



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE BIOLOGÍA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

**“Evaluación de la distribución y conectividad del
oso negro mexicano (*Ursus americanus eremicus*:
URSIDAE) en la Sierra Madre Oriental”**

TESIS DE MAESTRÍA

Que como requisito parcial para obtener el título
profesional de

**Maestro en Ciencias Biológicas en
Ecología y Conservación**

presenta

Biol. José Manuel Rangel Rojas

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Alberto Gómez-Tagle Chávez

CO-DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Hernando Alonso Rodríguez Correa

Morelia, Michoacán

Febrero de 2023



DEDICATORIA

A **Dios**, por acompañarme y guiarme durante estos 3 años. Por permitirme sentir su amor a través de las personas a mi alrededor y ser el sostén más fiel sin excepción.

A **mamá** (María Laura Rojas Zamora), quien ha sido vencedora de una lucha contra el covid-19. Una luchadora incansable llena de amor y sensibilidad. Por todo el apoyo incondicional que me has brindado desde siempre. Gracias.

A **papá** (José Manuel Rangel Rentería), quien venció el cáncer y se ha esforzado por vivir una nueva vida llena de retos y aventuras. Por demostrar tu amor desde un mensaje de texto hasta un abrazo con toda tu fuerza. Gracias.

A mi **hermana** (Ofelia Rangel Rojas), quien tomó todos los fragmentos de mi ser, los cuidó, los puso todos juntos y me regaló la oportunidad de seguir haciendo lo que tanto me apasiona. Por ser esa bocanada de aire cuando sentía que me ahogaba en la desesperación y tristeza. Mil gracias.

A **Diana Alejandra Gutiérrez Cortés**, por acompañarme a lo largo de este proceso, ser mi apoyo incondicional, compañera de vida durante estos años y entregarme el amor más puro que pude sentir. Gracias por todo.

A la **familia Gutiérrez-Cortés**, que abrió las puertas de su hogar para brindarme todo lo necesario durante momentos difíciles en estos años.

A la **familia Gómez-Tagle**, que me permitieron compartir momentos llenos de alegrías y carcajadas, me dejaron acompañarlos durante su pérdida más sensible y todo el apoyo que nos brindaron a mi y a mi familia.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor, el **Dr. Alberto Gómez-Tagle Chávez**, por darme la oportunidad de agregarme a su equipo de trabajo, abrir las puertas de su laboratorio, brindarme todo el apoyo necesario (personal, emocional, académico y económico), ser siempre sincero, impulsar ideas y proyectos temerarios con los que siempre soñé. Gracias por dejarme formar parte de la familia que representa su laboratorio.

A mi coasesor, el **Dr. Hernando Alonso Rodríguez Correa**, por escuchar la propuesta de mi proyecto y brindarme toda su confianza. Gracias por agregarme a tu equipo de trabajo, a veces con llamadas fuertes de atención, pero sobre todo, gracias por escuchar, compartir y comprender, desde lo personal, lo difícil que ha sido todo este proceso.

A **Pipo** (Dr. Juan Felipe Charre Medellín), por ser el actor principal en la generación de las ideas para este proyecto. Siempre dispuesto, siempre curioso y crítico de cada párrafo escrito. Gracias por tu amistad y apoyo.

A mis sinodales, la **Dra. Yvonne Herreras Diego** y el **Dr. Luis Felipe Mendoza Cuenca**, que con sus comentarios se pudo enriquecer el presente trabajo y por la gran calidad humana que demostraron conmigo en todo momento.

Al mejor amigo que pude tener durante la maestría, el **M.C.E.I. Fernando Quiroz Rivera** por compartir carcajadas, logros, decepciones, proyectos, conocimientos, aventuras, deudas y tanto tiempo. Gracias por todo tu empuje y amistad.

A todos los chicos que formaron parte del *Departamento de Ciencias de la Tierra* del INIRENA-UMSNH y aportaron directamente sobre este trabajo, especialmente con las fichas técnicas de todas las especies vegetales modeladas:

- **Luisa Deniss Rangel Avalos**, por trabajar de una manera impecable y mostrar un interés genuino por todo lo que se trabaja en el laboratorio. Gracias por todo el cariño.
- **Fernanda Orozco Ruiz**, por tu brutal sentido del humor y trabajo.
- **Luis Felipe Reyes Aguilar**, por tu apoyo, disposición de trabajar y confianza personal.
- **Andrea Yunnuen Pastor Perfino**, por el excelente trabajo que realizaste, digno de ejemplificar con los demás y la confianza brindada.

- **Alejandra Michelle García Martínez**, por brindarme tu confianza desde los primeros momentos, compartir desde lo personal y académico, reír a carcajadas y, sobre todo, por tu sincera amistad.
- **María Maura Madrigal Silva**, por el aporte a este trabajo y sumarte a todas y cada una de las dinámicas del laboratorio, haciendo tan cálido el espacio que pudimos compartir.

A mis “Social Service Babies”:

- **Edgar Alfonso Torres Rangel**, por la calidad del trabajo, aun siendo temas totalmente nuevos para ti, y por tu espectacular sentido del humor.
- **Marisol Santillan Wenses**, por apoyar con análisis estadísticos para este trabajo, ser un pizarrón de ideas y tantas, pero tantas carcajadas.
- **Vania Reyes Muñiz**, por todo el trabajo realizado en el laboratorio, la disposición y tu divertida forma de ver la vida.
- **Gilda Josseline Vega Rodríguez**, por ser la cúspide de la creatividad y prestar tu talento en lo académico, personal y laboral.

A los chicos del laboratorio de *Biología Neotropical* de la ENES Unidad Morelia de la Universidad Nacional Autónoma de México: **Sofía Zorrilla Azcué, Lizeth Melissa Naranjo Bravo, Ahtziri Arreola Martínez y Sergio Luis Marrugo Rondon**, por darme la oportunidad de compartir espacio con ustedes, hacer observaciones muy puntuales en mi proceso formativo y, de manera sincera, compartir muchos momentos especiales.

A mis mejores amigos, **César Suárez Suárez, Héctor Ayrton Ramírez Equihua, Alfonso Vega Mendoza, Carlos Abraham Velázquez Ramírez y José Guillermo Rangel Aguilar**, por ser ese apoyo emocional que me levantó de los momentos más oscuros de este proceso. Siempre serán mis hijos en FIFA.

Al **M.C. Ubriel Isrrafel Coria Hernández**, por ser el amigo que siempre tendió su mano para ayudarme en cualquier situación y abrir las puertas de su hogar para recibirme en un momento crítico.

A **Raúl Álvarez Jara**, por permitirme participar en pequeños momentos de tu familia y apoyarme en demasía desde lo personal.

A **Ivette Gómez Balladarez**, por la asesoría en la comparación morfocraneal realizada para este trabajo. Gracias por tu amistad.

A mi familia **Ramírez Rojas** y **Rodríguez Ramírez** que abrieron las puertas de su casa, compartieron de sí. Gracias por escuchar y consolarme en la recta final de este proceso.

A mi **Facultad de Biología** y al **Posgrado Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas** por facilitarme todas las herramientas necesarias a lo largo de estos 3 años.

Al **INIRENA-UMSNH**, por permitirme usar sus instalaciones y respaldar diversos proyectos en los que participé durante estos años.

A mi **Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH)**, por darme todas las herramientas necesarias para realizar este trabajo y brindarme la oportunidad de participar en proyectos de divulgación científica.

A **CONACYT** por la beca correspondiente al **CVU No. 1043023** otorgada durante el periodo 2020-2022.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN GENERAL	1
ANTECEDENTES	3
JUSTIFICACIÓN	6
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	7
HIPÓTESIS	8
OBJETIVOS	9
Objetivo general:	9
Objetivos específicos:	9
ÁREA DE ESTUDIO	10
CAPITULO I: HISTORIA DE VIDA DEL OSO NEGRO EN MÉXICO (<i>URSUS AMERICANUS EREMICUS</i>: URSIDAE)	13
1.- RESUMEN	13
2.- ABSTRACT	14
3.- INTRODUCCIÓN	15
4.- MATERIALES Y MÉTODOS	16
5.- RESULTADOS	17
6.- DISCUSIÓN	36
7.- CONCLUSIONES	39
CAPITULO II: CARACTERIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DEL OSO NEGRO Y ANALISIS DE CONECTIVIDAD	40
1. RESUMEN	40
2. ABSTRACT	41
3. INTRODUCCIÓN	42
4. MATERIALES Y MÉTODOS	44
5. RESULTADOS	54
6. DISCUSIÓN	73
7.- CONCLUSIONES	77
DISCUSIÓN GENERAL	79
LITERATURA CITADA	81
ANEXOS	92

INTRODUCCIÓN GENERAL

El oso negro americano (*Ursus americanus*) es el carnívoro de mayor talla en México (Aranda, 2012; Ceballos *et al.*, 2005). Debido a su necesidad de grandes extensiones de territorio y una afinidad hacia los ambientes con alta disponibilidad de recursos, se le ha relacionado con ambientes de sistemas montañosos dentro de su rango de distribución (Garshelis *et al.*, 2016; Navarro-Serment, 2016).

Históricamente se ha asociado esta especie a bosques templados de pino, encino, pino-encino y junípero, los cuales son particularmente sensibles a la perturbación y pérdida de cobertura vegetal por factores como el cambio de uso de suelo, deforestación y el cambio climático (Monroy-Vilchis *et al.*, 2016). Sin embargo, en la actualidad a los osos negros se les ha registrado en ambientes desérticos y semidesérticos del norte de México, donde predomina el hábitat del matorral xerófilo e incluso se le ha registrado en ambientes tropicales como la selva mediana subperennifolia del estado de Tamaulipas (Carrera-Treviño *et al.*, 2015; Mithchell *et al.*, 2005).

El oso negro ha sido definido como una especie clave para la conservación de los ecosistemas que habita, así como la fauna silvestre con la que comparte su gremio (Gavito-Pérez *et al.*, 2012). A nivel global se considera como una especie bajo “Preocupación Menor” (LC) por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés) debido a su amplia distribución geográfica desde el norte de Canadá hasta el centro de México (Garshelis *et al.*, 2016).

En México, la degradación del hábitat que ocupa la especie ha limitado su distribución al interior de algunos ambientes presentes en la Sierra Madre Occidental (SMOcc), la Sierra Madre Oriental (SMO) y sus zonas de influencia (Scheick y McCown, 2014; Garshelis *et al.*, 2016). Diferentes autores han estimado la reducción del área de distribución de esta especie en por lo menos un 80% respecto a su extensión histórica en el país debido a la deforestación, el cambio de uso de suelo, la caza y el envenenamiento (Delfín-Alfonso *et al.*, 2012); por lo anterior, las poblaciones de esta especie que se distribuyen en la Sierra Madre Oriental (SMO) han sido catalogadas como “En Peligro de Extinción” de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010).

Se estima que actualmente solo existen aproximadamente 354 km² de hábitat idóneo para la distribución de la especie repartidos principalmente en el norte del estado de Sonora a lo largo de la SMOcc, en el centro y sur de la SMO y algunas regiones al norte del altiplano mexicano. Así mismo, se reportado que de la extensión remanente solo el 12.41% se encuentran bajo la protección del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Monroy-Vilchis *et al.*, 2016).

Aunque diversos autores coinciden en que existen parches con hábitat idóneo para el oso negro a lo largo de la SMO, se carece de estudios específicos para la subespecie *Ursus americanus eremicus* (Ursidae) sobre la conectividad existente entre estos parches y su distribución potencial, además, no existe información que exponga el grado de contribución de las Áreas Naturales Protegidas (ANP), actuales y específicas a esta región fisiográfica que favorezcan la conservación de estas poblaciones (Aguilar-López *et al.*, 2019; Hernández-Huerta, 1992; Monroy-Vilchis *et al.*, 2016).

Considerando la información expuesta, la presente investigación se centró en evaluar los patrones de distribución de *U. a. eremicus* para la SMO, estimando su distribución potencial a partir de condiciones ambientales adecuadas, la disponibilidad de recursos, la conectividad estructural y funcional entre el paisaje y las Áreas Naturales Protegidas (ANP). Lo anterior con la finalidad de proponer posibles corredores biológicos y zonas prioritarias para la conservación.

ANTECEDENTES

Estudios ecológicos para el oso negro

El oso negro (*Ursus americanus*) fue motivo de gran interés para los naturalistas desde su descubrimiento, donde se le intentaba diferenciar morfológicamente de otras poblaciones en las diferentes regiones geográficas donde se reportaba (Dall, 1895; Elliot, 1903; Merriam, 1904). Durante los siglos XIX y XX se comenzaron a reportar las primeras interacciones bióticas de estos organismos al mencionar las especies que consumían en Canadá y EUA (Beeman y Pelton, 1980; Raine y Kansas, 1990).

A finales del siglo XX, los estudios sobre el oso negro en el territorio mexicano reportaron datos de presencia, describieron los hábitats asociados y los rasgos generales de su dieta (Leopold, 1959 y Ceballos *et al.*, 2005). El primer estudio ecológico detallado sobre esta especie fue realizado por Doan-Crider y Hellgren (1996), quien describió algunos atributos poblacionales como la proporción de sexos, estructura de edades, reproducción, sobrevivencia y densidad en el estado de Coahuila. En dicho estudio se utilizaron métodos de monitoreo tanto indirectos por medio de recorridos de observación e identificación de huellas y excretas, como directos por medio de la captura de individuos, la determinación de la masa corporal, talla, edad y la colocación de radiotransmisores.

Estudios de Nicho Ecológico

Los registros actuales de oso negro sugieren que la especie se distribuye desde el norte hasta el centro de México a lo largo de las regiones fisiográficas de la Sierra Madre Occidental (SMOcc) y la Sierra Madre Oriental (SMO) (Garshelis *et al.*, 2016; Juárez-Casillas y Varas, 2013). La disponibilidad de la información bioclimática y los registros georreferenciados de individuos para la especie, han permitido generar estudios para estimar su distribución potencial fundamentados en la teoría del nicho ecológico. Autores como Delfín-Alfonso *et al.* (2012), a través de la metodología del Modelado de Nicho Ecológico (ENM, por sus siglas en inglés), exponen que la distribución potencial del oso negro cubre 221,078 km² (80%) de la SMOcc y sugieren que el área más extensa de hábitat idóneo para esta especie se encuentra al noroeste de México y el suroeste de Estados Unidos de América (EUA). Además, reportan que las variables más relevantes para el ENM desarrollado fueron las pendientes (6 a 42%),

la elevación (1,500m), la precipitación anual (500 a 1000 mm) y la temperatura media anual (15°C).

Las interacciones hombre-oso (HBI, por sus siglas en inglés) han sido las causas principales por las que se ha estudiado la distribución del oso negro y su hábitat adecuado (Núñez-Torres *et al.*, 2020). Doan-Crider *et al.*, (2017) mencionan que la mayoría de los eventos perjudiciales, como la depredación de diferentes tipos de ganado o forrajeo en campos de cultivo, para el humano ocurren cerca de zonas con una cobertura vegetal densa de bosque templado y durante la temporada de nacimiento de becerros, donde suelen alimentarse del ganado en el estado de Coahuila. Por otro lado, Núñez-Torres *et al.*, (2020) exponen bajo el criterio del ENM aplicado a la predicción espacial de las HBI, que las variables con una mayor asociación son la vegetación decidua, conformada principalmente por matorral submontano, la distancia a las zonas urbanas y la duración del periodo de hiperfagia del oso, que corresponde al final de la temporada de verano y el principio de otoño (entre los meses de agosto y septiembre).

Monroy-Vilchis *et al.* (2016) utilizaron el ENM para caracterizar las preferencias y tolerancias ambientales del oso negro. Los autores concluyeron que las variables con mayor porcentaje de contribución para la estimación de la distribución potencial de la especie en México son las coberturas vegetales asociadas como los bosques de coníferas (40.6%), la altitud (21.4%), los bosques secos (13.5%) y la vegetación árida (11%) a lo largo de la SMOcc y la SMO. Así mismo, realizaron una estimación del hábitat adecuado y su relación con las Áreas Naturales Protegidas (ANP) presentes en el territorio mexicano donde exponen que, de los 354,047 km² de hábitat adecuado actual solo 43,940 km² (12.41%) se encuentra bajo alguna categoría de protección.

Importancia de las Áreas Naturales Protegidas

Desde 1992 se expuso que en México los mamíferos carnívoros como *U. americanus* y *Panthera onca* eran los más vulnerables debido a sus bajos potenciales de crecimiento demográfico y la necesidad de grandes extensiones territoriales para su desarrollo óptimo (5,630 y 4,000 ha, respectivamente). Hasta ese año existían 80 ANP de las cuales solo tres demostraban posibilidades de conservación para el jaguar y solo una, la actual Reserva de la Biósfera “El Cielo” en Tamaulipas, para el oso negro (Hernández-Huerta, 1992).

Actualmente, se han detectado poblaciones estables de *U. americanus eremicus* para la SMO en los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas (Juárez-Casillas y Varas, 2013), así como en diversas localidades de la SMOcc (Lara-Díaz et al., 2013). Sin embargo, en los estados del centro del país como Hidalgo y Querétaro los registros son escasos y se desconoce el estatus poblacional de la especie (López-González *et al.* 2019; Rojas-Martínez y Juárez-Casillas, 2013). De igual forma, se desconoce si existe conectividad entre las ANP del “Cañón de Santa Clara” en Chihuahua, “Maderas del Carmen” en Coahuila, “Cumbres de Monterrey” en Nuevo León, “El Cielo” en Tamaulipas, “Sierra de Álvarez” en San Luis Potosí, “Sierra Gorda de Guanajuato”, “Sierra Gorda de Querétaro” y “Los Mármoles” en Hidalgo. La falta de información como la recién referida representa una seria desventaja para la conservación de la especie (Hernández-Huerta, 1992; Monroy-Vilchis *et al.*, 2016).

JUSTIFICACIÓN

Generar información específica sobre la distribución y conectividad existente en la Sierra Madre Oriental (SMO) de la especie es una necesidad apremiante. Lo anterior, con la finalidad de favorecer la conservación tanto del oso negro (*Ursus americanus eremicus*: Ursidae como de la biodiversidad en la región a partir de la toma de decisiones informada y bien fundamentada. Las acciones recién mencionadas atienden compromisos internacionales de México como el cumplimiento del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), estipulado por las Naciones Unidas desde 1993. Con base en lo mencionado anteriormente, el presente estudio plantea utilizar los registros históricos y contemporáneos de la especie para realizar estimaciones actuales y proyecciones futuras sobre su distribución.

Para alcanzar este objetivo se implementarán modelos de distribución potencial basados en el concepto del nicho ecológico y la conectividad funcional por medio de la teoría de circuitos, con el fin de proponer corredores biológicos que faciliten las estrategias de conservación del oso negro como especie paraguas en la SMO. Así mismo, se plantea estimar el aporte de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) presentes en la región para la conservación de esta especie.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- i. ¿La distribución actual del oso negro mexicano (*Ursus americanus eremicus*) coincide con la disponibilidad de alimento en los sistemas montañosos de la Sierra Madre Oriental y sus zonas de influencia?
- ii. ¿La conectividad funcional para el oso negro mexicano (*Ursus americanus eremicus*) entre las regiones noreste y central de México es favorecida por la distribución de las Áreas Naturales Protegidas presentes a lo largo de la Sierra Madre Oriental?

HIPÓTESIS

- i. Los patrones de distribución del oso negro (*Ursus americanus eremicus*) estarán relacionados con la distribución geográfica y disponibilidad de los componentes principales que conforman su dieta a lo largo de la Sierra Madre Oriental.
- ii. La distribución de las Áreas Naturales Protegidas en la Sierra Madre Oriental determinará los procesos de conectividad funcional entre las regiones noreste y central de México.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Estimar los patrones de distribución contemporáneos de *Ursus americanus eremicus*: Ursidae y el grado de conectividad entre las regiones noreste y central de México mediada por la presencia de las Áreas Naturales Protegidas en la región y los bosques templados de la Sierra Madre Oriental.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- i. Describir información sobre la historia de vida del oso negro a nivel global y específica a la Sierra Madre Oriental.
- ii. Caracterizar la distribución de las poblaciones de *Ursus americanus eremicus* en la Sierra Madre Oriental bajo el enfoque de nicho ecológico.
- iii. Caracterizar la distribución y disponibilidad de alimento para el oso negro en la Sierra Madre Oriental bajo el enfoque de nicho ecológico.
- iv. Estimar la contribución e importancia de las Áreas Naturales Protegidas sobre el grado de conectividad para *Ursus americanus eremicus* a lo largo de la Sierra Madre Oriental.
- v. Definir posibles corredores biológicos que favorezcan actualmente el desplazamiento de individuos de *Ursus americanus eremicus* entre las regiones noreste y central de México.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende a los sistemas montañosos y ambientes de altura de la Sierra Madre Oriental (SMO), incluyendo todas las Áreas Naturales Protegidas que se ubican en su interior. La SMO es una región fisiográfica que converge al oeste con las sierras y llanuras del norte y la mesa del centro, mientras que al este colinda con la llanura costera del Golfo Norte y las grandes llanuras de Norteamérica, teniendo una fuerte influencia por las corrientes marinas. La SMO se extiende desde el norte hasta el centro del territorio mexicano entre los 19°44' y 25°44' N y los 97°23' y 102°15' W (~720 km) con una altitud promedio de 2,000 msnm y dentro de los límites políticos de los estados de Coahuila, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Nuevo León, Puebla, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz y Zacatecas (Suárez-Mota *et al.*, 2017; figura 1).

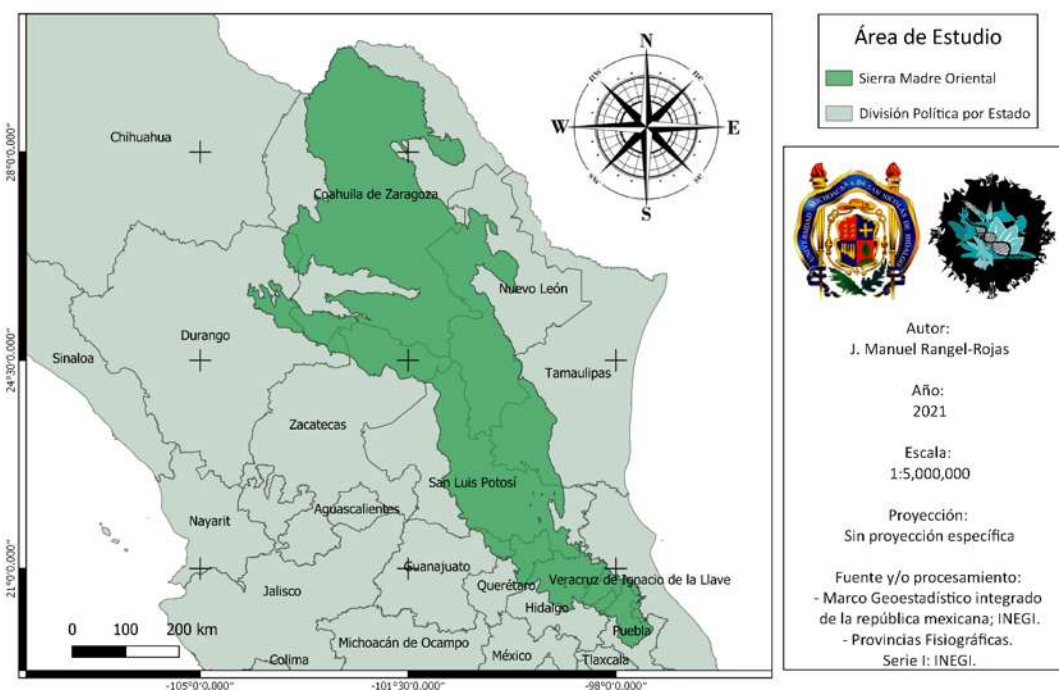


Figura 1. Localización geográfica de la Sierra Madre Oriental en el territorio mexicano.

Clima

La SMO presenta el 99% de los tipos climáticos del país debido a su heterogeneidad topográfica y ambiental, haciendo que a lo largo de su extensión la vegetación resulte muy diversa (Hernández-Cerda y Carrasco-Anaya, 2004). En esta región se pueden encontrar cinco regiones climáticas de amplia distribución que corresponden al mismo número de

biomas: bosque nublado, bosque tropical seco, bosque templado, bosque tropical húmedo y matorral xerófilo. Esta diversidad se ve reflejada en altos niveles de riqueza de especies y endemismo de la flora (Suárez-Mota *et al.*, 2017).

Hidrografía

La SMO comprende siete regiones hidrológicas, las cuales pueden dividirse en nueve subregiones hidrológicas, 32 cuencas hidrográficas (25 endorreicas y siete exorreicas) y 387 subcuencas hidrográficas. Las cuencas endorreicas se encuentran al poniente, del lado de la ladera de sotavento y dan origen a regiones hidrológicas como el Mapimí, Nazas-Aguanaval y Salado. Estas regiones se caracterizan por un rango altitudinal que puede ir de los 3700 hasta los 745 msnm. La cuenca endorreica de mayor importancia en la SMO es la del Río Nazas-Aguanaval. Las cuencas exorreicas se ubican al oriente, del lado de la ladera barlovento y da origen a las regiones del Pánuco, San Fernando y Soto La Marina, estas tienen un rango altitudinal de los 3700 hasta sus alturas mínimas que se encuentran a nivel del mar (Salinas, 2017).

El sistema montañoso de la SMO tiene una estructura cárstica y desempeña el papel de torre de agua al captar las lluvias provenientes de los vientos alisios del Golfo de México, depositándola en manantiales y resurgencias vaclusianas de carácter intermitentes en la temporada de lluvias, sin embargo, existen otras fuentes permanentes que irrigan las zonas de la llanura costera del golfo. Al tener un alto contenido de roca porosa en su interior, la acumulación de agua superficial no es frecuente, con excepción de valles inter montanos donde se forman cuerpos de agua estacionales al sureste donde la precipitación es mayor (Salinas, 2017).

Geología

La SMO es una cordillera con relieve ocasionado por la deformación de rocas mesozoicas y de su complejo basal que, al ser levantados, comprimidos y transportados hacia el noroeste, dieron origen a la formación de pliegues y cabalgaduras durante la Orogenia Laramide, desde Parral, Chihuahua, extendiéndose hacia Teziutlán, Puebla, pasando por Torreón, Saltillo,

Monterrey, Cd. Victoria y Tamazunchale; cubierto al sur por la Faja Volcánica Trans mexicana y continuando al Sureste entre Córdoba y Tuxtepec, donde pierde su deformación característica y predominan deformaciones más complejas al tener diferentes periodos de deformación. Posteriormente, la evolución sedimentaria y distribución de facies, tuvieron una gran influencia sobre el desarrollo posterior del plegamiento regional (Eguiluz *et al.*, 2000).

Datos de finales del siglo pasado sugieren que la pila de sedimentos acumulados en el frente de la SMO, fue mucho mayor a lo que podemos apreciar en el presente y que su fallamiento y levantamiento ocurrieron en el Eoceno tardío, explicando la esquistosidad ocasionada por carga litostática en la mayor parte de los sectores del frente de montaña, posiblemente el paroxismo compresivo y levantamiento del frente plegado, todo posiblemente llevado a cabo en un periodo posterior al Eoceno (Eguiluz *et al.*, 2000).

La SMO presenta una gran heterogeneidad en su complejo basal compuesta de esquistos y, en áreas reducidas, basamento cristalino. Al occidente norte y oriente de la SMO presenta rocas Triásico Superior-Jurásico, mientras que el magmatismo solo se presenta al poniente (Eguiluz *et al.*, 2000).

Cobertura vegetal

Su cobertura vegetal se encuentra representada por matorrales xerófilos en las zonas con mayor contacto con el altiplano mexicano y a zonas altas con baja precipitación, bosques de pino, pino-encino, encino y junípero en zonas altas con mayor humedad, bosques mesófilos de montaña restringidos a zonas ecotonales entre los bosques de coníferas y encino con condiciones favorables de humedad y precipitación proveniente de la corriente del golfo, bosques tropicales subperennifolios a bajas elevaciones que caracterizan el sur de Tamaulipas y matorrales submontanos característicos por reunir elementos florísticos de selvas tropicales y matorral xerófilo (CONABIO, 2010; Ruiz-Jiménez *et al.*, 2004).

CAPITULO I: HISTORIA DE VIDA DEL OSO NEGRO EN MÉXICO (*URSUS AMERICANUS EREMICUS*: URSIDAE)

1.- RESUMEN

La información del oso negro (*Ursus americanus*) disponible en México y las subespecies que se distribuyen en su interior se limita a rasgos generales de su historia natural, algunos estudios que aportan información general de sus poblaciones y la ampliación de su rango de distribución conocido. La situación actual del oso negro en el territorio mexicano refleja una situación difícil por la falta de información específica para las poblaciones distribuidas en la Sierra Madre Occidental y Sierra Madre Oriental.

Se recopilaron 98 referencias bibliográficas, que en su mayoría fueron artículos científicos (78%) y únicamente cuatro (4%) de estos trabajos de investigación se refieren a la “subespecie” de *Ursus americanus eremicus*: Ursidae. De acuerdo a la información recopilada sobre la dieta de oso negro, su alimentación se compone principalmente de materia vegetal (90%). Esto sugiere que la disponibilidad de recursos es un atributo importante en su distribución. Eventos estocásticos como incendios y sequías prolongadas han favorecido al desplazamiento y migración de las poblaciones que se encuentran en la SMO con destino al Parque Nacional “Big Bend” en Texas, y posiblemente a Áreas Naturales Protegidas del centro de México.

Palabras clave: Dieta, materia vegetal, interacciones bióticas, morfología, sistemas montañosos

2.- ABSTRACT

The available information of the black bear (*Ursus americanus*) in Mexico and the subspecies distributed within it is limited to general features of its natural history, some studies that provide general information on its populations, and the expansion of its known range of distribution. The current situation of the black bear in the Mexican territory reflects a difficult situation due to lack of specific information for the populations distributed in Sierra Madre Occidental and Sierra Madre Oriental.

98 bibliographical references were collected, most of them were scientific articles (78%) and only four (4%) of these research papers refer to "subspecies" of *Ursus americanus eremicus*: Ursidae. According to information collected about black bears diet, their diet consists mainly of vegetable matter (90%). This suggests the availability of resources is an important attribute in their distribution. Stochastic events such as fires and prolonged droughts have favored the displacement and migration of populations found in SMO bound for the "Big Bend" National Park in Texas, and possibly to Protected Natural Areas in central Mexico.

Keywords: Diet, plant matter, biotic interactions, morphology, mountain systems

3.- INTRODUCCIÓN

La descripción de una historia de vida tiene como objetivo entender un gran número de variaciones observadas en los seres vivos a lo largo de su ciclo de vida y, a su vez, permite esclarecer las estrategias necesarias que se llevarán a cabo en un proyecto de investigación (Lugo y Zimmerman, 2010). Existen diferentes apartados que intentan describir las características de una especie en particular, tales como la duración de la infancia, juventud, madurez, número de individuos resultantes de un evento reproductivo, tamaño, cuidado parental, longevidad, mortalidad y estado poblacional, entre otros (Pérez-Mendoza y Zúñiga-Vega, 2010).

El oso negro americano (*Ursus americanus*) ha sido ampliamente estudiado en Norteamérica desde diferentes perspectivas, sin embargo, la información disponible en México y las subespecies que se distribuyen en su interior, se limita a estudios sobre temas específicos que relatan parte de su historia natural y solo pocos trabajos abordan temas más profundos sobre su ecología (Gavito-Pérez *et al.*, 2012; Núñez-Torres *et al.*, 2020).

La situación actual del oso negro en el territorio mexicano refleja una situación difícil de evaluar después de la gran disminución de sus poblaciones impulsadas por el gobierno mexicano durante el siglo pasado, ya que era considerada una especie perjudicial tanto para los ganaderos como los productores agrícolas y se incentivó la erradicación de esta especie a través de la caza y envenenamiento, y su posterior protección, hasta el año 1986, con la declaración de una veda permanente en todo el territorio nacional (Navarro-Serment, 2016). Actualmente, solo se han realizado dos proyectos de investigación sobre su estado poblacional, en ambos esta especie muestra datos alentadores y brindan información valiosa como rasgos generales de su dieta, la presencia de otras especies en peligro de extinción en su área de distribución y mencionan la importancia de los dos grandes sistemas montañosos de México para su conservación (Doan-Crider y Hellgren, 1996; Espinosa-Flores *et al.*, 2012).

