



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL**  
**DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL UNIDAD DURANGO**

---

---

**Propuesta de áreas de conservación de la biodiversidad  
en la cuenca del Río San Pedro-Mezquital, México**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**PRESENTA**

**CAMILA HERNÁNDEZ MARTÍNEZ**

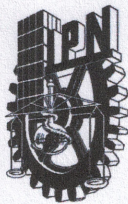
**DIRECTORES**

**DRA. CELIA LÓPEZ GONZÁLEZ**

**DR. VÍCTOR MANUEL GUILLERMO SÁNCHEZ CORDERO DÁVILA**



**Victoria de Durango, Dgo., junio de 2025.**



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

### Dirección de Posgrado

#### ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS

Ciudad de México, a  de  del

El Colegio de Profesores de Posgrado de  en su Sesión  
(Unidad Académica)

No.  celebrada el día  del mes  de  conoció la solicitud presentada por el (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	<b>Hernández</b>	Apellido Materno:	<b>Martínez</b>	Nombre (s):	<b>Camila</b>
-------------------	------------------	-------------------	-----------------	-------------	---------------

Número de boleta:

del Programa Académico de Posgrado:   
Referente al registro de su tema de tesis

1.- Se acordó aprobar el tema de tesis:

Objetivo general del trabajo de tesis:

2.- Se designa como Directores de Tesis a los profesores:

Director:  Director:   
No aplica:

3.- El Trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

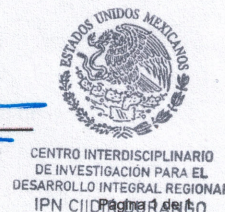
4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente, hasta la aprobación de la versión completa de la tesis por parte de la Comisión Revisora correspondiente.

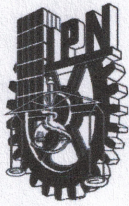
Director(a) de Tesis  
  
Dra. Celia López González

Director de Tesis  
  
Dr. Víctor Manuel Guillermo Sánchez Cordero Dávila

Alumno  
  
Camila Hernández Martínez

Presidente del Colegio  
  
Dr. Eduardo Sánchez Ortiz





# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

### Dirección de Posgrado

### ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Durango siendo las 11:00 horas del día 02 del mes de junio del 2025 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: CIIDIR-IPN Unidad Durango para examinar la tesis titulada:

Propuesta de áreas de conservación de la biodiversidad en la cuenca del Río San Pedro-Mezquital, México del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	<b>HERNÁNDEZ</b>	Apellido Materno:	<b>MARTÍNEZ</b>	Nombre (s):	<b>CAMILA</b>
-------------------	------------------	-------------------	-----------------	-------------	---------------

Número de boleta: B 2 3 1 2 2 8

Alumno del Programa Académico de Posgrado: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 7% de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo **SI**  **NO**  **SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

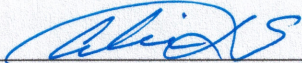
#### **JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN:**

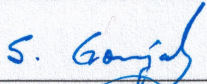
El trabajo de la alumna constituye investigación original, que fue sujeta a varias revisiones antes de ser aprobada. Si existen similitudes con textos ajenos, se deben a que en algunas partes la estudiante cita al pie de la letra la metodología de la Planeación Sistemática de la Conservación.

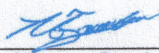
Finalmente, y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR**  **SUSPENDER**  **NO APROBAR**  la tesis por **UNANIMIDAD**  o **MAYORÍA**  en virtud de los motivos siguientes:

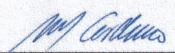
El trabajo está terminado, bien escrito y constituye una contribución original.


#### COMISIÓN REVISORA DE TESIS

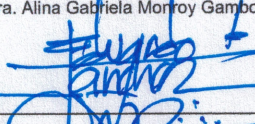
  
\_\_\_\_\_  
Directora de Tesis  
Dra. Celia López González

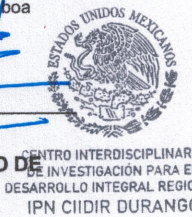
  
\_\_\_\_\_  
Dra. María del Socorro González Elizondo

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Alina Gabriela Morroy Gamboa

  
\_\_\_\_\_  
2° Director de Tesis  
Dr. Victor Manuel Guillermo Sánchez Cordero Dávila

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Marco Antonio Márquez Linares

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Eduardo Sánchez Ortiz  
**PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES**





# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

### CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE OBRA PARA DIFUSIÓN

En la Ciudad de México el día **23** del mes de **junio** del año **2025**, la que suscribe **Camila Hernández Martínez** alumna del programa **Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental** con número de registro **B231228**, adscrita al **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango**, manifiesta que es autora intelectual del presente trabajo de tesis bajo la dirección de la **Dra. Celia López González** y el **Dr. Víctor Manuel Guillermo Sánchez Cordero Dávila** y cede los derechos del trabajo intitulado **Propuesta de áreas de conservación de la biodiversidad en la cuenca del Río San Pedro-Mezquital, México**, al **Instituto Politécnico Nacional**, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expresado del autor y/o director(es). Este puede ser obtenido escribiendo a las siguiente(s) dirección(es) de correo [hemzcamila@gmail.com](mailto:hemzcamila@gmail.com), [celialg.dgo@gmail.com](mailto:celialg.dgo@gmail.com), [victor@ib.unam.mx](mailto:victor@ib.unam.mx). Si el permiso se otorga, al usuario deberá dar agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.

---

Camila Hernández Martínez

El presente trabajo se llevó a cabo en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango del Instituto Politécnico Nacional, bajo la dirección de la Dra. Celia López González y el Dr. Víctor Manuel Guillermo Sánchez Cordero Dávila.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Politécnico Nacional y al CIIDIR Durango por brindarme el espacio y los recursos necesarios para continuar mi formación académica en la Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental. A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por haberme otorgado la beca (CVU 1325517), la cual hizo posible realizar mis estudios de posgrado.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a la Dra. Celia López González, mi directora de tesis, por su invaluable acompañamiento durante esta etapa formativa, tanto en el ámbito académico como personal; por motivar mi curiosidad y pensamiento crítico a lo largo del desarrollo de este trabajo. Asimismo, valoro la oportunidad brindada para participar en los proyectos del Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI), lo que me permitió acceder a la Beca de Estímulo Institucional de Formación de Investigadores (BEIFI).

A mi codirector, el Dr. Víctor Sánchez Cordero, por guiarme con dedicación durante este proceso y enriquecer este trabajo con su vasta experiencia en conservación biológica. A la Dra. Alina Gabriela Monroy Gamboa, por su constante orientación y mentoría en la Planeación Sistemática de la Conservación. A la Dra. María del Socorro González Elizondo, por transmitirme su amplio conocimiento en el estudio de plantas vasculares y darme su asesoría en el manejo de la base de datos del Herbario del CIIDIR Durango. Al Dr. Marco Antonio Márquez Linares, por compartir su conocimiento sobre la cuenca del río San Pedro-Mezquital y apoyarme en el desarrollo del análisis multicriterio.

A los integrantes del Laboratorio de Fauna Silvestre, por facilitarme un espacio para desarrollar mi trabajo. Al M. en C. Diego Francisco García Mendoza, por proveerme la base de registros únicos de mamíferos; al Dr. Uriel Hernández Salinas, por los datos proporcionados de la colección de anfibios y reptiles; a la Dra. Sarahi Sandoval Espinoza, por sus consejos en el campo de los Sistemas de Información Geográfica; y a Alejandra Guerrero, por su ayuda en la búsqueda de material bibliográfico. A los curadores, por permitirnos revisar los ejemplares de las colecciones.

## **AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL**

A mi mamá, por su cariño e impulso incondicional en cada uno de mis proyectos. A mis hermanos Humberto y Miroslava, por inspirarme a crecer y mejorar cada día. A mis tías, Estela y Lulú, por su entrañable presencia y respaldo. A Ulises, por su afecto y apoyo constante. A cada uno de ellos, por creer en mí y motivarme a seguir cumpliendo mis metas y sueños.

A mis compañeras de maestría, Mariela, Fernanda, Minerva y Areli, por su amistad y los momentos compartidos a lo largo de estos dos años.

## **DEDICATORIA**

A mi papá, cuya huella y enseñanzas siguen vivas en mí.

---

---

## ÍNDICE

TÍTULO	PÁG.
GLOSARIO.....	I
LISTA DE ACRÓNIMOS .....	II
RELACIÓN DE FIGURAS .....	III
RELACIÓN DE TABLAS .....	V
RELACIÓN DE ANEXOS .....	VI
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. ANTECEDENTES .....	6
2.1 Biología de la conservación .....	6
2.2 Marco legal de las Áreas Naturales Protegidas en México.....	6
2.3 Áreas Naturales Protegidas .....	11
2.3.1 Reservas de la Biosfera .....	13
2.3.2 Parques Nacionales .....	13
2.3.3 Áreas de Protección de Flora y Fauna.....	13
2.3.4 Áreas de Protección de Recursos Naturales.....	13
2.3.5 Monumentos Naturales .....	14
2.3.6 Santuarios .....	14
2.3.7 Áreas Dedicadas Voluntariamente a la Conservación .....	14
2.3.8 Áreas de Conservación fuera del ámbito federal o privadas .....	14
2.4 Métodos para la identificación de áreas prioritarias de conservación .....	15
2.5 Planeación Sistemática de la Conservación .....	16
2.6 Nicho ecológico .....	18

---

2.7 Modelado de nicho ecológico .....	18
2.8 Herramientas computacionales para la priorización espacial en conservación	20
III. JUSTIFICACIÓN .....	21
IV. OBJETIVOS.....	22
4.1 Objetivo general.....	22
4.2 Objetivos específicos.....	22
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
5.1 Descripción del área de estudio.....	23
5.1.1 Ubicación y delimitación.....	23
5.1.2 Clima .....	25
5.1.3 Hidrología.....	25
5.1.4 Vegetación y uso de suelo .....	27
5.1.5 Áreas Naturales Protegidas en la cuenca del río San Pedro-Mezquital....	29
5.1.6 Áreas de Importancia para la conservación en la cuenca del río San Pedro-Mezquital.....	30
5.1.7 Población .....	32
5.1.8 Actividades económicas y vías de comunicación.....	33
5.2 Bases de datos y depuración.....	36
5.3 Selección de los subrogados de la biodiversidad .....	38
5.4 Generación de capas ambientales .....	38
5.5 Modelado de Nicho Ecológico (MNE) .....	41
5.5.1 Calibración y parametrización .....	41
5.5.2 Evaluación y selección de los modelos finales.....	41
5.6 Representatividad de los subrogados en las Áreas Naturales Protegidas.....	43
5.7 Establecimiento de las metas de conservación .....	43

---

5.8 Redes de áreas de conservación .....	44
5.9 Delimitación de las áreas de conservación.....	47
6.0 Análisis multicriterio .....	47
VI. RESULTADOS.....	49
6.1 Vertebrados terrestres y plantas vasculares en la CSPM.....	49
6.2 Modelos de nicho ecológico (MNE) .....	51
6.3 Representatividad de los subrogados en las ANP decretadas .....	53
6.4 Propuesta de red de áreas de conservación .....	54
VII. DISCUSIÓN .....	61
VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	72
IX. BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	73
X. ANEXOS .....	93
Anexo I. Modificaciones realizadas a la capa de uso de suelo y vegetación de la serie VII del INEGI.....	93
Anexo II. Listado de especies de subrogados de la cuenca del río San Pedro-Mezquital y su inclusión en la red de áreas de conservación.....	97
Anexo III. Modelos de nicho ecológico generados para los subrogados seleccionados.....	111

## GLOSARIO

- Biodiversidad:** Toda la variedad de vida en sus diferentes niveles y a lo largo de la historia evolutiva, que incluye interacciones, procesos ecológicos y evolutivos que afectan a los organismos.
- Complementariedad:** Medida de la contribución que aporta un área al conjunto total de elementos que conforman la biodiversidad en una región sujeta a planeación.
- Conectividad:** Criterio enfocado en crear redes de áreas de conservación enlazadas mediante corredores biológicos, para facilitar el movimiento de especies, el flujo genético y la dispersión de organismos.
- Endemismo (geográfico):** Especie cuya distribución se restringe a un área determinada. Puede ser específica de México, región biogeográfica, cuenca, montaña, etc.
- Rareza:** Criterio que busca identificar sitios con especies, hábitats o características ecológicas poco comunes o únicas en un área geográfica determinada.
- Representatividad:** Criterio que busca asegurar que las redes de áreas de conservación incluyan de forma adecuada la diversidad biológica de un área determinada mediante subrogados.
- Subrogados:** Conjunto de elementos cuantificables del paisaje, tipos de hábitats, especies o combinaciones de éstos, utilizados para reflejar la biodiversidad de un área determinada.

## LISTA DE ACRÓNIMOS

<b>ADVC:</b>	Área(s) Dedicada(s) Voluntariamente a la Conservación
<b>ANP:</b>	Área(s) Natural(es) Protegida(s)
<b>CADNR:</b>	Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego
<b>CONABIO:</b>	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
<b>CONANP:</b>	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
<b>CSPM:</b>	Cuenca del río San Pedro-Mezquital
<b>MAXENT:</b>	Modelado de máxima entropía
<b>MNE:</b>	Modelo de nicho ecológico
<b>PN:</b>	Parque Nacional
<b>PSC:</b>	Planeación Sistemática de la Conservación
<b>RB:</b>	Reserva de la Biosfera
<b>SIG:</b>	Sistemas de Información Geográfica
<b>SMO</b>	Sierra Madre Occidental
<b>WWF:</b>	World Wildlife Fund (Fondo Mundial para la Naturaleza)

---

---

## RELACIÓN DE FIGURAS

NÚMERO	TÍTULO	PÁG.
1	Jerarquía jurídica de México.	7
2	Ubicación, fisiografía y elevación de la cuenca del río San Pedro Mezquital, según datos de Morrone (2019) y Reyes-Carrillo (2020).	24
3	Subcuencas e hidrología de la cuenca del río San Pedro-Mezquital, según datos de IMTA (2024).	26
4	Vegetación y uso de suelo en la cuenca del río San Pedro-Mezquital, modificado de INEGI (2021).	28
5	Áreas Naturales Protegidas en la cuenca del río San Pedro-Mezquital, según datos de CONANP (2024a).	29
6	Áreas de Importancia para la conservación en la CSPM, según datos de Arriaga <i>et al.</i> (2000), CONABIO (2015) y Barquez <i>et al.</i> (2022).	31
7	Vías de comunicación en la cuenca del río San Pedro-Mezquital, según datos de la Red Nacional de Caminos (IMT, 2024).	35
8	Variables topográficas utilizadas en la generación de modelos de nicho ecológico A) Elevación, B) Pendiente, C) Rugosidad y D) Orientación, según datos de Reyes-Carrillo (2020).	40
9	Proceso de generación de los modelos de nicho ecológico.	42
10	Modelos de redes de áreas de conservación generados en ConsNet.	45

