions: a simulation modeling experiment. *Ecological Applications*, 15: 554- 564.
- Ripple, W. J., Estes, J. A., Beschta, R. L., Wilmers, C. C., Ritchie, E. G., Hebblewhite, M., Berger, J., Elmhagen, B., Letnic, M., Nelson, M. P., Schmitz, O. J., Smith, D. W., Wallach, A. D. y Wirsing, A. J. 2014. Status and ecological effects of the world's largest carnivores. *Science*, 343(6167): 1241484.

- Risto K. H., Luoto, M., Araújo, M. B., Raimo, V., Thuiller, W. y Sykes, M. T. 2006. Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. *Progress in Physical Geography*, 30(6): 1-27.
- Robertson, M. P., Peter, C. I., Villet, M. H. y Ripley, B. S. 2003. Comparing models for predicting species potential distributions: a case study using correlative and mechanistic predictive modelling techniques. *Ecological Modelling*, 164: 153-167.
- Rodas-Trejo, J., Rebolledo, G. y Rau, J. R. 2010. Uso y selección de hábitat por mamíferos carnívoros y herbívoros en bosque nativo y plantaciones forestales del sur de Chile. *Gestión Ambiental*, 19: 33-46.
- Rodríguez, S. C. 2010. Distribución potencial de jaguar (*Panthera onca*) en México: identificación de zonas prioritarias para su conservación. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería, México.
- Rzedowski J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botanica Mexicana*, 14: 3-21.
- Rzedowski, J. 1998. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *En Diversidad Biológica de México, orígenes y distribución*, Ramamoorthy, T. P., Bye, R., Lot, A. y Fa, J. (eds.). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. p. 129-145.
- 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., Munguía, M. y Peterson, A. T. 2005. GIS-based predictive biogeography in the context of conservation. *En Frontiers of biogeography: new directions in the geography of the nature*, Lomolino, M. V. y Heany, L. R. (eds.). Sunderland, Massachusetts: Sinauer. p. 311-324.
- Sánchez-Cordero, V., Illoldi-Rangel, P., Escalante, T., Figueroa, F., Rodríguez, G., Linaje, M. 2009. Deforestation and biodiversity conservation in Mexico. *En Endangered species: new research*. Columbus, A. y Kuznetsov, L. (eds.). New Haven: Nova Science Publishers. p. 279-298.
- Sánchez-Cordero, V., Botello, F., Flores-Martínez, J. J., Gómez-Rodríguez, R. A., Guevara, L., Gutiérrez-Granados, G. y Rodríguez-Moreno, A. 2014. Biodiversidad de Chordata (Mammalia) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85: S496-S504.

- Sánchez, H. C., Romero, A. M. L. y Núñez, A. G. 1992. El oso hormiguero *Tamandua mexicana* en la costa del Estado de Michoacán. *Southwestern Naturalist*, 37: 88-89.
- Sánchez-Hernández, C., Romero-Almaraz, M. L., Owen, R. D., Núñez-Garduño, A. y López-Wilchis, R. 1999. Noteworthy records of mammals from Michoacán, México. *Southwestern Naturalist*, 44: 231-235.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2006. Proyecto para la conservación y Manejo del jaguar en México. Serie proyectos de Recuperación de Especies Prioritarias. Número 14., México D.F. 59 pp.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, protección ambiental -especies nativas de México de flora y fauna silvestres categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- lista de especies en riesgo. Segunda sección. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Diario Oficial, 30 diciembre 2010, México, Distrito Federal, Mexico.
- Sergio, F., Caro, T., Brown, D., Clucas, B., Hunter, J., Ketchum, J., McHugh, K. y Hiraldo, F. 2008. Top predators as conservation tools: ecological rationale, assumptions, and efficacy. *Annual review of ecology, evolution, and systematic*, 1-19.
- Servín, J. 2013. Perspectivas de estudio, conservación y manejo de los Carnívoros en México. *THERYA*, 4: 427-430.
- Servín, J. y Chacón, E. 2005. *Urocyon cinereoargenteus*. En *Los mamíferos silvestres de México*, Ceballos G. y Oliva, G. (eds.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Fondo de Cultura Económica, México, D.F. p.354-355.
- Servín, J. y Huxley, C. 1995. Coyote home range size in Durango, México. *Zeitschrift für Säugetierkunde*, 60: 119-120.
- Shugart, H. H. 1998. *Terrestrial Ecosystems in Changing Environments*. Cambridge: Cambridge University Press. Pp 103-143.
- Soberón, J. 2010. Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. *Ecography*, 33: 159-167. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.06074.x>
- 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. 2007. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters*, 10: 1115-1123.