El propósito de este primer capítulo es contar con la información suficiente para plantear diferentes alternativas que facilite el análisis de la distribución de esta especie en la SMO y contribuya a la comprensión de sus interacciones bióticas actuales, así mismo, pretende concretar el objetivo I del presente trabajo.

4.- MATERIALES Y MÉTODOS

Recopilación de información

Se realizó una búsqueda de información de oso negro americano *U. americanus* a lo largo de su distribución natural en Norteamérica y las subespecies distribuidas en el territorio mexicano entre los años 1903 y 2021, incluyendo a *Ursus americanus eremicus*: Ursidae como la especie de interés para el presente proyecto, a través de buscadores, bases de datos bibliográficos como *BioOne Complete*, *Google Académico*, *Scielo* y las bibliotecas virtuales de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Se recopilaron libros, manuales, trabajos de tesis de licenciatura y posgrado, artículos científicos y de divulgación, así como planes de manejo de planes de conservación de esta especie y diferentes ANP que incluyen información relevante sobre los rasgos de la historia natural de esta especie.

5.- RESULTADOS

Literatura e información revisada

Para el periodo analizado (1990 - 2022) se obtuvieron 110 referencias para la redacción de la historia natural del oso negro, repartidos en 87 artículos científicos (78%), dos artículos de divulgación (2%), siete tesis de maestría y licenciatura (6%), cuatro libros (3%), cuatro capítulos de libro (3%), dos manuales (2%), dos fichas técnicas (2%) y cuatro planes de manejo (4%) (Figura 2).

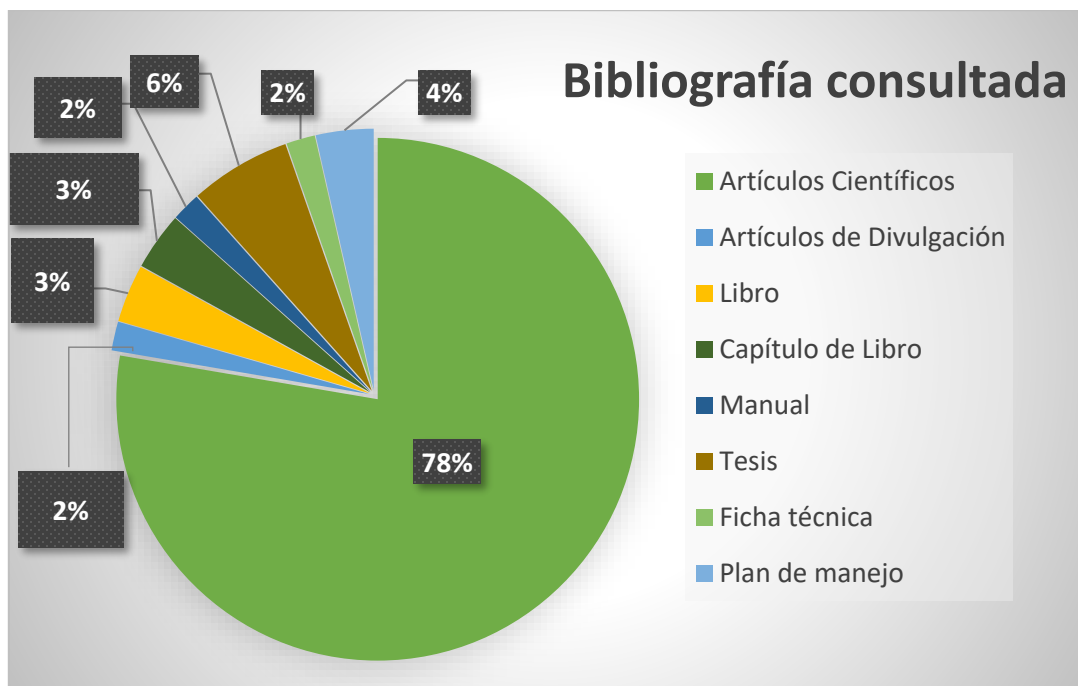


Figura 2. Información bibliográfica recopilada de oso negro representada en porcentajes.

Más del 70% de la bibliografía consultada sobre oso negro se concentra desde el año 2000 hasta el 2020 (Figura 3, n = 80). El mayor porcentaje de publicaciones fue de artículos científicos entre 2010 y 2020 (35%, n = 39), los cuales hablan sobre diferentes aspectos de su historia natural. Por otro lado, también fueron consideradas las publicaciones donde se describen por primera vez a las dos subespecies que se distribuyen actualmente en México, éstas representan solo el 2% (n = 2) de la bibliografía.

Publicaciones de oso negro

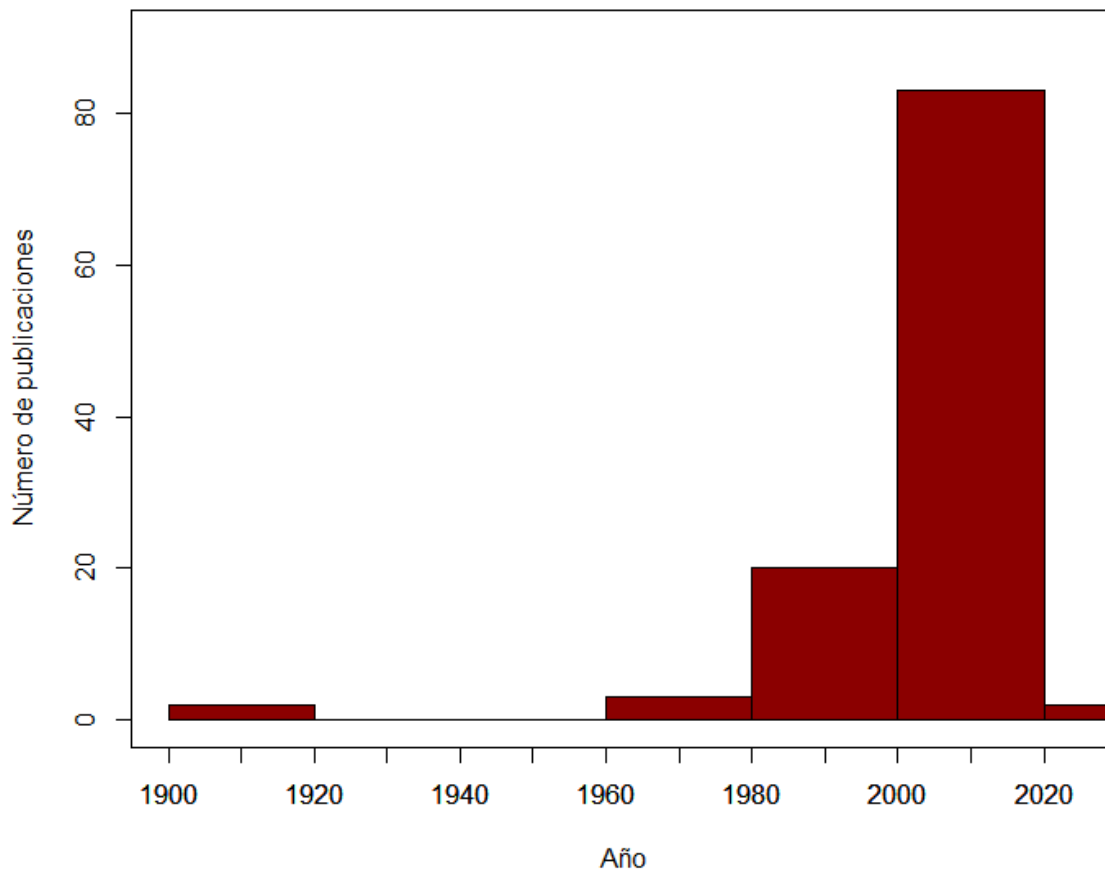


Figura 3. Bibliografía consultada por año desde 1900 hasta 2021.

Las publicaciones que hacen mención de las poblaciones de oso negro dentro del territorio mexicano representan el 46% de la literatura revisada; siendo los años 2012, 2016 y 2018 los que presentan un mayor número de estudios ($n = 5$) (Figura 4). Por otro lado, solo cuatro (3.6%) de los seis (5.4%) trabajos de distribución potencial basados en la modelación del nicho ecológico sobre esta especie han tenido como objetivo el analizar a estas poblaciones en México.



Figura 4. Bibliografía que incluye información sobre poblaciones de oso negro en México.

Taxonomía

Debido a la diversidad de ambientes en los que habitan y su amplia distribución, actualmente se reconocen 16 subespecies de oso negro en el mundo (Figura 5) (Larivière, 2001).

En México se han considerado a tres subespecies: *Ursus americanus amblyceps*, *U. a. eremicus* y *U. a. machetes* (Ceballos *et al.* 2005), sin embargo, estudios actuales proponen únicamente la existencia de las subespecies de *U. a. eremicus* y *U. a. machetes* distribuidos en dos poblaciones a lo largo de la Sierra Madre Oriental (SMO) y la Sierra Madre Occidental (SMOcc), respectivamente (Ramírez-Pulido *et al.* 2014).

Estudios moleculares basados en datos mitocondriales muestran que el parentesco filogenético de las poblaciones de oso negro a lo largo de su distribución tiene una divergencia en dos clados; el clado continental y el costero (Byun *et al.* 1997; Wooding y Ward, 1997; Puckett *et al.* 2015). Se determinó que las poblaciones de oso negro presentes en México se encuentran filogenéticamente más cercanas al clado continental (Juárez-Casillas *et al.* 2013; Oronato *et al.* 2007). El clado continental de *Ursus americanus* se divide en: i) el subclado central que contempla a las poblaciones de oso negro desde la Sierra Madre Occidental (SMOcc) en México, pasando por Arizona hasta llegar a las Rocallosas en Estados Unidos de América (EUA) y; ii) el subclado del este que incluye a las poblaciones de Arkansas, Louisiana, Minnesota y Texas en EUA y las poblaciones que se distribuyen a

lo largo de la SMO en México. Se estima que el tiempo de divergencia entre los subclados de la SMOcc y la SMO es de 1.09 millones de años (Juárez-Casillas *et al.* 2013).

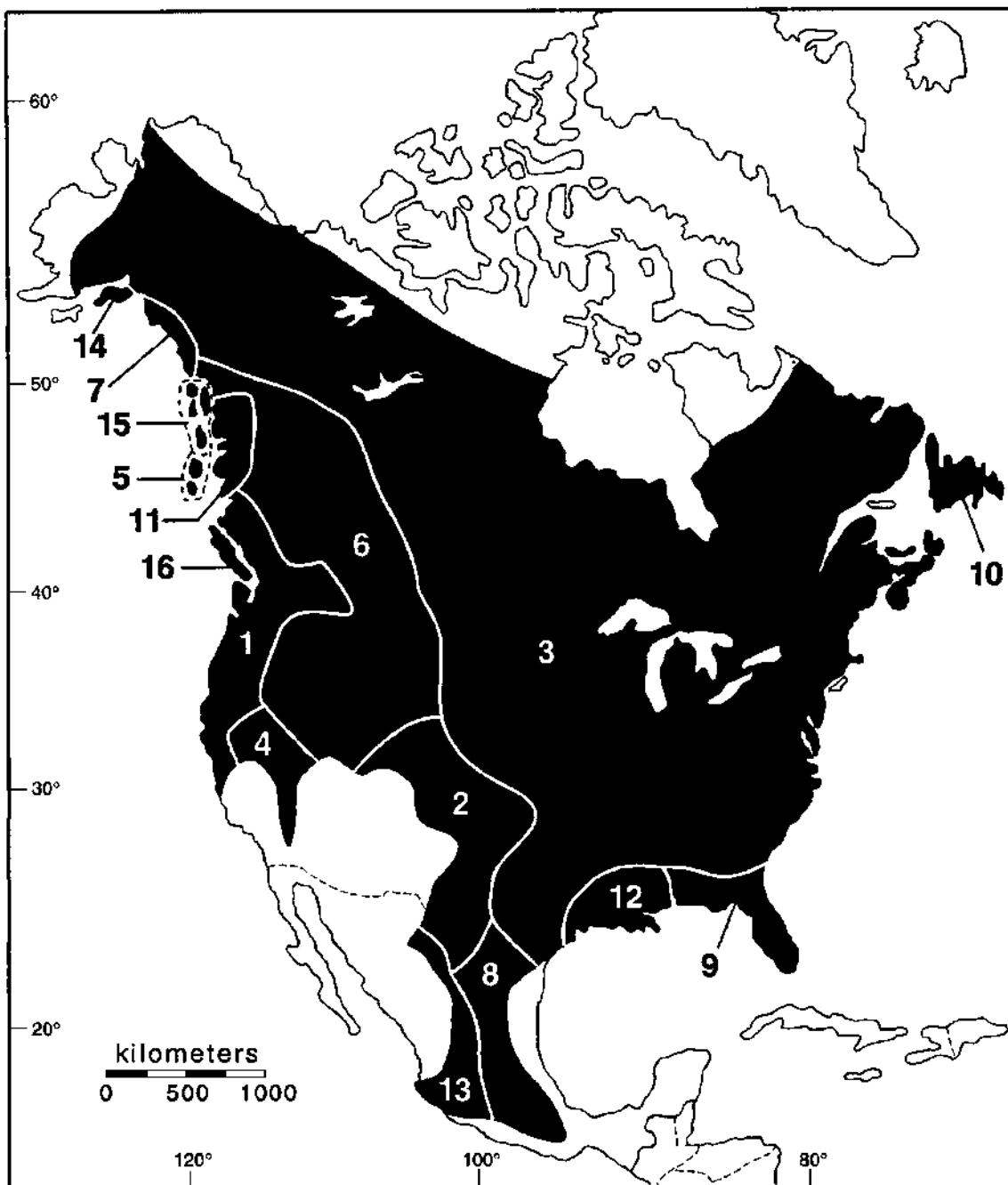


Figura 5. Figura tomada de Larivière (2001). Propuesta histórica sobre la distribución de las subespecies de oso negro en Norteamérica. 1. *U. a. altifrontalis*; 2. *U. a. amblyceps*; 3. *U. a. americanus*; 4. *U. a. californiensis*; 5. *U. a. carlottae*; 6. *U. a. cinnamomum*; 7. *U. a. emmonsii*; 8. *U. a. eremicus*; 9. *U. a. floridanus*; 10. *U. a. hamiltoni*; 11. *U. a. kermodei*; 12.

U. a. luteolus; 13. *U. a. machetes*; 14. *U. a. perniger*; 15. *U. a. pugnax*; and 16. *U. a. vancouveri*.

Descripción

El oso negro (*Ursus americanus*) es considerado como una especie que va de pequeña a mediana en comparación con el oso pardo (*Ursus arctos*) y el oso polar (*Ursus maritimus*), pertenecientes a la misma familia URSIDAE, son animales plantígrados con garras delanteras curvas no retráctiles y aproximadamente del mismo tamaño que las traseras (5 cm), de cuerpo robusto, cola apenas visible, orejas erectas y redondeadas; su fórmula dentaria es I: 3/3, C: 1/1, PM: 4/4, M 2/3 = 42; su longitud total (de cabeza a cola) oscila entre los 120 y 200 cm; su peso puede ir desde los 50 hasta los 300 kg y su pelaje es predominantemente negro con el hocico color miel, teniendo otras variantes de color café, gris y blanco (Aranda, 2012; Ceballos *et al.* 2005). Sin embargo, en México su longitud total no supera los 180 cm, tienen un peso máximo de 170 kg (hembras: 51 a 80 kg y; machos: 106 a 170 kg) y las coloraciones observadas son de color negro y café, aunque algunos ejemplares pueden tener marcas blancas en el pecho; presentan dimorfismo sexual ya que los machos son típicamente 10 – 20% más largos y 10 – 70% más pesados que las hembras (Navarro-Serment, 2016).

La subespecie *U. a. eremicus* mantiene el tamaño y caracteres generales que presenta la subespecie *U. a. amblyceps*, *U. a. machetes* y *U. a. americanus*, con ciertas diferencias craneales y dentales descritas por Elliot (1903) y Merriam (1904):

- *U. a. machetes* y *U. a. americanus* presentan nasales más amplias o anchas que *U. a. eremicus* que presenta nasales estrechas (Figura 6a-ii); *U. a. eremicus* muestra nasales más pequeñas o cortas, en forma de cuña y rectas o casi rectas (Figura 6b-i); en *U. a. amblyceps* y *U. a. americanus* el tercio anterior está fuertemente curvado (Figura 6b-i).
- *U. a. eremicus* tiene un rostro más delgado anteriormente (Figura 6a-iii) y la longitud del occipitosfenoide más corta que las otras subespecies (Figura 6b-v).
- En *U. a. eremicus* los frontales se presentan deprimidos en lugar de elevados, mostrando en una línea continua de la cara (vista de perfil) desde el final de la nariz hasta los parietales, llevando así la parte más alta del cráneo hacia atrás por encima de la caja craneal (Figura 6b-iv); *U. a. machetes* y *U. a. americanus* tienen frontales anchos y elevados hacia arriba (Figura 6b-iv).

- El proceso postorbital es más agudo en *U. a. eremicus*; en las otras subespecies la órbita es más definida y redonda (Figura 6a-vi y Figura 6c-vii).
- La bóveda craneal es proporcionalmente más pequeña en *U. a. eremicus* que en *U. a. americanus* (Figura 6a-viii); la cresta sagital es más prominente en *U. a. eremicus* que en *U. a. americanus* (Figura 6a-ix y Figura 6b-x). Es importante mencionar que la prominencia de la cresta sagital en los úrsidos puede aumentar debido a la edad de los individuos (Stucchi y Figueroa, 2013).

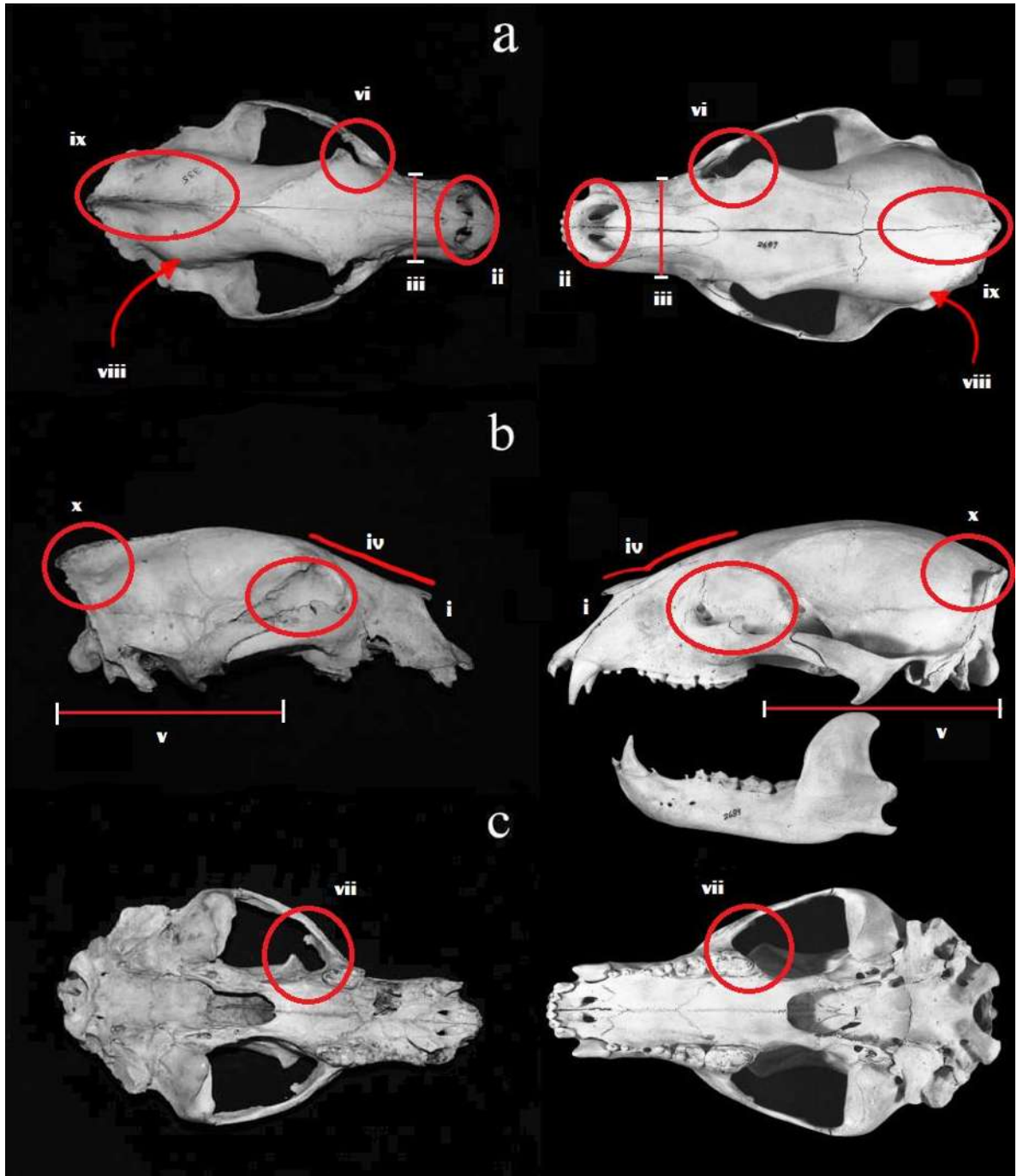
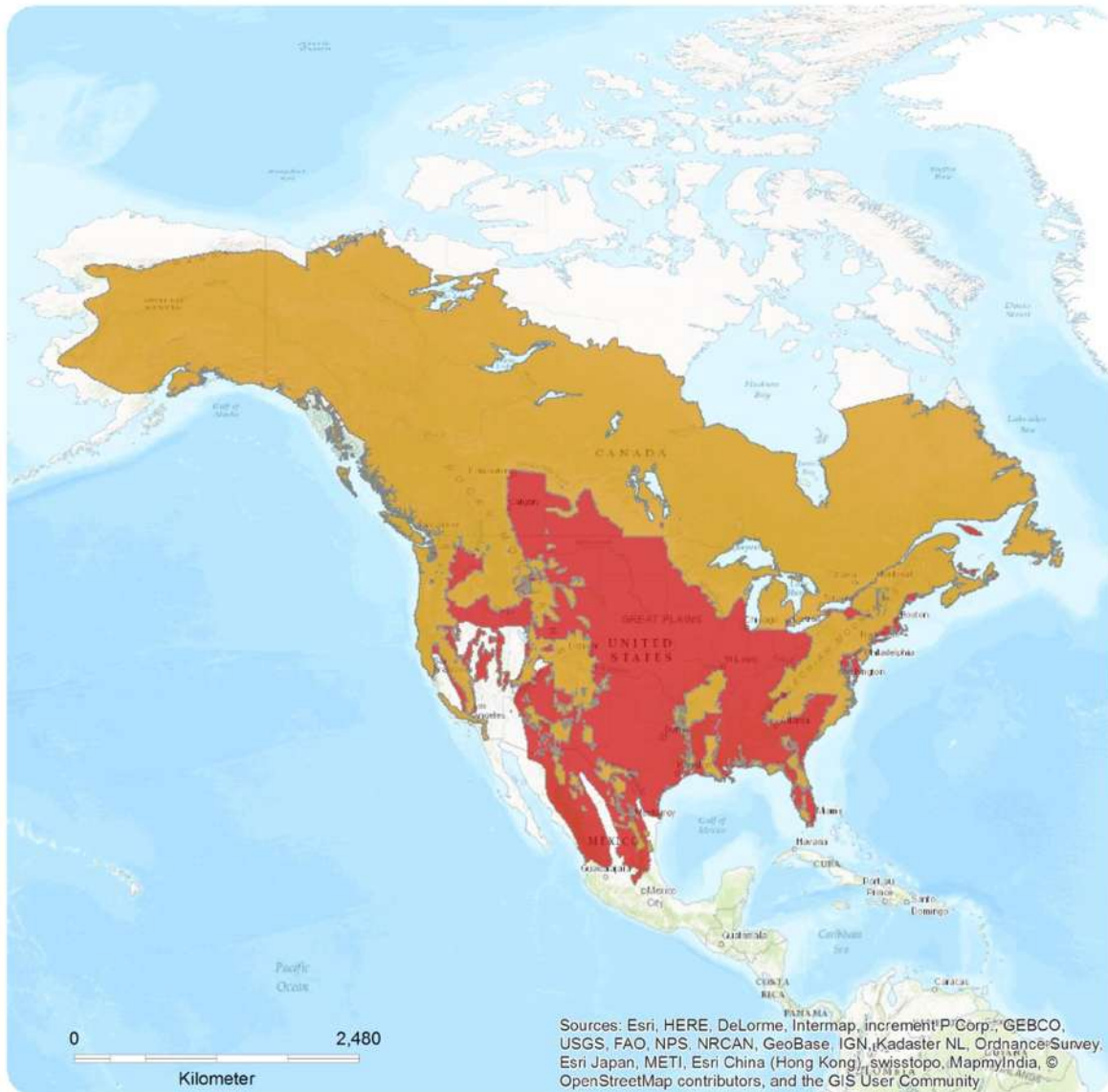


Figura 6. Figura tomada y modificada de Rojas-Martínez y Juárez-Casillas (2013) y Larivière (2001). A la izquierda (sexo no determinado), cráneo de *Ursus americanus eremicus* (La procedencia del ejemplar es la localidad de La Joya, El Aguaje de Cerro Prieto, municipio de La Misión, Hidalgo, México) y a la derecha (hembra), *Ursus americanus americanus* (Procedente de Choiceland, Saskatchewan, Canadá); a) vista

dorsal, b) lateral y c) ventral. *El origen de las imágenes no permite hacer una comparación métrica, pero sí una comparación estructural a nivel proporcional.

Distribución

El oso negro es el úrsido con mayor distribución en Norteamérica, se le encuentra desde Alaska, en todas las provincias de Canadá, exceptuando la Isla del Príncipe Edward, pasando por todos los estados continuos de Estados Unidos de América (EUA) y culminando hasta el centro de México (Figura 6) (Navarro-Serment, 2016).



Range
 ■ Extant (resident)
 ■ Extinct

Compiled by:
 IUCN (International Union for Conservation of Nature)

Figura 6. Figura tomada de Garshelis *et al.* (2016). Propuesta de la distribución actual del oso negro americano. El color naranja representa el área donde se distribuye actualmente; el color rojo representa las áreas donde se considera extinto.

En el territorio mexicano su distribución se asocia directamente a las regiones fisiográficas de la SMOcc, la cual se localiza desde los estados fronterizos del norte como Sonora, Chihuahua hasta Nayarit, Zacatecas y a lo largo de la SMO desde Nuevo León,

Coahuila y Tamaulipas hasta los estados del centro de México como Hidalgo, Guanajuato y Querétaro (Garshelis *et al.* 2016; López-González *et al.* 2019).

Hábitat

Al ser una especie generalista y tener una gran capacidad de desplazamiento, el oso negro es considerado como el úrsido con mayor diversidad de hábitats en el mundo. En el extremo norte del continente americano, se le puede encontrar desde las tundras de Quebec y Labrador en Canadá, mientras que en EUA se le encuentra en zonas con coberturas vegetales densas y prácticamente todos sus hábitats templados y tropicales, exceptuando los desiertos fronterizos del sur y en México se le encuentra en bosques de pino, bosques de encino, bosques de pino-encino y pastizales altos de las cadenas montañosas de la SMOcc y SMO (Doan-Crider y Hellgren, 1996). Sin embargo, también se le ha registrado en zonas más áridas como el chaparral y matorral xerófilo presentes en Sonora, Chihuahua, Coahuila y Nuevo León. También se le puede encontrar en cañadas o áreas inaccesibles como riscos donde encuentra alimento y refugio (Ceballos *et al.* 2005).

Cabe resaltar que, en el estado de Tamaulipas, debido a su riqueza fisiográfica, esta especie ha podido llegar a zonas como el matorral rosetófilo, matorral tamaulipeco, matorral submontano e incluso zonas con menor altitud y mayor humedad como los bosques tropicales subperennifolios (Navarro-Serment, 2016). Normalmente se encuentra en un rango altitudinal que va desde los 650 hasta los 3000 msnm, aunque se han reportado casos excepcionales, en el estado de Tamaulipas, donde se registró a una altitud de 372 m (Aranda, 2012; Carrera-Treviño *et al.* 2015).

Los registros de presencia de la especie a nivel mundial muestran una mayor afinidad altitudinal a elevaciones entre los 0 y 500 msnm, mientras que las poblaciones de la SMO muestran una mayor afinidad a elevaciones que van desde los 500 a los 1,500 msnm. Cabe mencionar que en ambos casos su límite altitudinal no supera los 3,500 msnm (Figura 7).

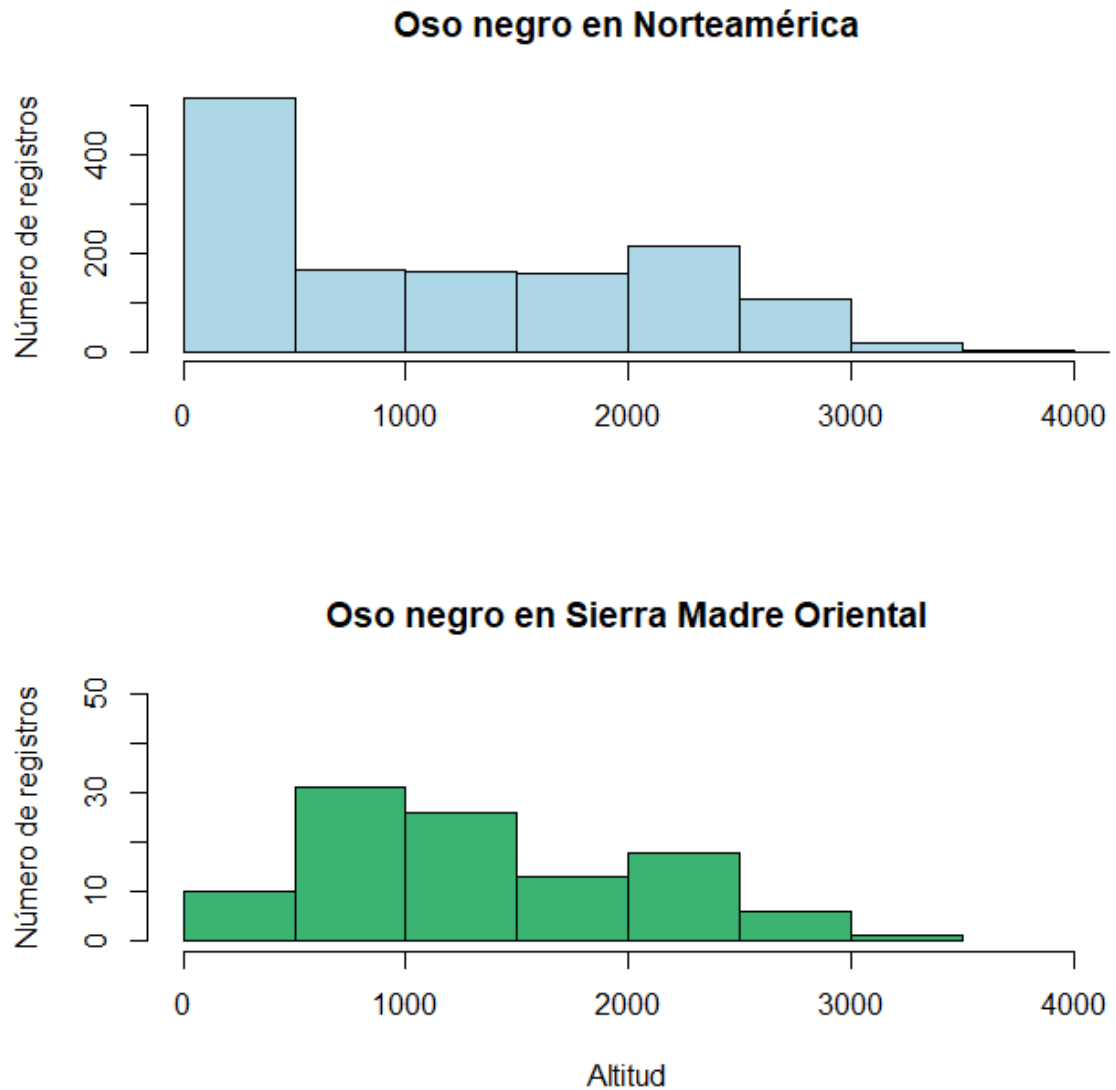


Figura 7. Preferencias altitudinales de *Ursus americanus* en color azul claro; preferencias altitudinales de *U. a. eremicus* en color verde.