---

NÚMERO	TÍTULO	PÁG.
11	Riqueza de especies (barras azules) y número de especies endémicas de México (barras amarillas) por orden, en la cuenca del río San Pedro-Mezquital, A) Plantas vasculares, B) Anfibios y reptiles, C) Aves y D) Mamíferos.	50
12	Ejemplo de modelos de nicho ecológico con el roedor <i>Peromyscus schmidlyi</i> . A) Modelo con valores continuos de idoneidad ambiental y B) Modelo binario reclasificado con un umbral de corte de 0.7, que muestra las áreas de presencia sobre un gradiente de elevación.	52
13	Representatividad modelada de los subrogados en las Áreas Naturales Protegidas de la cuenca del río San Pedro-Mezquital.	53
14	Áreas prioritarias para la conservación seleccionadas por ConsNet en la cuenca del río San Pedro-Mezquital. A) Modelo nulo y B) Modelo que incluye <i>a priori</i> las Áreas Naturales Protegidas.	55
15	Áreas propuestas para la conservación en la cuenca del río San Pedro-Mezquital. A) Ubicación de los seis polígonos seleccionados como prioritarios para la conservación y B) Tipos de vegetación y polígonos prioritarios, modificado de INEGI (2021).	57
16	Representatividad modelada de los subrogados en los polígonos identificados como prioritarios para su conservación en la cuenca del río San Pedro-Mezquital.	59
17	Vegetación en las áreas prioritarias para la conservación en la cuenca del río San Pedro-Mezquital.	66

---

---

## RELACIÓN DE TABLAS

<b>NÚMERO</b>	<b>TÍTULO</b>	<b>PÁG.</b>
1	Constitución Política estatal y leyes aplicables para la conservación de la biodiversidad en las entidades federativas que conforman la cuenca del río San Pedro-Mezquital.	9
2	Características de las Áreas Naturales Protegidas en la cuenca del río San Pedro-Mezquital.	30
3	Municipios y población en la cuenca del río San Pedro-Mezquital.	32
4	Metas de conservación establecidas para los subrogados en la cuenca del río San Pedro-Mezquital.	44
5	Ponderación de los criterios utilizados en el análisis multicriterio.	49
6	Características de las áreas prioritarias propuestas para la conservación en la cuenca del río San Pedro-Mezquital.	58
7	Aporte de los polígonos propuestos a la representatividad y complementariedad del sistema de conservación en la cuenca del río San Pedro-Mezquital.	60

## RELACIÓN DE ANEXOS

<b>NÚMERO</b>	<b>TÍTULO</b>	<b>PÁG.</b>
1	Modificaciones realizadas a la capa de uso de suelo y vegetación de la serie VII del INEGI.	93
2	Listado de especies de subrogados de la cuenca del río San Pedro-Mezquital y su inclusión en la red de áreas de conservación.	97
3	Modelos de nicho ecológico generados para los subrogados seleccionados	111

---

## RESUMEN

La cuenca del río San Pedro-Mezquital destaca por su heterogeneidad ambiental, resultado de su ubicación geográfica y compleja topografía. Actualmente cuenta con cuatro Áreas Naturales Protegidas federales, aunque se desconoce en qué medida resguardan su biodiversidad. Se identificaron áreas complementarias de conservación usando herramientas de la Planeación Sistemática de la Conservación, registros de 142 especies de plantas vasculares, anfibios, reptiles, aves y mamíferos, endémicas o en alguna categoría de riesgo y cuatro variables topográficas con 90 m de resolución. Se generaron Modelos de Nicho Ecológico (MNE) en MaxEnt para 53 especies con al menos diez registros y el resto se incorporó *a priori* como sitios irremplazables. Se evaluó la representatividad de los subrogados en las ANP existentes y se priorizaron nuevas áreas con el algoritmo de rareza-complementariedad en ConsNet. Se aplicó un análisis multicriterio que consideró riqueza, endemismo y tipos de vegetación para reducir el número de áreas identificadas. De 48 áreas potenciales, se seleccionaron seis polígonos prioritarios a lo largo del gradiente altitudinal de la cuenca: Málaga (28.87 km<sup>2</sup>), La Joya de Atotonilco (20.92 km<sup>2</sup>), Aserradero La Flor (260.57 km<sup>2</sup>), El Cerro Gordo (18.61 km<sup>2</sup>), San Blasito (68 km<sup>2</sup>) y San Pedro Ixcatán (74.70 km<sup>2</sup>), que en conjunto con el sistema actual representarían 1,287 especies (41.2 % del total), incluidas 219 no protegidas previamente, y dos tipos de vegetación ausentes en el sistema actual. Estas áreas son un punto de partida para una red de conservación más representativa, cuya implementación deberá considerar la conectividad ecológica y la factibilidad socioeconómica.

**Palabras clave:** Áreas prioritarias, Cuenca del río San Pedro-Mezquital, Modelos de nicho ecológico, Planeación Sistemática de la Conservación, Subrogados de la biodiversidad.

## ABSTRACT

The San Pedro-Mezquital River Basin stands out because of its environmental heterogeneity, resulting from its geographic location and complex topography. Currently, it contains four federally designated Protected Areas (PAs), although the extent to which they safeguard biodiversity remains uncertain. Using Systematic Conservation Planning methods, 142 species of vascular plants, amphibians, reptiles, birds, and mammals of conservation importance, and four topographic variables at 90 m resolution, additional complementary potential conservation areas were identified. Ecological Niche Models (ENMs) were generated using MaxEnt for 53 species with at least ten occurrence records, while the rest were included *a priori* as irreplaceable sites. The representation of surrogates within existing PAs was evaluated, and new areas were prioritized using the rarity-complementarity algorithm implemented in ConsNet. A multicriteria analysis was applied considering species richness, endemism, and vegetation type to reduce the number of identified areas. Out of 48 potential areas, six were selected along the altitudinal gradient of the basin: Málaga (28.87 km<sup>2</sup>), La Joya de Atotonilco (20.92 km<sup>2</sup>), Aserradero La Flor (260.57 km<sup>2</sup>), El Cerro Gordo (18.61 km<sup>2</sup>), San Blasito (68 km<sup>2</sup>), and San Pedro Ixcatán (74.70 km<sup>2</sup>). With the current system, these would represent 1,287 species (41.2% of the total), including 219 not previously protected, and two vegetation types absent from the existing system. These areas represent a starting point for a more representative conservation network, whose implementation should consider ecological connectivity and socioeconomic feasibility.

**Keywords:** Biodiversity surrogates, Ecological niche models, Priority areas, San Pedro–Mezquital River Basin, Systematic Conservation Planning.

## I. INTRODUCCIÓN

La Tierra está experimentando cambios a un ritmo e intensidad sin precedentes. Esta crisis global se manifiesta en el rápido declive de la biodiversidad, reflejado en la reducción de la extensión e integridad de los ecosistemas naturales, así como en la disminución del tamaño y la distribución de las poblaciones biológicas (Díaz y Malhi, 2022). Se plantea que el planeta atraviesa una ola de extinción masiva; a diferencia de las anteriores, que ocurrieron a lo largo de milenios y permitieron la adaptación y evolución de las formas de vida, la extinción actual tiene menos de 300 años de antigüedad, lo que representa una discontinuidad breve, incluso en tiempo ecológico (Primack *et al.*, 2001; Carabias *et al.*, 2009; Margules y Sarkar, 2009). La tasa de extinción actual muestra indicios de ser de mayor magnitud que la que terminó con la megafauna en el Pleistoceno y, además, involucra a todos los grupos taxonómicos del planeta (Martínez-Meyer *et al.*, 2014).

La distribución espacial de los organismos está influenciada por diversos factores, como las condiciones ambientales, la historia biogeográfica de las especies, el patrón espacial del hábitat y la dinámica de las poblaciones biológicas (Aliaga-Samanez *et al.*, 2019). Entre los países con gran riqueza biológica se encuentra México, el cual posee una amplia heterogeneidad ambiental, producto de la historia geológica y climática que originó una gran complejidad en la distribución y patrones de especies (Aguilar-Tomasini *et al.*, 2021), alberga aproximadamente el 10 % de la biota mundial y se caracteriza por su alto grado de endemismo (Mayani-Parás *et al.*, 2021).

Las cuencas hidrológicas son unidades de terreno generalmente delimitadas por un parteaguas, donde el agua que precipita se almacena o fluye hasta una red hidrográfica de corrientes que convergen en una principal (DOF, 2023). Son consideradas unidades geográficas para la gestión de los recursos hídricos y el uso de suelo, en donde los procesos se vinculan entre sí. Sus límites fisiográficos constituyen límites ecológicos naturales, en donde los ciclos biogeoquímicos, el flujo de energía y el transporte de nutrientes a lo largo del sistema de cauces, afectan la dinámica ecológica del ecosistema (Santana y Graf Montero, 2009; SEMARNAT, 2013).

La cuenca del río San Pedro-Mezquital (CSPM) destaca como un área de gran valor biológico. Con una extensión de 27,674 km<sup>2</sup>, atraviesa la Sierra Madre Occidental (SMO) de este a oeste, conectando el Altiplano Mexicano con la Llanura Costera del océano Pacífico. De esta extensión, el 74 % corresponde al estado de Durango, el 16 % a Nayarit y el 10 % a Zacatecas. En ella reside una población aproximada de 820,374 habitantes, concentrada principalmente en la ciudad de Durango y la planicie costera. Las principales actividades económicas de la cuenca incluyen la ganadería, la agricultura, la extracción forestal y, en la cuenca baja, el cultivo de camarón y ostión. Todas estas actividades económicas, junto con las poblaciones locales, dependen directamente del río y sus afluentes (WWF, 2012a).

El río San Pedro-Mezquital nace de la confluencia de tres corrientes principales: La Sauceda, El Tunal y Santiago Bayacora en Durango. Es el séptimo río más caudaloso de México y uno de los últimos en fluir libremente en el 72 % de su recorrido, lo que permite que su régimen de caudales se mantenga cercano a su estado natural y garantice el suministro de agua a la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales Nayarit (WWF, 2012b; Escobedo-Quiñones *et al.*, 2017; Brito-Castillo *et al.*, 2019).

La CSPM alberga al cañón del Mezquital, que alcanza hasta 1,000 metros de profundidad en el centro del macizo montañoso de la SMO. Este crea un fuerte gradiente altitudinal, lo que genera una gran diversidad de ecosistemas debido a los cambios en la elevación y la dirección del cañón. Asimismo, actúa como un corredor que permite a las especies propias del Altiplano Mexicano penetrar hacia el occidente y a las especies tropicales hacia el oriente, creando comunidades de gran riqueza biológica, donde coinciden elementos de las dos grandes regiones biogeográficas de México, la Neotropical y la Neártica, más aún, las transiciones de vegetación ocurren en distancias cortas, y los elementos de cada asociación se mezclan con los de las adyacentes, tanto por encima como por debajo de ellas (López-González y Lozano, 2015). Así, por ejemplo, a nivel del río los componentes del bosque tropical caducifolio se van diluyendo entre los elementos del matorral xerófilo, formando asociaciones intermedias entre ambos tipos de vegetación (González-Elizondo *et al.*, 2007). A lo largo de la cuenca se han registrado 83 especies de peces (al menos 64 son nativas),

80 especies de anfibios y reptiles, 350 especies de aves (65 % son residentes y el resto migratorias) y 120 especies de mamíferos (24.6 % del total de México) (WWF, 2012a; López-González *et al.*, 2014).

La riqueza biológica de la CSPM ha favorecido el establecimiento de cinco Áreas Naturales Protegidas (ANP) de carácter federal: el Parque Nacional (PN) Sierra de Órganos, un Área Dedicada Voluntariamente a la Conservación (ADVC) conocida como *AU'DAM* Refugio Silvestre, y tres ANP que se encuentran parcialmente dentro de la cuenca: la Reserva de la Biosfera (RB) La Michilía, la RB Marismas Nacionales Nayarit y la Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego (CADNR) 043 (CONANP, 2018; CONANP, 2024b). De estas, el PN Sierra de Órganos, la RB La Michilía y la RB Marismas Nacionales Nayarit están consideradas como Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) (Arriaga *et al.*, 2000) y Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS) (CONABIO, 2015). Además, Marismas Nacionales Nayarit ha sido designada como sitio Ramsar (Ramsar, 1995).

Otra RTP dentro de la cuenca es “Guacamayita”, ubicada en los municipios de Mezquital y Pueblo Nuevo, Durango. Asimismo, la cuenca está reconocida como un Área de Importancia para la Conservación de los Murciélagos (AICOM), con un registro de 50 especies documentadas hasta la fecha, varias de ellas en el límite de su distribución (López-González *et al.*, 2014; Barquez *et al.*, 2022).

En México, las ANP son el principal instrumento para la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. A esto se suman otros instrumentos como el Pago por Servicios Ambientales (PSA) y las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA), que buscan involucrar a la población local en la conservación de los recursos (Arriaga *et al.*, 2000; CONANP, 2024b). A pesar de que en los últimos años se ha ampliado la red de áreas protegidas y se ha fortalecido la capacidad de gestión; la heterogeneidad biológica, la diversidad cultural y los procesos socioeconómicos en el país siguen representando un desafío importante para la conservación en las ANP (Koleff y Urquiza-Haas, 2011).

En la mayoría de los casos, además, ha hecho falta un enfoque metodológico adecuado en la planeación de la conservación, lo que se refleja en el establecimiento

de áreas sin un conocimiento claro de lo que realmente debe ser protegido, basándose en criterios intuitivos, políticos, de oportunidad, o en información limitada. Por ello, es fundamental que la planificación de las ANP tenga un enfoque integral de los ecosistemas y se base en investigación científica sólida con una visión a largo plazo (Bezaury-Creel y Gutiérrez Carbonell, 2009; Chávez González *et al.*, 2014).

Incluso después del establecimiento de las ANP, en muchos casos se desconoce si estas áreas garantizan la representatividad y persistencia de los diversos componentes de la biodiversidad (Sarukhán *et al.*, 2009, Sánchez-Cordero *et al.*, 2011). Además, las ANP óptimas pueden dejar de serlo cuando se presenta algún cambio que reduzca significativamente la calidad del hábitat, lo que hace necesario adaptar las existentes o proponer nuevos sitios. Por ello, la identificación y el establecimiento de áreas de conservación son procesos adaptables e iterativos, en los que la gestión desempeña un papel fundamental para su permanencia (Fuller *et al.*, 2007).

La Planeación Sistemática de la Conservación (PSC) surge como un método cuyo propósito es seleccionar áreas de conservación de manera eficiente con base en datos científicos, considerando criterios como el área mínima, rareza, complementariedad, endemidad, representatividad y conectividad de las especies. También se involucran variables de índole social, cultural, económica y política. Para la selección de nuevas áreas, esta metodología considera el sistema de ANP existente, con el objetivo de complementarlo y mejorar la representación de las especies sujetas a conservación. Integra una estructura dinámica de planeación que contempla trece pasos para la conservación, los cuales pueden ser retroalimentados, revisados y reorientados cuando y cuantas veces sea necesario. La PSC tiene dos metas principales: la representación y la persistencia de la biodiversidad, por medio de redes de áreas de conservación que abarquen la menor área posible, considerando además el costo-beneficio (Margules y Pressey, 2000; Sarkar e Illoldi-Rangel, 2010; Urquiza-Haas *et al.*, 2011).

A lo largo del tiempo, los estudios de planeación de la conservación se han realizado a diferentes escalas: global, continental, nacional y en menor medida,

regional. La PSC se enfoca en priorizar áreas que incluyan distintos niveles de la biodiversidad, lo cual debería incluir idealmente desde ecosistemas hasta genes, sin embargo, generalmente no existe la información necesaria para todos los niveles, ni para los distintos elementos de cada nivel. Por ello, se recurre a medidas parciales o subrogados de la biodiversidad. Éstos deben representar adecuadamente las características de la diversidad biológica en los protocolos de conservación, incrementando así la probabilidad de mantener los procesos ecológicos y la integridad del ecosistema a largo plazo (Sarkar *et al.*, 2006, Margules y Sarkar, 2009; Koleff y Urquiza-Haas, 2011).