- Sosa-Escalante, J., Hernández-Betancourt, S., Segovia-Castillo, A. y Sánchez-Cordero, V. 1997. First record of the coyote *Canis latrans* (Carnivora: Canidae) in the Yucatán Peninsula, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 42(4): 494-495.
- Soulé, M. E. 1991. Conservation: tactics for a constant crisis, *Science*, 253:744-750.
- Spitz, F. y Lek, S. 1999. Environmental impact prediction using neural network modelling. An example in wildlife damage. *Journal of Applied Ecology*, 36: 317-326.
- Stokland, N. J. 1997. Representativeness and efficiency of bird and insect conservation in Norwegian forest reserves. *Conservation Biology*, 11(1): 101-111.
- Torres, R. y Jayat, J. P. 2010. Modelos predictivos de distribución para cuatro especies de mamíferos (Cingulata, Artiodactyla y Rodentia) típicas del Chaco en Argentina. *Mastozoología Neotropical*, 17(2): 335-352.
- UMSNH-SEDUE. 2000. Catálogo selecto de la biodiversidad de Michoacán. Gobierno del Estado-Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología- Michoacán. 390 pp.
- Urrea-Galeano, L. A., Rojas-López, M., Sánchez-Sánchez, L. y Ibarra-Manríquez, G. 2016. Registro de *Puma yagouaroundi* en la Reserva de la Biosfera Zicuirán-Infiernillo, Michoacán. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87: 548-551.
- Valderrama-Landeros, L., España-Boquera, M. L., Baret, F, Sánchez-Vargas, N. y Sáenz-Romero, C. 2014. Capacidad de los datos fenológicos derivados de cyclopeslai del año 2000 para distinguir los tipos de cobertura en el estado de Michoacán, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 261- 276.
- Vandermmmer, J. H. 1972. Niche theory. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 3:107-132.
- Vázquez, L. B., Bustamante-Rodríguez, C. G. y Bahena, A. D. G. 2009. Areas selection for conservation of Mexican mammals. *Animal Biodiversity and Conservation*, 32(1): 29-39.
- Vázquez, L. B. y Gaston, K. J., 2006. People and mammals in Mexico: conservation conflicts at a national scale. *Biodiversity and Conservation*, 15: 2397-2414.
- Velásquez, M. A., Sosa, N. G., Navarrete, P. J. A. y Torres, G. A. 2005. Bases para la conformación del Sistema de Áreas de Conservación del Estado de Michoacán. SUMA-UNAM. Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Michoacán y Universidad Nacional Autónoma de México. Primera edición. 90 pp. + anexos y mapas. Documento electrónico consultado en [<http://www.cofemermir.gob.mx/mir/uploadtests/13544.66.59.8.sistema%20de%20areas%20de%20conservacion%20del%20estado%20de%20michoacan.pdf>]

- Venier, L. A., McKenny, D. W., Wang, Y., y McKee, J. 1999. Models of large-scale breeding-bird distribution as a function of macro-climate in Ontario, Canada. *Journal of Biogeography*, 26: 315-328.
- Vetaas, O. R. 2002. Realized and potential climate niches: a comparison of four *Rhododendron* tree species. *Journal of Biogeography*, 29: 545-554.
- Volterra, V. 1926. *Variazioni e fluttuazioni del numero d'individui in specie animali conviventi*, Mem. R. Accad. Naz. dei Lincei, Ser. VI, vol. 2.
- Weiss, A. 2001. Topographic Position and Landforms Analysis. Poster presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA.
- Whittaker, R. H., Levin, S. A. y Root, R. B. 1973. Niche, habitat and ecotope. *Am. Nat.* 107: 321-338.
- Williams, P., Gibbons, D., Margules, C., Rebelo, A., Humphries, C. y Pressey, R. 1996. A comparison of richness hotspots, rarity hotspots and complementary areas for conserving diversity using British birds. *Conservation Biology*, 10: 155-174.
- Wilson, D. E., y Reeder, D. M. (eds.). 2005. *Mammals Species of the World, a Taxonomic and Geographic Reference*, tercera edición. Johns Hopkins Press. Baltimore, EE.UU.
- Wisz, M. S., Hijmans, R. J., Peterson, A. T., Graham, C. H., Guisan, A. y NCEAS Predicting Species Distributions Working Group. 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*, (Diversity Distrib.), 14: 763-773.
- Wood, J. E. 1958. Age structure and productivity of a gray fox population. *Journal of Mammalogy*. 39: 74-86.
- Worldclim. 2006. Universidad de California, Berkeley. Consultado en (www.worldclim.org).
- Yañez-Arenas, C., Peterson, A. T., Mokondoko, P., Rojas-Soto, O. y Martínez-Meyer, E. 2014. The Use of Ecological Niche Modeling to Infer Potential Risk Areas of Snakebite in the Mexican State of Veracruz. *PLOS ONE*, 9(6): e100957. doi:10.1371/journal.pone.0100957.
- Zaniewski, A. E., Lehmann, A. y Overton, J. McC. 2002. Predicting species spatial distributions using presence-only data: a case study of native New Zealand ferns. *Ecological Modelling*, 157: 261-280.