Movilidad y ámbito hogareño

Los ámbitos hogareños (área sobre la cual los animales se desplazan normalmente en busca de alimento) de los machos van desde los 26 hasta los 124 km² y se sabe que existe una fluctuación en el tamaño de esta extensión con el paso de los años; dentro de estos territorios dominados por los machos, las hembras sobrelapan su ámbito hogareño, evitando sus zonas núcleo y pueden tener una extensión de 6.5 a 25 km² (Fair, 1990; Gavito-Pérez *et al.* 2012).

Se piensa que esta especie tiene un ámbito hogareño muy bien establecido, pues existen registros en los que individuos han regresado a su territorio desde una distancia mayor a los 160 km. De igual forma, al ser animales que exponen un notorio sentido de exploración y tener una alta capacidad adaptativa, pueden desplazarse por encima de los 200 km para encontrar abundantes fuentes de alimentos, especialmente durante su periodo de hiperfagia en el verano tardío y otoño, preparándose para el invierno donde pueden ingerir más de 20 mil calorías por día y ganar hasta 14 kg por semana (Garshelis *et al.* 2016). En México se tiene registro de que los valores mínimos de ámbito hogareño son de 12 y 73.8 km² para las hembras adultas y los machos sub adultos respectivamente, sus valores máximos son de 27.2 y 119.6 km² y sus ámbitos promedios son de 19.6 y 96.7 km² (Doan-Crider y Hellgren, 1996).

Comportamiento

Los osos negros son generalmente solitarios, a excepción de la temporada de cría donde se pueden apreciar grupos familiares conformados por hembras y sus crías, durante la temporada de apareamiento y situaciones eventuales donde se congregan en sitios de alimentación. Presentan una jerarquía determinada por el sexo, tamaño corporal, agresividad, fuerza y la presencia de oseznos entre las hembras (Ceballos *et al.* 2005). Los machos son dominantes sobre las hembras a excepción de las hembras con crías, cuando existen encuentros entre grupos familiares y machos dominantes que no son los progenitores de las crías, pueden ocurrir eventos de depredación y contiendas en defensa de los oseznos.

Los individuos menos dominantes, como los juveniles, se desplazan en busca de territorios con recursos suficientes para su sobrevivencia, representando un factor de dispersión puesto que, tanto las hembras como los machos, se desplazan fuera del territorio de un ejemplar dominante (Larivière, 2001). Se estima que el desarrollo del comportamiento familiar se debe a la lenta maduración de las crías por el alto grado de aprendizaje que necesitan adquirir de la madre, un periodo aproximado de dos años. La delimitación del territorio puede darse a través del marcaje de árboles, aunque también se piensa que sirven como guía para sus propios movimientos dentro de su área de distribución (Gavito-Pérez *et al.* 2012).

De hábitos diurnos y nocturnos, generalistas y omnívoros oportunistas, si bien se les categoriza como mamíferos terrestres, pueden atravesar cuerpos de agua de tamaño

considerable y son capaces de trepar árboles para buscar alimento o escapar de posibles depredadores (Fair, 1990). Suelen usar como madrigueras las cavidades naturales formadas por conjuntos de rocas o en la base de árboles maduros. Utilizan echaderos o “camas de día” para los periodos de inactividad en el día durante las horas con mayor temperatura, situándose en sitios con coberturas vegetales densas o depresiones poco profundas. Ocasionalmente, pueden encontrarse marcas de dientes o uñas cerca del nivel del suelo en estas zonas de descanso (Ceballos, *et al.* 2005).

Gracias a sus hábitos solitarios, las únicas vocalizaciones apreciables las muestran las hembras con sus crías, comunicándose a través de chillidos fuertes cuando se estresan y un silbido cuando se asustan. Cabe resaltar que, las madres cuentan con un amplio repertorio de vocalizaciones para llamar a sus oseznos. Poseen tres sentidos altamente desarrollados: el oído, la vista y el olfato. A pesar de sus ojos pequeños, y debido a su visión binocular, estos les proveen una percepción espacial capaz de detectar pequeños movimientos desde varios cientos de metros a la distancia (Gavito-Pérez *et al.* 2012).

Ecología de invierno e hibernación

Debido a las condiciones climáticas tan adversas durante la temporada de invierno en la mayoría de los lugares donde se distribuyen los osos negros, duermen sin consumir alimentos durante un periodo que varía de entre tres a cuatro meses, aunque la duración depende de la región y sus respectivas condiciones climáticas, dentro de sus madrigueras hasta que las condiciones climáticas son menos extremas y aumenta la disponibilidad de alimento. Estos animales pueden despertarse con facilidad de su sueño invernal, pero suelen dormir por varios meses en la misma posición sin tener la necesidad de comer, beber, orinar o defecar (Maxwell *et al.* 1988).

Las fechas de comienzo y terminación de la hibernación pueden variar no solo a la disponibilidad de alimento y condiciones climáticas críticas, también puede ser causada por la duración del estímulo del foto-periodo y la latitud (Johnson y Pelton, 1980). En las zonas con mayor elevación de su distribución en México, los osos negros generalmente hibernan durante los meses de diciembre, enero y febrero, sin embargo, se sabe que en las serranías

con menor altitud disminuye su tiempo de sueño. Además, tanto en las regiones tropicales de Florida, EUA y México los osos negros no hibernan, se mantienen activos al continuar con la posibilidad de consumir alimentos (Doan-Crider y Hewitt, 2005; Gavito-Pérez, 2012).

En la Sierra Madre Oriental, se registró entre 1991 y 1994, que el 60% de las hembras con crías de un año de edad y la totalidad de los machos mantuvieron su actividad durante los meses de invierno, a una altitud promedio de 2,000 msnm, usando sus madrigueras solo cuando las condiciones climáticas eran demasiado severas. Sin embargo, durante ese mismo periodo las hembras preñadas de la zona hibernaron de tres a cuatro meses, del 24 de diciembre y 3 de enero al 22 y 24 de abril, siendo el periodo más corto de sueño hibernal reportado para la especie y la salida más tardía de las madrigueras (Hellgren y Vaughan, 1989; Doan-Crider y Hewitt, 2005). Por otro lado, a latitudes mayores como en los estados de Virginia, Carolina del Norte y Arkansas en EUA se reporta que los sueños hibernales comienzan alrededor del 15 de diciembre, mientras que en Arizona la fecha promedio es el 10 de noviembre (Gavito-Pérez, 2012).

Durante el periodo de hibernación la frecuencia cardiaca disminuye de 40–50 a 8–19 latidos por minuto, la temperatura corporal puede descender entre 5 a 8° C y la tasa metabólica puede llegar a reducirse a la mitad (Doan-Crider, 2007). Se estima los individuos de la especie pueden tener un gasto energético de aproximadamente 4,000 calorías por día, obteniendo energía únicamente de sus reservas lipídicas y proteínas del reciclaje de sus productos de desecho como la urea (Hellgren y Vaughan 1989). Al finalizar el periodo de hibernación los machos adultos y subadultos pierden un rango del 15 al 30% de su peso, mientras que las hembras con sus cachorros neonatos pueden perder hasta el 40% de su peso corporal. Cabe mencionar que en México aún no se ha llegado a un consenso sobre si el sueño hibernal de los osos negros corresponde a una “verdadera hibernación” debido a que su temperatura y tasa metabólica casi no disminuyen (Larivière, 2001; Doan-Crider, 2007; Gavito-Pérez, 2012).

Hábitos alimenticios

Esta especie es considerada de hábitos omnívoros y, a pesar de tener una preferencia superior al 90% por la materia vegetal, también se ha registrado el consumo de artrópodos, mamíferos, aves y reptiles (Noyce *et al.* 1997). En México, los osos negros consumen alimentos de origen

vegetal durante todo el año como las bellotas, pastos, brotes tiernos, hojas y frutos silvestres dependiendo de la zona donde se encuentren y la variación estacional (Navarro-Serment, 2016).

En la Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) “Maderas del Carmen” Coahuila, dentro del desierto coahuilense, influenciado por la SMO y derivado de las variaciones en su alimentación estacional, Herrera-González (2003) propuso seis categorías temporales para las que calculó los componentes principales en la dieta del oso negro:

1. Verano temprano (junio y julio): 30% pastos (Poaceaeas o Gramíneas), 21% bellotas (*Quercus hypoleucoides*, *Q. gravesii* y *Q. rugosa*), 11% elotillo (*Conopholis mexicana*), 6% manzanita (*Arctostaphylos pungens*), 5% tunas (*Opuntia* spp.), 4% yuca (*Yucca australis*, *Y. torreyi* y *Y. elata*) y sotol (*Dasyilirion texanum*) y 1% moras (Moraceae) como principales componentes vegetales. Así mismo, el consumo proteico mostró un 5% de insectos, mayormente hormigas, y cantidades traza de aves.
2. Verano tardío (agosto): 64% bellotas, 10% táscate (*Juniperus deppeana* y *J. flaccida*), 7% pastos, 3% yuca y sotol, 3% pegajosa (*Desmodium psilophyllum*), 1% nuez (*Juglans* sp.), 5% de insectos y 1% de cervatillos de venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*).
3. Otoño temprano (septiembre, octubre y noviembre): 39% táscate, 29% bellotas y 13% pegajosa.
4. Otoño tardío (diciembre): 55% bellotas, 34% táscate, 5% pegajosa, 2% piñón (*Pinus cembroides*) y pocos restos de venado cola blanca.
5. Invierno (enero y febrero): 45% bellotas, 39% táscate, 8% pastos y pequeñas cantidades de pegajosa, hojas de pino, tunas y hojas de encino.
6. Primavera (marzo, abril y mayo): 37% táscate, 19% pegajosa y 13% pastos.

Los componentes más importantes que conforman la dieta del oso a lo largo del año en la APFF son las bellotas, específicamente las de *Q. hypoleucoides*, y el táscate (*Juniperus* spp.) Maderas del Carmen (Herrera-González, 2003). De igual forma, en el noreste de México se ha registrado que estos organismos también pueden alimentarse de otras especies vegetales como la corona de San Pedro o algodoncillo (*Cornus florida*), el granjeno (*Celtis spinosa* y *C. pallida*), el madroño (*Arbutus xalapensis*), el agrito (*Oxalis dillenii*), la monilla

(*Ungnadia speciosa*), la parra silvestre (*Vitis cinerea* y *V. arizonica*), el coyotillo (*Karwinskia* sp.), especies de yuca (*Yucca faxoniana* y *Y. rostrata*), sotol (*D. leiophyllum*) y diferentes especies de bellotas y hojas de los encinos como el encino duraznillo (*Q. canbyi*), encino molino (*Q. virginiana*), encino blanco (*Q. laeta*), encino roble (*Q. polymorpha*), encino asta (*Q. rysophylla*) y el encino memelito (*Q. laceyi*) (Navarro-Serment, 2016). Por otro lado, su dieta de origen animal muestra registros de ardillas de tierra (*Otospermophilus mexicanus* y *O. variegatus*), huevos, gusanos, y una gran variedad de invertebrados como abejas, avispas, escarabajos y alacranes (Moreno-Arzate, 2008). También pueden alimentarse de carroña en periodos de escasez y utilizar recursos asociados a cultivos de maíz, manzana, pera, durazno y ciruela. Asimismo, se ha reportado la depredación de ganado ovino, porcino y bovino. Finalmente, existen reportes de alimentación en tiraderos a cielo abierto, basureros domésticos y de restos de comida en campamentos; este comportamiento recién mencionado ocurre cuando los asentamientos con densidades poblacionales relativamente bajas se encuentran cerca de las serranías donde se distribuye naturalmente la especie (Navarro-Serment, 2016).

Población y densidad

Las poblaciones de esta especie disminuyeron desde que comenzaron los asentamientos europeos en Norteamérica debido a la cacería y el desplazamiento en respuesta a la pérdida de la cobertura vegetal que alcanzó su punto más bajo a principios del siglo XX. Posteriormente, a finales de la década de los 80 las poblaciones de la especie en cuestión aumentaron gracias a decisiones gubernamentales implementadas en Canadá, EUA y México (Garshelis *et al.* 2016; Navarro-Serment, 2016). Garshelis y Hristienko (2006) reportan que, desde 1999 el 60% de las provincias y estados de Canadá y EUA exponían cifras de una clara recuperación poblacional de osos negros.

En Canadá se considera que la mayor concentración de osos negros se encuentra en la Columbia Británica, Ontario y Québec, a nivel nacional se estima que su número ronda los 450,000 individuos (Larivière, 2001; Garshelis *et al.* 2016). Asimismo, se estima que actualmente en el territorio continental de EUA la población total de esta especie asciende a los 400,000 individuos (Garshelis *et al.* 2016).

En México no existe una estimación total del número de individuos de esta especie de oso, aunque se han realizado estudios que estiman las densidades poblacionales en las Serranías del Burro, Coahuila (0.35 osos/km²) y en diferentes localidades al noreste del estado de Sonora (14.0 osos/100 km² en la localidad de San Luis y 2.0 osos/100 km² en la localidad de Ajos; Doan-Crider y Hellgren, 1996; Espinosa-Flores *et al.* 2012).

Mortalidad y Supervivencia

En vida libre, los osos negros pueden llegar a vivir por encima de los 23 años y en cautiverio pueden superar los 24 años de edad. El promedio anual de las tasas de supervivencia en EUA para machos y hembras, respectivamente son 73% y 79% para Montana, 88% y 84% para Florida y 59% y 87% para Virginia y Carolina del Norte (Larivière, 2001). Las crías en EAU presentan tasas de supervivencia bajas debido a la depredación causada por machos adultos, felinos, lobos, águilas e incluso perros domésticos en áreas urbanas cuando se separan de sus madres. En Arizona la mortalidad de los oseznos alcanza un 48% en su primer año de vida; en Massachusetts la mortalidad disminuye a un 41%, pero se incrementa hasta 61% después de que cumplen 2 años y medio de edad; en Colorado asciende hasta el 54% y, la tasa de menor mortalidad reportada es la de Alaska donde se estimó en un 9% (Gavito-Pérez *et al.* 2012).

Doan-Crider y Hellgren (1996) reportaron que, en las Serranías del Burro (Coahuila, México), la tasa de supervivencia de hembras adultas fue de 94% y la de machos subadultos fue de 88%. Así mismo, los autores recién mencionados reportaron que existió sólo un caso de agresión intraespecífica que causó la muerte de una hembra activa y preñada durante el invierno (enero) de 1992. Aunque se desconoce la causa de la mortalidad de las crías, se pudo calcular una tasa de supervivencia de 80%. Estos resultados demuestran que la tasa de supervivencia de las crías de oso negro en México, específicamente de la subespecie que se distribuye en la SMO, es más alta que la registrada en EUA, a excepción del estado de Alaska.

Enfermedades

Las caries dentales y enfermedades periodontales han sido reportadas como habituales y graves en algunas poblaciones de EUA (Manville, 1990; Larivière, 2001). Aunque las

enfermedades cardiacas han sido reportadas en los osos se desconoce su frecuencia (LeCount, 1987).

Existe una gran cantidad de endoparásitos asociados a esta especie, incluyendo a protozoarios como *Toxoplasma gondii*, *Eimeria albertensis* y *E. borealis* (Briscoe *et al.* 1993; Larivière, 2001); son hospederos de tremátodos como *Nanophyetus salmincola*, cuyas metacercarias albergan a organismos muy parecidos a rickettsia, *Neorickettsia helminthoeca* y un tremátodo sin nombre causante de fiebre (Larivière, 2001; Rogers y Rogers, 1976). Existen reportes de parasitosis causadas por cestodos como *Taenia saginata*, *T. pisiformis*, *T. krabbei* y *T. hydatigena* para el noroeste de EUA. Así mismo, existen registros de diferentes parasitosis por especies de nemátodos intestinales del género *Ascaris* y *Toxascaris*, nemátodos extraintestinales del género *Trichinella* son agentes potenciales de enfermedades por la ingestión de carne cruda (Rogers y Rogers, 1976). Finalmente, la presencia de ectoparásitos, tales como las pulgas *Chaetopsylla setosa*, *C. (Arctopsylla) tuberculaticeps ursi*, *Trichodectes pinguis euarctidos* y garrapatas de los géneros *Ixodes* y *Dermacentor* (Larivière, 2001; Rogers y Rogers, 1976) es común para la especie.

Depredadores y competidores

A lo largo de su distribución los osos negros tienen muy pocos depredadores y competidores naturales. En estado adulto no tienen depredadores, pero compiten con ejemplares de su misma especie, lobos grises y osos pardos (Larivière, 2001). En contraste, los oseznos de esta especie pueden ser depredados por osos pardos, en Canadá y EUA, osos negros machos (adultos y subadultos), lobos, linceos, águilas, coyotes y pumas en las regiones donde estas especies son simpátricas (Gavito-Pérez *et al.* 2012).

El mayor depredador del oso negro es el humano ya que, durante la mayor parte del siglo pasado la especie fue cazada sin ninguna regulación gubernamental e incluso fue uno de los objetivos del “Departamento para el Control de Depredadores y Roedores”, PARC por sus siglas en inglés, con el objetivo de erradicar a aquellos animales que representaban una amenaza para el desarrollo ganadero del suroeste de EUA. El oso negro ha sido cazado hasta la actualidad, directamente por armas de fuego o trampas para osos, o indirectamente por envenenamiento. Algunas de las motivaciones para la caza de la especie son la obtención de trofeos, el aprovechamiento de la piel, consumo de carne y usar su grasa como medicina

tradicional. En México, las prácticas recién descritas fueron reguladas hasta la publicación del decreto federal de veda permanente en 1986 en el que se prohíbe la caza de estos organismos en cualquier parte del territorio nacional (Navarro-Serment, 2016).

Estado de Conservación

Históricamente los osos negros se distribuían en la mayor parte de Norteamérica, pero fueron desplazados hacia áreas densamente boscosas debido a la caza y la agricultura (Larivière, 2001). Posteriormente, sufrieron campañas de erradicación incentivadas por los gobiernos de EUA y México hasta el siglo XX, cuando sus poblaciones se vieron fuertemente disminuidas e incluso desaparecieron de algunas zonas en las que habitaban (Navarro-Serment, 2016).

Actualmente, la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés) le asigna el estado de “Preocupación Menor” debido a su amplia distribución hacia el norte del continente americano. Sin embargo, en México la población asociada a la SMO de esta especie está catalogada como “En Peligro de Extinción” de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010 a causa de la degradación de su hábitat (SEMARNAT, 2010). Las poblaciones de la subespecie de *U. a. eremicus* son las únicas consideradas en la categoría “sujeta a protección especial” por la misma NOM-059-SEMARNAT-2010 (Navarro-Serment, 2016).

6.- DISCUSIÓN

Los estudios sobre los osos negros han aumentado desde 2010, no obstante, en la actualidad aquellos dirigidos específicamente a las poblaciones que se encuentran en el interior de México son limitados. Lo anterior es contradictorio considerando los registros recientes para algunos estados del centro del país (Rojas-Martínez y Juárez-Casillas, 2013; López-González *et al.* 2019; Charre-Medellín *et al.* 2021).

En México solo se han realizado cinco trabajos basados en el concepto de nicho ecológico para oso negro, de los cuales uno ha sido específico a la SMOcc, tres han abordado una escala nacional y solo uno se ha enfocado en la región comprendida entre el Norte de México y sur de Estados Unidos. Cabe resaltar que no existen estudios específicos a las poblaciones de esta especie en la SMO (Delfín-Alfonso *et al.* 2012; Monroy-Vilchis *et al.* 2016; Carrera-Treviño *et al.* 2019; Núñez-Torres *et al.* 2020; González-Saucedo *et al.* 2021).

Aunque el concepto de “subespecie” ha causado controversias en la comunidad académica, autores como Wilson y Brown (1953) y Mallet (2013) han descrito al menos dos, *U. a. machetes* en la SMOcc y *U. a. eremicus* en la SMO (Ramírez-Pulido *et al.* 2014). Ambas subespecies presentan diferencias morfológicas evidentes a nivel craneal en los procesos post orbitales y la disposición de los huesos frontales, además de presentar tallas distintas en individuos adultos, variación en los patrones de coloración del pelaje. Aunque las diferencias recién mencionadas pueden ser atribuidas a la plasticidad fenotípica y la capacidad adaptativa que presentan estos organismos (Via *et al.* 1995; Gavito-Pérez *et al.* 2012), existe evidencia de aislamiento genético entre las sub poblaciones de las SMOcc y SMO desde hace más de 1 millón de años, que a su vez refleja el efecto del desierto chihuahuense y el altiplano mexicano como barreras para su dispersión (Oronato *et al.*, 2007; Juárez-Casillas *et al.*, 2013).

El oso negro se distribuye en hábitats extremadamente fríos como el límite norte del continente americano, climas cálidos y húmedos como los presentes en los estados de Florida, EUA y Tamaulipas, México, o semidesérticos como los matorrales xerófilos del Norte de México y Sur de EUA. Esta amplia distribución refleja la capacidad de la especie para aprovechar los recursos disponibles en estas zonas, ya sea bajo coberturas vegetales densas o abiertas. Sin embargo, la especie no ha sido registrada en zonas desérticas como las presentes en el altiplano mexicano central (Doan-Crider y Hellgren, 1996; Garshelis *et al.*

2016; Navarro-Serment, 2016). Al presentar este amplio rango climático de tolerancia resulta difícil asociar la especie con algún tipo específico de cobertura vegetal, sin embargo, sus registros de presencia reportados en México parecen tener una mayor frecuencia en las cadenas montañosas y sistemas de altura que se ubican desde el norte del país hasta el centro de México, con un intervalo altitudinal de 650 y 3,000 msnm, con excepciones puntuales en bosques subtropicales del norte de México a 372 msnm (Carrera-Treviño *et al.* 2015).

El ámbito hogareño y comportamiento de estos organismos depende directamente del sexo y su madurez (Doan-Crider y Hellgren, 1996; Garshelis *et al.* 2016). El rango de desplazamiento reportado para la especie varía entre un mínimo de 6.5 a 25 km² (hembras) y un máximo de 27 a 120 km² (machos subadultos), con registros extraordinarios que superan hasta los 200 km² causados por eventos estocásticos o de traslocación de individuos (Fair, 1990; Gavito-Pérez *et al.* 2012). La jerarquía entre individuos se encuentra dominada por los machos adultos de mayor tamaño, que comparten parcialmente su territorio con hembras adultas y subadultas. Por su parte, los machos subadultos se encuentran en la búsqueda permanente de un territorio propio. Esta dinámica social, la búsqueda constante de recursos y diversas sequías prolongadas reportadas para el centro de México, pueden ser la causa del aumento en su rango de distribución a lo largo de la SMO, como el primer caso documentado en el centro de México en 2013 al interior de la ANP “Los Mármoles” (Doan-Crider y Hewitt, 2005; Rojas-Martínez y Juárez-Casillas, 2013; Navarro-Serment, 2016).

Es importante mencionar que las poblaciones de oso negro en México mantienen la capacidad de hibernar durante el invierno, no mostrándose como una conducta estricta y siendo causada por factores ambientales como el descenso extremo de la temperatura y la baja disponibilidad de recursos. En consecuencia, presentan un periodo de hiperfagia durante los meses de agosto, septiembre y octubre, estimulando que los organismos tengan un mayor desplazamiento en distancia, coincidiendo con las fechas de sus registros fotográficos en los estados de Guanajuato e Hidalgo en septiembre de 2018 (Charre-Medellín *et al.* 2018; López-González *et al.* 2018).

La dieta de estos organismos se compone principalmente por materia de origen vegetal (90%), enfocándose en los recursos que se encuentran en mayor abundancia y aportación calórica o proteica (Gavito-Pérez *et al.* 2012; Navarro-Serment, 2016). En

México, durante la estación lluviosa aprovechan pastos de importancia ganadera como los del género *Bouteloa*. Posteriormente, sus preferencias se orientan a semillas como las bellotas, táscate o piñones y, en menor medida, frutos del género *Opuntia* y *Yucca* (Herrera-González, 2003; Moreno-Arzate, 2008).

En Norteamérica, las densidades más altas de oso negro son las registradas en Alberta, Canadá (0.62 osos/km²) y Wisconsin, EUA (0.57/km²) (Carrera-Treviño *et al.* 2019). Las poblaciones que se encuentran en los estados de Coahuila y Sonora son las de mayor densidad en México, con 0.56 y 0.38 osos/ km², respectivamente (Doan-Crider, 2003; Varas-Nelson, 2010). Así mismo, la sobrevivencia de las crías pertenecientes a las poblaciones que se distribuyen en la SMO indica que tienen una dinámica saludable, sin embargo, es necesario tomar en cuenta que estos estudios fueron realizados hace casi 20 años (Gavito-Pérez *et al.* 2012).

Actualmente, se carece de estudios sobre las enfermedades que presentan los osos negros en territorio mexicano, por lo tanto, la única referencia sobre este tema es la disponible en estudios previos a nivel mundial (Larivière, 2001). Las enfermedades reportadas son catalogadas como habituales en esta especie y se les asocia a ectoparásitos, endoparásitos y enfermedades dentarias causadas por sus hábitos alimenticios (Rogers y Rogers, 1976; Gavito-Pérez *et al.* 2012).

Los osos negros adultos no tienen ningún depredador natural, a diferencia de las crías y subadultos que pueden sufrir ataques de otros depredadores tope o presiones antrópicas a lo largo de su distribución (Gavito-Pérez *et al.* 2012). Estas últimas se han establecido como las causas principales del decremento en su población y desplazamiento hacia los sistemas montañosos en México (Navarro-Serment, 2016).

Su estado de conservación a nivel mundial sugiere que la especie no presenta un riesgo de extinción global, sin embargo, esto cambia en los escenarios regionales de las poblaciones que se encuentran aisladas y la degradación de su hábitat, causada por presiones antrópicas, como en las subespecies *U. a. floridanus*, *U. a. machetes* y *U. a. eremicus*, siendo esta última la que se encuentra bajo la categoría de “sujeta a protección especial” por la misma NOM-059-SEMARNAT-2010 en México (SEMARNAT, 2010; Garshelis *et al.* 2016).

7.- CONCLUSIONES

La mayoría de las publicaciones revisadas corresponden a artículos científicos con una proporción del 78%. Las demás fuentes de información publicadas tuvieron un rango de aportación del 2 al 6%, sin embargo, las tesis de maestría reportaron información relevante sobre las variables usadas para analizar la distribución de los osos negros y sus hábitos alimenticios.

Existe una gran cantidad de estudios realizados sobre *U. americanus*, abordados desde diferentes disciplinas como la taxonomía, genética, ecología, etología, biogeografía, fisiología y epidemiología, entre otras. Los trabajos reportados proporcionan información que permite elaborar proyectos cada vez más detallados y profundos como es el caso de los análisis filogenéticos de esta especie o la modelación de su nicho ecológico y su expresión geográfica. Sin embargo, aunque exista una cantidad considerable de información sobre esta especie, en México aún se carece de estudios que aporten a la comprensión de su distribución y orienten la toma de decisiones sobre su conservación. La carencia de información recién descrita es aún más evidente en áreas clave para la conservación como la modelación del nicho ecológico y la conectividad en regiones de suma importancia como la SMO.

En conclusión, la literatura especializada reporta que los osos negros se encuentran fuertemente asociados a los ambientes montañosos y sistemas de altura que van desde climas semidesérticos como el matorral xerófilo, pasando por climas templados como los bosques de coníferas y encinares, hasta llegar ocasionalmente a sistemas de selvas tropicales. En consecuencia, el atributo de mayor importancia a lo largo de su distribución es la disponibilidad de recursos como lo son las bellotas, el tásate, pastos comestibles y frutos que puedan aportar un alto contenido de proteínas y carbohidratos. Finalmente, se estima que la escasez de recursos, eventos estocásticos y sequías prolongadas, favorecen a sus eventos migratorios y la ampliación del rango de su distribución.

CAPITULO II: CARACTERIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DEL OSO NEGRO Y ANALISIS DE CONECTIVIDAD

1. RESUMEN

Se han realizado diversos esfuerzos para la estimación de la distribución potencial del oso negro (*Ursus americanus*) en Norteamérica. En México, se le ha asociado a ambientes montañosos y se le ha registrado frecuentemente en zonas áridas o tropicales. En la actualidad las poblaciones de oso negro existentes en la SMO se encuentran bajo la categoría de “En peligro de extinción” de acuerdo a la NOM-O59-SEMARNAT-2010 y es necesario analizar la contribución que han tenido las Áreas Naturales Protegidas (ANP) para su conservación, así como proponer estrategias complementarias. Se identificaron las especies vegetales que componen la dieta del oso negro y se generaron modelos que explican su distribución a escala espacial y temporal. Se estimó que existe una coincidencia espacial hasta del 40% entre la distribución potencial del oso negro y sus especies dieta. Además, la fenología de sus especies dieta muestran las zonas con mayor cantidad de biomasa aprovechable para los osos negros durante diferentes periodos del año. Así mismo, se demostró que las ANPs federales existentes a lo largo de la SMO desarrollan un papel fundamental para el establecimiento de las poblaciones de oso negro en la región debido a que durante la última década se han podido registrar avistamientos de estos organismos en los estados del centro de México, como Guanajuato, Hidalgo y Querétaro, despertando el interés por explicar las posibles rutas que utilizan para desplazarse desde sus poblaciones establecidas en los estados de Nuevo León y Tamaulipas hasta el centro de México. En el presente trabajo se estimó la conectividad espacial y funcional para identificar las rutas que utiliza *Ursus americanus eremicus*: Ursidae a lo largo de la SMO. Se obtuvieron un total de 1,049 polígonos con cinco categorías de importancia para la conectividad del oso negro de acuerdo a los criterios del algoritmo de Índice Integral de Conectividad (IIC) y 1,421 corredores a lo largo de la matriz de resistencia, tomando a todos los polígonos por igual como áreas a conectar para describir las rutas que utiliza el oso negro en su desplazamiento.

Palabras clave: Modelado de nicho ecológico, modelo de favorabilidad climática acumulado, Especies Dieta, Índice Integral de Conectividad, Áreas Naturales Protegidas,

2. ABSTRACT

Diverse studies have been focus to estimate the potential distribution of the black bear (*Ursus americanus*) in North America. In Mexico, it has been associated with mountainous environments and has been frequently recorded in arid or tropical areas. Currently, the existing black bear populations in the SMO are in the "Endangered" category according to NOM-O59-SEMARNAT-2010 and it is necessary to analyze the contribution Protected Natural Areas (ANP) provides for its conservation, as well as proposing complementary strategies. The plant species that make up the black bears diet were identified and explain their distribution at spatial and temporal scale through models were generated. A spatial coincidence almost 40% was estimated between the potential distribution of the black bear and its diet species. In addition, diet species phenology shows the areas with the highest amount of usable biomass for black bears during different periods of the year. Likewise, it was shown that the existing federal ANPs along the SMO play a fundamental role in the establishment of black bear populations in region, due to the fact that sightings of these organisms have been recorded in states during the last decade from central Mexico, such as Guanajuato, Hidalgo and Querétaro, arousing interest to explaining the possible routes they use to move from their populations established in Nuevo León and Tamaulipas to central Mexico. In the present work, the spatial and functional connectivity was estimated to identify the routes used by *Ursus americanus eremicus*: Ursidae along the SMO. A total of 1,049 polygons were obtained with five categories of importance for the connectivity of black bear according to Integral Index of Connectivity (IIC) criteria algorithm and 1,421 corridors along the resistance matrix, taking all the polygons equally as areas to be connected to describe the routes used by the black bear in its movement.

Keywords: Ecological Niche Model, Cumulative Climate Favorability Model, Diet Species, Integral Index of Connectivity, Natural Protected Areas,

3. INTRODUCCIÓN

Actualmente se han desarrollado una serie de algoritmos que modelan la distribución de las especies a través de distintas herramientas estadísticas y ecológicas (Guisan y Zimmerman, 2000). Una de las herramientas más utilizadas en la actualidad es la modelación de la distribución potencial (MDP) a través del modelado de nicho ecológico (MNE), que posteriormente puede ser expresado en la geografía por medio de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Peterson *et al.* 2011).