Los subrogados pueden ser elementos del paisaje, tipos de hábitats, especies o combinaciones de estos elementos. Se caracterizan por ser cuantificables, por lo que con frecuencia se utiliza a los vertebrados terrestres, por ser un grupo paraguas y los mejor conocidos (Urquiza-Haas *et al.*, 2011). Se ha demostrado que, en conjunto, representan de manera efectiva los componentes de la biodiversidad en comparación con el uso de un solo grupo taxonómico (Monroy-Gamboa *et al.*, 2019). De igual manera, las plantas vasculares tienen un gran potencial como subrogados de la biodiversidad, ya que en los ecosistemas terrestres constituyen la mayor parte de la biomasa total y proporcionan la estructura física para la supervivencia de otros organismos (Santi *et al.*, 2010).

El presente trabajo tiene como objetivo aplicar herramientas de la PSC para identificar sitios que aseguren una representación adecuada de la biodiversidad en la cuenca del río San Pedro-Mezquital, a partir de especies selectas de vertebrados terrestres y plantas vasculares. Se busca generar una propuesta de red de áreas de conservación que pueda complementarse en el futuro con variables socioeconómicas y apoye a los tomadores de decisiones en la gestión y conservación de los recursos naturales de la cuenca.

## II. ANTECEDENTES

### 2.1 Biología de la conservación

La Biología de la conservación surge como una respuesta de la comunidad científica a la actual crisis de la pérdida de la biodiversidad. Su origen se fundamenta en cuatro hechos: (1) la amenaza actual a la diversidad biológica no tiene precedentes, (2) la amenaza a la biodiversidad aumenta a medida que se incrementa la población humana y sus tasas de consumo, (3) las amenazas a la diversidad biológica son sinérgicas, es decir, se potencian aditiva o multiplicativamente y (4) su aplicación busca una mayor comprensión sobre los efectos negativos que tiene la pérdida de la biodiversidad para la población humana (Primack *et al.*, 2001).

Su finalidad no solo es investigar los efectos humanos sobre las comunidades biológicas y los ecosistemas, sino también proponer enfoques prácticos para restaurar ecosistemas, reintroducir poblaciones, mantener poblaciones estables, prevenir la degradación del hábitat y la extinción de especies (Montenegro, 2009). A diferencia de otras ciencias biológicas, se considera una disciplina de crisis o emergente, donde a menudo es necesario tomar decisiones bajo restricciones de tiempo y plantear soluciones antes de contar con todos los datos deseables o necesarios. No obstante, estas decisiones se basan en la mejor evidencia científica disponible y en modelos predictivos, con el objetivo de minimizar los sesgos y la incertidumbre (Soulé, 1985).

### 2.2 Marco legal de las Áreas Naturales Protegidas en México

Las ANP son uno de los principales instrumentos que el Estado Mexicano utiliza para la conservación de la biodiversidad y los servicios ambientales. En México, las disposiciones de conservación están bajo un marco legal que sigue un orden jerárquico y abarca normas constitucionales, tratados internacionales, leyes federales, reglamentos y normas (Figura 1).



**Figura 1.** Jerarquía jurídica de México.

La administración de las ANP está a cargo de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), un organismo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), que puede contar con el apoyo de otros organismos desconcentrados, instituciones académicas, científicas o empresariales, así como de organizaciones civiles, para lograr una gestión efectiva. Entre estas instituciones se encuentran la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI). Las personas físicas o morales también pueden administrar una ANP; sin embargo, deben contar con capacidad técnica, financiera o de gestión, así como con un programa de trabajo que incluya los objetivos que se pretenden alcanzar (Herrera Izaguirre *et al.*, 2019).

La administración en las ANP es ejercida por un director nombrado por la SEMARNAT, quien es responsable de coordinar la formulación, ejecución y evaluación del programa de manejo correspondiente. Este programa, o en su caso, los acuerdos

de coordinación son supervisados y controlados por la autoridad a través de la PROFEPA.

El fundamento jurídico de la política ambiental es la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM). En su artículo 4º, párrafo quinto, se establece que toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar, y que el Estado garantizará el respeto a este derecho. De igual forma, el artículo 27 dispone que la Nación tiene el derecho de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con el objetivo de lograr una distribución equitativa de la riqueza pública y asegurar su conservación.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) (DOF, 1988), en el Título Segundo, relativo a la biodiversidad, establece los objetivos del establecimiento de las ANP, así como sus tipos y características; la zonificación de las áreas; la conformación del Consejo Nacional de Áreas Naturales Protegidas; las declaratorias para su creación y administración; la expedición de permisos, licencias, concesiones o autorizaciones para la exploración, explotación o aprovechamiento de los recursos; las características del programa de manejo; el establecimiento de Áreas Dedicadas Voluntariamente a la Conservación; las zonas de restauración; así como disposiciones relativas a la preservación y aprovechamiento sustentable de la flora y fauna silvestres. Asimismo, el Reglamento de la LGEEPA en materia de Áreas Naturales Protegidas (RLGEEPA) (DOF, 2000b) tiene por objeto hacer efectiva la aplicación de la ley en lo relativo al establecimiento, administración y manejo de las áreas naturales protegidas de competencia federal.

Otras leyes complementarias en la gestión de las ANP son la Ley General de Vida Silvestre (DOF, 2000a), la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (DOF, 2018), la Ley de Aguas Nacionales (DOF, 1992) y la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables (DOF, 2007), en las cuales se especifican las actividades de aprovechamiento de los recursos dentro de las ANP y en sus zonas de influencia.

En la Tabla 1 se desglosan los artículos y leyes relacionadas con la conservación de la diversidad biológica, contenidas en las constituciones estatales de las entidades que conforman la cuenca del río San Pedro-Mezquital.

**Tabla 1.** Constitución Política estatal y leyes aplicables para la conservación de la biodiversidad en las entidades federativas que conforman la cuenca del río San Pedro-Mezquital.

<b>Durango</b>	
<p><b>Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Durango</b></p>	<p><b>Artículo 26:</b> “Las personas tienen derecho a disfrutar de un medio ambiente adecuado para su desarrollo, así como la obligación de conservarlo”.</p> <p>Última reforma: 12 de septiembre de 2024.</p> <p><b>Párrafo segundo:</b> “Las autoridades estatales y municipales desarrollarán planes y programas para la preservación y mejoramiento de los recursos naturales; asimismo, promoverán el uso de tecnologías limpias y de energías alternativas, tanto en el sector público como en el privado”.</p> <p><b>Párrafo tercero:</b> “Se declara de interés público y de prioridad para las autoridades del Estado la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la recuperación de los espacios naturales degradados”.</p>
<p><b>Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Durango</b></p>	<p><b>Título segundo:</b> De la biodiversidad</p> <p><b>Capítulo I:</b> De las Áreas Naturales Protegidas.</p>
<p><b>Ley de Gestión Ambiental Sustentable para el Estado de Durango</b></p>	<p><b>Título cuarto:</b> De la biodiversidad.</p> <p><b>Capítulo I:</b> De las Áreas Naturales Protegidas.</p>

**Tabla 1.** (Continuación).

<b>Nayarit</b>		
<b>Constitución del Estado Libre y Soberano de Nayarit</b>	<b>Política</b>	<b>Artículo 134, fracción IV:</b> “Es responsabilidad del Gobierno del Estado y de los sectores social y privado, sujetar que la explotación y aprovechamiento de los recursos naturales, se cuide y garantice su conservación y el medio ambiente”.
Última reforma: 20 de junio de 2017.		
<b>Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Nayarit</b>	<b>Estatal</b>	<b>Artículo 64:</b> Declaratorias de áreas naturales protegidas.
Ultima reforma: 7 de junio de 2021.		
<b>Zacatecas</b>		
<b>Constitución del Estado Libre y Soberano de Zacatecas</b>	<b>Política</b>	<b>Artículo 30:</b> “Todo individuo tiene derecho a disfrutar de un medio ambiente adecuado y sano que propicie el desarrollo integral de manera sustentable”.
Última reforma: 14 de enero de 2025.	<b>Párrafo segundo:</b>	“El Estado dictará, en el ámbito de su competencia, las medidas apropiadas que garanticen la preservación del equilibrio ecológico, la protección del ambiente y el aprovechamiento racional de los recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de generaciones futuras”.

**Tabla 1.** (Continuación).

<b>Zacatecas</b>	
<b>Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Zacatecas</b>	<b>Título sexto:</b> De la protección de la biodiversidad. <b>Capítulo I:</b> De las Áreas Naturales Protegidas.
Última reforma: 10 de enero del 2018.	

Finalmente, entre los compromisos internacionales asumidos por el Estado mexicano en materia de conservación de la biodiversidad, y con fundamento en el artículo 133 de la Constitución, se encuentran el Convenio sobre la Diversidad Biológica, el Convenio sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, el Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el Acuerdo de París, el Protocolo de Nagoya y los Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos por la Asamblea General de las Naciones Unidas (CONANP, 2020).

### **2.3 Áreas Naturales Protegidas**

Las ANP se definen en el artículo 3° de la LGEEPA (DOF, 1988) como zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la Nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en las cuales los ambientes originales no han sido significativamente alterados por actividades antropogénicas, o bien que requieren ser preservadas y restauradas. En México, su origen se remonta a 1917, con el decreto del Parque Nacional Desierto de los Leones en la Ciudad de México, cuyo propósito era asegurar el abastecimiento de agua mediante la conservación de 14 manantiales localizados en esta zona (González Ocampo *et al.*, 2014). Desde entonces, el sistema de áreas de conservación sigue creciendo y en la actualidad se conforma por 232 ANP y 605 ADVC de carácter federal,

que en conjunto abarcan un total de 99,245,133 ha del territorio nacional (CONANP, 2024a).

A fin de gestionar el manejo de las ANP, el artículo 47 BIS de la LGEEPA (DOF, 1988) establece un esquema de zonificación, en el cual cada tipo de zona y subzona tiene objetivos de manejo específicos. Esto permite que, dentro de un área decretada, puedan realizarse distintas actividades compatibles con las características físicas, biológicas, sociales y económicas de la zona. En cada ANP, las zonas se definen en su declaratoria de creación, mientras que las subzonas se determinan en el programa de manejo correspondiente. Asimismo, la categoría del área protegida define cuáles zonas y subzonas son aplicables en ella.

Las zonas núcleo tienen como propósito principal la preservación de los ecosistemas y su funcionalidad en el mediano y largo plazo. En ellas se permite la realización de actividades relacionadas con la conservación, la investigación científica, la colecta con fines autorizados y educación ambiental, mientras que los aprovechamientos que puedan alterar el ecosistema son restringidos o prohibidos. Estas zonas pueden incluir subzonas de protección y de uso restringido.

Por otro lado, las zonas de amortiguamiento tienen la función de regular los usos y aprovechamientos permitidos dentro del área protegida. Pueden dividirse en distintas subzonas, como las de preservación, uso tradicional, aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, aprovechamiento sustentable de los ecosistemas, aprovechamiento especial, uso público, asentamientos humanos y recuperación.

El Artículo 46 de la LGEEPA (DOF, 1988) establece las categorías de manejo de las ANP, las cuales responden a los objetivos específicos para los que fueron creadas, así como a las regulaciones necesarias para el seguimiento de las actividades que se desarrollan dentro de las distintas zonas que las conforman.

### 2.3.1 Reservas de la Biosfera

Son áreas de relevancia nacional que conservan ecosistemas poco alterados o que podrían restaurarse, representan la diversidad ecológica del país y albergan especies endémicas, representativas o en riesgo. Permiten todas las subzonas de manejo; en las zonas núcleo solo se autorizan actividades de conservación, investigación y educación ambiental, mientras que los aprovechamientos que alteren los ecosistemas están prohibidos. En las zonas de amortiguamiento únicamente se permiten actividades productivas realizadas por comunidades que habitaban el área antes del decreto (Íñiguez Dávalos *et al.*, 2014; Íñiguez Dávalos *et al.*, 2015; CONANP, 2018).

### 2.3.2 Parques Nacionales

Se ubican en sitios destacados por su valor escénico, histórico, científico, educativo, recreativo o turístico. Su zonificación puede incluir zonas núcleo de protección y uso restringido, así como zonas de amortiguamiento con subzonas de uso tradicional, uso público y recuperación. En casos específicos, y si así lo establece el decreto, pueden incorporarse subzonas de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (Íñiguez Dávalos *et al.*, 2014; Íñiguez Dávalos *et al.*, 2015; CONANP, 2018).

### 2.3.3 Áreas de Protección de Flora y Fauna

Son espacios que resguardan hábitats fundamentales para la permanencia, transformación y desarrollo de especies silvestres. Se permite realizar actividades de preservación, repoblación, propagación, refugio, investigación, educación, difusión y aprovechamiento sustentable, siempre que se ajusten a las normas oficiales mexicanas y a los usos de suelo definidos en la declaratoria del área (Íñiguez Dávalos *et al.*, 2014; Íñiguez Dávalos *et al.*, 2015; CONANP, 2018).

### 2.3.4 Áreas de Protección de Recursos Naturales

Se destinan a la protección del suelo, las cuencas hidrográficas, el agua y otros recursos naturales presentes en terrenos forestales. Abarcan reservas, zonas forestales y cuerpos de agua considerados como aguas nacionales, en especial aquellos que abastecen a la población. Permiten actividades de preservación, protección, investigación, educación, turismo y aprovechamiento sustentable. Pueden

establecerse todas las zonas y subzonas de manejo, aunque su aplicación dependerá de lo que se disponga en el decreto y el programa correspondiente (Íñiguez Dávalos *et al.*, 2014; Íñiguez Dávalos *et al.*, 2015; CONANP, 2018).

### 2.3.5 Monumentos Naturales

Son sitios que resguardan elementos naturales de alto valor estético, histórico o científico, los cuales se protegen bajo un régimen estricto. No presentan la diversidad ni la extensión necesarias para incluirse en otras categorías. Su zonificación se limita a zonas núcleo con subzonas de protección y uso restringido, y zonas de amortiguamiento con subzonas de uso público y recuperación (Íñiguez Dávalos *et al.*, 2014; Íñiguez Dávalos *et al.*, 2015; CONANP, 2018).

### 2.3.6 Santuarios

Se localizan en áreas con alta concentración de flora o fauna, o en sitios donde existen especies o hábitats de distribución restringida. Pueden abarcar cañadas, vegas, relictos, grutas, cavernas, cenotes, caletas u otras unidades topográficas que requieren protección. Solo se permiten actividades de investigación, recreación y educación ambiental. Su zonificación contempla zonas núcleo de protección y uso restringido, así como zonas de amortiguamiento de uso público y de recuperación (Íñiguez Dávalos *et al.*, 2014; Íñiguez Dávalos *et al.*, 2015; CONANP, 2018).

### 2.3.7 Áreas Dedicadas Voluntariamente a la Conservación

Son espacios que, por iniciativa de pueblos indígenas, organizaciones sociales o personas morales públicas o privadas, se destinan voluntariamente a la conservación. Aunque su manejo se enmarca en el ámbito federal, la participación recae en los propios poseedores de las tierras. La certificación de estas áreas puede facilitar el acceso a incentivos nacionales e internacionales, como los programas de pago por servicios ambientales (Íñiguez Dávalos *et al.*, 2014; Íñiguez Dávalos *et al.*, 2015; CONANP, 2018).

### 2.3.8 Áreas de Conservación fuera del ámbito federal o privadas

De acuerdo con las legislaciones locales, los gobiernos estatales y municipales pueden establecer ANP dentro de sus territorios. No obstante, no tienen facultades para

decretar como protegidas aquellas áreas que ya hayan sido designadas como tales a nivel federal, salvo en el caso de las áreas de protección de recursos naturales (Íñiguez Dávalos *et al.*, 2014; Íñiguez Dávalos *et al.*, 2015; CONANP, 2018).

#### **2.4 Métodos para la identificación de áreas prioritarias de conservación**

Muchas de las ANP actualmente reconocidas, especialmente aquellas decretadas a finales del siglo XIX y durante las primeras siete décadas del siglo XX, fueron establecidas principalmente por su belleza escénica, su valor en la provisión de servicios ambientales o, incluso, de manera oportunista, sin una evaluación previa que priorizara la conservación ni garantizara una representación adecuada de la biodiversidad, en particular de las especies vulnerables o en riesgo (Koleff *et al.*, 2009; Koleff y Urquiza-Haas, 2011).

El proceso de selección de áreas prioritarias para la conservación es un reto que implica resolver un problema de optimización. Las áreas seleccionadas deben ser viables desde el punto de vista económico, técnico y logístico, considerando los recursos humanos e infraestructura disponibles para implementar programas y estrategias de conservación. Al mismo tiempo, el objetivo es maximizar las especies representadas, minimizando el área requerida para garantizar su conservación (Sánchez-Cordero *et al.*, 2008).

Las metodologías para identificar áreas prioritarias han evolucionado desde enfoques meramente intuitivos hacia procedimientos cualitativos y analíticos cuantitativos. Los métodos cualitativos se basan en análisis simples y en el juicio de expertos, considerando criterios como el valor escénico, el uso recreativo del paisaje o la ausencia de aprovechamientos forestales. Aunque son rápidos, accesibles y de bajo costo, presentan altos niveles de incertidumbre y un mayor margen de error en la delimitación de las áreas prioritarias. En contraste, los métodos cuantitativos reducen la incertidumbre y la inconsistencia mediante diversas herramientas estadísticas. Con apoyo de la estadística espacial, permiten generar modelos predictivos a diferentes escalas espaciotemporales e integrar variables biológicas, sociales y ecológicas.

Además, pueden incorporar elementos cualitativos en su proceso metodológico, como talleres locales y regionales, encuestas y consulta a expertos (Chávez González *et al.*, 2014).

## **2.5 Planeación Sistemática de la Conservación**

La Planeación Sistemática de la Conservación (PSC) es un enfoque estructurado en pasos para seleccionar sistemas de áreas para la conservación, los cuales pueden ser retroalimentados, revisados y reorientados en cualquiera de sus fases. Aunque su objetivo principal es identificar nuevas áreas prioritarias, también considera el sistema existente de áreas protegidas e integra esa información para fortalecerlo. A continuación, se detallan los pasos que forman parte de la PSC (Margules y Sarkar, 2009; Sarkar e Illoldi-Rangel, 2010):

1. Elegir y delimitar una región para la planeación: La selección del límite geográfico debe hacerse desde el inicio y en función de los objetivos de conservación.
2. Identificar a los actores sociales de la región sujeta a planeación: Los actores sociales incluyen a quienes tienen poder de decisión sobre la región, a las personas afectadas por los planes de conservación, a especialistas con conocimiento científico sobre la zona y a quienes puedan aportar recursos para la planeación y ejecución de la conservación.
3. Compilar, evaluar y refinar los datos socioeconómicos y de biodiversidad: Se recopilan los datos disponibles sobre la distribución geográfica de las especies, los parámetros bióticos, ambientales y socioambientales. Antes de su uso, es fundamental evaluar su autenticidad y confiabilidad.
4. Dar tratamiento a los datos y construir modelos de distribución geográfica: Implica el tratamiento de los datos existentes, considerando que la calidad de los resultados dependerá del cuidado y la atención puestos en el proceso.
5. Identificar los subgrupos de la biodiversidad para la región: Se seleccionan subconjuntos de especies, ensamblajes de especies, variables ambientales o combinaciones de estos, siendo comunes las especies en riesgo, endémicas o raras.

6. Establecer objetivos y metas de conservación: Se definen metas de representación de los subrogados, considerando poblaciones viables, extensión de hábitats o categorías ambientales, en función de la gestión y recursos disponibles.
7. Revisar el sistema existente de áreas de conservación: Se evalúa en qué medida se han cumplido los objetivos de conservación y, con ello, se identifican los vacíos que deben ser cubiertos por nuevas áreas de conservación.
8. Priorizar las nuevas áreas potenciales para acciones de conservación y manejo: A partir del sistema existente, se identifican áreas complementarias siguiendo criterios de rareza-complementariedad, optimizando su superficie y considerando los costos socioeconómicos.
9. Evaluar las áreas seleccionadas de acuerdo con su vulnerabilidad: Se analiza la viabilidad del hábitat y su susceptibilidad ante amenazas para estimar la persistencia de la biodiversidad.
10. Refinar las áreas seleccionadas: Se realiza un análisis de jerarquización y se excluyen aquellas zonas que no aseguren la persistencia del hábitat para los subrogados de la biodiversidad.
11. Examinar la viabilidad de ejecución mediante un análisis multicriterio: Se evalúan los escenarios más factibles para implementar el plan.
12. Ejecutar el plan de conservación: Se establecen los mecanismos de protección legal, los plazos y los recursos necesarios para cada área priorizada.
13. Reevaluar y monitorear el sistema de áreas: Se implementa un monitoreo continuo mediante indicadores que permitan verificar el cumplimiento de los objetivos y la eficacia del proceso.

De los pasos que conforman la PSC, este trabajo aborda los aspectos biológicos correspondientes a los pasos 1, 3, 4, 5, 6, 7 y 8. Estos incluyen la selección del área de estudio, la recopilación y procesamiento de datos, la identificación de subrogados, el establecimiento de metas de conservación, la evaluación de la representatividad de las ANP existentes en la cuenca y, finalmente, el desarrollo de una propuesta de áreas prioritarias basada únicamente en criterios biológicos.

## 2.6 Nicho ecológico

A diferencia del concepto de hábitat, que se refiere al entorno físico donde vive una especie, incluyendo sus condiciones geográficas y ambientales, el nicho ecológico abarca el conjunto de condiciones bióticas y abióticas en las que una especie puede vivir, desarrollarse y reproducirse, representadas en un hipervolumen  $n$ -dimensional (Begon *et al.*, 2006). El nicho fundamental incluye todas las condiciones abióticas bajo las cuales una especie podría vivir potencialmente, mientras que el nicho realizado es la fracción de ese hipervolumen donde la especie realmente existe (Hutchinson, 1957). Aunque en teoría una especie podría sobrevivir dentro de su nicho fundamental, factores como las interacciones bióticas, la capacidad de dispersión, las condiciones climáticas y su historia de vida determinan el espacio ecológico en el que efectivamente se establece (Begon *et al.*, 2006).

Las interacciones interespecíficas desempeñan un papel crucial en la supervivencia y dinámica ecológica de las poblaciones biológicas. Si bien los organismos interactúan, la forma en que estas interacciones se manifiestan depende de las características particulares de cada especie, lo que implica que no cualquier organismo competirá o parasitará a otro de manera indiscriminada. En un escenario ideal, incorporar las relaciones interespecíficas en los planes de conservación sería fundamental, ya que constituyen un componente clave del nicho ecológico de las especies. Esto permitiría una comprensión más integral de los factores que influyen en su supervivencia y dinámica, favoreciendo estrategias de conservación más efectivas. No obstante, en la práctica, las limitaciones metodológicas y de recursos dificultan su evaluación, principalmente debido a la escala geográfica en la que usualmente se trabaja (Peterson y Holt, 2003; Begon *et al.*, 2006).

## 2.7 Modelado de nicho ecológico

Una pieza clave de la PSC es la priorización de sitios geográficos donde enfocar los esfuerzos de conservación. Actualmente, existen herramientas que permiten modelar las áreas con condiciones ambientales idóneas para las especies, lo que facilita la toma de decisiones. En este contexto, los modelos de nicho ecológico (MNE) son

fundamentales, ya que integran registros de presencia de un grupo de especies de interés junto con variables ambientales, con el fin de aproximarse al nicho ecológico fundamental de una especie en las dimensiones ambientales examinadas. Aunque estos modelos describen la idoneidad en el espacio ecológico, comúnmente se proyectan en el espacio geográfico, donde se espera que la especie esté presente (Phillips *et al.*, 2006; Sillero y Barbosa, 2021; Cobos *et al.*, 2023).

Un modelo busca representar numéricamente fenómenos para explicar la realidad, un MNE constituye una aproximación limitada de las “n” dimensiones que los organismos requieren para subsistir; es decir, representa una interpretación simplificada del nicho en la naturaleza (Phillips *et al.*, 2006). Más allá de modelar el nicho realizado, lo cual implicaría conocer las interacciones bióticas y la dinámica ecológica de las especies, este proyecto se enfocó en estimar el nicho fundamental potencial a partir de registros de presencia y variables ambientales.

Se reconocen tres tipos principales de modelos de nicho ecológico. Los modelos correlativos estiman áreas idóneas para una especie a partir de la relación estadística entre su distribución geográfica conocida y variables ambientales. Dentro de este enfoque, MaxEnt es el algoritmo más utilizado en el campo del aprendizaje automático, junto con métodos estadísticos como los Modelos Aditivos Generalizados (GAMs) y los Modelos Lineales Generalizados (GLMs) (Elith y Leathwick, 2009).

También existen enfoques basados en similitud ambiental y reglas de expertos, como el Análisis de Factores del Nicho Ecológico (ENFA, por sus siglas en inglés). Este método compara las condiciones ecológicas de los sitios con registros de presencia de la especie con aquellas disponibles en la región de estudio, estimando el grado de marginalidad y especialización ecológica mediante datos de presencia (Basilie *et al.*, 2008).

En contraste, los modelos mecanicistas emplean información detallada sobre la fisiología de las especies y principios biofísicos para estimar la idoneidad del hábitat. Finalmente, los modelos orientados a procesos integran factores ecológicos clave, como la capacidad de dispersión y las interacciones bióticas, para predecir la distribución potencial de las especies (Melo-Merino *et al.*, 2020).

## 2.8 Herramientas computacionales para la priorización espacial en conservación

En el marco de la PSC, se han desarrollado diversas herramientas computacionales que facilitan la selección de áreas prioritarias mediante enfoques de optimización espacial. Marxan es una de las más utilizadas y opera mediante un algoritmo de *simulated annealing*, el cual permite encontrar soluciones costo-efectivas para representar especies o ecosistemas dentro de un conjunto de sitios (Ball *et al.*, 2009). Por su parte, Zonation prioriza áreas mediante un orden jerárquico que no requiere metas explícitas, enfocándose en conservar los sitios con mayor valor de biodiversidad (Moilanen *et al.*, 2005). Otra herramienta es ResNet, que utiliza búsqueda tabú para encontrar configuraciones óptimas de redes de conservación, basadas en los principios de rareza y complementariedad. Este procedimiento metaheurístico emplea memoria adaptativa, que impide volver a soluciones previamente exploradas y permite generar nuevas alternativas que satisfacen los criterios definidos por el usuario (Glover *et al.*, 1993; Sarkar *et al.*, 2002). La elección entre estas herramientas depende de los objetivos del análisis, la información disponible y los criterios establecidos.

En este trabajo se empleó ConsNet, una herramienta con interfaz gráfica de usuario (GUI, por sus siglas en inglés), que también implementa algoritmos de búsqueda tabú para optimizar la configuración espacial de redes de conservación. Esta herramienta considera criterios como el tamaño, la compacidad y la conectividad entre las unidades seleccionadas. A diferencia de ResNet, ConsNet permite visualizar las soluciones generadas y ajustar los parámetros de forma interactiva, sin necesidad de utilizar línea de comandos. Para facilitar el proceso de priorización, el área de estudio se divide en celdas que contienen información binaria de presencia-ausencia de los subrogados. A partir de esta matriz, el algoritmo identifica combinaciones de celdas que cumplen con los criterios definidos por el usuario, como el porcentaje mínimo de representatividad de los subrogados y las áreas que deben incluirse o excluirse en la solución. El proceso es iterativo, y la calidad del resultado final depende tanto del objetivo del análisis como del tiempo de ejecución disponible (Ciarleglio *et al.*, 2009; Ciarleglio *et al.*, 2010a; Abdollahi *et al.*, 2024).

### III. JUSTIFICACIÓN

La cuenca del río San Pedro-Mezquital (CSPM) destaca por su heterogeneidad ambiental, derivada de su ubicación, compleja topografía y gradientes altitudinales. Estos factores favorecen una amplia diversidad de ecosistemas y especies, muchas de ellas endémicas o bajo alguna categoría de riesgo (López-González *et al.*, 2014). Además de su riqueza biológica, el río provee servicios ecosistémicos esenciales, como el suministro de agua dulce para los habitantes de la cuenca, y alimenta la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales Nayarit (WWF, 2012a).

Aunque la corriente principal del río San Pedro-Mezquital mantiene un flujo libre en el 72 % de su trayecto, varios de sus afluentes en la cuenca alta, ubicados aguas arriba de la ciudad de Durango, como La Saucedá, Santiago Bayacora, El Durango y El Tunal, han sufrido una reducción en su caudal debido al uso del agua para consumo humano, así como para actividades agrícolas y pecuarias (WWF, 2009). A pesar de que en la cuenca existen cinco áreas naturales protegidas de carácter federal, hasta el momento no se ha evaluado si éstas garantizan una representación adecuada de su elevada biodiversidad, y dos de ellas aún no cuentan con un programa de manejo publicado.

En México, los recursos económicos destinados a la conservación deben asignarse estratégicamente a áreas prioritarias desde el punto de vista biológico, económico y social, en las que las estrategias de conservación resulten efectivas (Figueroa y Sánchez-Cordero, 2008). Sin embargo, la falta de un análisis integral que identifique sitios prioritarios dentro de la CSPM pone en riesgo no solo la efectividad de las ANP existentes, sino también la persistencia de la diversidad biológica fuera de ellas.

Es indispensable implementar una metodología sistemática que permita identificar áreas de conservación prioritarias, basándose en la representatividad de los diversos elementos biológicos de la cuenca. Esto permitirá optimizar los recursos económicos disponibles y asegurar que las decisiones se fundamenten en criterios científicos, en lugar de enfoques oportunistas o limitados.

El presente proyecto tiene como objetivo aplicar herramientas de Planeación Sistemática de la Conservación, con un enfoque biológico, para identificar áreas prioritarias dentro de la CSPM. De este modo, se busca asegurar la representación y persistencia de la biodiversidad, fortaleciendo los esfuerzos de conservación actuales y estableciendo una base para la planificación futura de las áreas protegidas.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general**

Proponer áreas de conservación en la cuenca del río San Pedro-Mezquital mediante herramientas de la Planeación Sistemática de la Conservación, con el fin de identificar sitios que aseguren la representación de su biodiversidad.