Se han realizado diversos esfuerzos para la estimación de la distribución potencial del oso negro (*Ursus americanus*) en Norteamérica, mismos que la han descrito como una especie generalista con límites climáticos difusos (Garshelis *et al.* 2016; González-Saucedo *et al.* 2021). En México, la especie ha sido asociada a los ambientes montañosos y las zonas áridas o tropicales. Lo anterior, refleja la plasticidad del oso negro, lo que dificulta el estimar su distribución (Delfin-Alfonso *et al.* 2012; Monroy-Vilchis *et al.* 2016; Doan-Crider, 2017).

Al existir una fragmentación y disminución del hábitat del oso negro dentro del territorio mexicano cercana al 80%, resulta de gran relevancia el conocer cuáles son las zonas más adecuadas para su desplazamiento o el establecimiento de sus poblaciones (Hellgren *et al.* 2005; Hirzel y Lay, 2008). Asimismo, es fundamental entender la contribución que han tenido las Áreas Naturales Protegidas (ANP) para la conservación de esta especie, ya que estas albergan cerca del 12% de su hábitat adecuado. Lo anterior, sin duda favorecerá el establecimiento de bases sólidas para proponer estrategias complementarias de conservación y entender el desplazamiento que tienen los osos negros en la SMO (Monroy-Vilchis *et al.* 2016).

A través de los modelos y métricas de la conectividad ecológica, se han generado diferentes indicadores que nos permiten tener una aproximación de las relaciones existentes entre los organismos y los parches de hábitat adecuados a nivel espacial y funcional (Gurruxtaga, 2004; UNEP, 2019). Esencialmente, la conectividad espacial es una medida que nos permite saber qué tan cerca o entremezclados están los fragmentos de hábitat en el paisaje, donde los fragmentos de hábitat más distantes entre sí tendrán menos conectividad espacial que aquellos fragmentos de hábitat con menor distancia entre parches. Por otro lado, la conectividad funcional toma en cuenta rasgos propios de la especie focal e intenta estimar

la continuidad de los flujos ecológicos a través del paisaje (Gurruxtaga, 2004; Zeller *et al.* 2012).

La fragmentación de los hábitats puede obstruir o dificultar la capacidad de dispersión de las especies (Keeley *et al.* 2021). El oso negro (*Ursus americanus*) en México, al igual que otras especies, ha resultado perjudicado por esta razón y por la caza desmedida sobre sus poblaciones al ser considerados animales dañinos para el ganado (Doan-Crider *et al.* 2017; Navarro-Serment, 2017). Sin embargo, durante la última década se han podido registrar avistamientos de estos organismos en los estados del centro de México, como Guanajuato, Hidalgo y Querétaro (Rojas-Martínez y Juárez-Casillas, 2013; López-González *et al.*, 2019; Charre-Medellín *et al.* 2021); esto ha despertado el interés por explicar las posibles rutas que utilizan para desplazarse desde sus poblaciones establecidas en los estados de Nuevo León y Tamaulipas (Monroy-Vilchis *et al.* 2016; González-Saucedo *et al.* 2021).

Las poblaciones de oso negro existentes en la Sierra Madre Oriental (SMO) corresponden a la subespecie de *Ursus americanus eremicus*: Ursidae y se encuentran bajo la categoría de “En peligro de extinción” de acuerdo a la NOM-O59-SEMARNAT-2010. El presente trabajo describe la asociación entre la distribución potencial de estas poblaciones de oso negro, no solo a través de sus preferencias climáticas, sino también con la disponibilidad de alimento existente en las zonas que habita. Lo anterior, con el fin de identificar aquellas zonas y periodos adecuados para la distribución de la especie tanto en el norte como en el centro de México. Además, este proyecto de investigación implementa los Modelos de Favorabilidad Climática Acumulada (MFCA) y el Modelo de Distribución Potencial (MDP) de las poblaciones de oso negro que habitan la SMO como insumos para estimar la conectividad espacial y funcional e identificar las rutas que utiliza *U. a. eremicus* a lo largo de esta región. Finalmente, se identificaron las Áreas Naturales Protegidas (ANP) que tienen una mayor influencia sobre estos organismos, desde las que pueden albergar poblaciones estables hasta las que solo funcionan como zonas de descanso y les permiten recorrer distancias mayores.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Obtención de los registros de presencia de oso negro mexicano.

Se compilaron los registros de presencia correspondientes a *Ursus americanus eremicus*: Ursidae disponibles en la base de datos pública de la Fototeca de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la base de registros publicada por Nagy-Reis *et al.* (2020), los registros disponibles a través de repositorios de información biológica como la *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF, 2020) y el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de México (SNIB). De forma complementaria, se recopilaron los registros bibliográficos y datos de ocurrencia obtenidos de fotografías o videos disponibles en redes sociales y reportajes de televisión local georreferenciados con las herramientas geoespaciales disponibles en Google Earth (; Cuervo-Robayo *et al.*, 2017; Google Earth, 2020.).

Se realizó una depuración de los registros de oso negro que se encontraban fuera de su distribución histórica y aquellos que corresponden a presencia en zoológicos. Únicamente se tomaron en cuenta los registros asociados a la SMO y sus zonas de influencia (áreas de amortiguamiento con aproximadamente 100 km de distancia alrededor del polígono principal); se eliminaron registros sin referencia geográfica, duplicados espaciales, es decir, aquellos que no tuvieran una separación de 1 km entre sí utilizando la paquetería de “ntbox” implementada en R versión 4.0.5 (R Core Team, 2021), y los registros que tuvieran una incertidumbre mayor a los 12 km, valor que corresponde al ámbito hogareño mínimo registrado para la población que se distribuye en la zona de estudio (Doan-Crider y Hellgren, 1996; Osorio-Olvera *et al.*, 2020).

4.2 Definición de las especies principales que componen la dieta de oso negro mexicano (*U. a. eremicus*: Ursidae) y obtención de sus registros de presencias.

De acuerdo a las publicaciones científicas consultadas en el Capítulo I de este documento, se seleccionaron las especies vegetales que componen la dieta principal y que coinciden con la distribución de las poblaciones de oso negro en la SMO en México. Posteriormente, se realizó una búsqueda bibliográfica de estas especies y se compiló su información en formato de fichas técnicas con la finalidad de recopilar su distribución geográfica (en México y sur de EUA), distribución político administrativa, fisiográfica, afinidad a tipos de suelo, usos

comerciales y alimenticios, así como sus rangos mínimos y máximos de altura, temperatura y precipitación.

En total, se recopilaron registros de presencia para 21 especies vegetales desde los repositorios de información biológica GBIF y SNIB. Posteriormente, se realizó la depuración de estos registros eliminando aquellos que no cuentan con coordenadas geográficas y con una incertidumbre mayor a 5 km. Además, se eliminaron los duplicados espaciales con el mismo criterio de separación de 1 km entre sí (Cuervo-Robayo *et al.*, 2017; Peterson *et al.*, 2019).

4.3 Modelos de Distribución Potencial del oso negro mexicano (*U. a. eremicus*: URSIDAE) y sus especies dieta

Se realizó un Modelo de Distribución Potencial (MDP) para *U. a. eremicus* y cada una de las 21 especies vegetales que conforman su dieta bajo el enfoque del Modelado de Nicho Ecológico (MNE) correlativo (Alvarado-Serrano y Knowles, 2014; Hirzel y Lay, 2008). Para lo anterior se utilizó el algoritmo de máxima entropía implementado en el software MAXENT 3.4.4 usando parámetros predeterminados (Phillips *et al.*, 2006), un valor de 1,000 iteraciones y un *background* equivalente al 1% del número de celdas correspondiente a su área de calibración, datos de presencia y las 19 variables bioclimáticas disponibles en <http://www.worldclim.org> versión 2.1, propuestas por Hijmans *et al.* (2017) a una resolución de 30 arco segundos ($\sim 1 \text{ km}^2$) (Guisan y Thullier, 2005; Flores-Tolentino *et al.*, 2019; Núñez-Torres *et al.*, 2020).

La delimitación de la extensión geográfica que se usó como área de calibración para el modelo de distribución de oso negro corresponde a la provincia fisiográfica de la SMO y las provincias colindantes en México y EUA. El área de calibración para las especies vegetales fue específica a las provincias fisiográficas donde se distribuyen las especies de manera natural, incluyendo aquellas usadas por la especie focal de este estudio.

4.4 Integración de los Modelos de Distribución Potencial

4.4.1 Modelo Favorabilidad Climática Acumulada (MFCA) para las especies vegetales (escala espacial)

En el presente trabajo se le denominó como Modelo de Favorabilidad Climática (MFC) a las capas individuales resultantes de la reclasificación de los valores de los MDP de las especies que componen la dieta del oso negro bajo el criterio del umbral “10 percentile training presence”; cuya la finalidad fue la de homogenizar las escalas de los valores climáticos y no usar los valores más bajos del MDP para reducir sobreestimaciones geográficas en procesos posteriores. Esto se desarrolló con la herramienta “reclassify” del software ArcMap 10.4 (ESRI, 2016), generando nueve categorías (0-8; Tabla 1) (Flores-Tolentino et al. 2019). Los intervalos fueron generados con la siguiente clasificación:

Tabla 1. Categorías de reclasificación para los MDP de las especies vegetales. V10p: valor tomado del umbral 10 percentil generado por Maxent, específico para cada especie.

Categoría de reclasificación	Intervalo de valores
0	0.0 – V10p
1	V10p – 0.3
2	0.3 – 0.4
3	0.4 – 0.5
4	0.5 – 0.6
5	0.6 – 0.7
6	0.7 – 0.8
7	0.8 – 0.9
8	0.9 – 1

Posteriormente, se realizó una sumatoria de los MFC resultantes para obtener un Modelo de Favorabilidad Climática Acumulada (MFCA), donde los valores cercanos a 0 representan una baja probabilidad de que existan condiciones ambientales favorables para el establecimiento de las especies vegetales y, por el contrario, los valores más cercanos al valor máximo representan una alta probabilidad de que existan condiciones ambientales favorables.

El MFCA se traduce como la relación positiva entre el valor de favorabilidad climática acumulada (variable independiente) y la cantidad de especies (variable dependiente) por celda. Esta relación se expresa mediante la siguiente métrica:

1. **Número de especies por celda** (N_{sp}): número de especies presentes en una celda de las cuales puede alimentarse el oso negro.

$$N_{sp} = (\sum_O \text{MFC}) (n) / \sum_E \text{MFC}$$

Donde:

MFC = Modelo de Favorabilidad Climática.

\sum_O MFC = Sumatoria observada de los MFC.

\sum_E MFC = Sumatoria esperada de los MFC.

n = Número de MCF acumulados.

4.4.2 Modelo de Favorabilidad Climática (MFCT) para las especies vegetales (escala temporal)

Con la finalidad de encontrar la disponibilidad de recursos en la geografía y asociarlo a los posibles movimientos del oso negro en el lapso de un año en la SMO, se generó el Modelo de Favorabilidad Climática a escala temporal (MFCT) en el que se utilizaron las seis estaciones reportadas por Herrera-González (2003) sobre la dieta del oso negro y la producción de alimento (biomasa o frutos) de las especies vegetales (Tabla 2).

Tabla 2. Aporte en porcentaje de las especies vegetales a la dieta de oso negro por periodo.

Estación	Genero	Especies	Nombre Común / Fruto	Aportación esperada (%)	Aportación vegetal a la dieta del oso (%)
Verano Temprano (junio y julio)	<i>Quercus</i>	<i>Quercus hypoleucoides</i> , <i>Q. gravesii</i> , <i>Q. rugosa</i>	Bellota	21	74
	<i>Bouteloua</i>	<i>Bouteloua curtipendula</i> , <i>B. dactyloides</i> , <i>B. gracilis</i>	Pastos	30	

	<i>Conopholis</i>	<i>Conopholis alpina</i>	Elotillo / Elotes de coyote	11	
	<i>Arctostaphylos</i>	<i>Arctostaphylos pungens</i>	Manzanita/Pingüica	6	
	<i>Opuntia</i>	<i>Opuntia robusta</i> , <i>O. streptocantha</i>	Tunas	4	
	<i>Dasyllirion</i>	<i>Dasyllirion texanum</i>	Sotol	1	
	<i>Rubus</i>	<i>Morus celtidifolia</i> , <i>Rubus liebmannii</i>	Mora/Zarzamora	1	
Verano Tardío (agosto)	<i>Quercus</i>	<i>Quercus hypoleucoides</i> , <i>Q. gravesii</i> , <i>Q. rugosa</i>	Bellota	64	89.8
	<i>Juniperus</i>	<i>Juniperus deppeana</i> , <i>J. flaccida</i>	Táscate	10	
	<i>Bouteloua</i>	<i>Bouteloua curtipendula</i> , <i>B. dactyloides</i> , <i>B. gracilis</i>	Pastos	7	
	<i>Desmodium</i>	<i>Desmodium psilophyllum</i>	Pegajosa	3	
	<i>Yucca</i>	<i>Yucca filifera</i> , <i>Y. torreyi</i> , <i>Y. elata</i>	Yuca	3	
	<i>Dasyllirion</i>	<i>Dasyllirion texanum</i>	Sotol	3	
Otoño Temprano (septiembre, octubre y noviembre)	<i>Quercus</i>	<i>Quercus hypoleucoides</i> , <i>Q. gravesii</i> , <i>Q. rugosa</i>	Bellota	29	80.8
	<i>Juniperus</i>	<i>J. deppeana</i> , <i>J. flaccida</i>	Táscate	39	
	<i>Desmodium</i>	<i>Desmodium psilophyllum</i>	Pegajosa	13	

Otoño Tardío (diciembre)	<i>Quercus</i>	<i>Quercus hypoleucoides, Q. gravesii, Q. rugosa</i>	Bellota	55	95.9
	<i>Juniperus</i>	<i>J. deppeana, J. flaccida</i>	Táscate	34	
	<i>Desmodium</i>	<i>Desmodium psilophyllum</i>	Pegajosa	5	
	<i>Pinus</i>	<i>Pinus cembroides</i>	Piñón	2	
Invierno (enero y febrero)	<i>Quercus</i>	<i>Quercus hypoleucoides, Q. gravesii, Q. rugosa</i>	Bellota	45	91.8
	<i>Juniperus</i>	<i>J. deppeana, J. flaccida</i>	Táscate	39	
	<i>Bouteloua</i>	<i>Bouteloua curtipendula, B. dactyloides, B. gracilis</i>	Pastos	8	
Primavera (marzo, abril y mayo)	<i>Quercus</i>	<i>Quercus hypoleucoides, Q. gravesii, Q. rugosa</i>	Bellota	0	68.9
	<i>Juniperus</i>	<i>J. deppeana, J. flaccida</i>	Táscate	37	
	<i>Bouteloua</i>	<i>Bouteloua curtipendula, B. dactyloides, B. gracilis</i>	Pastos	13	
	<i>Desmodium</i>	<i>Desmodium psilophyllum</i>	Pegajosa	19	

Una vez definida la escala temporal y asumiendo una homogeneidad fenológica de las especies dieta modeladas en la zona de estudio, se realizó una ponderación en cada modelo de los MFC al multiplicar el porcentaje de aportación específico por especie y estación definida con la herramienta “álgebra de mapas” del software ArcMap 10.4 (ESRI, 2016). Después de su ponderación, se realizó una sumatoria para los modelos específicos a cada

estación correspondiente generando así el MFCA_t con la intención de expresar la disponibilidad de alimento por periodo definido en términos de acumulación de especies en un espacio geográfico.

Este modelo también se traduce como la relación positiva entre el valor de favorabilidad climática acumulada (variable independiente) y la cantidad de especies (variable dependiente) por celda durante un periodo definido. Esta relación se expresa mediante las dos métricas propuestas en el apartado anterior:

2. **Número de especies por celda a escala temporal:** número de especies presentes en una celda de las cuales puede alimentarse el oso negro para un periodo establecido.

$$N_{\text{spt}} = (\sum_{\text{O}} \text{MFCA}_t) (n) / \sum_{\text{E}} \text{MFCA}_t$$

Donde:

MFCA_t = Modelo de Favorabilidad Climática a escala temporal.

\sum_{O} MFCA_t = Sumatoria observada de los MFCA_t.

\sum_{E} MFCA_t = Sumatoria esperada de los MFCA_t.

n = Número de MFCA_t acumulados.

4.5 Análisis de las estrategias de conservación *in situ* para la especie

El análisis de conservación para el oso negro por parte de las ANP se desarrolló por medio de la estimación de las áreas climáticas más adecuadas y con mayor disponibilidad de alimento en las ANP distribuidas en la SMO (Figura 8) (Atwood, 2011; Rodríguez-Soto, 2011; Joshi, 2015). De igual forma se determinó la presencia de zonas estables de distribución en el tiempo por medio del traslape de los resultados obtenidos durante el desarrollo de los MDE para el oso negro y el MFCA.

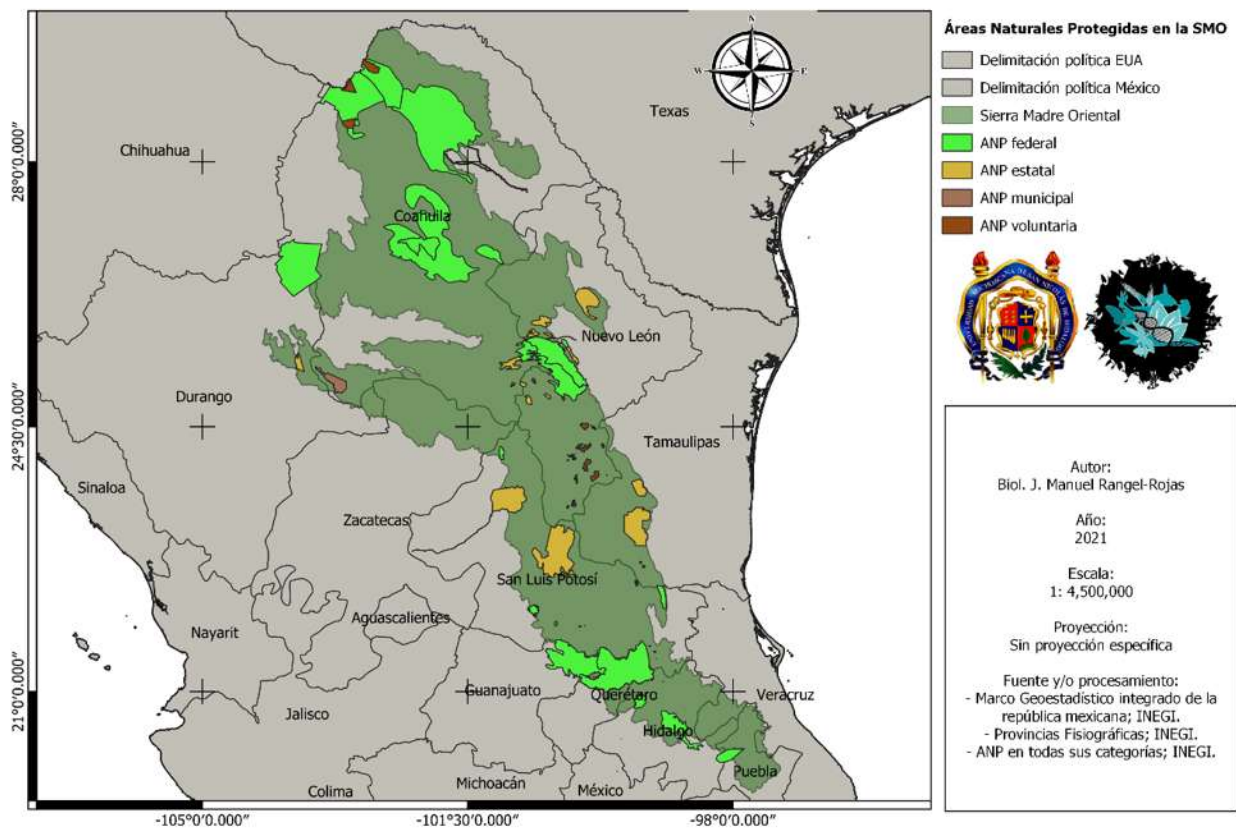


Figura 8. Polígonos de las Áreas Naturales Protegidas asociadas a la Sierra Madre Oriental.

4.6 Análisis de conectividad

La modelación de corredores biológicos se ha implementado como una de las herramientas para la toma de decisiones en materia de conservación de la biodiversidad en la actualidad (Hitly *et al.*, 2019).

Para realizar un análisis de conectividad es necesario generar una matriz de resistencia, es decir, una capa ráster que asigne un valor numérico por pixel al esfuerzo requerido por la especie focal para desplazarse a través del paisaje de acuerdo a sus capacidades, limitaciones físicas y de comportamiento. Posteriormente, deben definirse parches núcleo, las cuales son aquellas áreas geográficas que incluyen atributos positivos para la especie como extensión territorial suficiente, idoneidad climática y topográfica, disponibilidad de recursos y bajo impacto humano (Zeller *et al.*, 2012). A todos los insumos para generar la matriz de resistencia y parches núcleo se les asignó la proyección Cónica

Conforme de Lambert, con parámetros específicos para el territorio mexicano y el sur del estado de Texas con el datum ITRF08.

Se utilizó la herramienta Linkage Mapper ver. 2.0 (McRae y Kavanagh, 2011) a través de ArcMap 10.8 (ESRI, 2011) para identificar las rutas de menor costo y la distancia euclidiana entre los parches definidos utilizando los siguientes parámetros: 1) Ancho de corredor (basado en distancias costo) de 140 km ya que es la mitad del valor máximo registrado para el desplazamiento de un oso negro en México (280 km en línea recta); 2) Límite de distancia costo máxima definida para los corredores de 280 km también debido a su desplazamiento máximo; y 3) Límite de distancia euclidiana que puede recorrer la especie con 61 km basado en el desplazamiento promedio de los osos negros subadultos en búsqueda de territorios nuevos (Rogers, 1987; Lara-Díaz *et al.* 2021).

4.6.1 Parches núcleo

En este trabajo se generaron nuevos polígonos basados en un enfoque integrativo utilizando los dos cuartiles más adecuados del MDP del oso negro y MFCA de sus especies dieta (Flores-Tolentino *et al.*, 2019; González-Saucedo *et al.*, 2021). Seguidamente, se realizó el cálculo del Índice Integral de Conectividad (IIC) para definir a los parches con una mayor importancia en términos de tamaño, complejidad y adyacencia a otros polígonos del paisaje a empleando la paquetería *Makurhini* en el ambiente de programación R 4.0.5 (R Core Team, 2016) tomando un valor umbral de distancia de 61 km al centroide de cada parche (Godínez-Gómez y Correa, 2020; Saura y a Pascual-Hortal, 2007) y fueron categorizadas en cinco clases de acuerdo al criterio de Rupturas naturales (Jenks) en: Muy baja (0.008-0.218); Baja (0.218-0.720); Media (0.720-1.409); Alta (1.409-18.602 y; Muy alta (18.602-76.533), a fin de agrupar de mejor manera los valores similares y maximizar las diferencias entre categorías (Jenks y Caspall, 1971).

De manera complementaria, se realizó una superposición espacial de los polígonos creados, con base en las zonas con mayor idoneidad climática para el oso negro y las zonas con mayor disponibilidad de alimento, con las ANP presentes en la SMO, a fin de determinar cuáles son las áreas de mayor influencia en términos de tamaño, configuración y adyacencia que puedan facilitar el desplazamiento para las poblaciones de oso negro en la región.

4.6.2 Matriz de resistencia

Las capas raster de las variables fueron: a) Demográficas: censo poblacional 2020 de INEGI en territorio mexicano y mapas de densidad poblacional en alta resolución en Human Data para los Estados Unidos de América; b) Topográficas: Modelo Digital de Elevaciones de WorldClim 2.1; c) Cobertura y uso de suelo: ESRI 2020 Land Cover V2 derivada de imágenes ESA Sentinel-2 con una resolución de 10 m, siendo una combinación de predicciones de cobertura y uso de suelo (LULC, por sus siglas en inglés) generando 10 clases de todo un año para generar una instantánea representativa de 2020 (ESRI, 2021); d) Vías de comunicación urbana: cartografía de carreteras, caminos y vialidades del Conjunto de Carreteras y Vialidades perteneciente a la Red Nacional de Caminos de México (2011, INEGI). Se generaron capas de densidad poblacional humana con la herramienta Kernel Density tool (ESRI, 2014), distancia a localidades, cuerpos de agua y localidades con Euclidian Distance tool (ESRI, 2014) y Slope tool para calcular las pendientes (ESRI, 2014) acumulando un total de nueve variables a utilizar (Godínez-Gómez, 2017; González-Saucedo, 2021).

Previo al procesamiento de las capas, todas fueron estandarizadas a una resolución de 1 km² y recortadas a la extensión del área de estudio. Se utilizó la herramienta “Superposición ponderada” de ArcMap 10.8 (ESRI, 2016) para asignar el porcentaje de influencia a cada una de las nueve variables utilizadas: densidad humana (20%), distancia a localidades (5%), distancia a cuerpos de agua (5%), distancia a carreteras pavimentadas (10%), modelo digital de elevaciones (15%), pendiente (5%), cobertura de suelo (20%), MDP (10%) y MFCA (10%). Posteriormente, se hizo una reclasificación para que la capa resultante tuviera valores de 1 a 100, siendo los valores más cercanos a 1 aquellos con menor valor de resistencia para el desplazamiento de la especie focal y, por el contrario, los valores más cercanos a 100 aquellos con mayor dificultad de desplazamiento (LaRue y Nielsen, 2008).

5. RESULTADOS

5.1 Registros de presencia de oso negro

Se obtuvieron 123 registros de oso negro asociados a la SMO, solo tomando en cuenta a aquellos que no se encontraban más alejados de 160 km de esta provincia fisiográfica debido a que es el valor máximo registrado del ámbito hogareño reportado para estas poblaciones. Posteriormente, al realizar la discriminación espacial, este número se redujo a 105 registros de presencia (Tabla 3).

Tabla 3. Número de registros de presencia de *U. a. eremicus*: URSIDAE.

Especie	Fuente	Número de registros	Porcentaje de aportación (%)
<i>Ursus americanus eremicus</i>	UNAM (fototeca)	2	1.9
	Carnívoros neotropicales (base de datos pública)	18	17.1
	SNIB	28	26.6
	GBIF	40	38.1
	Bibliografía	11	10.5
	INIRENA - UMSNH (videos georreferenciados)	6	5.7
Total		105	100

5.2 Especies vegetales que componen la dieta del oso negro en la SMO

Se definieron 21 especies vegetales que componen la dieta de *U. a. eremicus*: URSIDAE y se describieron los rangos climáticos y altitudinales de tolerancia para estas especies en la naturaleza (Tabla 4).

Tabla 4. Registros de especies vegetales reportadas como componentes principales en la dieta de *U. a. eremicus* y su respectiva variación ambiental.

Especie	Número de registros	Altitud (msnm)		Temperatura (°C)			Precipitación (mm)		
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínima	Media	Máxima
<i>Arctostaphylos pungens</i>	2335	1375	3230	0	NA	30	350	NA	600
<i>Bouteloua dactyloides</i>	1173	10	2740	-22	NA	32	305	NA	635
<i>Bouteloua curtipendula</i>	3491	914	2500	0	20	34	380	NA	1140

<i>Bouteloua gracilis</i>	2698	2250	3100	10	NA	20	200	NA	400
<i>Conopholis alpina</i>	870	2300	2800	20	13	24	1500	1902	3800
<i>Dasyilirion texanum</i>	233	800	2700	14	NA	21	400	NA	800
<i>Desmodium psilophyllum</i>	183	700	1950	0	NA	29	600	NA	1000
<i>Juniperus deppeana</i>	1478	1900	2900	30	20	10	700	NA	1100
<i>Juniperus flaccida</i>	1043	1600	2200	10	15	20	600	NA	800
<i>Morus celtidifolia</i>	199	0	2500	18	NA	38	600	NA	2500
<i>Morus rubra</i>	986	600	1500	-14	NA	36	1000	NA	2000
<i>Opuntia robusta</i>	870	100	3190	0	20	35	150	NA	800
<i>Opuntia streptacantha</i>	590	420	3080	-5	NA	40	2	46	330
<i>Pinus cembroides</i>	1165	1350	3750	-7	18	42	300	NA	600
<i>Quercus gravesii</i>	144	1200	2700	5	NA	30	420	NA	1000
<i>Quercus hypoleucooides</i>	299	1200	2800	10	NA	26	600	NA	1200
<i>Quercus rugosa</i>	1598	2350	3100	9	NA	23	1230	NA	1619
<i>Rubus liebmannii</i>	106	2300	3000	12	NA	23	1200	NA	1500
<i>Yucca elata</i>	2043	400	1900	-18	15	38	200	NA	300
<i>Yucca filifera</i>	758	500	2780	-12	30	40	250	NA	550
<i>Yucca torreyi</i>	350	297	1684	-12	21.5	35	NA	237	NA

5.3 Modelos de Distribución Potencial del oso negro mexicano (*U. a. eremicus*: URSIDAE) y sus especies dieta

Al ser utilizadas las 19 variables bioclimáticas, aquellas con un mayor porcentaje de contribución fueron la Precipitación Estacional (bio15) con valor de 23.4%, el Rango de Temperatura Media Diurna (bio2) con 13.7%, la Precipitación del Trimestre más Seco (bio17) con 11.2%, el Rango de Temperatura Anual (bio07) con 9.5% y la Temperatura

Media Anual (bio01) con 6.9%. El modelo indica valores de Área Bajo la Curva (AUC, por sus siglas en inglés) de 0.966 en sus datos de entrenamiento y 0.951 en sus datos de prueba, así mismo, mostró una baja tasa de omisión de 0.095 en sus datos de entrenamiento y 0.129 en sus datos de prueba, de acuerdo al umbral del 10 percentil.

Las áreas con los valores de favorabilidad climática más altos corresponden a la porción centro-oriental de la SMO, atravesando al estado de Nuevo León, así como pequeñas porciones del norte del estado de Coahuila, sur de Texas, suroeste de Tamaulipas, noreste de Guanajuato y noroeste de Querétaro. Por otro lado, las áreas con los valores más bajos dentro de esta provincia fisiográfica se encuentran a lo largo de toda su porción oriental, colindante a la Mesa del Centro y las Sierras y Llanuras del Norte, así como la porción media del estado de Coahuila (Figura 9).

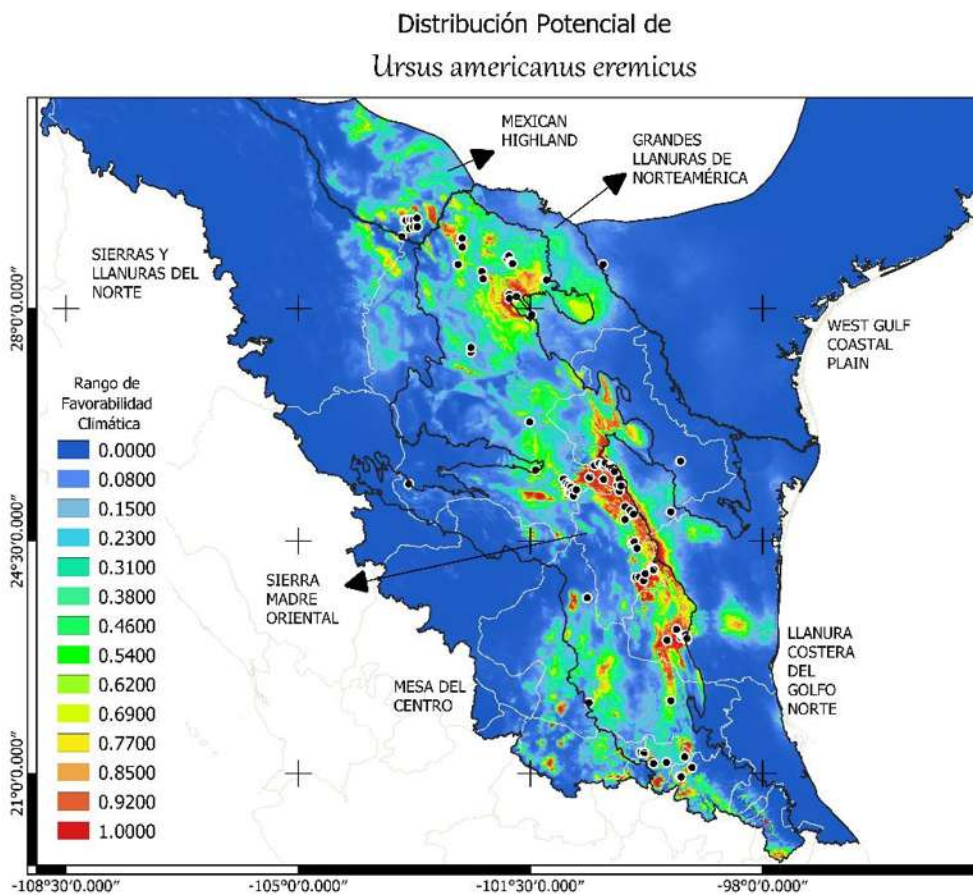


Figura 9. Mapa de distribución potencial de *U. a. eremicus* en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental.

En todos los modelos estimados, los valores de AUC se mantuvieron por encima de 0.80 tanto en sus datos de entrenamiento, como los datos de prueba, así mismo, todos los modelos presentaron una baja tasa de omisión. A continuación se describen los Modelos de Distribución Potencial (MDP) correspondientes a dos las especies vegetales con mayor porcentaje de contribución reportada en la dieta del oso negro, haciendo énfasis en la SMO: a) el MDP de *Quercus gravesii* muestra las áreas con mayores valores de favorabilidad climática en porciones pequeñas y dispersas en el norte de la SMO y sur del estado de Texas, mientras que sus valores más bajos se mantienen desde el centro hasta el sur de esta provincia fisiográfica (Figura 10); b) el MDP de *Juniperus flaccida* expresa sus valores más altos de favorabilidad climática en dos áreas separadas entre sí al límite oriental y sur de la SMO, así como pequeños polígonos dispersos al norte de esta región, por otro lado, sus valores más bajos se aprecian en los límites centro - occidental y el norte de esta provincia (Figura 11). La visualización de los MDP del resto de las especies vegetales que componen la dieta del oso negro estimados para este trabajo pueden consultarse en los Anexos de este documento de tesis en la Sección 1 (Figuras 1 al 19).

Distribución potencial de
Quercus gravesii

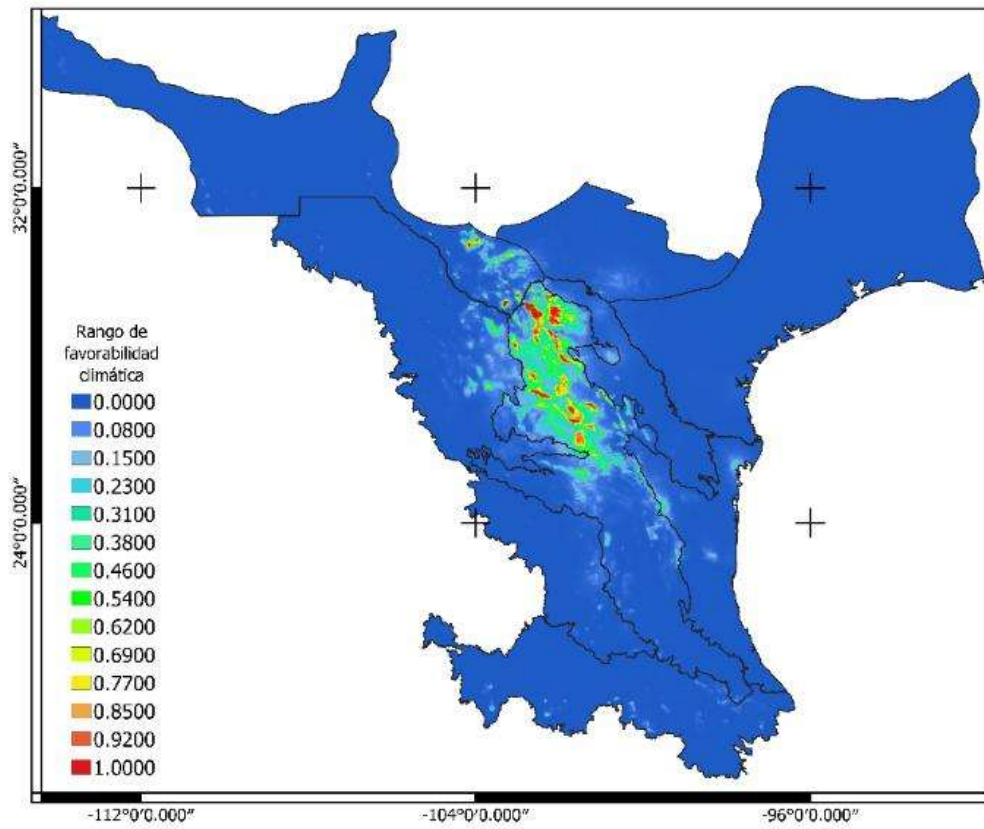


Figura 10. Mapa de distribución potencial de *Quercus gravesii* en su rango de distribución histórico.

Distribución potencial de *Juniperus flaccida*

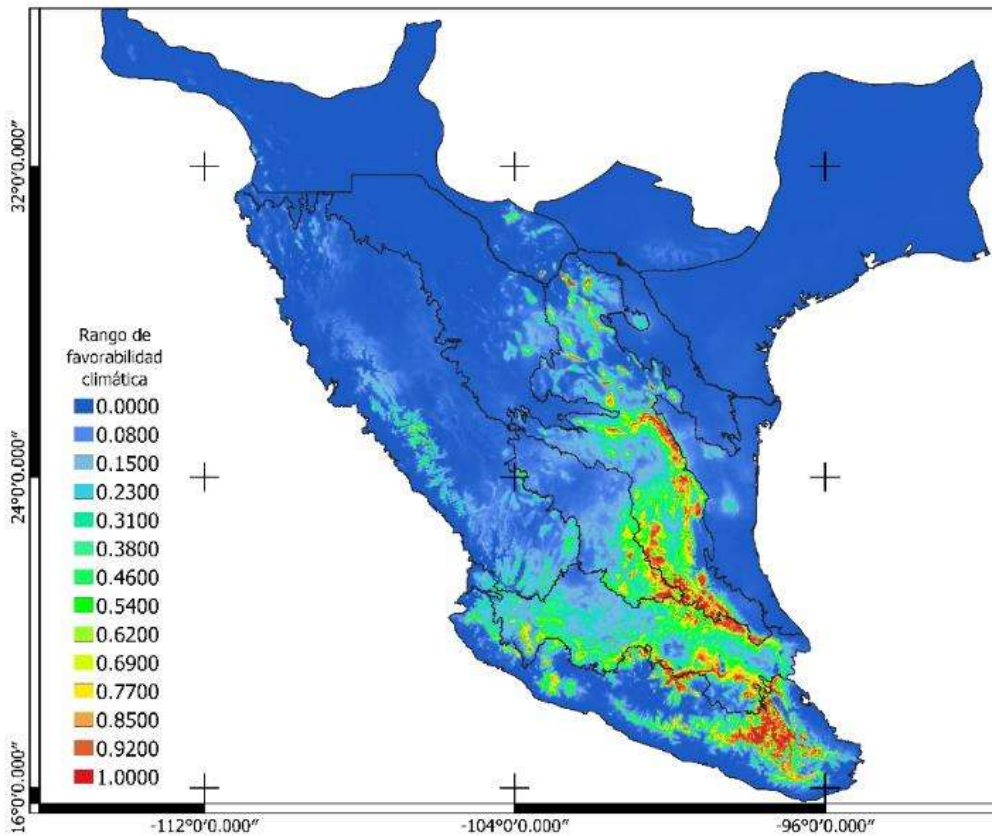


Figura 11. Mapa de distribución potencial de *Juniperus flaccida* en su rango de distribución histórico.

5.4 Integración de los Modelos de Distribución Potencial

5.4.1 Modelo Favorabilidad Climática Acumulada (MFCA) para las especies vegetales (escala espacial)

La sumatoria esperada de los 21 MFC tiene un rango de valores desde 0 hasta 189 en su favorabilidad climática y una cantidad de 21 especies esperadas por celda, sin embargo, el rango de valores observados fue de 0 a 101, correspondiente a la cantidad máxima de 11.2 especies por celda. Los valores más cercanos a 101 reflejan una mayor probabilidad de que existan las condiciones climáticas adecuadas para la existencia de 11.2 especies y, por el contrario, los valores más cercanos a 0 indican que existe una menor probabilidad de que existan condiciones climáticas adecuadas para la existencia de alguna especie. El Modelo de Favorabilidad Climática Acumulada (MFCA) muestra sus valores más altos, en el centro de

la SMO, atravesando desde el sureste del estado de Coahuila, centro de Nuevo León y suroeste de Tamaulipas, así como una región montañosa del centro y sur de San Luis Potosí, las regiones norte de los estados de Guanajuato, Querétaro, centro de Hidalgo y una pequeña porción del norte del estado de Puebla (Figura 13). Cabe resaltar que también se muestran áreas pequeñas con valores altos al norte de la SMO y sur del estado de Texas (Figura 13). Por otro lado, los valores más bajos se concentran en los límites geopolíticos del estado de San Luis Potosí, al centro de la SMO y al norte de esta zona de estudio, rodeando los pequeños manchones antes mencionados (Figura 13).

Favorabilidad Climática Acumulada Especies Vegetales

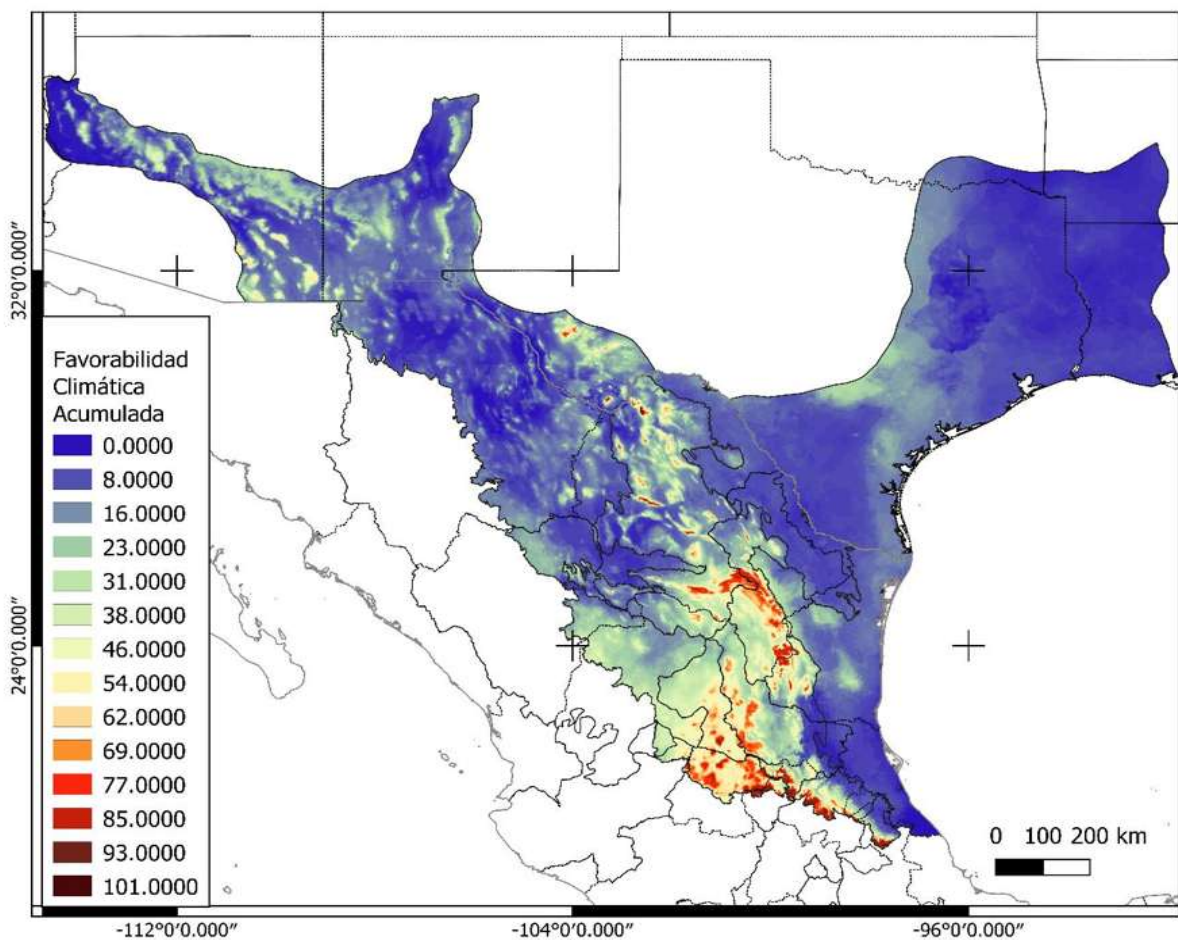


Figura 13. Favorabilidad Climática Acumulada a escala espacial. Los colores de tonalidad marrón oscuro denotan los lugares donde existe una mayor favorabilidad

climática y una mayor cantidad de especies acumuladas; los colores azules muestran donde existe una menor favorabilidad climática y menor cantidad de especies vegetales.

5.4.2 Modelo de Favorabilidad Climática Acumulada (MFCAt) para las especies vegetales (escala temporal)

Los modelos resultantes tienen un rango de Favorabilidad Climática Temporal (FCAt) específico, así como valores esperados y observados máximos de la sumatoria de los modelos para cada estación. Los modelos con una mayor cantidad de especies y porcentaje de favorabilidad climática son los calculados para las estaciones de Primavera, Otoño Temprano e Invierno (Tabla 5).

La expresión geográfica de estos modelos muestra cambios en la distribución de las especies vegetales durante las diferentes estaciones a lo largo del año. Los valores más cercanos o superiores a 5 exponen las zonas geográficas con una mayor cantidad de recursos disponibles por especie y mayor probabilidad de que existan condiciones ambientales favorables. Por el contrario, los valores más cercanos a 0 cuentan con una menor cantidad de especies y una menor probabilidad de que existan condiciones ambientales favorables para estas (Figuras 14 a la 19).

Tabla 5. Valores máximos de los MFCAt por estación. **MFCt** = Modelo de Favorabilidad Climática a escala temporal; **n** = Número de MFCAt acumulados; **FCAt** = Rango de Favorabilidad Climática Acumulada por estación; Σ_E **MFCAt** = Sumatoria esperada de los MFCt; **N_{sp} (máximo)** = Número de especies máximo por celda; **PFCAt (máximo)** = Porcentaje máximo de Favorabilidad Climática Acumulada por celda (%).

MODELO DE FAVORABILIDAD CLIMÁTICA ACUMULADA (escala temporal)					
Estación	n	FCAt	Σ_E MFCAt	Σ_o MFCAt o V_{maxFCt}	N _{spt} (máximo)
Primavera	9	0 - 5.512	5.512	5.469	8.9

Verano Temprano	13	0 - 5.92	5.92	4.95	10.9
Verano Tardío	13	0 - 7.184	7.184	5.946	10.8
Otoño Temprano	6	0 - 6.27	6.27	5.984	5.7
Otoño Tardío	10	0 - 7.672	7.672	6.89	9
Invierno	8	0 - 7.344	7.344	6.718	7.3

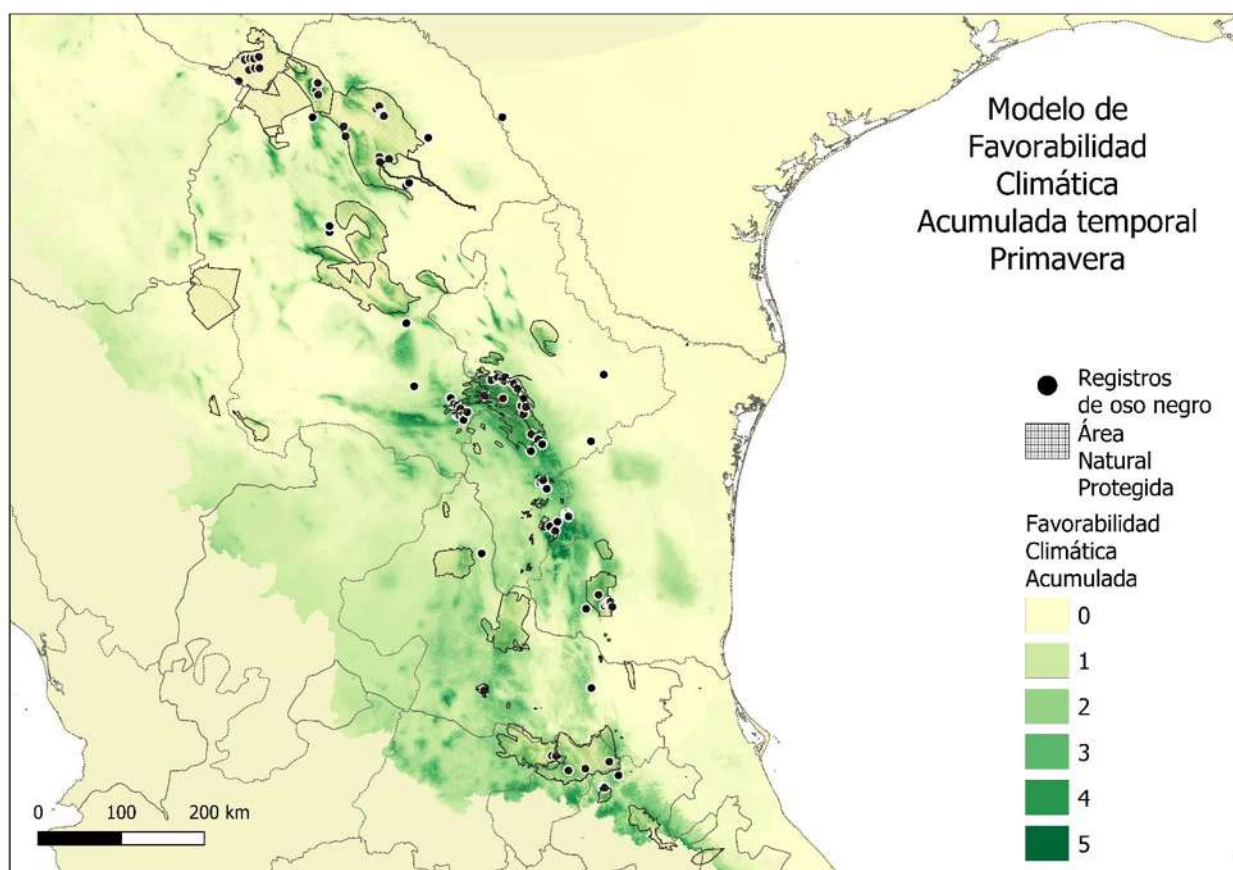


Figura 14. Modelo de Favorabilidad Climática Acumulada durante el periodo comprendido por los meses Marzo, Abril y Mayo.

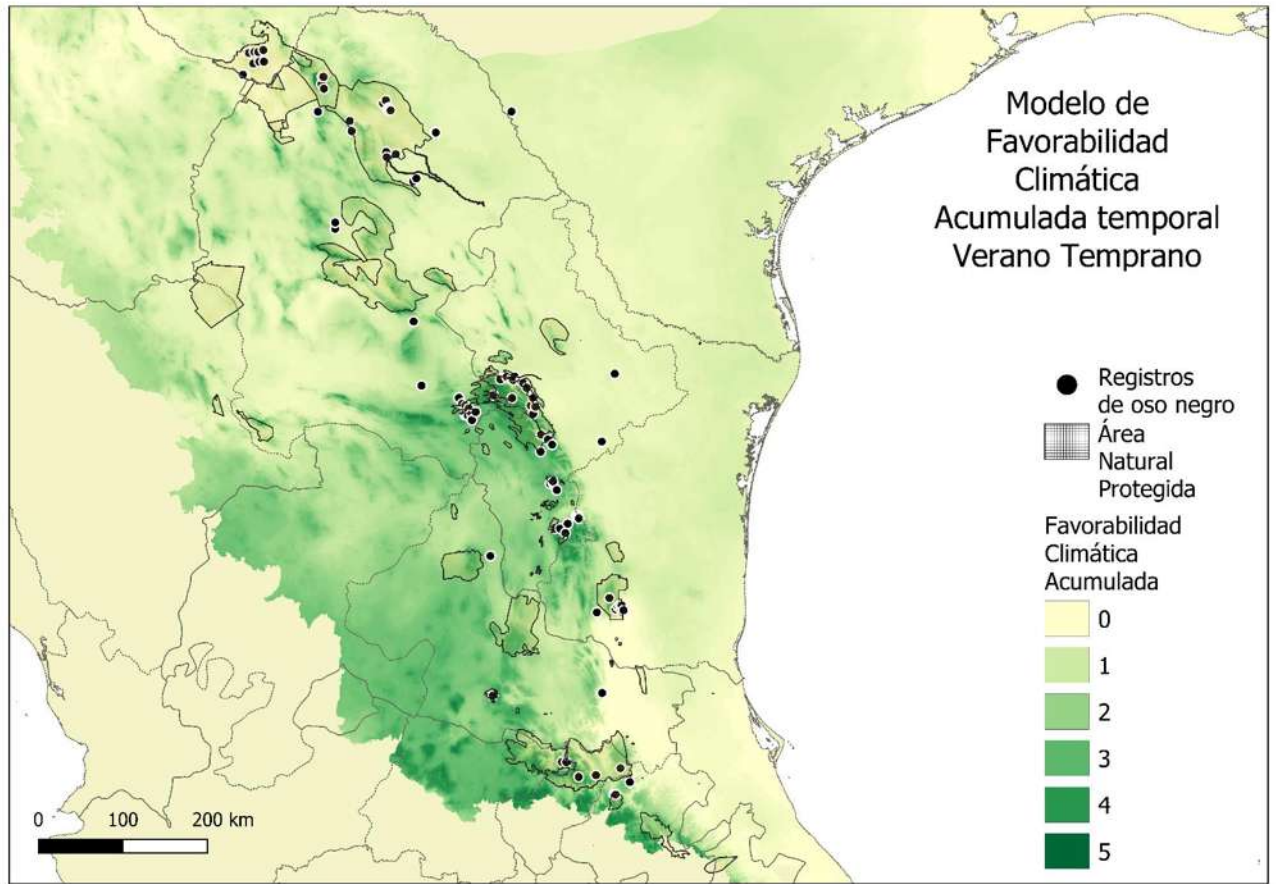


Figura 15. Modelo de Favorabilidad Climática Acumulada durante el periodo comprendido por los meses Junio y Julio.

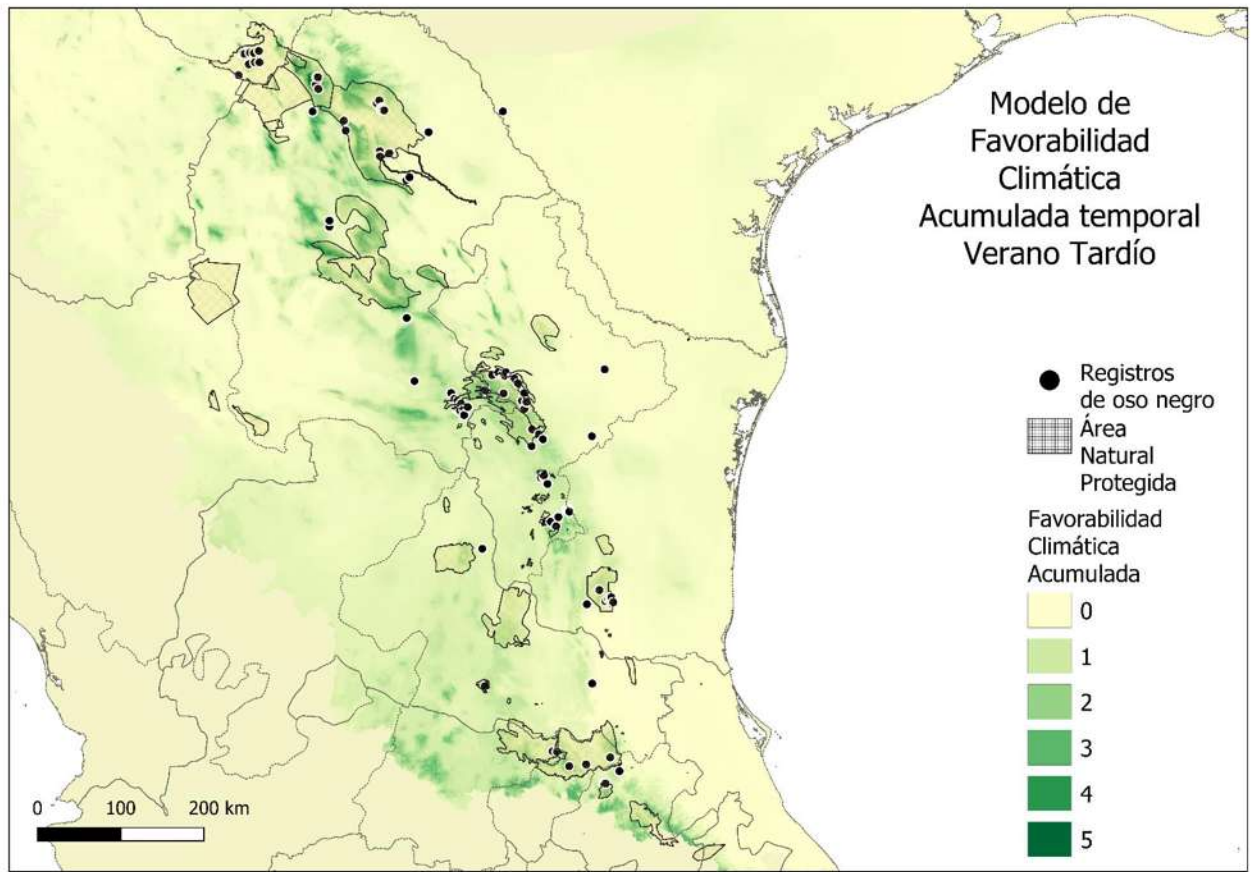


Figura 16. Modelo de Favorabilidad Climática Acumulada durante el periodo comprendido por el mes de Agosto.

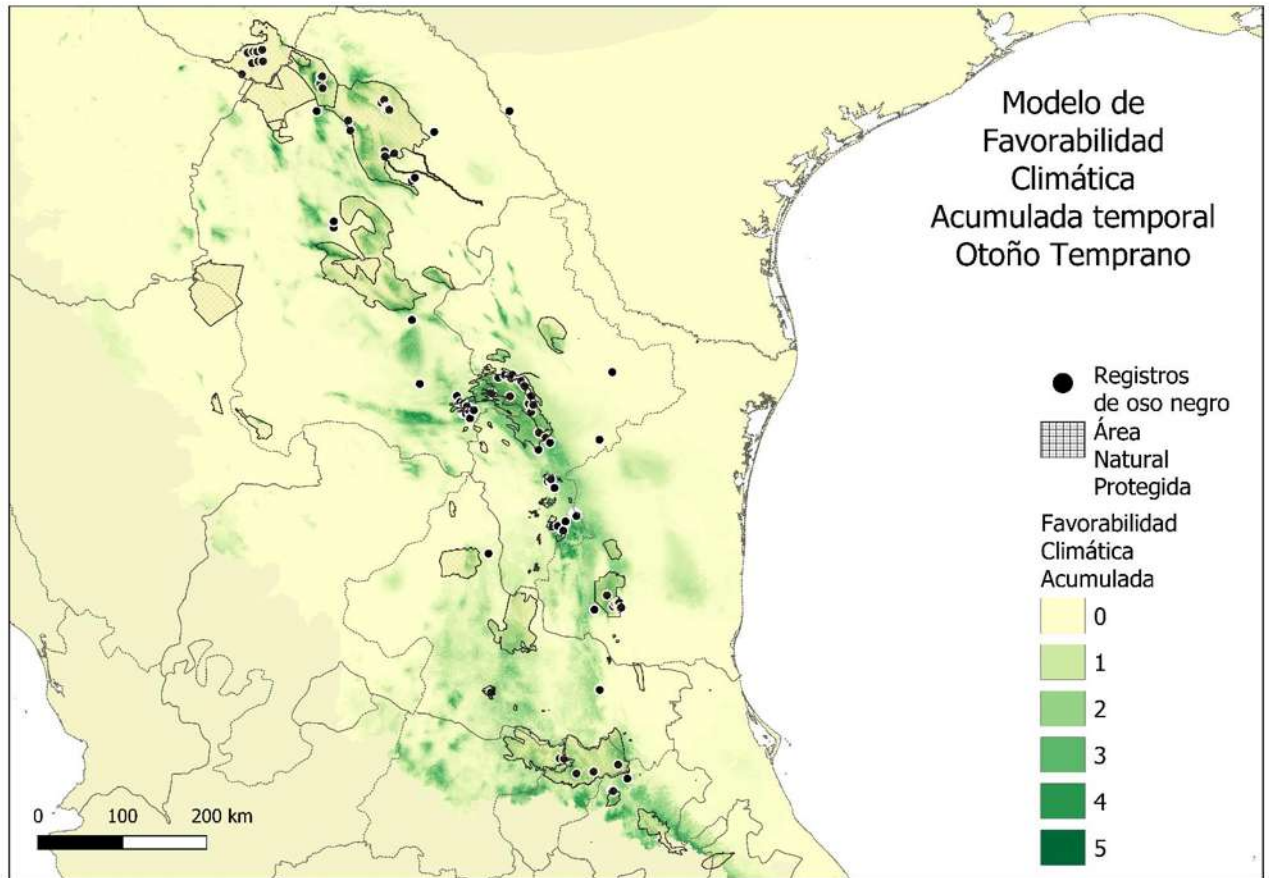


Figura 17. Modelo de Favorabilidad Climática Acumulada durante el periodo comprendido por los meses Septiembre, Octubre y Noviembre.

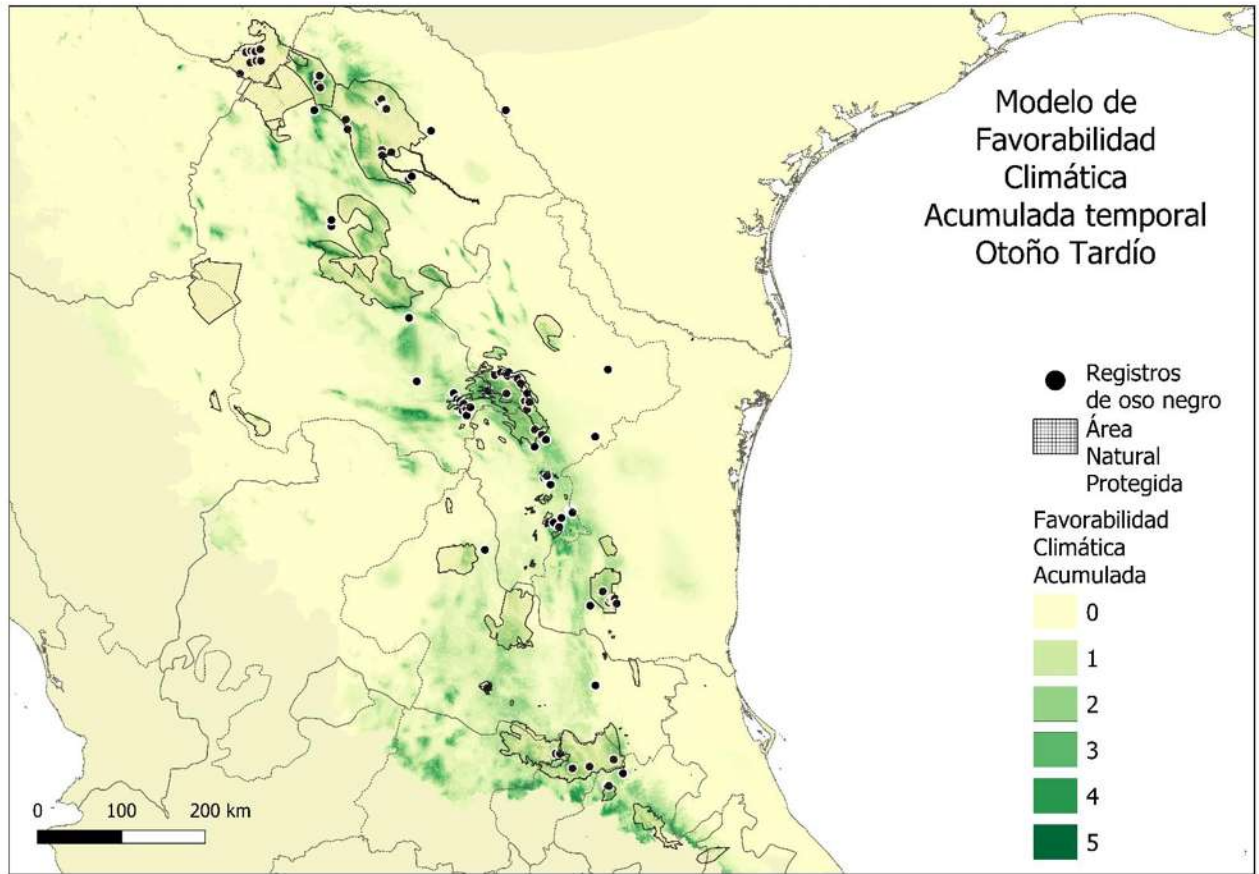


Figura 18. Modelo de Favorabilidad Climática Acumulada durante el periodo comprendido por el mes de Diciembre.