### **4.2 Objetivos específicos**

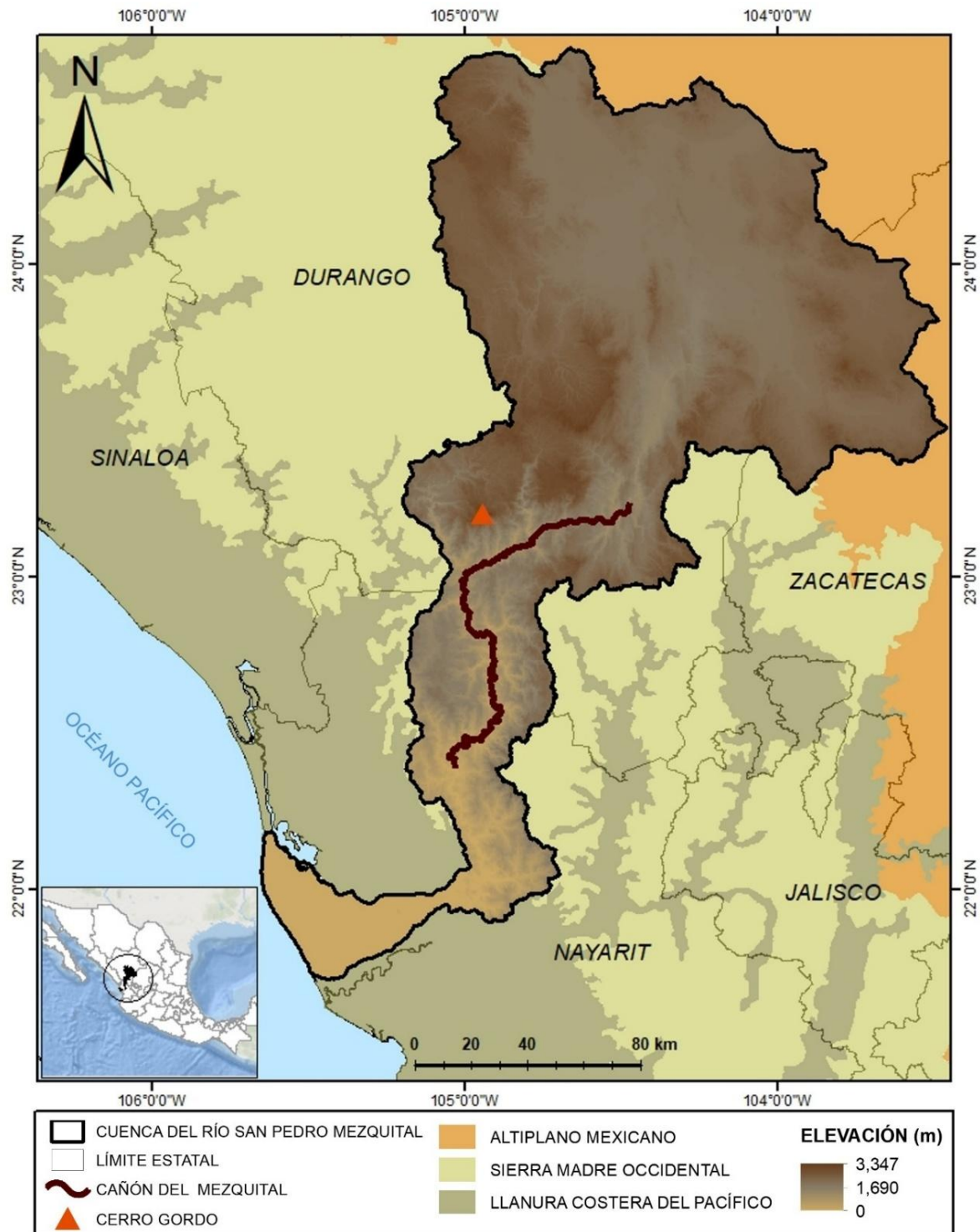
- Seleccionar las especies que se utilizarán como subrogados de la biodiversidad, a partir de registros de vertebrados terrestres y plantas vasculares presentes en la cuenca.
- Generar modelos de nicho ecológico para los subrogados seleccionados.
- Evaluar la representatividad de los subrogados en las áreas naturales protegidas decretadas en la cuenca.
- Proponer nuevas áreas de conservación mediante un enfoque basado en rareza-complementariedad, considerando las áreas naturales protegidas decretadas y contrastar estos resultados con un escenario nulo.

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Descripción del área de estudio

#### 5.1.1 Ubicación y delimitación

La cuenca del río San Pedro-Mezquital (CSPM) se ubica en la zona de transición entre las regiones Neártica y Neotropical. Abarca tres provincias biogeográficas: el Altiplano Mexicano en la cuenca alta, la Llanura Costera del Pacífico en la cuenca baja, y la Sierra Madre Occidental (SMO), que atraviesa la cuenca de noroeste a sureste y conecta ambas provincias (Morrone, 2019). El polígono considerado en este trabajo corresponde a la delimitación hecha por la WWF (WWF, 2012b). Bajo esta definición, la cuenca tiene una extensión de 27,674 km<sup>2</sup>, de los cuales el 74 % pertenece al estado de Durango, el 16 % a Nayarit y el 10 % a Zacatecas. Se encuentra entre las latitudes extremas 24.7° y 21.7° N, y las longitudes extremas -105.65° y -103.46° O. La elevación varía desde el nivel del mar hasta los 3,347 metros sobre el nivel del mar, en el Cerro Gordo, que constituye la cima más alta de la SMO y de toda la cuenca, localizada en el municipio de Pueblo Nuevo, Durango (Ruacho-González *et al.*, 2013) (Figura 2).



**Figura 2.** Ubicación, fisiografía y elevación de la cuenca del río San Pedro Mezquital, según datos de Morrone (2019) y Reyes-Carrillo (2020).

### 5.1.2 Clima

En la cuenca alta predomina un clima semiseco templado (BS1k), con una precipitación media anual de 400 a 600 mm y temperaturas medias anuales entre 12 °C y 18 °C. En las partes altas de la vertiente oriental de la SMO se presenta un clima subhúmedo templado (Cw0), con precipitaciones anuales de 600 a 800 mm, mientras que en la vertiente occidental domina el clima subhúmedo templado con verano más lluvioso (Cw2), con precipitaciones de 700 a 1,200 mm. En ambos casos, las temperaturas medias anuales oscilan entre 12 °C y 18 °C. Desde el cañón del Mezquital hacia el suroeste, y en los fondos de los cañones, predominan climas cálidos subhúmedos (Aw1), con una precipitación media anual de 800 a 1,300 mm. Finalmente, en el extremo sur de la cuenca, entre las latitudes 22.35° N y 21.54° N, antes de desembocar en Marismas Nacionales, prevalece un clima cálido subhúmedo (Aw2), con una precipitación anual que varía entre 1,000 y 1,500 mm (García, 2004; INEGI, 2008).

### 5.1.3 Hidrología

La CSPM se localiza en la Región Hidrológica Administrativa (RHA) III Pacífico Norte y, a su vez, en la Región Hidrológica (RH) 11 Presidio-San Pedro. La cuenca forma parte de la subregión hidrológica del río San Pedro, en conjunto con la Laguna de Santiaguillo. Esta subregión limita al norte con la Región Hidrológica 36 Nazas-Aguanaval, al sur y al este con la cuenca del río Santiago, y al oeste con la cuenca del río Acaponeta y el océano Pacífico (SEMARNAT, 2014).

La CSPM se conforma por diez subcuencas: La Taponá, río La Saucedá, río El Tunal, río Santiago Bayacora, río Durango, río Poanas, río Súchil, río Graseros, río San Pedro-Mezquital y río San Pedro-Desembocadura. En la cuenca alta se localizan seis presas: Caboraca, Francisco Villa, Guadalupe Victoria, Peña del Águila, Santa Elena y Santiago Bayacora (Figura 3). El río San Pedro-Mezquital presenta un escurrimiento medio anual de 2,700 hm<sup>3</sup> y se origina en la SMO, a partir de la

confluencia de los ríos Tunal, La Sauceda y Santiago Bayacora, que al unirse forman el río Durango (Márquez-Linares, 2017).

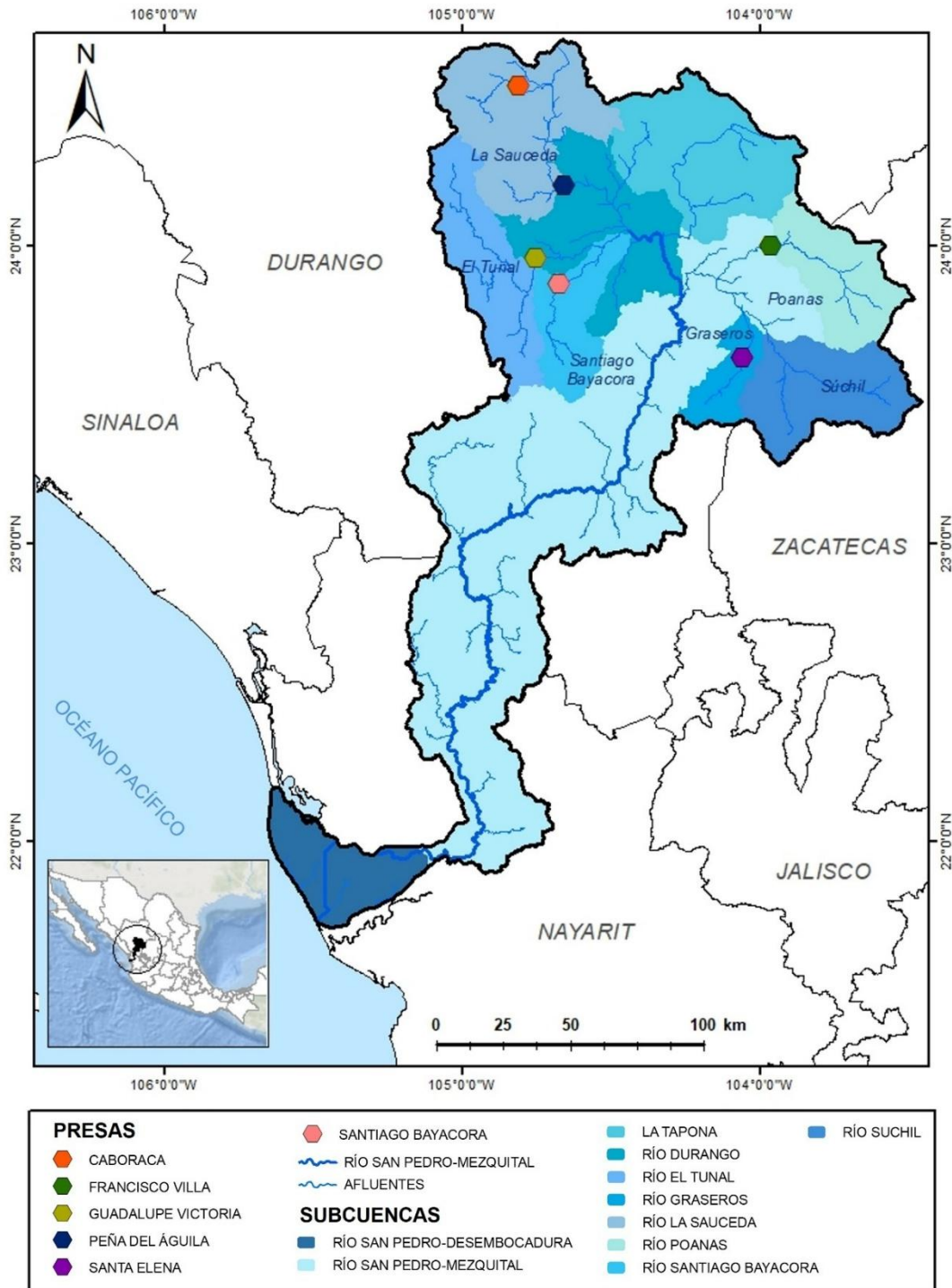
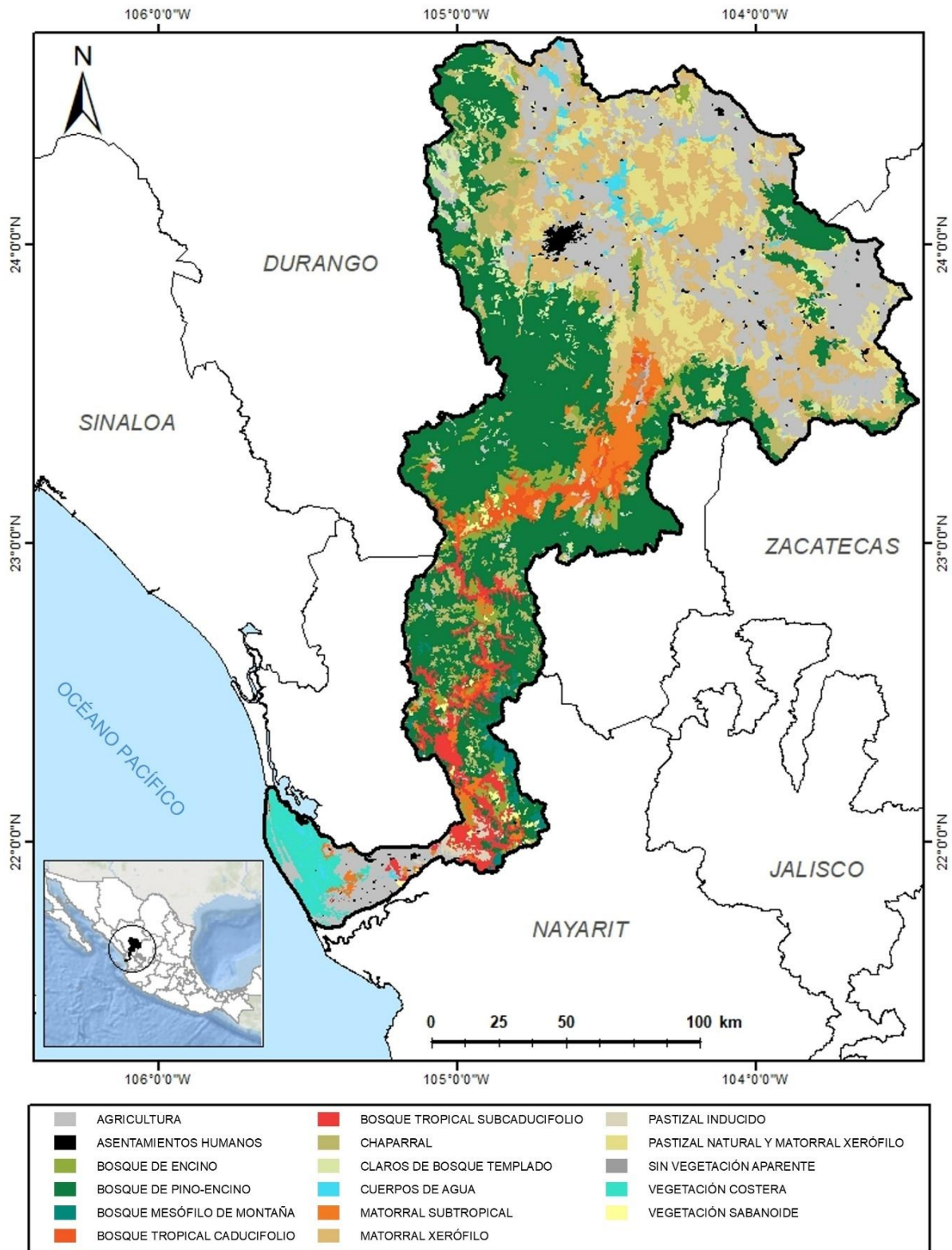


Figura 3. Subcuencas e hidrología de la cuenca del río San Pedro-Mezquital, según datos de IMTA (2024).