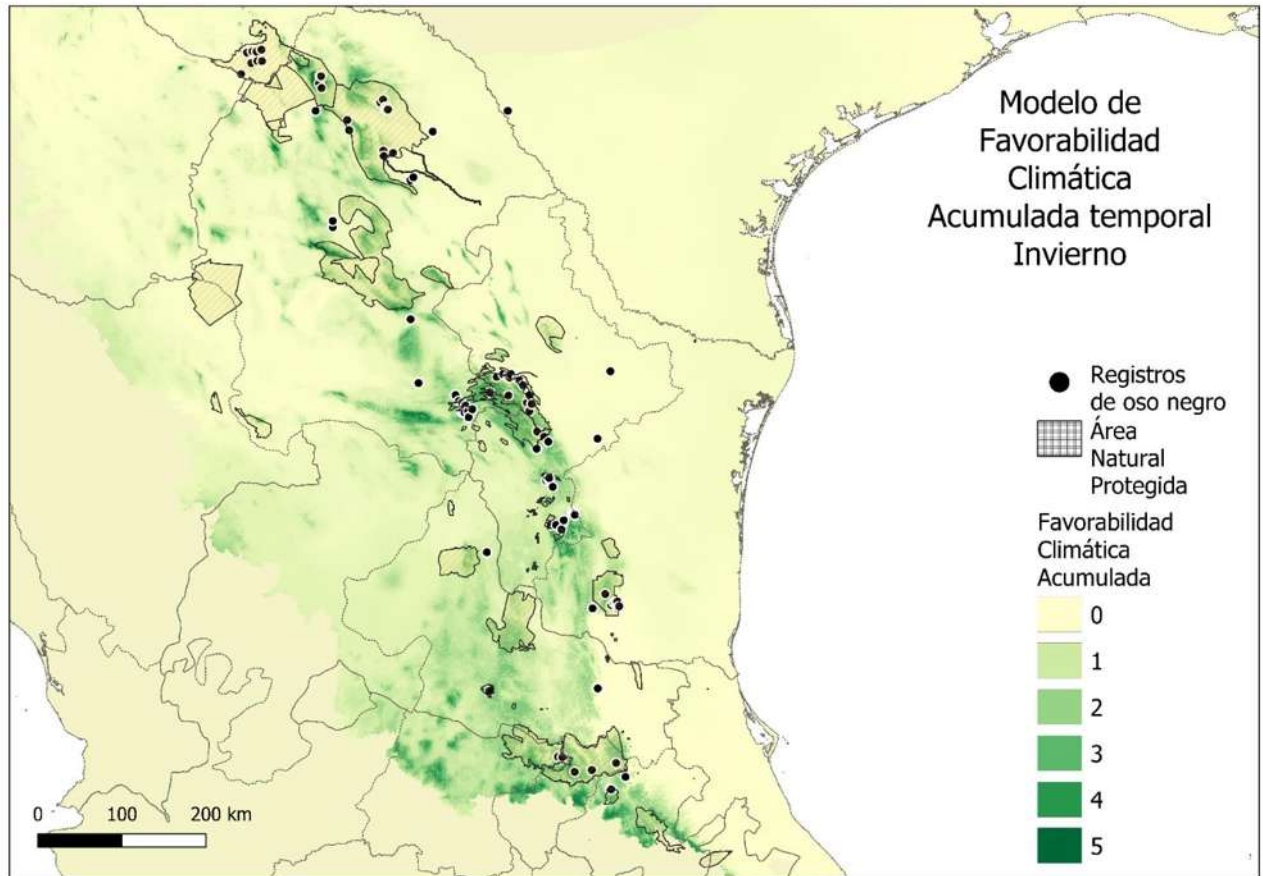


Figura 19. Modelo de Favorabilidad Climática Acumulada durante el periodo comprendido por los meses de Marzo, Abril y Mayo.

5.5 Análisis de las estrategias de conservación *in situ* para la especie

Se identificaron 25 ANP que se superponen con los parches con mayor probabilidad de presentar condiciones ambientales adecuadas para *U. a. eremicus* (valores superiores a 0.85 del MDE). Las ANPs de mayor tamaño que se encuentran en el norte de México son el Parque Nacional “Cumbres de Monterrey”, la sección norte de “C.A.D.N.R. 026 Bajo Río San Juan”, “Maderas del Carmen y el Área Ecológica Protegida Reserva de la Biósfera “El Cielo”, mientras en el centro del país las ANP de mayor tamaño e importancia son la “Sierra Gorda”, “Sierra Gorda de Guanajuato” y “Los Mármoles”. De igual manera, el “Big Bend National Park” en Texas, EUA alberga valores altos de favorabilidad climática tanto del MDP del oso negro como del MFCA de las especies vegetales (Figuras 20 y 21). Se determinó que las

ANP presentes en la SMO son viables como puntos focales para el desarrollo del análisis de conectividad.

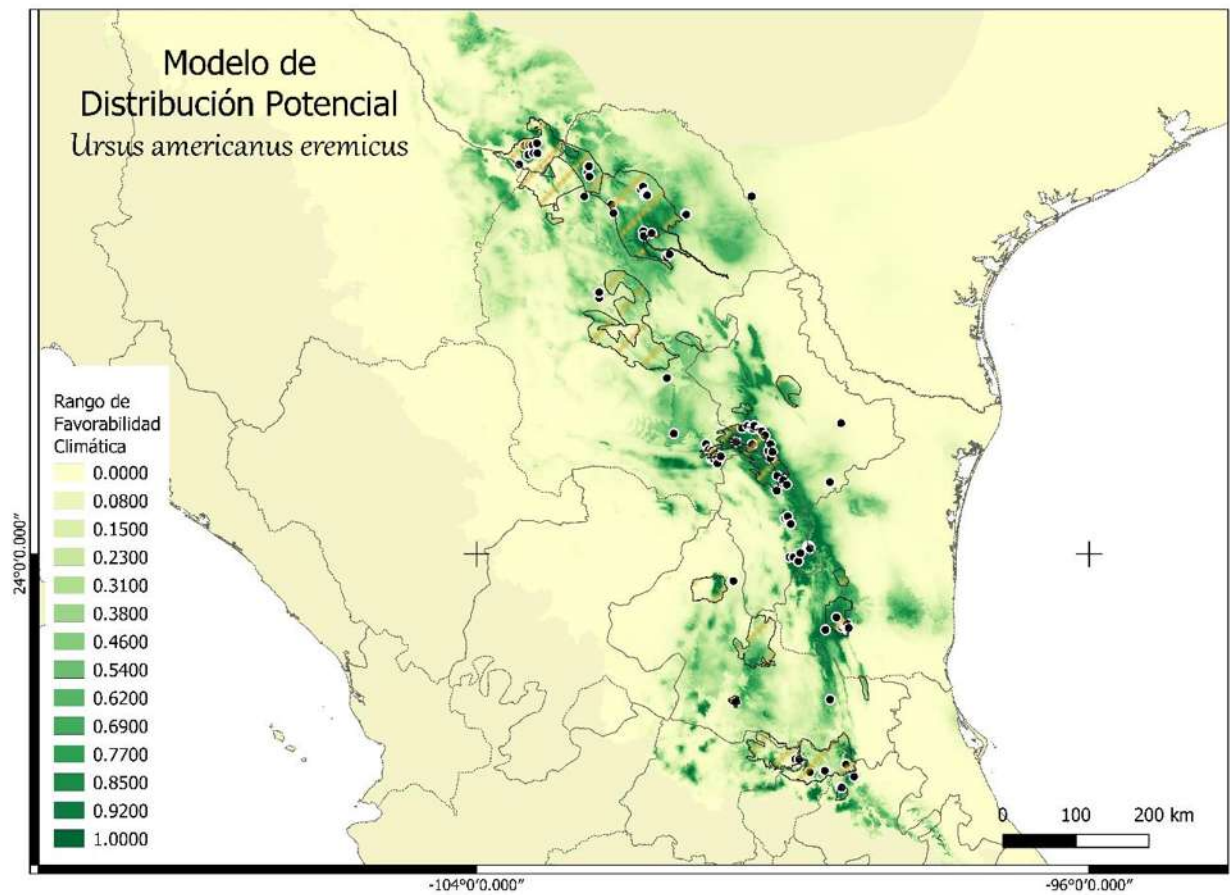


Figura 20. Mapa de Distribución Potencial de *U. a. eremicus* y las Áreas Naturales Protegidas de mayor importancia de acuerdo a sus valores de favorabilidad climática en la SMO.

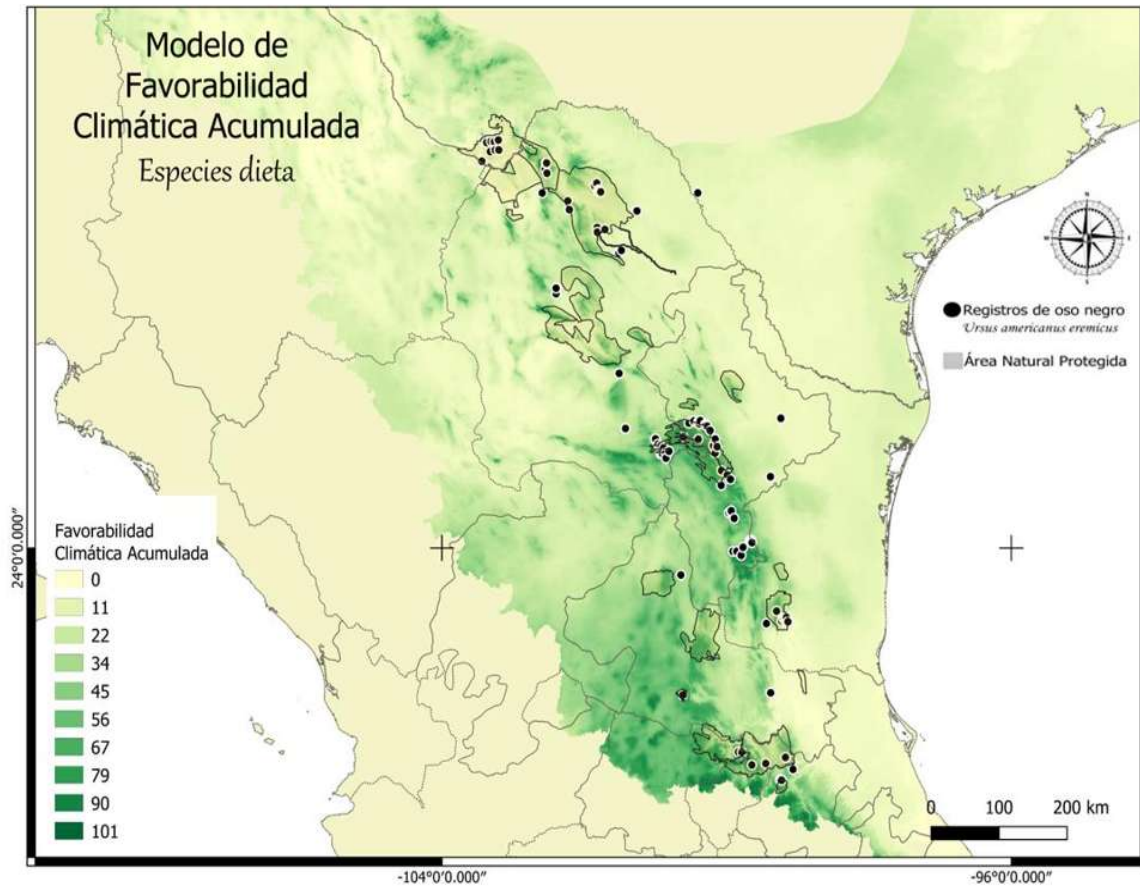


Figura 21. Mapa de Favorabilidad Climática Acumulada de las especies vegetales que conforman la dieta del oso negro y las Áreas Naturales Protegidas de mayor importancia de acuerdo a sus valores de favorabilidad climática en la SMO.

5.6 Análisis de conectividad

5.6.1 Importancia de áreas núcleo

Se generaron un total de 1,049 polígonos con cinco categorías de importancia para la conectividad del oso negro de acuerdo a los criterios del algoritmo de IIC. Solo un polígono alcanzó la categoría de importancia “Muy alta”, este atraviesa a los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y San Luis Potosí, albergando en su totalidad a las ANP federales “C.A.D.N.R. 026 Bajo Río San Juan” en Coahuila y Nuevo León, “Cumbres de Monterrey”, Nuevo León y la ANP estatal “El Cielo” en Tamaulipas, contando con una extensión territorial de 1,972, 1,774 y 1,365 km² respectivamente (Figura 22).

Se generaron cinco polígonos de categoría “Alta” distribuidos en el sur y norte de la SMO, coincidiendo parcialmente con las ANP federales de “Los Mármoles” y “Barranca de

Metztlán” en Hidalgo, “C.A.D.N.R. 004 Don Martín” y “Maderas del Carmen” en Coahuila y la ANP estatal “Real de Guadalcázar” en San Luis Potosí, teniendo una extensión de 235, 961, 15,179, 1,850 y 2,573 km², respectivamente (Figura 22).

Las otras categorías de importancia “Media”, “Baja” y “Muy baja” cuentan con 10, 28 y 1,005 polígonos, respectivamente. Cabe resaltar que, las únicas ANP que no aportaron en este análisis de conectividad fueron el “Cañón de Fernández”, Durango, “Sierra y Cañón de Jimulco”, Coahuila y “Mapimí”, Durango-Chihuahua-Coahuila (Figura 22).

5.6.2 Matriz de resistencia

Se encontraron cuatro áreas de baja resistencia para el movimiento del oso negro: 1) en la porción norte y noroeste del estado de Coahuila y el sureste de Texas, 2) al sur de la SMO entre el noreste de Guanajuato, norte de Querétaro y centro de Hidalgo, así como dos rutas que se constituyen de norte a sur en la SMO, 3) a través de todo el estado de San Luis Potosí y 4) el sistema montañoso que se extiende desde el sureste de Coahuila, centro de Nuevo León y suroeste de Tamaulipas. Por el contrario, las zonas con valores de resistencia más elevados corresponden a las Provincias de la Planicie costera del Golfo oeste (EUA) y la Llanura costera del Golfo Norte (México). Igualmente, la zona metropolitana de Monterrey, Nuevo León, así como las ciudades de Saltillo, Torreón, Monclova, Sabinas, Piedras Negras y Ciudad Acuña en Coahuila y Ciudad Victoria y Ciudad Mante en Tamaulipas mostraron valores de resistencia muy altos.

Se estimaron 1,421 corredores a lo largo de la matriz de resistencia, tomando a todos los polígonos por igual como áreas a conectar. Asimismo, se detectaron cuatro complejos de corredores de gran importancia para la conectividad del oso negro y su desplazamiento entre el noreste y centro de México: 1) El corredor de mayor extensión se encuentra dentro del estado de San Luis Potosí con una longitud de 152.97 km conectando el centro y sur de esta ruta de menor costo e influyendo sobre los parches núcleo coincidentes con las ANPs “El potosí”, “Sierra de Álvarez” y Real de Guadalcázar, formando el complejo de corredores y polígonos que termina por conectarse con la Sierra Gorda de Guanajuato y Sierra Gorda de Querétaro (Figura 23); 2) El complejo de corredores conformados entre la porción del polígono de mayor importancia, al sur del estado de Nuevo León, polígonos de baja y muy baja importancia hasta el noroeste de San Luis Potosí donde se vuelve a conectar con la ANP de Real de Guadalcázar (Figura 23); 3) Complejo conformado en la parte noroeste del

polígono de mayor importancia y 2 de alta importancia, pasando por 38 polígonos adicionales de baja importancia, sumados a 96 corredores interconectándolos e influyendo sobre las ANPs “Serranía de Zapalinamé”, “Cumbres de Monterrey”, “C.A.D.N.R. 026 Bajo Río San Juan” y “C.A.D.N.R. 004 Don Martín (Figura 23); y, 4) El único complejo de corredores transnacional para las poblaciones de oso negro conformado por polígonos de alta, mediana y baja importancia, 15 corredores con longitudes desde 0.3 hasta 5 km, influyendo sobre las ANPs “Ocampo”, “Maderas del Carmen” y el “Parque Nacional Big Bend” (Figura 23).

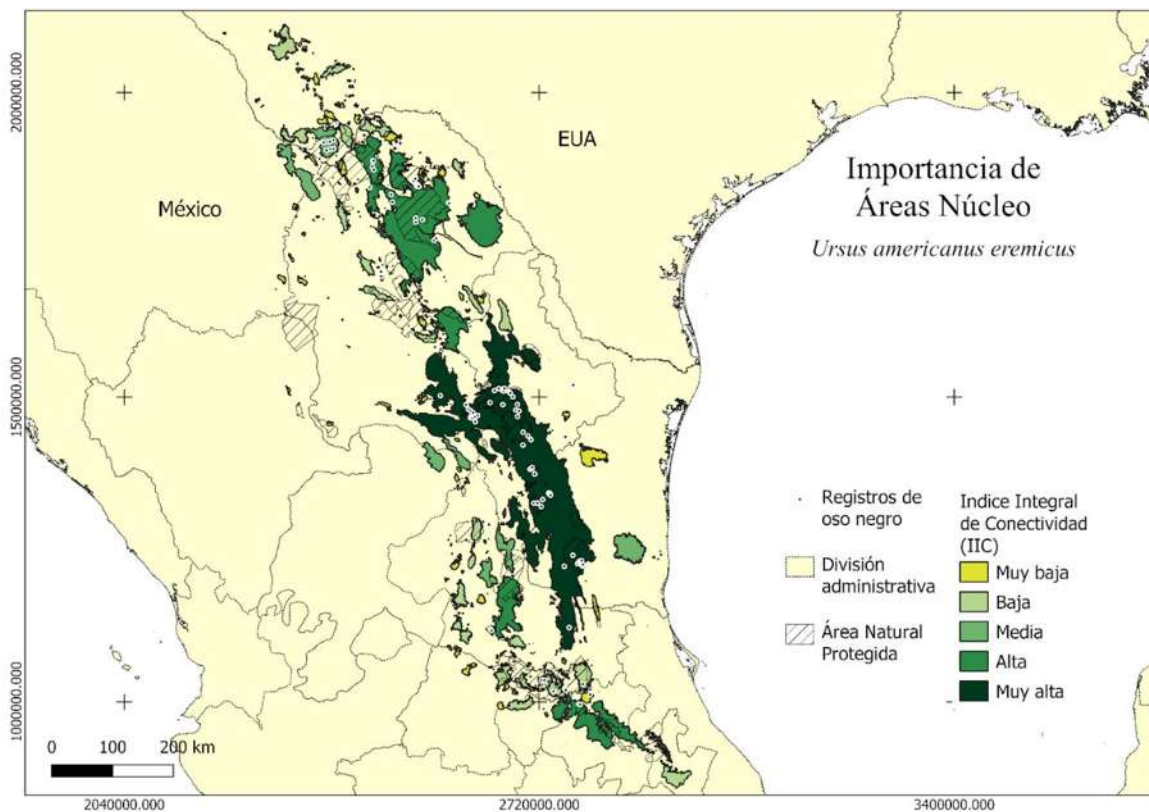


Figura 22. Parches con mayor importancia de acuerdo al Índice de Importancia de Conectividad (ICC).

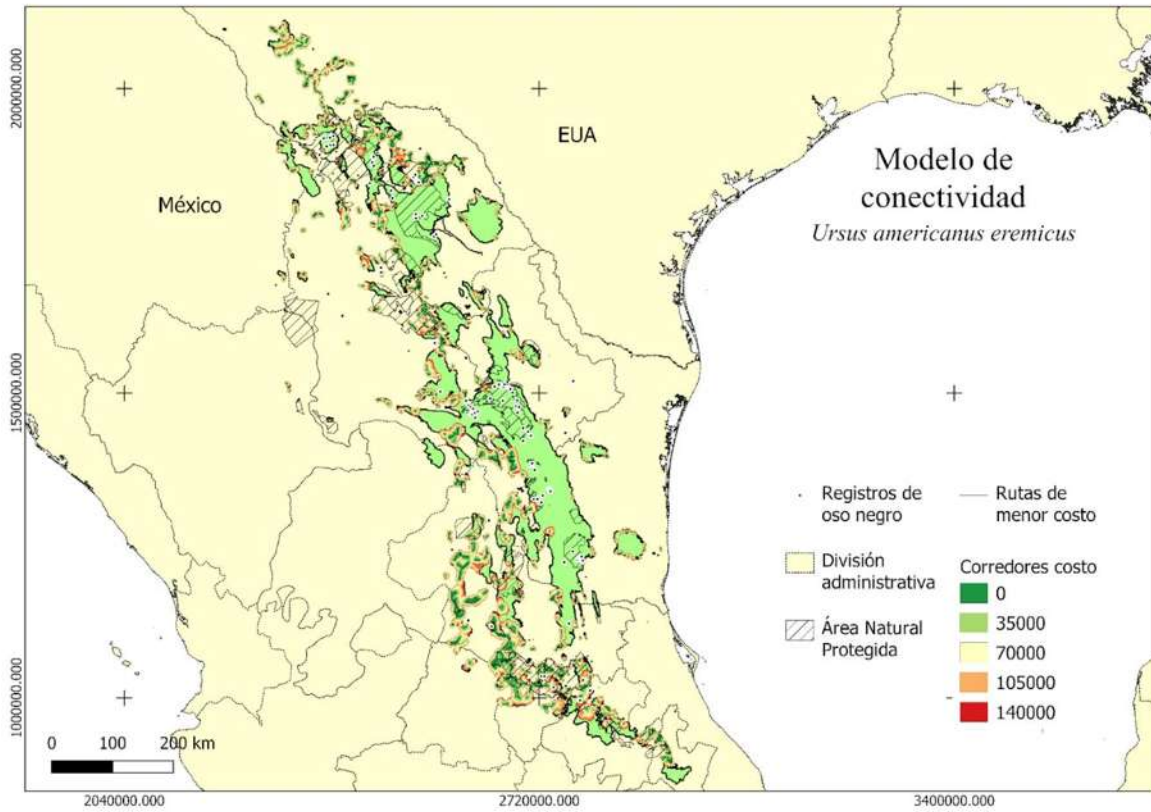


Figura 23. Modelo de conectividad para el oso negro. Los valores de resistencia con menor costo van de 0, que se expresan con el color verde oscuro, hasta los valores de mayor resistencia con 140,000, visualizados en color rojo.

6. DISCUSIÓN

En la modelación de la distribución potencial del oso negro y sus especies dieta nos aseguramos de que el criterio de discriminación o uso de variables se limitara al mismo método al utilizar las 19 variables bioclimáticas, permitiendo que la discriminación y uso de variables lo realizara el algoritmo de Maxent, ya que diversos estudios que se han realizado sin una discriminación estadística previa han brindado buenas estimaciones (Braunisch *et al.* 2013; Feng *et al.* 2019). Así mismo, nos aseguramos de que dichas variables fueran capaces de explicar cualitativa y cuantitativamente la misma variación para todas las especies modeladas y no provocara problemas de interpretación después de transformarlas a las métricas generadas para este trabajo, sin embargo, no debe descartarse que la correlación existente entre las variables pueda causar errores en la estimación de los MDP (Peterson *et al.* 2011).

El modelo de distribución potencial de *U. a. eremicus*: URSIDAE estima que las regiones más importantes para esta especie se encuentran dentro de los límites políticos de los estados de Nuevo León, desde el centro-occidente hasta el sur de Tamaulipas, donde se encuentran las ANP de Bajo Río San Juan, Cumbres de Monterrey y El Cielo, coincidiendo con los resultados reportados para la distribución potencial del oso negro en México de Monroy-Vilchis *et al.* (2016), Núñez-Torres *et al.* (2020) y González-Saucedo *et al.* (2021).

Las áreas más al norte de la distribución estimada de estas poblaciones de oso negro con mayor idoneidad climática corresponden con las ANP presentes en el noroeste del estado de Coahuila como Don Martín, Maderas del Carmen y Ocampo, así como el parque nacional Big Bend al suroeste del estado de Texas, discrepando con lo reportado por Monroy-Vilchis *et al.* (2016) y Núñez-Torres *et al.* (2020), ya que en dichos estudios no fue tomado ningún registro de oso negro reportado en EUA, pudiendo representar un error en la estimación de la distribución de estas poblaciones ocasionado por límites artificiales como la división política entre México y EUA (Barve *et al.* 2011).

Las zonas con valores más bajos de idoneidad climática para estas poblaciones de oso negro coinciden con las zonas conurbadas de Monterrey y otras ciudades como Saltillo y Cd. Victoria, causando un descenso abrupto en la distribución potencial estimada para esta región; esto puede deberse a la inexistencia de registros de oso negro al interior de zonas densamente pobladas y al comportamiento de los individuos, ya que suelen acercarse a la

periferia de zonas urbanas únicamente si cuentan con una baja densidad demográfica (Woodroffe, 2000; González-Saucedo, *et al.* 2021).

Las variables bioclimáticas con mayor importancia para este modelo, como la precipitación estacional (bio15) y la precipitación del trimestre más seco (bio17), muestran una explicación biológica acorde a la necesidad de ambientes con disponibilidad de agua y, al mismo tiempo, tienen congruencia con el aumento y disminución de alimento de origen vegetal para los osos negros en la SMO (Rzedowski y Rzedowski, 2010; Noyce y Garshelis, 2011; Morales *et al.*, 2016).

Las zonas representadas por los dos cuartiles más adecuados de nuestro MDP del oso negro muestran una extensión territorial de 81,575 km², lo que representa el 23% de lo reportado anteriormente por Monroy-Vilchis *et al.* (2016) para todo México con 354,047 km² y el 36.8% de lo reportado como zonas potenciales de interacción entre el humano y el hombre con 221,570 km² de acuerdo al estudio de Núñez-Torres *et al.* (2020) concentrado principalmente en la SMO y el norte de la SMOcc. Es importante mencionar que esta estimación específica a nivel regional, permite saber cuál es la superficie con mejores condiciones ambientales para las poblaciones de osos negros en esta extensión binacional y resalta que existen ligeras diferencias ambientales y altitudinales entre las poblaciones de interés para el presente estudio respecto a las demás a nivel subcontinental (Doan-Crider y Hellgren, 1996; Hewitt y Doan-Crider, 2007).

Los MDP de las especies vegetales que muestran un mayor porcentaje de coincidencia espacial con la distribución potencial del oso negro como *Bouteloua curtipendula* (90%), *Desmodium psilophyllum* (55%), *Juniperus flaccida* (48%), *B. gracilis* (48%) y *Pinus cembroides* (35%) coinciden con la relevancia reportada que tienen estas especies en la composición de su dieta dentro del territorio mexicano (Herrera-González, 2003; Moreno-Arzate, 2008; Gavito-Pérez *et al.*, 2012; Martínez-Muñoz, *et al.* 2014). Esto sugiere que la interacción que mantienen el oso negro y sus especies dieta en la SMO favorece la habitabilidad y el desplazamiento de los individuos a lo largo de esta región (Hutchinson, 1957; Soberón y Nakamura, 2009; Peterson *et al.* 2011).

El Modelo de Favorabilidad Climática Acumulada (MFCA) de las especies dieta del oso negro tiene un porcentaje de coincidencia espacial con el MDP del oso negro de 23,931 km² (39%), esto indica que tanto sus especies dieta como nuestra especie focal mantienen

afinidades climáticas similares a nivel regional (Herrera-González, 2003; Moreno-Arzate, 2008; Gavito-Pérez *et al.*, 2012; Martínez-Muñoz, *et al.* 2014). Además, existen polígonos que, aunque no coincidan espacialmente, presentan adyacencia con las áreas idóneas para el oso negro y las ANP donde se le ha registrado recientemente, lo que aumenta la superficie efectiva habitable y de desplazamiento para el oso negro a 98,884 km² en la SMO de acuerdo a las estimaciones reportadas en el presente estudio.

El MFCA reportado en este trabajo se expone como una herramienta complementaria para el análisis de la distribución del oso negro, el cual resulta complejo de modelar debido a sus amplios rangos geográficos y climáticos de distribución (Hewitt y Doan-Crider, 2007; Peterson *et al.* 2011; Garshelis *et al.* 2016). Al realizar este modelo, considerando la disponibilidad de recursos para las poblaciones de esta especie a nivel regional, se propone una estimación más integral considerando como interacciones bióticas a las coincidencias espaciales existentes de sus especies dieta.

La variación de los Modelos de Favorabilidad Climática Acumulada a escala temporal (MFCAt), reflejada en la expansión y contracción de los polígonos adecuados de las especies con las que se alimentan sugieren que los movimientos de los osos negros se efectúan en diferentes periodos a través de la SMO. Además, estas estimaciones coinciden temporalmente con su fenología tanto en producción de frutos como en aumento de biomasa, tal es el caso de las especies con mayor representación en su dieta como los pastos (*Bouteloua curtipendula*, *B. dactyloides* y *B. gracilis*), ya que el aumento de forraje comienza con la temporada lluviosa en verano (junio, julio y agosto) y la producción del tásate de los juníperos (agosto, septiembre y octubre), los cuáles presentan una coincidencia espacial con el MDP del oso negro que va del 45% hasta el 90%, respectivamente (Herrera *et al.* 2008; Morales *et al.* 2016; Rzedowski y Rzedowski, 2010). Asimismo, la aparición de frutos, semillas y aumento de biomasa de estas especies coinciden con las fechas de los registros de oso negro obtenidos en Guanajuato y Querétaro, ambos en septiembre del 2018 (López-González *et al.* 2019; Charre-Medellín *et al.* 2021).

Los MFCAt muestran las zonas con mayor concentración de recursos en un periodo específico, lo cual permite estimar no solo el lugar donde se encontrará con mayor probabilidad al oso negro, sino que también permite interpretar lo restringe a un periodo

definido siendo orientado por la producción fenológica de alimento de sus especies dieta (Lobo *et al.* 2002; Flores-Tolentino *et al.* 2019; González-Saucedo, 2021).

En el presente trabajo, se estimó que las ANP presentes en la SMO desempeñan un papel fundamental para la distribución de todas las especies modeladas, ya que en aquellas de mayor tamaño se encuentran los parches con los valores más altos de idoneidad climática tanto para el oso negro, coincidiendo con lo estimado en trabajos previos para el noreste del México, como para los modelos acumulados de sus especies dieta (Monroy-Vilchis *et al.* 2016; González-Saucedo *et al.* 2021). Estas ANP que se encuentran al sur de Texas y Norte de México, cuentan con poblaciones viables de oso negro confirmadas, no obstante, la existencia por sí sola de estos polígonos no favorece al desplazamiento de estos individuos a través de la región (Doan-Crider y Hewitt, 2005; Doan-Crider *et al.* 2017).

Por esta razón, sugerimos utilizar los corredores biológicos propuestos, en específico a aquellos que se encuentran a lo largo del estado de San Luis Potosí, al este de Nuevo León y Noroeste del estado de Hidalgo a fin de fortalecer el trabajo de conservación dentro y fuera de las ANP con diferentes estrategias de concientización, aprovechamiento sustentable de los predios influenciados por dichos corredores, programas de restauración ecológica o alternativas actuales como el programa federal de “Sembrando vida” en zonas que lo permitan; dichas estrategias de conservación y trabajo con comunidades rurales ya han tenido resultados favorables como el caso de la reintroducción del lobo mexicano (*Canis lupus bailey*) en los estados del norte de México y otros grandes carnívoros como el jaguar (*Panthera onca*) en la región centro occidente del país (Kroeger *et al.* 2006; Núñez, 2017).

Fortalecer las estrategias de conservación en las ANPs ubicadas en el centro del país como Sierra Gorda de Querétaro, Sierra Gorda de Guanajuato y Los Mármoles en Hidalgo, que además de tener registros confirmados de oso negro, tienen el potencial de albergar poblaciones viables en el futuro debido a su extensión y calidad de hábitat, permitirá mejorar las condiciones de desplazamiento de otras especies simpátridas a la especie focal y favorecerá al mantenimiento de sus poblaciones en estos sitios estratégicos de conservación para la biodiversidad.

7.- CONCLUSIONES

El modelo de distribución potencial (MDP) del oso negro en la SMO reportado en el presente trabajo muestra por sí solo una buena aproximación de su distribución real, tomando en cuenta que solo el 5% de los registros utilizados para su modelación no se encuentran dentro de áreas con valores altos de idoneidad climática. Por otro lado, el 95% de estos registros se encuentran en las zonas con los valores más altos, siendo un claro ejemplo aquellos que se encuentran en los sistemas de serranías que atraviesan a los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, rodeando a la zona metropolitana de Monterrey, así como el norte del estado de Coahuila que colinda con el sur del estado de Texas. Sin embargo, este modelo clásico de MDP no considera las interacciones bióticas que pueda tener nuestra especie focal a nivel regional y que, al no contar con una previa discriminación de variables para utilizar en el modelo, puede presentar errores de sobrestimación o subestimación en la zona de estudio.

Los MDP individuales de algunas las especies dieta del oso negro muestran tendencias similares al MDP de nuestra especie focal, como es el caso de *Juniperus spp.*, *Pinus cembroides* y *Conopholis alpina*, no obstante, ninguna especie aporta por si sola un porcentaje representativo de la dieta del oso negro o su rango de distribución en la región. Por esta razón, concluimos que la distribución potencial del oso negro se asocia a la distribución del conjunto de sus especies dieta y sus propias preferencias ambientales.

Al realizar el Modelo de Favorabilidad Climática Acumulada de las especies dieta, pudimos estimar que la coincidencia espacial entre este modelo y el MDP del oso negro tiene un traslape considerable, además de que la colindancia entre las áreas con los valores más altos en ambos modelos muestran una continuidad en el paisaje que favorece al desplazamiento de los individuos a lo largo de la región desde la frontera binacional entre México y EUA hasta el centro de México en el estado de Hidalgo.

Concluimos que el MFCA propuesto de las especies dieta puede servir como una herramienta complementaria para modelar la distribución del oso negro u otras especies de interés, incluso a especies generalistas, siempre y cuando se cuente con la información de la composición de su dieta y esta pueda ser modelada. Es importante mencionar que este modelo no muestra ninguna temporalidad, es decir, solo estima las zonas geográficas en las que pueden coexistir las especies dieta de nuestra especie focal de acuerdo a sus preferencias climáticas. Por otra parte, el Modelo de Favorabilidad Climática Acumulada a escala

temporal (MFCAt) estima la disponibilidad de alimento presente durante algún periodo definido de acuerdo a la fenología de las especies vegetales que utilizamos, lo cual podría ser utilizado también con especies presa y sus temporadas reproductivas.

El oso negro debe utilizarse bajo el concepto de “especie bandera” en la región para conservar esta red compleja de parches adecuados y corredores biológicos creados a partir del presente trabajo con el fin de favorecer a la conservación de otras especies simpátridas de la región y protegidas por la NOM-059-SEMARNAT como el jaguar (*Panthera onca*), lobo mexicano (*Canis lupus bailey*), ocelote (*Leopardus pardalis*), tigrillo o margay (*leopardus wiedii*), tayra o viejo de monte (*Eira barbara*), tejón norteamericano (*Taxidea taxus*) u otros organismos de relevancia ecológica y cinegética como el puma (*Puma concolor*), venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), pecarí de collar (*Dicotyles tajacu*), guajolote silvestre (*Meleagris gallopavo*) y la pava cojolita (*Penelope purpurascens*).

Nuestros resultados permitirán focalizar los esfuerzos de monitoreo del oso negro al poder estimar las áreas donde podrían localizarse con mayor precisión, definir ventanas temporales en las que se maximice la probabilidad de registrarlos y las ANP con mayor importancia para su distribución y desplazamiento. También permitirá desarrollar estrategias y planes de manejo de otras especies vegetales relevantes en su dieta como aquellas de relevancia en aprovechamiento maderable como los encinos o los juníperus e incluso a especies protegidas por la NOM-059-SEMARNAT como el pino piñonero.

DISCUSIÓN GENERAL

Las poblaciones de oso negro (*Ursus americanus eremicus*: Ursidae) que se distribuyen en la Sierra Madre Oriental (SMO) se encuentran en la categoría de “En peligro de extinción” debido a su descenso demográfico causado por las presiones antrópicas ejercidas durante el siglo XX (Doan-Crider y Hellgren, 1996; Navarro-Serment, 2017). Sin embargo, su plasticidad ambiental y capacidad de desarrollo en ambientes perturbados han permitido que algunos individuos comienzan a explorar territorios en los que no se les había registrado con anterioridad e incluso han logrado establecer poblaciones en algunas Áreas Naturales Protegidas (ANP), como el caso documentado del Parque Nacional “Big Bend” al sur de Texas (Doan-Crider y Hewitt, 2005).

Estimar la distribución potencial del oso negro, así como de otros carnívoros de talla grande de México como el puma (*Puma concolor*) o el lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*), representa un gran reto debido a sus tolerancias climáticas y la diversidad de coberturas vegetales en las que son capaces de habitar (Peterson *et al.* 2011; González-Saucedo *et al.* 2021). Además, las delimitaciones espaciales para el oso negro como áreas accesibles son difusas debido a la capacidad que tienen estos organismos de aprovechar recursos en zonas urbanas con baja densidad demográfica o zonas ganaderas en las que representan problemáticas socioambientales ocasionados por la depredación de animales de corral (Doan-Crider *et al.* 2017; Navarro-Serment, 2017). Por esta razón, este trabajo planteó el desarrollo de un modelo que permitiera agregar la variable de la disponibilidad de alimento expresada en la geografía para identificar zonas de mayor importancia para esta especie. Es importante resaltar que estos modelos deberán adaptarse a escala regional debido al posible cambio de especies aprovechables por la especie focal (Soberón y Nakamura, 2009).

Comprender y compilar la información referente a la historia de vida del oso negro y sus especies dieta, permite que se puedan generar modelos de distribución, tanto para la especie focal como para sus especies dieta, y que sea posible describir las rutas por las que se desplazan estos organismos a lo largo de la SMO. Así mismo, es posible detectar las zonas con mayor idoneidad climática y con mayor concentración de alimento para estos organismos a cierta escala espacial y durante un periodo definido.

La conectividad estimada en este trabajo nos permite apreciar que los corredores binacionales existentes entre Coahuila y Texas son de gran importancia para que siga existiendo el intercambio de individuos entre las poblaciones de oso negro de esta región (Doan-Crider, 2003; Garshelis y Hristienko, 2006). Considerando que las estrategias gubernamentales para evitar el ingreso de inmigrantes desde el territorio mexicano a EUA contemplan la creación o fortificación de estructuras que eviten el desplazamiento por tierra, es posible que se genere una barrera adicional que dificultará el desplazamiento de los osos negros en la región de la frontera entre estos dos países (González-Saucedo *et al.* 2021). Así mismo, los corredores existentes a lo largo del estado de San Luis Potosí resultaron ser cruciales para el desplazamiento de estos organismos a territorios que tienen la capacidad de albergar poblaciones estables en el centro de México.

Es importante mencionar que las ANP de mayor tamaño desempeñan un papel crucial para las poblaciones de oso negro en la región y que las ANP con menor extensión territorial actúan como refugios temporales para esta especie. Los corredores biológicos más importantes que se generaron en este trabajo también muestran que no se cuenta con las ANP suficientes para brindar protección a esta especie y, por lo tanto, se deben diversificar las estrategias de conservación en conjunto con el desarrollo de las comunidades donde puedan tener influencia estos organismos.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-López, M., Monter-Vargas, J. L., Cornejo-Latorre, C. y Hernández-San Martín, A. (2019). First photo evidence of the American black bear (*Ursus americanus*) in the southwestern limit of its distribution. *Western North American Naturalist*: 79 (1). pp. 124-129.
- Alvarado-Serrano, D. F. y Knowles, L. L. (2014). Ecological niche models in phylogeographic studies: applications, advances and precautions. *Molecular Ecology*: 14. pp. 233–248.
- Aranda Sánchez, J. M. 2012. Manual para el rastreo de mamíferos silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F. pp. 255.
- Asres, A. y Amha, N. (2014). Physiological adaptation of animals to the change of environment: a review. *International Journal of Recent Scientific Research*: 5 (12). pp. 2205 - 2209.
- Atwood, T. C., Young, J. K., Beckmann, J. P. (2011). Modeling connectivity of black bears in a desert sky island archipelago. *Biological Conservation*: 144. pp. 2851–2862.
- Barve, N., Barve, V., Jiménez-Valverde, A., Lira-Noriega, A., Maher, S. P., Peterson, A. T. (2011). The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modelling*: 222. pp. 1810–1819.
- Beeman, L. E. y Pelton, M. R. (1980). Seasonal Foods and Feeding Ecology of Black Bears in the Smoky Mountains. *Bears: Their Biology and Management*, Vol. 4, A Selection of Papers from the Fourth International Conference on Bear Research and Management, Kalispell, Montana, USA. pp. 141-147.
- Beier, P. Majka, D. Jenness, J. (2007). Conceptual steps for designing wildlife corridors. <http://www.corridordesign.org/>. Consultado el 08 de diciembre de 2022.
- Braunisch, V. Coppes, J., Arlettaz, R., Suchant, R., Schmid, H. y Bollmann, K. (2013). Selecting from correlated climate variables: A major source of uncertainty for predicting species distributions under climate change. *Ecography*: 36. pp. 001 - 013.
- Buchholtz, E. K., Stronza, A., Songhurst A., McCulloch, G. y Fitzgerald, L. A. (2020). Using landscape connectivity to predict human-wildlife conflict. *Biological Conservation*: 248. Pp. 9.
- Byun, A., Koop, B. F. y Reimchen, T. E. (1997). North American Black Bear mtDNA Phylogeography: Implications for Morphology and the Haida Gwaii Glacial Refugium Controversy. *Evolution*: 51 (5). pp. 1647 - 1653.

- Carrera-Treviño, R., Martínez-García, L. y Lira-Torres, I. (2015). First record of the American black bear *Ursus americanus eremicus* (Carnivora: Ursidae) in tropical rain forest of El Cielo Biosphere Reserve, Tamaulipas, Mexico. *Therya*: 6 (3). pp. 653-660.
- Carrera-Treviño, R., Zarco-González, M., Castillo, M. y Monroy-Vilchis, O. (2019). Manejo y conservación del oso negro (*Ursus americanus*) en México. En: Situación actual de los grandes depredadores. Ediciones académicas COLOFÓN. Ciudad de México, México. pp. 135 - 154.
- Castro-Navarro, J., Sahagún-Sánchez, F. J. Reyes-Hernández, H. (2017). Dinámica de fragmentación en la Sierra Madre Oriental y su impacto sobre la distribución potencial de la avifauna. *Madera y Bosques* (23:2). pp. 99-117.
- Ceballos, G., Arroyo-Cabrales J., Medellín R., Medrano L. y Oliva G. 2005. Los Mamíferos Silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Fondo de Cultura Económica. México, D. F. pp. 986.
- Charre-Medellín, J. F., Botello, F., Guzmán-Díaz, E. O., Mendiola-González, M. E., Torres-García, U., Ángeles-Escudero, J. I. y Rosas-Rosas, O. (2021) Registros adicionales de oso negro (*Ursus americanus*) en el centro-este de México. *Therya Notes*: 2. pp. 20-25.
- CONABIO. (2010). El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 197 pp. México D.F., México.
- Cottee-Jones, H. E. W. y Whittaker, R. J. (2012). The Keystone species concept: a critical appraisal. *Frontiers of Biogeography* (4): 3. pp. 14.
- Cuervo-Robayo, A., Escobar, L. E., Osorio-Olvera, L., Nori, J., Varela, S., Martínez-Meyer, E., Velásquez-Tibata, J., Rodríguez-Soto, C., Munguía-Carrara, M., Castaneda-Alvarez, N., Lora-Noriega, A., Soley-Guardia, M., Serra-Diaz, J. y Peterson, A. (2017). Cuervo-Robayo *et al.* Introducción a los análisis espaciales con énfasis en modelos de nicho ecológico. *Biodiversity Informatics*: 12. pp. 45-57.
- Dall, W. H. (1895). The St. Elias Bear. *Science* Vol 2. pp. 87.
- D'Amen, M., Dubuis, A., Fernandes, R. F., Pottier, J., Pellissier, L. y Guisan, A. (2015). Using species richness and functional traits predictions to constrain assemblage predictions from stacked species distribution models. *Journal of Biogeography*: 42 (7). pp. 1255-1266.

- Delfín-Alfonso, C. A., López-González, C. A. y Equihua, M. (2012). Potential distribution of American black bears in northwest Mexico and implications for their conservation. *Ursus*: 23. pp. 65–77.
- Delfín-Alfonso, C. A., Gallina, S. y López-González, C. A. (2014). Modelos de idoneidad del hábitat (HSI) para el venado cola blanca. En: Gallina, S., Mandujano, S. y Villarreal Espino-Barros, O. A. (Editores). *Monitoreo y manejo del venado cola blanca: conceptos y métodos*. Instituto de Ecología A.C. y Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Xalapa, Ver. México. pp. 123-136.
- Delgadillo-Villalobos, J. A. (2011). Técnicas de conservación y manejo de oso negro en México. En: Sánchez, O., P. Zamorano, F. P. Recagno y H. Moya, editores. *Temas sobre conservación de vertebrados silvestres en México*. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT. Ciudad de México, México. pp. 311-331.
- Doan-Crider, D., & Hellgren, E. C. (1996). Population characteristics and Winter ecology of black bears in Coahuila, Mexico. *Journal of Wildlife Management*, 60: pp. 398–407.
- Doan-Crider, D. L. (2003). Movements and spatiotemporal variation in relation to food productivity and distribution, and population dynamics of the mexican black bear in the Serranias del Burro, Coahuila, Mexico. Tesis de doctorado. Texas A & M University. pp. 129.
- Doan Crider, D., y D. G. Hewitt. 2005. El oso negro mexicano regresa de manera natural. *CONABIO. Biodiversitas* 63: pp. 1-5.
- Doan-Crider, D. L., Tri, A. N. and Hewitt, D. G. (2017). Woody cover and proximity to water increase American black bear depredation on cattle in Coahuila, Mexico. *Ursus* 28 (2). pp. 208-217.
- Delgadillo, V. J. A. (2001). Ecología nutricional del oso negro en la Sierra Maderas del Carmen, Coahuila, México. In Master Thesis. Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales.
- Eguiluz de Antuñano, S., Aranda-García, M y Marrett, R. (2000). Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. pp. 27.
- Espinosa-Flores, M. E., Lara-Díaz, N. E. y López-González, C. A. (2012). Tamaño poblacional del oso negro (*Ursus americanus*) en dos Islas del Cielo del Noreste de Sonora, México. *Therya*: 3 (3). pp. 13.
- ESRI. (2011). ArcGIS desktop: release 10. Environmental Systems Research Institute, Redlands.

- Hewitt, D. G. y Doan-Crider, D. (2007). Metapopulations, Food, and People: Bear Management in Northern Mexico. En: Wildlife Science. 1era Edición. pp. 166-179.
- Hilty, J., Keeley, A. T. H., Lidicker y W., Merenlender, A. (2019). Corridor ecology: linking landscapes for biodiversity conservation and climate adaptation. 2nd edn. Island Press, Washington. pp. 368.
- Fair, J. 1990. The great American bear. North Word Press. Inc. WI. 191 pp.
- Feng, X., Park, D. S., Liang, Y., Pandey, R. y Papes, M. (2019). Collinearity in ecological niche modeling: Confusions and challenges. Ecology and Evolution: 9. pp. 10365 - 10376.
- Fick, S.E. and R.J. Hijmans, (2017). WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 37 (12): 4302-4315.
- Flores-Tolentino M., Ortíz, E. y Villaseñor, J. L. (2019). Ecological niche models as a tool for estimating the distribution of plant communities. Revista Mexicana de Biodiversidad: 90. pp. 15.
- Fortin, J. K., Ware, J. V., Jansen, H. T., Schwartz, C. C. y Robbins C. T. (2013). Temporal niche switching by grizzly bears but not American black bears in Yellowstone National Park. Journal of Mammalogy: 94. pp. 833–844.
- Garshelis, D. L. y Hristienko, H. (2006). State and provincial estimates of American black bear numbers versus assessments of population trend. Ursus: 17 (1). pp. 1-7.
- Garshelis, D.L., Scheick, B.K., Doan-Crider, D.L., Beecham, J.J. y Obbard, M.E. (2016). Ursus americanus. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T41687A114251609.
- GBIF.org. (15 July 2020). GBIF Occurrence. Download <https://doi.org/10.15468/dl.89ybff>
- Gavito-Pérez, F. R., T. Ruíz-Olvera, J. Delgadillo-Villalobos. (2012). Programa de Acción para la Conservación de la Especie: Oso negro americano (Ursus americanus). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México. pp. 61.
- Gódinez-Gómez, O. (2017). Evaluación del estado de conservación del hábitat del tapir en el sureste de México. Tesis de Maestría. Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales. UMSNH. Morelia, Michoacán, México. pp. 81.
- [Google. \(s.f\). \[Imágen satelital de Google Earth de Nuevo León, México\]. Recuperado el 15 de octubre de 2020, de https://earth.google.com/web/@25.67267337,-100.47945166,776.178538a,64.24155495d,35y,0h,0t,0r](https://earth.google.com/web/@25.67267337,-100.47945166,776.178538a,64.24155495d,35y,0h,0t,0r)

- González-Saucedo, Z. Y., González-Bernal, A. y Martínez-Meyer, E. (2021). Identifying priority areas for landscape connectivity for three large carnivores in northwestern Mexico and southwestern United States. *Landscape Ecology*: 36. pp. 20.
- Guisan, A. y Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology letters*: 8. pp. 993-1009.
- Gurruxtaga, M. (2004). Conectividad ecológica del territorio y conservación de la biodiversidad: nuevas perspectivas en ecología del paisaje y ordenación territorial. 1era edición. Vitoria-Gasteiz: Eusko Jaurlaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia = Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. pp. 161.
- Hellgren, E. C., Oronato, D. P. y Skiles, J. R. (2005). Dynamics of a black bear population within a desert metapopulation. *Biological Conservation* 122. pp. 131 - 140.
- Hernández-Cerda, M. E., y G. Carrasco-Anaya. (2004). Medio físico: Climatología. En: I. Luna, J. J. Morrone y D. Espinosa, editores. Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Nacional Autónoma de México, México. pp. 536.
- Herrera, Y., Peterson, P.M. y Valdés, J. (2008). *Bouteloua* (poaceae: chloridoideae: cynodonteae: boutelouinae) del Noreste de México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*. 2(2), 917 – 981.
- Herrera-González, D. E. (2003). Aporte nutricional del ecosistema de Maderas del Carmen, Coahuila, para el oso negro (*Ursus americanus eremicus*). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. pp. 95.
- Hirzel, A. H. y Lay, G. L. (2008). Habitat suitability modelling and niche theory. *Journal of applied ecology*: 45. pp. 1372-1381.
- Hutchinson, G.E. (1957). Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symp Quant Biol*: 22. pp. 415–427.
- Isasi-Catalá, E. (2011). Los conceptos de especies indicadoras, paraguas, banderas y clave: su uso y abuso en ecología de la conservación. *Interciencia*, vol. 36, núm. 1. Caracas, Venezuela. pp. 31-38.
- Jenks, G. F., Caspall, F. C. (1971). Error on choroplethic maps: Definition, measurement, reduction. *Annals of American Geographers*. (61). pp. 217-44.

- Jiménez-Valverde, Alberto & Hortal, Joaquín & Lobo, Jorge & Borges, Paulo & Abreu, Cristina & Aguiar, Antonio & Azevedo, Eduardo & Boieiro, Mário & Fontinha, Susana & Jardim, Roberto & Oliveira, Paulo & Sérgio, Cecília & Serrano, Artur & Sim-Sim, Manuela & Nunes, Duarte. (2008). Using predictive models of species distribution to validate biodiversity data: case studies for Madeira Island. pp.31.
- Johnson, K. G. y M. R. Pelton. (1980). Environmental relationships and the denning period of black bears in Tennessee. *Journal of Mammalogy*: 61. pp. 653-660.
- Joshi, M. D. (2015). Impacts of Climate Change on *Abies spectabilis*: An approach integrating a Species Distribution Model (MaxEnt) and Dynamic Vegetation Model (LPJ-GUESS). Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad de Lund. Suecia. pp. 62.
- Juárez-Casillas, L. A. y Varas, C. (2013). Revisión bibliográfica actualizada del oso negro en México. *Therya*: 4(3). pp. 447-465.
- Karra, Kontgis, *et al.* “Global land use/land cover with Sentinel-2 and deep learning.” IGARSS 2021-2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE, 2021.
- Keeley, A., Beier, P. y Jenness, J. (2021). Connectivity metrics for conservation planning and monitoring. *Biological Conservation*: 225. pp.14.
- Kellner, C., Brawn, J. y Karr, J. (1992). What Is Habitat Suitability and how Should it be Measured? pp. 476-488. DOI:10.1007/978-94-011-2868-1_36.
- Kroeger, T., Casey, F. y Haney, Chirs. (2006). Reintroduction of the mexican wolf (*Canis lupus bailey*) to the southwestern United States: An economic perspective. EN: 18th Annual North American Wolf Conference, Chico Hot Springs, Montana, EUA, Apr. 4-6, 2006. pp. 33.
- Lára-Díaz, N. E., Coronel-Arellano, H., Delfín-Alfonso, C. A., Espinosa-Flores, M. E., Peña-Mondragón, J. L. y López-González, C. A. (2021). Connecting mountains and desert valleys for black bears in northern Mexico. *Landscape Ecology* (36). 2811-2830 pp.
- Larivière, S. 2001. *Ursus americanus*. *Mammalian species*: 647. pp. 1–11.
- LeCount, A. L. (1987). Causes of black bear cub mortality. *International Conference on Bear Research and Management*: 7. pp. 75 – 82.
- Leopold, A. S. 1959. *Fauna Silvestre de México. Aves y Mamíferos de caza*. Berkeley y Los Angeles, California: Universidad de California. California, EE. UU.

- Lobo, J. M., Lumaret, J. P. y Jay-Robert, P. (2002). Modelling the species richness distribution of French dung beetles (Coleoptera, Scarabaeidae) and delimiting the predictive capacity of different groups of explanatory variables. *Global Ecology & Biogeography*: 11. pp. 265-277.
- López-González, C. A., Camargo-Aguilera, M. G., Saucedo, K. y Lara-Díaz, N. E. (2019). A Wandering Black Bear (*Ursus americanus*, Pallas 1780) in the Sierra Gorda Biosphere Reserve, Queretaro. *The American Midland Naturalist*: 182 (2). pp. 252-259.
- Lugo, A. E. y Zimmerman, J. K. (2010). Ecología de la historia de vida. In J. A. Vozzo (Ed.). *Manual de Semillas de Árboles tropicales* (Departament) pp. 199–224.
- Majka, D., Jenness, J., Beier, P. (2007). CorridorDesigner: ArcGIS tools for Designing and Evaluating Corridors. <<http://corridordesign.org>>.
- Manville, A. M. (1990). Variability of dental diseases in two populations of Great Lakes black bears. *International Conference on Bear Research and Management*: 8. pp. 129 -134.
- Maxwell, R. K., Thorkelson, J., Rogers, L. L. y Brander R. B. (1988). The field energetics of winter-dormant black bear (*Ursus americanus*) in northeastern Minnesota. *Canadian Journal of Zoology*: 66. pp. 2095–2103.
- McRae, B. H., Dickson, B. G., Keitt, T. H. y Shah V. B. (2008). Using circuit theory to model connectivity in ecology evolution, and conservation. *Ecology*: 89 (10). pp. 2712-2724.
- McRae, B.H. y Kavanagh, D. (2011). Linkage mapper connectivity analysis software. The Nature Conservancy. <https://circuitscape.org/linkagemapper>. Consultado el 05 Dic 2021.
- Monroy-Vilchis, C., Castillo-Huitrón, N., Zarco-González M. (2016). Potential distribution of *Ursus americanus* in Mexico and its persistence: Implications for conservation. *Journal for Nature Conservation*: 29. pp. 62-68.
- Morales, C. R., Avendaño, C., Melgoza, A. Gil, K., Quero, A., Martínez, M. (2016). Caracterización morfológica y molecular de poblaciones pasto bandera (*Bouteloua curtipendula*) en Chihuahua, México. *SciELO*, 7(4), 3-12.
- Moreno-Arzate, C. N. (2008). Ecología conductual del oso negro (*Ursus americanus*) en la Sierra Madre Occidental. Tesis de maestría. Instituto de Ecología A. C. Xalapa, Veracruz, México. pp. 93.
- Mowat, G., Heard, D.C., Seip, D.R., Poole, K.G., Stenhouse, G. y Paetkau, D.W. (2005). Grizzly *Ursus arctos* and black bear *U. americanus* densities in the interior mountains of North America. *Wildl. Biol*: 11. pp. 31-48.

- Navarro-Serment, C. J. (2016). El oso negro en el noreste de México, guía para conocerlo mejor y vivir en paz con él. Ciudad de México. CONABIO. pp. 72
- Noss, R. Quigley, H. Hornocker, M. Merrill, T. Paquet, P. (1996). Conservation Biology and Carnivore Conservation in the Rocky Mountains. *Cons. Biol.* 10: 949-963.
- Noyce, K. V., Kannowski, P. B. y Riggs, M. R. (1997). Black bears as ant-eaters: seasonal associations between bear myrmecophagy and ant ecology in north-central Minnesota. *Canadian Journal of Zoology*: 75. pp. 1671–1686.
- Noyce, K.V., y Garshelis, D.L. (2011). Seasonal migrations of black bears (*Ursus americanus*): causes and consequences. *Behavioral Ecology and Sociobiology* (65). pp. 823–835.
- Núñez, R. (2017). Informe Final: Fortalecimiento del monitoreo y vigilancia comunitaria para la conservación del jaguar en la Región Cccidente y Pacífico Centro. Programa de Manejo de Áreas Naturales Protegidas. México. pp. 150.
- Núñez-Torres, M. F., Zarco-González, M. M., Monroy-Vilchis, O. y Carrera-Treviño, R. (2020). Human-black bear interactions in Northern Mexico. *Human Dimensions of Wildlife*. pp. 15. DOI: 10.1080/10871209.2020.1752419.
- Oronato, D. P., Hellgren, E. C., Van Den Bussche, R. A. y Doan-Crider D. L. (2004). Phylogeographic patterns within a metapopulation of black bears (*Ursus americanus*) in the American Southwest. *Journal of Mammalogy*: 85 (1). pp. 140 - 147.
- Oronato, D. P., Hellgren, E. C., Van Den Bussche, R. A., Doan-Crider D. L. y Skiles, J. R. (2007). Genetic structure of American black bears in the desert southwest of North America: conservation implications for recolonization. *Conservation Genetics*: 8. pp. 565 - 576.
- Pérez-Mendoza, H. A., & Zúñiga-Vega, J. J. (2010). Las historias de vida y la teoría del continuo rápido-lento. *Ciencias*. pp. 14–22.
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M. y Bastos-Araújo, M. (2011). *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton University, 1ed. pp. 329.
- Peterson, A., Anderson, R., Cobos, M., Cuahutle, M., Cuervo-Robayo, A., Escobar, L., Fernandez, M., Jiménez-García, D., Lira-Noriega, A., Lobo, J., Machado-Stredel, F., Martínez-Meyer, E., Nuñez-Penichet, C., Nori, J., Osorio-Olvera, L., Rodríguez-Zúñiga, M., Rojas-Soto, O., Romero-Álvarez, D., Soberón, J. y Yañez-Arenas, C. (2019). Curso modelado de nicho ecológico, versión 1.0. *Biodiversity Informatics*: 14. pp. 1-7.

- Phillips SJ, RP Anderson, PE Schapire. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol Model*: 190. pp. 231– 259.
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Raine, R. M. y Kansas, J. L. (1990). Black Bear Seasonal Food Habits and Distribution by Elevation in Banff National Park, Alberta. *Bears: Their Biology and Management*, Vol. 8, A Selection of Papers from the Eighth International Conference on Bear Research and Management, Victoria, British Columbia, Canada. pp. 297-304.
- Ramírez-Pulido, J., González-Ruíz, N. y Gardner, A. L. (2014). List of recent land mammals of Mexico, 2014. *Special Publications of the Museum of Texas Tech University*: 63. pp. 76.
- Rangel, T. F. y Dias-Loyola, R. (2012). Labeling Ecological Niche Models. *Brazilian Journal of Nature Conservation*: 10(2). 119-126 pp.
- Rodríguez-Soto, C., Monroy-Vilchis, O., Maiorano, L. (2011). Predicting potential distribution of the jaguar (*Panthera onca*) in Mexico: identification of priority áreas for conservation. *Diversity and Distributions*: 17. pp. 350-361.
- Rogers, L. L. (1987). Effects of Food Supply and Kinship on Social Behavior Movements and Population Growth of Black Bears in Northeastern Minnesota. *Wildlife Monographs* (97). pp. 3-72.
- Rojas-Martínez, A. E. y Juárez-Casillas, L. A. (2013). Primer registro de oso negro americano (*Ursus americanus*) para el estado de Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*: 84. pp. 1018-1021.
- Ruiz-Jiménez, C. A., O. Alcántara, y I. Luna. (2004). Medio físico: Límites. En: I. Luna, J. J. Morrone, y D. Espinosa, editores. *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Nacional Autónoma de México, México. pp. 536.
- Rzedowski, G. C. de, J. Rzedowski y colaboradores, 2005. *Flora fanerogámica del Valle de México*. 2a. ed., 1a reimp., Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro Michoacán), 1406 pp.
- Salinas, M. (02 de marzo de 2017). *Hidrografía de la Sierra Madre Oriental*. Rumbo a la Sierra madre Oriental A.C. Disponible en: <http://sierra-madre-oriental.blogspot.com/2017/03/hidrografia-de-la-sierra-madre-oriental.html>.

- Saura, S. y Pascual-Hortal, L. (2007). A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning_ Comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning* (83). pp. 91-103.
- SEMARNAT. (2010). Norma Oficial Mexicana 059, protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. México: Diario Oficial de la Federación.
- Scheick, B. K. y McCown, W. (2014). Geographic distribution of American black bears in North America. *Ursus*: 25 (1). pp. 24–33.
- Shah, V. B. y McRae, B. (2008). Circuitscape: A Tool for Landscape Ecology. *Python in Science Conference*. pp. 5.
- Smith, T. M. y Smith, r. L. (2007). *Ecología*. 6ta edición. Pearson Education. Madrid, España. pp. 776.
- Soberón, J. y Nakamura, M. Niches and distributional areas: Concepts, methods and assumptions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*: 106. pp. 7.
- Steven J. Phillips, Miroslav Dudík, Robert E. Schapire. [Internet] Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.3.4). Aviable from url: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/Accesed on 2020-12-22.
- Stucchi, M. y Figueroa, J. (2013). Morfología cráneo–mandibular del oso andino *Tremarctos ornatus* (Carnivora: Ursidae). *Therya*: 4(3). pp. 485–509.
- Suárez-Mota, M. E., Villaseñor, J. L. y López-Mata, L. (2017). Dominios climáticos de la Sierra Madre Oriental y su relación con la diversidad florística. *Revista Mexicana de Biodiversidad* (88). pp. 224-233.
- UNEP (2019). *Frontiers 2018/19 Emerging Issues of Environmental Concern*. United Nations Environment Programme, Nairobi. Pp. 23.
- Varas-Nelson, A. C. (2010). Conservation genetics of black bears in Arizona and Northern Mexico. Tesis de doctorado. Universidad de Arizona. pp. 209.
- Via, S., Gomulklewicz R., De Jong, G., Scheiner, S. M., Schlichting, C. D. y Van Tienderen, P. (1995). Adaptive phenotypic plasticity: consensus and controversy. *Tree*: 10 (5). pp. 212 - 217.