La corriente fluye por el Valle del Guadiana en dirección noroeste-sureste; posteriormente, recibe el nombre de “Nombre de Dios” y cambia su curso hacia el sur al adentrarse en la zona montañosa, a la altura del poblado del Venado. Cruza la SMO a través de la localidad de El Mezquital, Durango, donde toma el nombre de río Mezquital. Desde ese punto hasta el poblado de Xoconoxtle, Durango, el río mantiene una dirección sur. A medida que avanza, el cañón por el que fluye se vuelve más profundo y angosto, especialmente aguas abajo de Xoconoxtle. Más adelante, el río Mezquital recibe por su margen derecha al arroyo Dolores y, treinta kilómetros después, al arroyo Colorado. Posteriormente, entra al estado de Nayarit, donde se le une el río San Pedro, retomando ese nombre. La corriente continúa su trayecto atravesando los poblados de San Pedro Ixcatán y Tuxpan, hasta desembocar en la Laguna de Mexcaltitán. Ahí, junto con los ríos Acaponeta y Santiago, forma un extenso sistema de manglares antes de desembocar finalmente en el océano Pacífico (CONANP, 2013a; SEMARNAT, 2014).

#### 5.1.4 Vegetación y uso de suelo

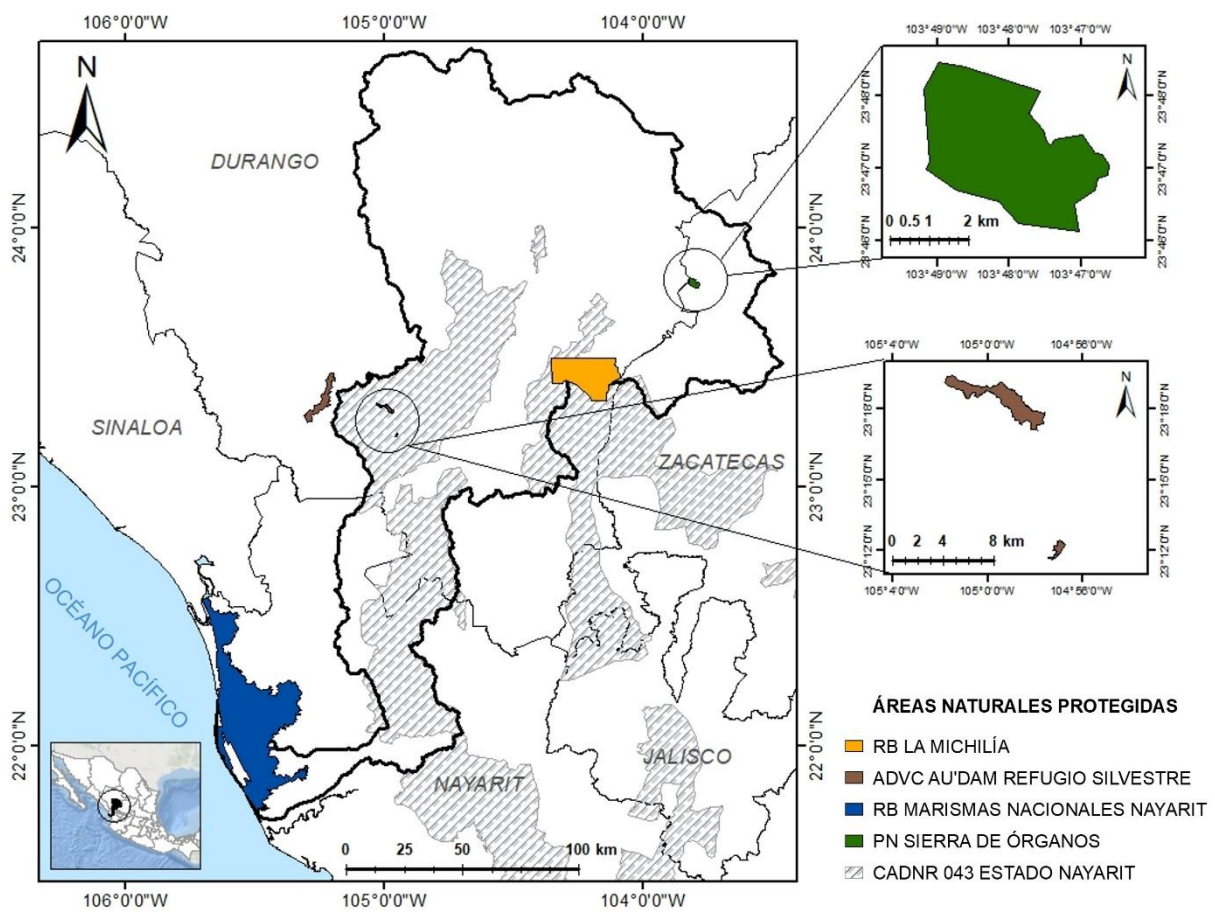
A partir de la capa de uso de suelo y vegetación, Serie VII del INEGI escala 1:250,000 (INEGI, 2021), y con la asesoría de la Dra. María del Socorro González Elizondo (profesora-investigadora del CIIDIR Durango), se generó un mapa en el que se agruparon categorías y se ajustó la extensión de algunos polígonos. Asimismo, se modificaron los nombres de ciertas clases de vegetación siguiendo la nomenclatura de Rzedowski (2006), cuyos detalles se especifican en el Anexo I. Con base en estos criterios ajustados, la CSPM cuenta con 13 tipos de vegetación, entre los cuales destacan el bosque de pino-encino (32 %) y el matorral xerófilo (15 %). Este mapa se utilizó para delimitar las áreas excluidas del análisis de selección de áreas prioritarias, tales como asentamientos humanos, zonas desprovistas de vegetación y áreas agrícolas, y como parte del análisis multicriterio empleado en la priorización de áreas de conservación (Figura 4).



**Figura 4.** Vegetación y uso de suelo en la cuenca del río San Pedro-Mezquital, modificado de INEGI (2021).

### 5.1.5 Áreas Naturales Protegidas en la cuenca del río San Pedro-Mezquital

Actualmente, cinco ANP se encuentran total o parcialmente en la CSPM: el Parque Nacional (PN) Sierra de Órganos, la Reserva de la Biosfera (RB) La Michilía, el Área Destinada Voluntariamente a la Conservación (ADVC) AU'DAM Refugio Silvestre, que comprende tres polígonos (dos de ellos ubicados dentro de la cuenca), la RB Marismas Nacionales y la Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego (CADNR) 043 (CONANP, 2018) (Figura 5).



**Figura 5.** Áreas Naturales Protegidas en la cuenca del río San Pedro-Mezquital, según datos de CONANP (2024a).

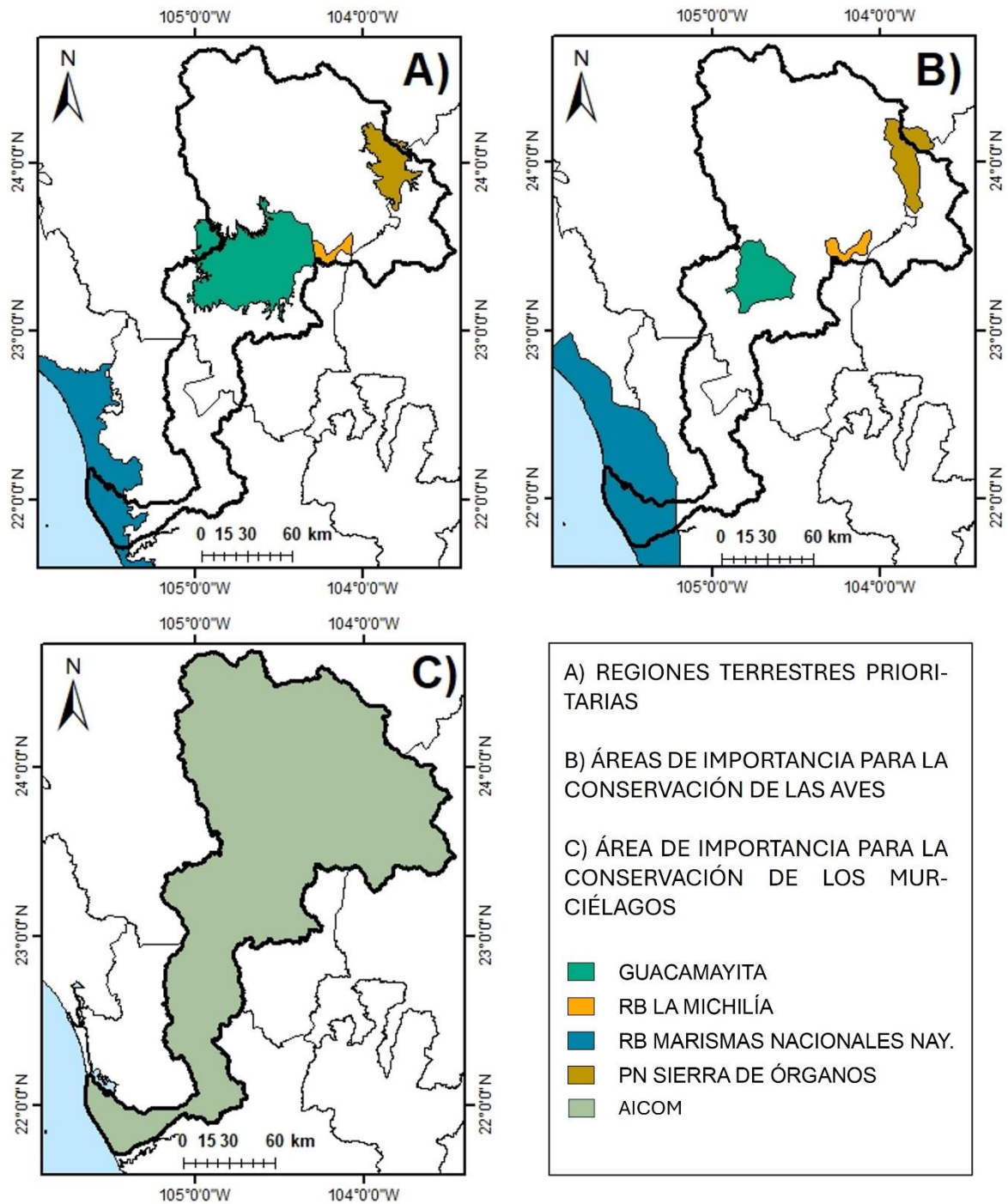
La Tabla 2 presenta la extensión de estas áreas, el año en que fueron decretadas y para las ANP con un programa de manejo publicado, la fecha de la versión más reciente (CONANP, 2013a; CONANP, 2013b).

**Tabla 2.** Características de las Áreas Naturales Protegidas en la cuenca del río San Pedro-Mezquital.

Áreas Naturales Protegidas	Superficie (km <sup>2</sup> )	Superficie en la cuenca (km <sup>2</sup> )	% superficie de la ANP en la cuenca	% superficie que la ANP ocupa en la cuenca	Año de decreto	Año de publicación del programa de manejo
CADNR 043	23,292	6,744	28.95	24.37	1949	No publicado
PN Sierra de Órganos	11.25	11.25	100	0.04	2000	2013
RB La Michilía	350	267	76.28	0.96	1979	No publicado
RB Marismas Nacionales Nayarit	1,338.63	586.30	43.80	2.19	2010	2013
ADVC AU'DAM Refugio Silvestre	67	8.21	12.25	0.03	2023	No publicado

#### 5.1.6 Áreas de Importancia para la conservación en la cuenca del río San Pedro-Mezquital

En la Figura 6 se muestran las Regiones Terrestres Prioritarias de CONABIO (Arriaga *et al.*, 2000), las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves y se indica a la CSPM como un Área de Importancia para la Conservación de los Murciélagos (AICOM) (Barquez *et al.*, 2022).



**Figura 6.** Áreas de Importancia para la conservación en la CSPM, según datos de Arriaga *et al.* (2000), CONABIO (2015) y Barquez *et al.* (2022).

### 5.1.7 Población

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda de 2020 (INEGI, 2020), la CSPM tiene una población de 820,374 habitantes, distribuidos mayoritariamente en el área metropolitana de la ciudad de Durango (Tabla 3). La cuenca comprende territorio de 21 municipios, de los cuales 18 se encuentran parcialmente dentro de ella. Por otra parte, en la cuenca habitan los pueblos indígenas: Tepehuanos del Sur (O'dam y Au'dam) en El Mezquital y Pueblo Nuevo, Durango; Coras (Náayeri) en El Nayar, Rosa Morada y Ruiz, Nayarit; Huicholes (Wixárica) en Santiago Ixcuintla, Nayarit; y Nahuas (Mexicaneros) en San Juan Buenaventura, Durango (INPI, 2025).

**Tabla 3.** Municipios y población en la cuenca del río San Pedro-Mezquital.

Estado	Municipios	% superficie municipal en la cuenca	% superficie que el municipio ocupa en la cuenca	Número de habitantes (INEGI, 2020)
Durango	Canatlán	54.79	7.14	11,943
	Cuencamé	4.57	0.91	-
	Durango	65.80	22.79	622,995
	Guadalupe Victoria	63.56	3.12	23,077
	Mezquital	59.13	18.47	2,106
	Nombre de Dios	100.00	4.42	19,060
	Nuevo Ideal	3.74	0.26	-
	Poanas	100.00	4.21	25,623
	Pueblo Nuevo	22.06	5.73	547
	Pánuco de Coronado	61.32	2.35	5,256
	Súchil	59.72	3.27	4,071
	Vicente Guerrero	100.00	1.38	23,476
Nayarit	Acaponeta	31.59	1.68	283
	Del Nayar	22.93	4.40	90

**Tabla 3.** (Continuación).

<b>Estado</b>	<b>Municipios</b>	<b>% superficie municipal en la cuenca</b>	<b>% superficie que el municipio ocupa en la cuenca</b>	<b>Número de habitantes (INEGI, 2020)</b>
Nayarit	Huajicori	31.45	2.63	909
	Rosamorada	21.37	1.47	5687
	Ruíz	80.42	1.56	14,678
	Santiago Ixcuintla	52.27	3.37	6,889
	Tuxpan	92.61	1.08	22,013
Zacatecas	Chalchihuites	71.11	2.39	4,633
	Sombrerete	54.32	7.36	27,038
<b>Población total</b>				<b>820,374</b>