- Wilson, E. O. y Brown, W. L. (1953). The Subspecies Concept and Its Taxonomic Application. *Systematic Zoology*: 2 (3). pp. 97 - 111.
- Wooding, S. y Ward, R. (1997). Phylogeography and Pleistocene Evolution in the North American Black Bear. *Molecular Biology and Evolution*: 14 (11). pp. 1096 - 1105.
- Yerena, E. (1994). *Corredores Ecológicos en los Andes de Venezuela*. Torino. Caracas, Venezuela. 87 pp.
- Zeller, K. A., McGarigal, K. y Whiteley, A. R. (2012). Estimating landscape resistance to movement: a review. *Landscape Ecology* (27). pp. 777-797.

ANEXOS

Sección 1. Modelos de Distribución Potencial de las 21 especies que componen la dieta del oso negro en la SMO.

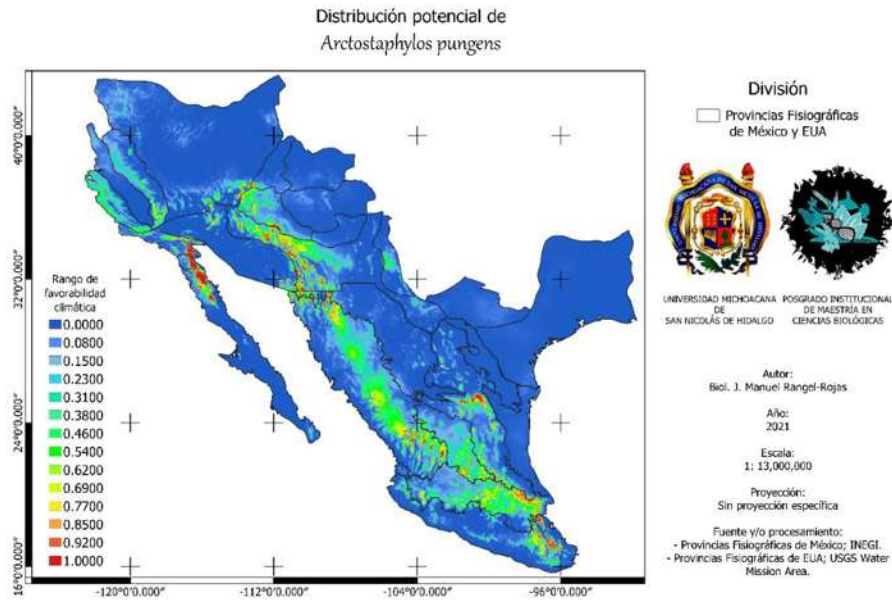


Figura 1. *Arctostaphylos pungens*

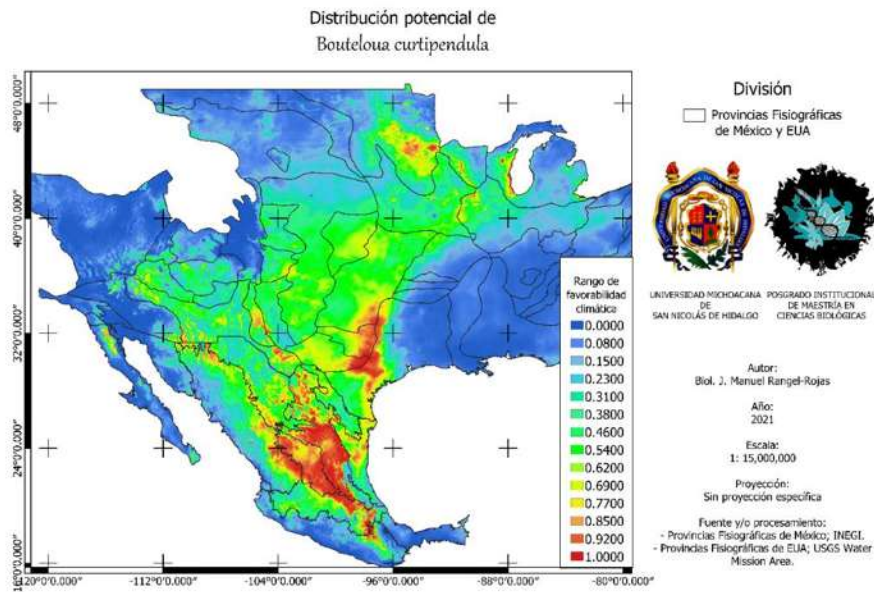


Figura 2. *Bouteloua curtipendula*.

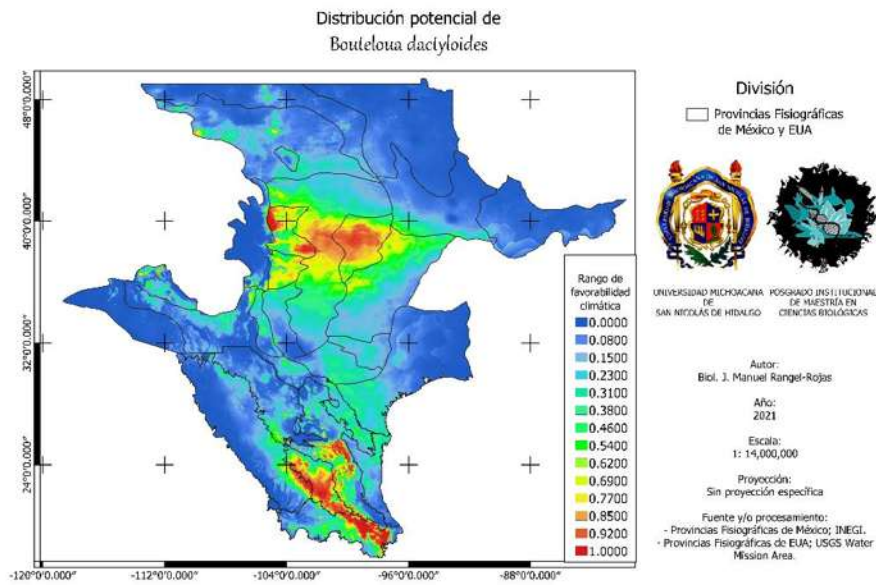


Figura 3. *Bouteloua dactyloides*.

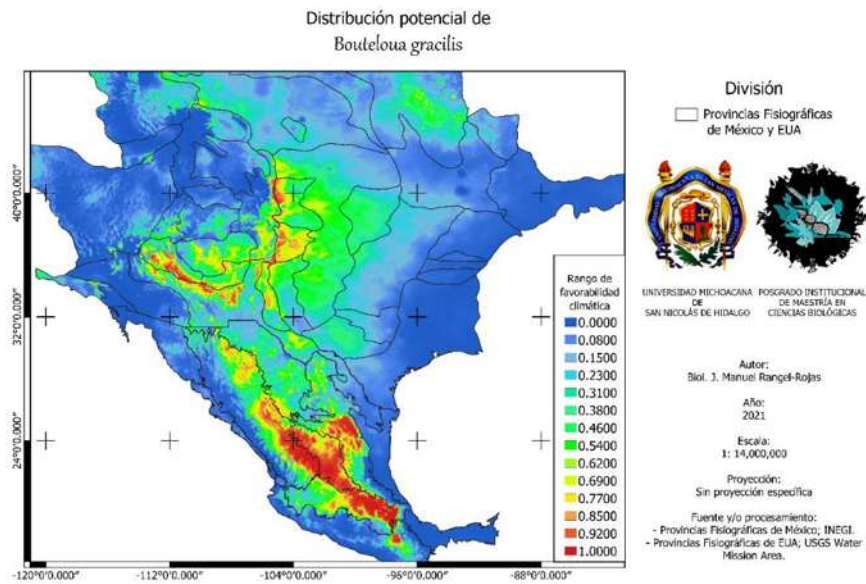


Figura 4. *Bouteloua gracilis*.

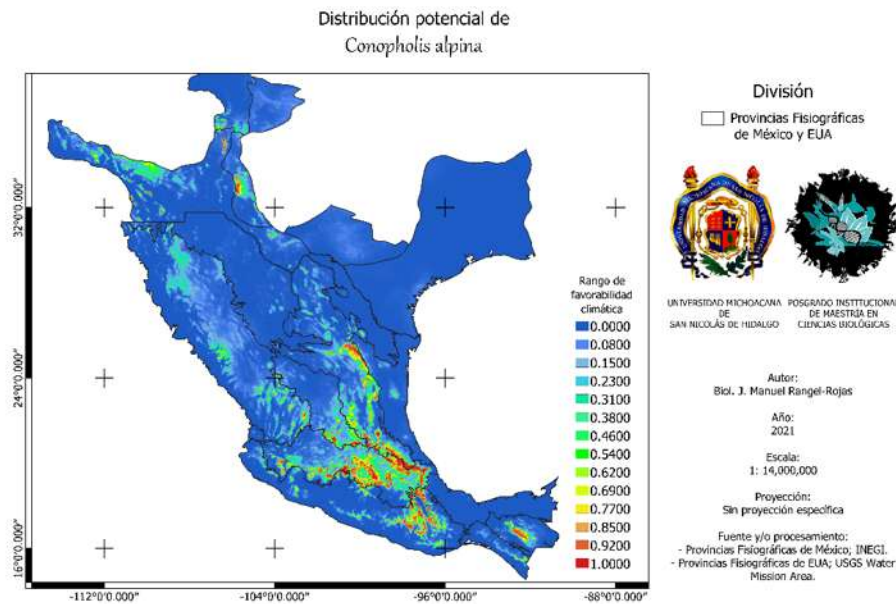


Figura 5. *Conopholis alpina*.

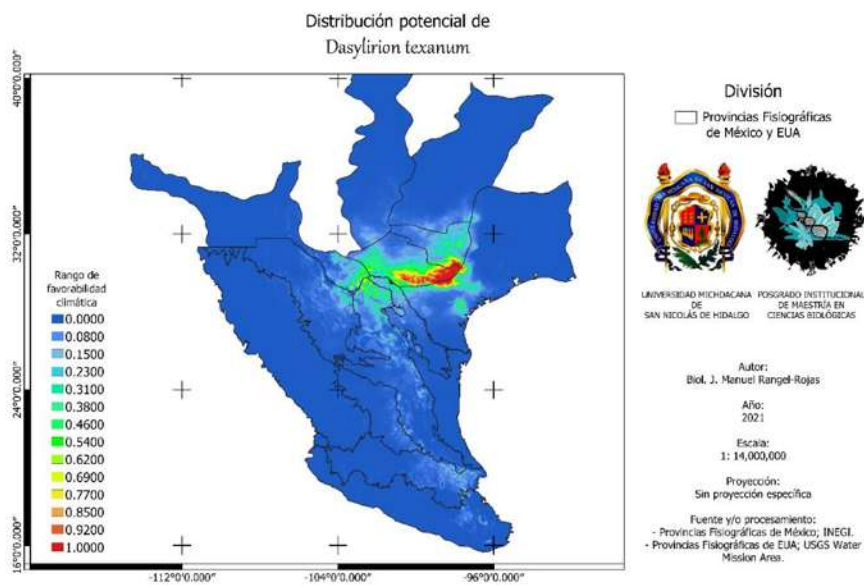


Figura 6. *Dasyliirion texanum*.

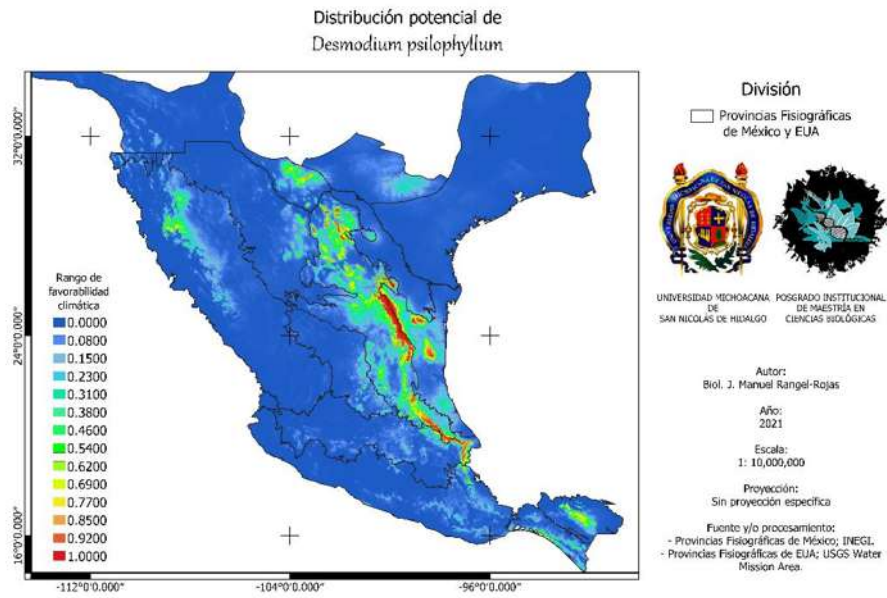


Figura 7. *Desmodium psilophyllum*.

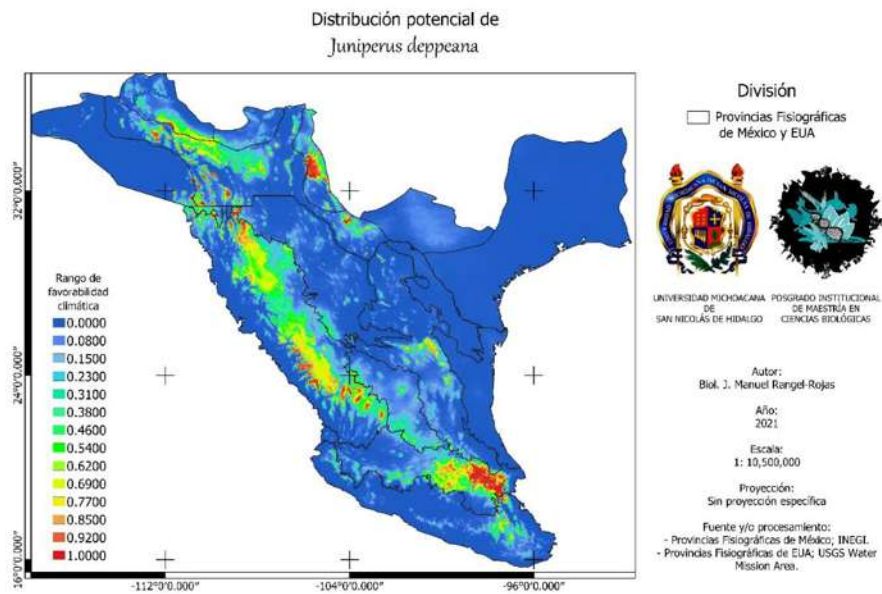


Figura 8. *Juniperus deppeana*.

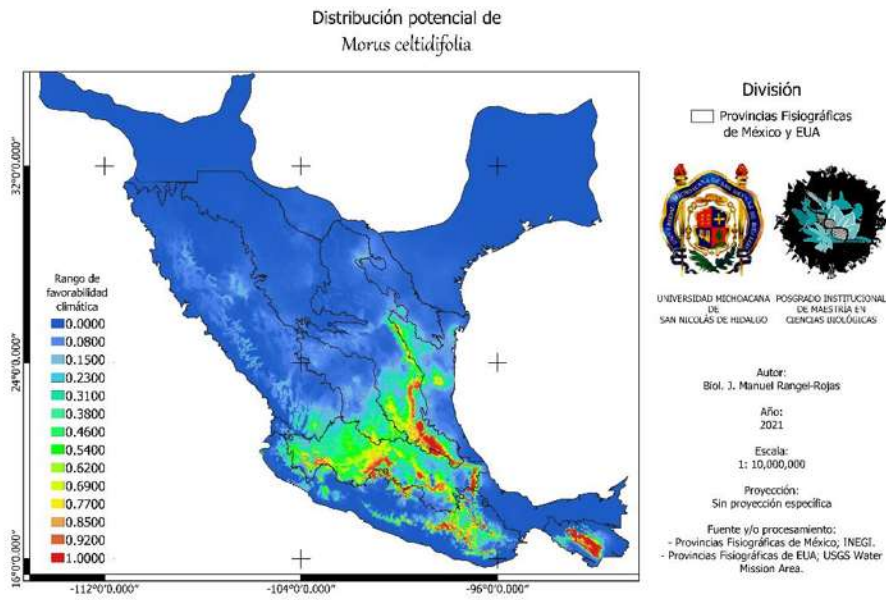


Figura 9. *Morus celtidifolia*.

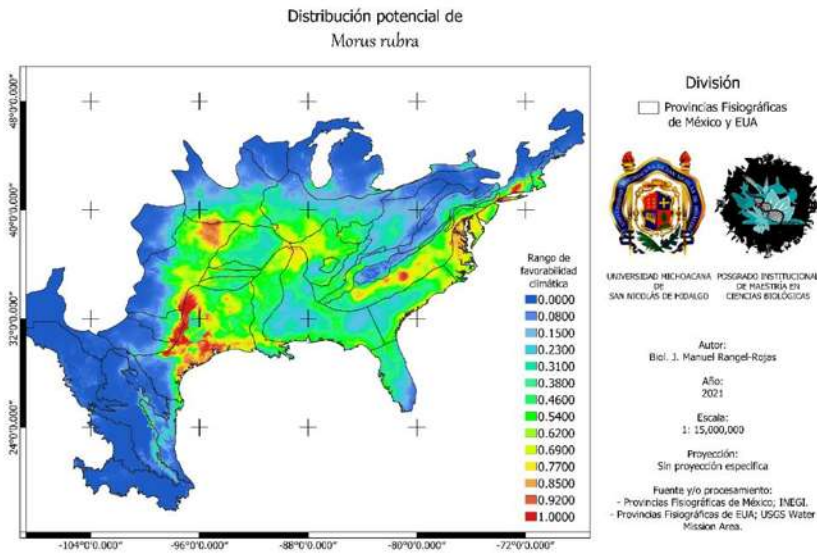


Figura 10. *Morus rubra*.

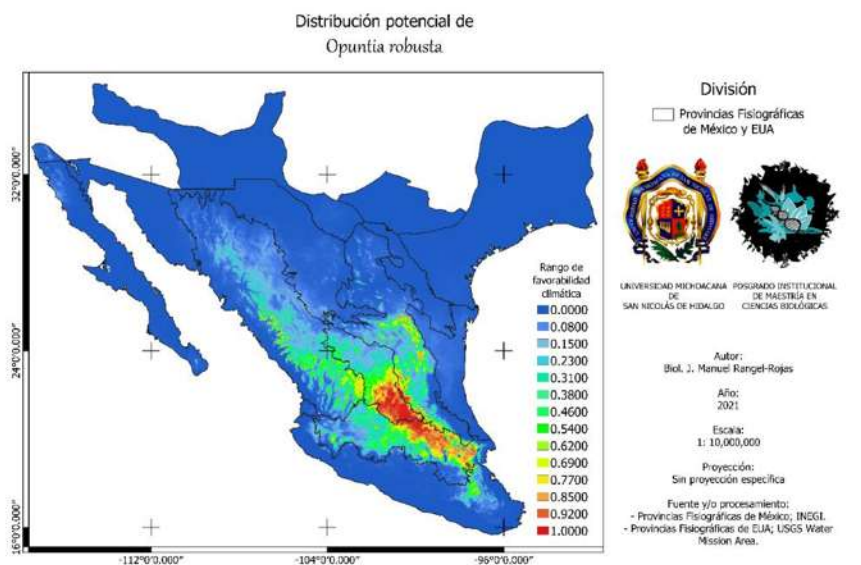


Figura 11. *Opuntia robusta*.

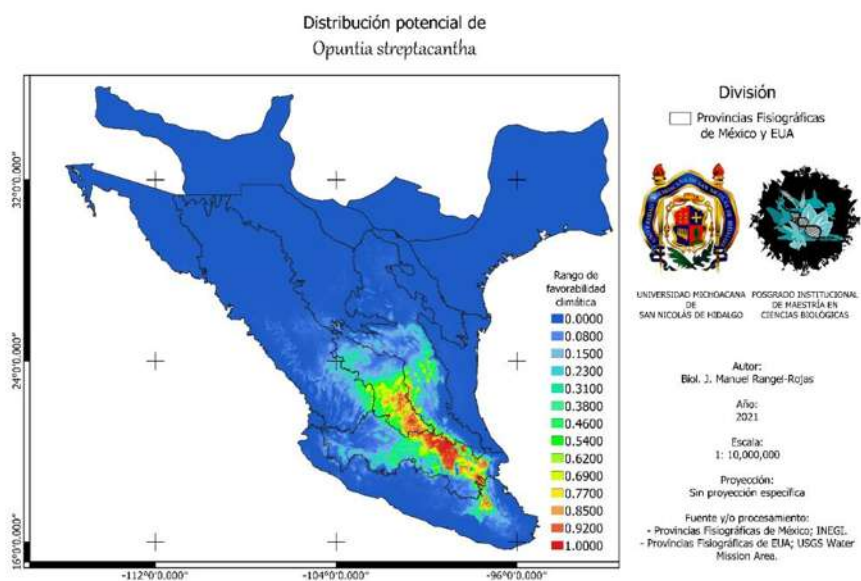


Figura 12. *Opuntia streptacantha*.

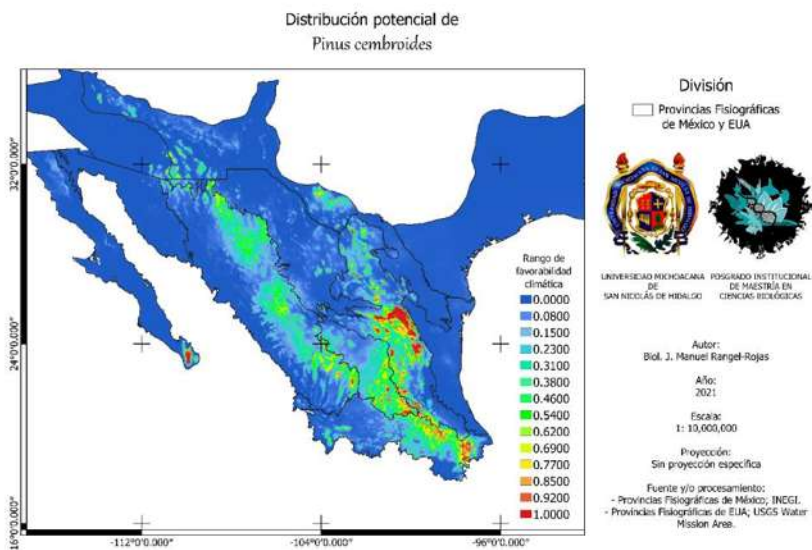


Figura 13. *Pinus cembroides*.

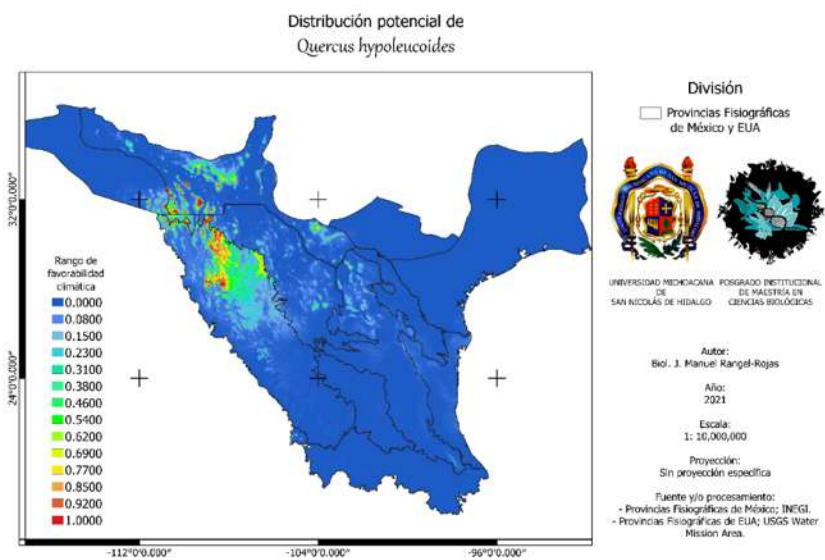


Figura 14. *Quercus hypoleucoides*.

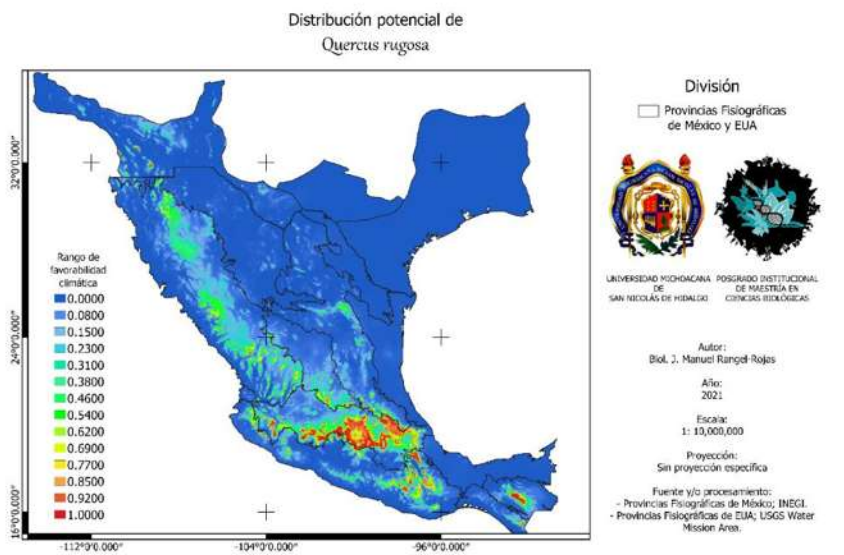


Figura 15. *Quercus rugosa*.

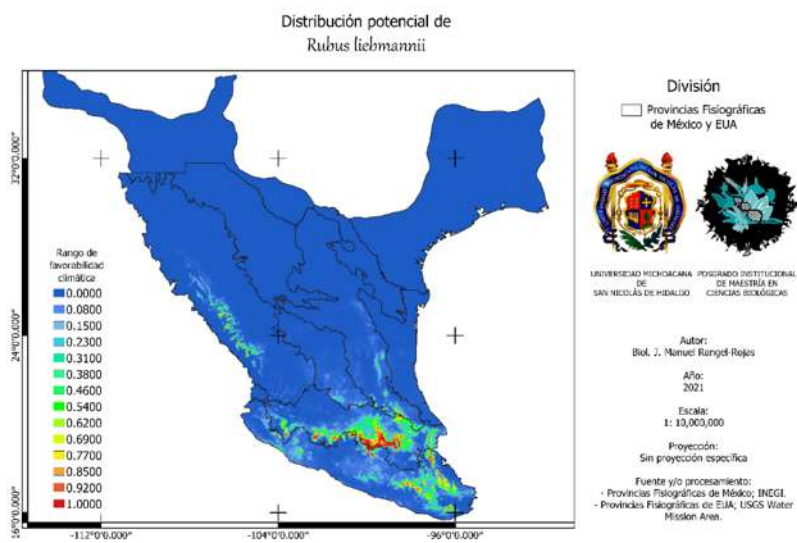


Figura 16. *Rubus liebmannii*.

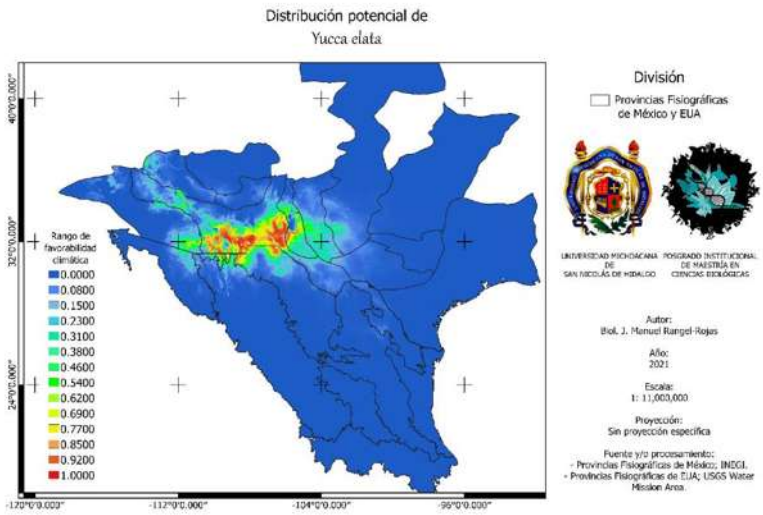


Figura 17. *Yucca elata*.

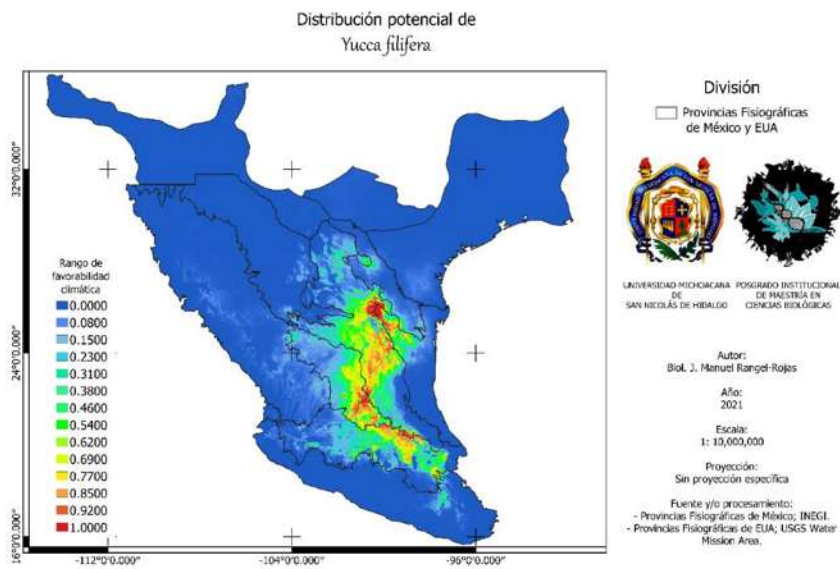


Figura 18. *Yucca filifera*.

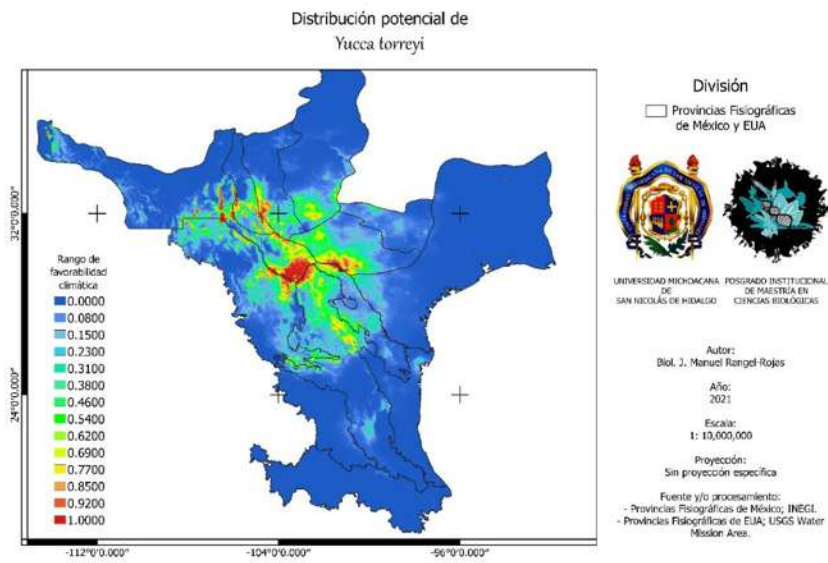


Figura 19. *Yucca torreyi*.