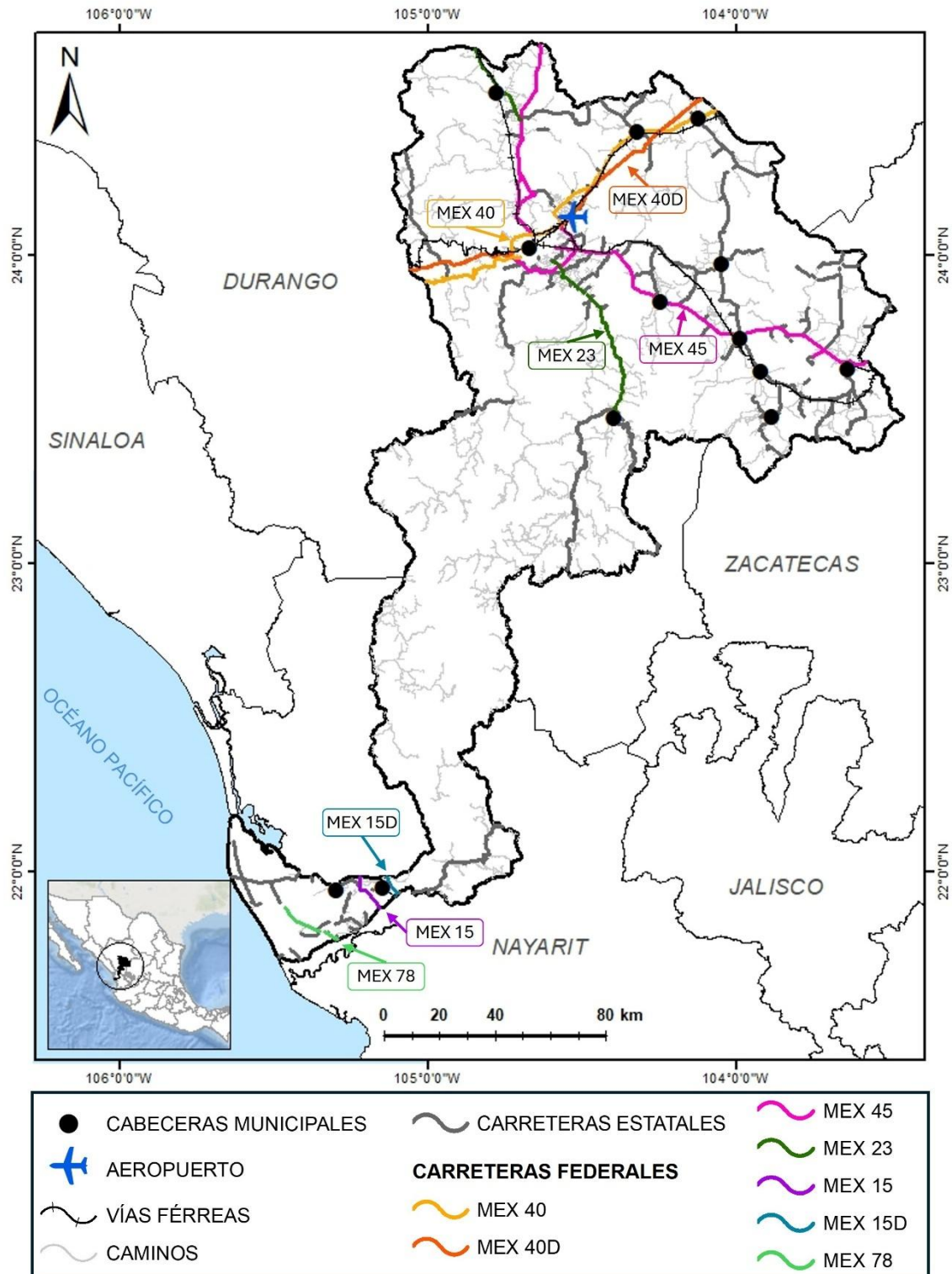
### 5.1.8 Actividades económicas y vías de comunicación

En 2022, el estado de Durango aportó el 1.3 % al Producto Interno Bruto (PIB) nacional, ubicándose en la posición 26 entre las entidades federativas (INEGI, 2022). Las principales actividades económicas del estado incluyen la agricultura (frijol, maíz blanco, avena forrajera, maíz forrajero y alfalfa), la ganadería y la manufactura de equipo de transporte (INEGI, 2017). Durango es la entidad con mayor producción forestal en México. Aunque su flora incluye cerca de 30 especies de pináceas, la industria maderable utiliza principalmente *Pinus arizonica*, *P. cooperi*, *P. douglasiana*, *P. durangensis*, *P. engelmannii*, *P. herrerae* y *P. leiophylla*, así como *Quercus durifolia*, *Q. eduardii*, *Q. sideroxylla*, *Alnus spp.*, *Arbutus spp.* y *Juniperus spp.*, estas últimas en menor escala (González-Elizondo *et al.*, 2017; INEGI, 2017).

En la porción de la cuenca correspondiente a Zacatecas, predominan la minería, la ganadería y la agricultura de temporal, principalmente de maíz, frijol y avena forrajera. Por su parte, en la planicie costera de Nayarit predominan la agricultura (frijol,

sorgo, jitomate, tabaco, tomate verde, sandía, chile verde, arroz palay y mango) y la ganadería, basada en la cría de bovinos, porcinos, ovinos, caprinos y aves. La pesca constituye una actividad económica destacada en la zona costera, con especies de importancia comercial agrupadas principalmente en camarón, pescado y ostión (CONANP, 2013a; INEGI, 2016).

La ciudad de Durango está conectada mediante las carreteras federales 40, 40D, 45 y 23, además de otras vías administradas por el estado. En la cuenca media, el acceso se realiza en gran medida por caminos sin pavimentar, mientras que en la cuenca baja predominan las carreteras federales 15, 15D y 78 (Figura 7).



**Figura 7.** Vías de comunicación en la cuenca del río San Pedro-Mezquital, según datos de la Red Nacional de Caminos (IMT, 2024).

## 5.2 Bases de datos y depuración

Se utilizaron cuatro bases de datos correspondientes a los grupos de plantas vasculares, anfibios y reptiles, aves y mamíferos. Previo al proceso de depuración, los registros se recortaron en ArcMap 10.8.2 (<https://www.esri.com/es-es/arcgis/products/arcgis-desktop/resources>), utilizando como límite al polígono de la CSPM. Para todos los grupos taxonómicos, se conservó un único registro por localidad y se emplearon coordenadas geográficas en formato decimal para los distintos análisis.

Para mamíferos, se utilizó la base de datos del Laboratorio de Fauna Silvestre del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango (CIIDIR), del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México (CRD). Esta base incluye además registros provenientes de colecciones científicas de otras entidades académicas: The University of Kansas, Lawrence, EE. UU. (KU); Museum of Michigan State University, Lansing, Michigan, EE. UU. (MSU); Museum of Texas Tech University, Lubbock, Texas, EE. UU. (TTU); y la colección de mamíferos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del IPN.

Para anfibios y reptiles se empleó la base de datos proporcionada por el Dr. Uriel Hernández Salinas (Rodríguez-Gutiérrez, 2022), también del Laboratorio de Fauna Silvestre del CIIDIR Durango. Esta base incluye información de la colección del CIIDIR Durango, así como registros de las colecciones científicas del American Museum of Natural History (AMNH), University of Texas at El Paso (UTEP), University of Illinois Museum of Natural History Collection (UIMNH) y University of Michigan Museum of Zoology (UMMZ).

Para aves, se accedió al Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de México (<https://www.snib.mx/ejemplares/descarga/>) en febrero de 2024, restringiendo la búsqueda al área de la cuenca. Los registros provienen principalmente de las plataformas aVerAves (<https://avesmx.conabio.gob.mx/>), eBird (<https://ebird.org/home>), Naturalista (<https://mexico.inaturalist.org/>) y GBIF (<https://www.gbif.org/es/>), así como de colecciones de museos en menor proporción. La base fue depurada para eliminar errores de identificación taxonómica, registros

duplicados y localidades erróneas. Además, se aplicó un filtro espacial de  $\leq 500$  m entre registros de la misma especie en zonas de alta densidad de observaciones, como la ciudad de Durango y Marismas Nacionales Nayarit, con el fin de evitar sobreajuste en los modelos de nicho ecológico (Boria *et al.*, 2014). No se incluyeron en el análisis especies domésticas, migratorias, ni extintas.

Para plantas vasculares, se utilizó la base del Herbario CIIDIR Durango. Se eliminaron registros duplicados, aquellos sin coordenadas geográficas y los identificados únicamente a nivel de género.

Para cada especie de todos los grupos taxonómicos, se identificaron aquellas endémicas a la SMO y a México. Asimismo, se consultaron sus categorías de riesgo a nivel nacional e internacional. Nacional acorde a la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Anexo III, modificación de 2019; SEMARNAT, 2019) e internacional a la Lista Roja de la International Union for Conservation of Nature (IUCN) (<https://www.iucnredlist.org/>).

La base de datos final incluyó información taxonómica (clase, orden, familia, género, especie, subespecie/variedad); categoría de riesgo (NOM-059-SEMARNAT-2010 e IUCN); endemismo (a la SMO o a México); datos curatoriales (número de catálogo, tipo de registro o material); datos de colecta (fecha, localidad, coordenadas geográficas y altitud); así como la fuente de la información (observaciones, fotografías o ejemplares de museo). En los casos en que no se contó con información para alguno de estos campos, se indicó como “no disponible”.

La nomenclatura utilizada para los nombres de las especies fue la siguiente: Tropicos para plantas vasculares (<https://www.tropicos.org/home>); Amphibians of the World del American Museum of Natural History para anfibios (<https://amphibiansoftheworld.amnh.org/>); Reptile Database para reptiles (<http://www.reptile-database.org/>); Birds of the World/Cornell Lab para aves (<https://birdsoftheworld.org/bow/home>) y American Society of Mammalogists para mamíferos (<https://www.mammaldiversity.org/>).

En total, la base de datos contiene 15,200 registros de plantas vasculares, 545 de anfibios y reptiles, 19,232 de aves y 1,332 de mamíferos, sumando 36,309 registros únicos.

### **5.3 Selección de los subrogados de la biodiversidad**

Se seleccionaron 142 especies como subrogados (Anexo II) con base en al menos uno de los siguientes criterios: 1) endemismo a la SMO o a México; 2) inclusión en alguna categoría de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Anexo III, modificación de 2019; SEMARNAT, 2019): Sujeta a protección especial (Pr), Amenazada (A) o En peligro de extinción (P); y 3) inclusión en alguna categoría de riesgo de la Lista Roja de la IUCN: Casi amenazada (NT), Vulnerable (VU), En peligro (EN) o En peligro crítico (CR).

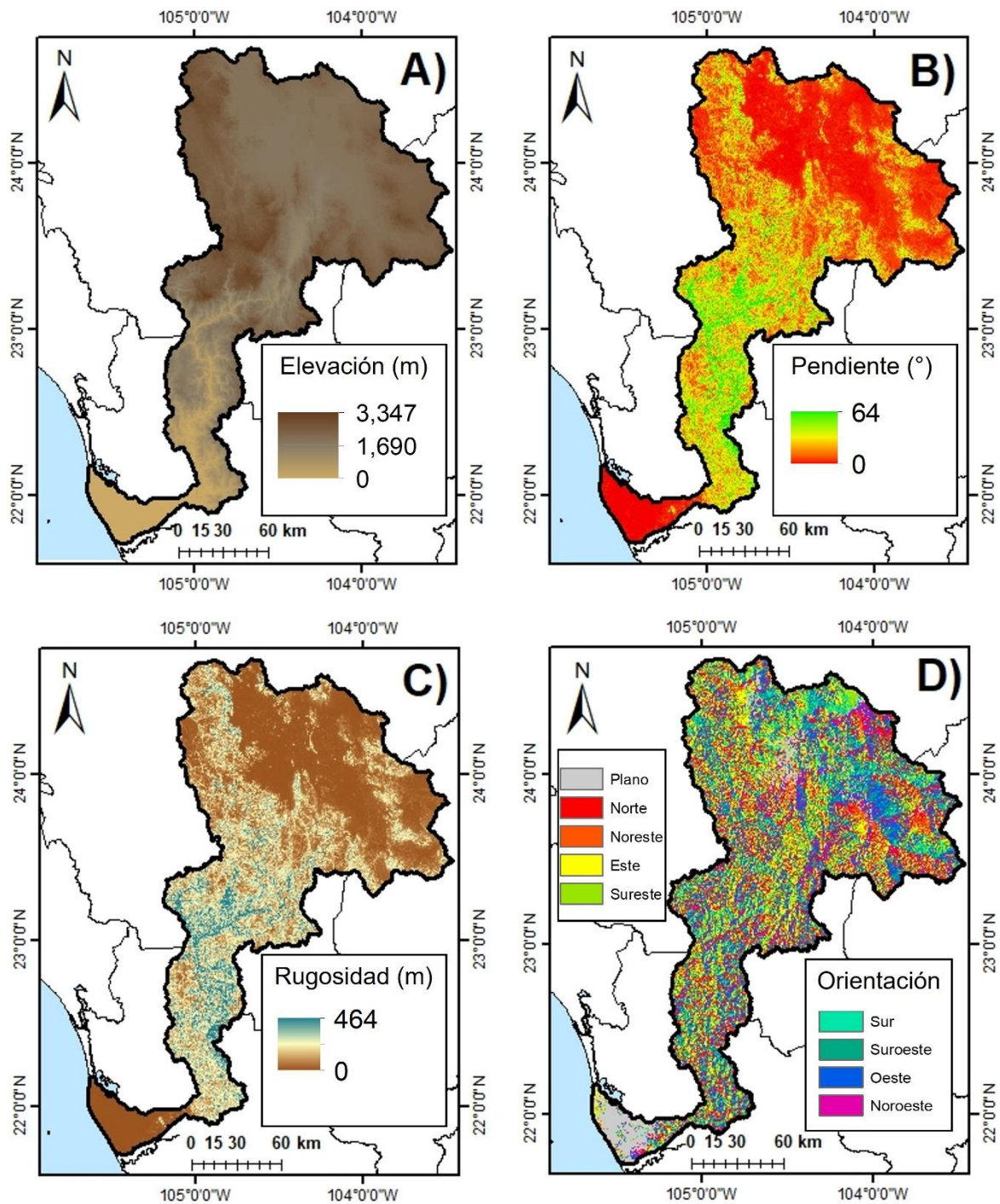
Las especies seleccionadas se agruparon en dos conjuntos. El primero incluyó 53 especies que contaron con al menos 10 registros, el mínimo necesario para generar modelos de nicho ecológico (Wisz *et al.*, 2008): 12 plantas vasculares, 5 reptiles, 26 aves y 10 mamíferos. El segundo se conformó por 89 especies con menos de 10 registros, las cuales se incluyeron *a priori* en la red de áreas prioritarias para la conservación: 54 plantas vasculares, 3 anfibios, 10 reptiles, 7 aves y 15 mamíferos. Entre estas últimas destacan *Hechtia marthae* (Ramírez-Morillo *et al.*, 2021), *Pavonia durangensis* (Fryxell, 1988) y *Salvia odam* (González-Gallegos, 2015; González-Gallegos *et al.*, 2022), de las cuales hasta la fecha solo se tiene registro en el área de la CSPM.

### **5.4 Generación de capas ambientales**

Las variables climáticas de WorldClim son comúnmente utilizadas para generar modelos de nicho ecológico, y están construidas a una resolución espacial de 30 segundos de arco (~1 km), a partir de la interpolación de datos de precipitación y temperatura registrados en estaciones climatológicas (Hijmans *et al.*, 2005). En el caso de la CSPM, la cuenca media carece de estaciones meteorológicas (CONAGUA,

2024), por lo que la información interpolada a partir de las estaciones ubicadas en las partes alta y baja no representa adecuadamente toda el área; por ello, se optó por no utilizarlas. Estudios previos con mamíferos pequeños no voladores en la SMO destacan la importancia de emplear resoluciones espaciales finas para predecir el hábitat potencial de las especies en ambientes heterogéneos (Sandoval *et al.*, 2020; López-González *et al.*, 2023).

Debido a que el área de estudio es una cuenca, en este trabajo se utilizaron cuatro variables topográficas (elevación, pendiente, orientación y rugosidad) con una resolución de pixel de 90 m (Figura 8). La elevación se obtuvo a partir de un modelo digital de elevación (DEM) generado con información del Continuo de Elevaciones Mexicano (Reyes-Carrillo, 2020). La pendiente y la orientación se calcularon con la herramienta “*Surface*” de la caja de herramientas “*Spatial Analyst Tools*” en ArcMap 10.8.2, mientras que la rugosidad se determinó mediante la herramienta de análisis de terreno en QGIS 3.36.2 (<https://qgis.org/>). Todas las imágenes ráster se recortaron al área de la CSPM, asegurando la consistencia en el número de píxeles y el tamaño del píxel. El cálculo de estas tres variables se realizó en coordenadas UTM (Sillero y Barbosa, 2021).



**Figura 8.** Variables topográficas utilizadas en la generación de modelos de nicho ecológico. A) Elevación, B) Pendiente, C) Rugosidad y D) Orientación, según datos de Reyes-Carrillo (2020).

## 5.5 Modelado de Nicho Ecológico (MNE)

### 5.5.1 Calibración y parametrización

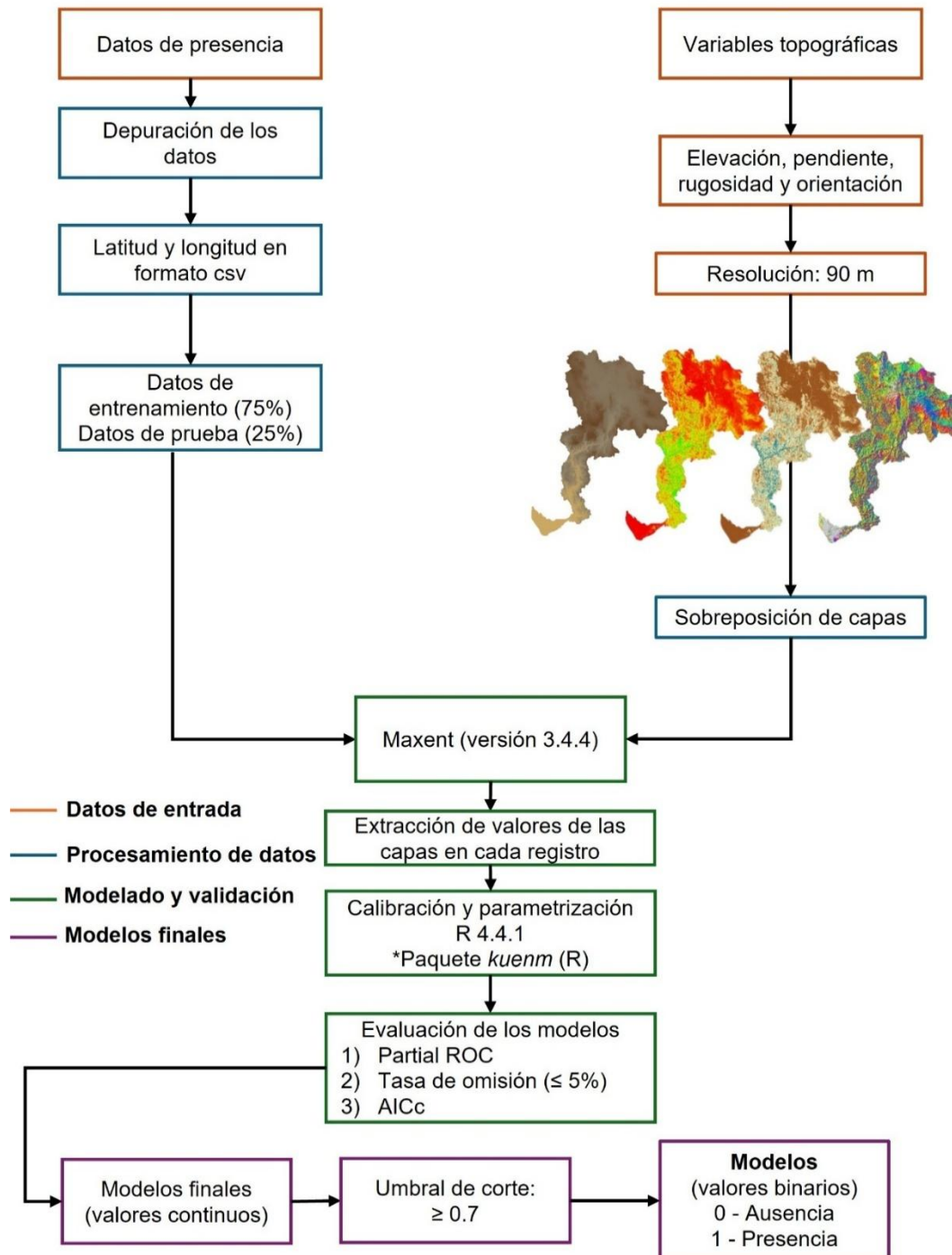
Para la generación de los MNE se utilizaron los registros de las 53 especies seleccionadas como subrogados, así como imágenes en formato ASCII de las cuatro variables topográficas. El procedimiento se realizó con MaxEnt 3.4.4 ([https://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/)), a través del paquete de R *kuenm* (<https://github.com/marloncobos/kuenm>) (Cobos *et al.*, 2019), implementado en R 4.4.1 (<https://www.r-project.org/>). Se utilizó el 75 % de los registros para el entrenamiento de los modelos y el 25 % restante para su validación. Se evaluaron diferentes multiplicadores de regularización (de 0.1 a 1 en incrementos de 0.1, así como 2, 3, 4 y 5) y combinaciones de *feature classes*: lineal (l), cuadrática (q), producto (p) y *hinge* (h). El objetivo de explorar estas combinaciones fue optimizar el rendimiento del modelo y garantizar su robustez, identificando la configuración de parámetros que mejor explicara la distribución potencial de las especies. La evaluación se realizó con un umbral de omisión menor al 5 %, 500 iteraciones y el 50 % de los datos mediante remuestreo por *bootstrap*. En total, se generaron 434 modelos candidatos por especie, producto de las distintas combinaciones de multiplicadores de regularización y *feature classes*.

### 5.5.2 Evaluación y selección de los modelos finales

A través de la función *kuen\_mod* del paquete *kuenm*, se evaluó el desempeño de los modelos candidatos con base en tres criterios: la significancia estadística (partial ROC, con 500 iteraciones y el 50 % de los datos mediante remuestreo *bootstrap*), las tasas de omisión ( $E = 5\%$ ) y la complejidad del modelo (AICc). Los mejores modelos se seleccionaron bajo los siguientes criterios: modelos estadísticamente significativos con tasas de omisión  $\leq 5\%$ . Luego, de este conjunto de modelos, el algoritmo seleccionó como modelos finales aquellos con valores de delta AICc  $\leq 2$ . Se consideraron además como modelos óptimos a aquellos con un valor de AUC (*area under curve*) del análisis de ROC (*receiver operating characteristic*), superior a 0.7 (Li *et al.*, 2024).

Con el objetivo de identificar las zonas de mayor idoneidad para las especies, el mapa de predicción continua generado por MaxEnt se reclasificó a una salida binaria

(1 = condiciones idóneas, 0 = no idóneas) mediante la herramienta *Reclassify* en ArcMap 10.8.2, utilizando un umbral de 0.7 (Monroy-Gamboa *et al.*, 2019; Sandoval *et al.*, 2020). A continuación, se ilustra el procedimiento empleado para la construcción de los MNE (Figura 9).



**Figura 9.** Proceso de generación de los modelos de nicho ecológico.

## 5.6 Representatividad de los subrogados en las Áreas Naturales Protegidas

A partir del tamaño de píxel (90 × 90 m) y la extensión de las capas topográficas, se generó una cuadrícula para el área de la CSPM utilizando QGIS 3.36.2, compuesta por un total de 3,328,640 celdas. Para cada una de estas celdas se calculó el centroide (x, y), posteriormente, mediante el complemento *Point Sampling Tool* de QGIS 3.36.2, se extrajeron los valores de presencia-ausencia correspondientes a cada uno de los MNE generados. El resultado fue una matriz de 3,328,640 celdas por 53 especies, la cual se utilizó para evaluar la representatividad de los subrogados dentro de las ANP existentes.

## 5.7 Establecimiento de las metas de conservación

Para los subrogados con menos de 10 registros, las metas de conservación fueron incluir el 100 % de especies de vertebrados terrestres endémicos a México y el 100 % de especies de plantas vasculares endémicas a la SMO. En el caso de los subrogados de los que se generaron MNE, la meta fue incluir en la red de áreas de conservación al menos el 10 % del área considerada como idónea para cada especie (Tabla 4), este porcentaje es ampliamente utilizado en la planificación de la conservación (IUCN, 1994; Fuller *et al.*, 2007; Monroy-Gamboa *et al.*, 2019).

A pesar de que algunas especies pueden utilizar hábitats transformados, no está claro en qué medida se ven afectadas (Mayani-Parás *et al.*, 2022). Por esta razón, en términos de conservación de la biodiversidad, es preferible adoptar una perspectiva conservadora y no incluir estas áreas en los análisis de planeación (Botello *et al.*, 2015). Las áreas afectadas suelen ser aquellas transformadas por agricultura de monocultivo, asentamientos rurales o urbanos y suelo descubierto, que generalmente se consideran hábitats inadecuados para las especies (Anderson y Martínez-Meyer, 2004; Sánchez-Cordero *et al.*, 2005). En esta propuesta se excluyeron las áreas agrícolas, los asentamientos humanos y las áreas desprovistas de vegetación.

**Tabla 4.** Metas de conservación establecidas para los subrogados en la cuenca del río San Pedro-Mezquital.

Criterio	Meta de conservación	Descripción
Especies de vertebrados terrestres endémicas a México y de plantas vasculares endémicas a la SMO, con menos de 10 registros	100 %	Incluir en la red de áreas de conservación el total de los registros
Especies de vertebrados terrestres endémicas a México y de plantas vasculares endémicas a la SMO, incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y/o en la lista roja de la IUCN, con al menos 10 registros	10 %	Incluir en la red de áreas de conservación el 10 % del área idónea para las especies seleccionadas

### 5.8 Redes de áreas de conservación

Previo a la generación de los modelos de redes de áreas de conservación, se realizó lo siguiente en QGIS 3.36.2:

1. En la matriz de presencia-ausencia de 3,328,640 celdas × 53 especies se asignó un identificador único a cada celda, y se agregó una columna con las coordenadas geográficas correspondientes. El archivo resultante se exportó en formato de texto.
2. Se rasterizó la capa de las ANP decretadas en la cuenca y se generó un archivo de texto con los identificadores de las 107,242 celdas correspondientes a estas áreas.
3. Mediante los registros de las especies incluidas *a priori*, se identificaron las celdas coincidentes con estos, obteniéndose un archivo de texto con 240 celdas.

4. Se rasterizó la capa modificada de uso de suelo y vegetación, y se generó un archivo de texto con los identificadores de las celdas correspondientes a áreas agrícolas, asentamientos humanos y zonas desprovistas de vegetación. En total, estas sumaron 644,514 celdas.

Con esta información, se generaron dos modelos de redes de áreas de conservación en ConsNet (Ciarleglio *et al.*, 2009): el primero bajo un escenario nulo y el segundo considerando los polígonos de las ANP decretadas en la cuenca. La comparación entre ambos modelos permitió evaluar la coincidencia espacial entre las áreas seleccionadas (Figura 10).

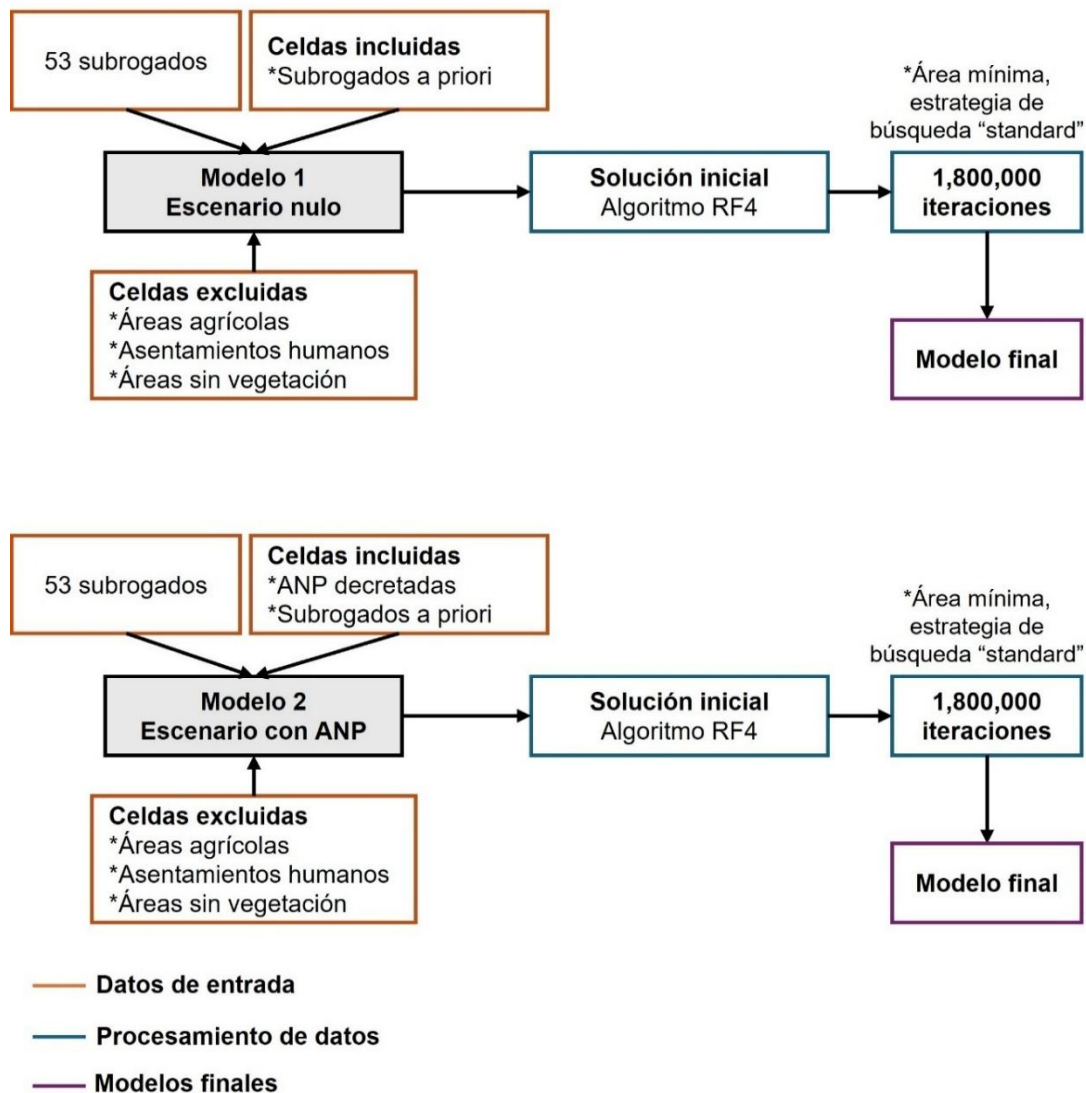


Figura 10. Modelos de redes de áreas de conservación generados en ConsNet.

### **Modelo 1 (escenario nulo)**

Este modelo incluyó la matriz de presencia-ausencia de los 53 subrogados, así como las celdas con presencia de los subrogados incluidos *a priori*. Se excluyeron las celdas coincidentes con áreas agrícolas, asentamientos humanos y zonas desprovistas de vegetación.

### **Modelo 2 (escenario con ANP)**

En este modelo se incluyeron las celdas coincidentes con las ANP decretadas en la cuenca, además de la matriz de presencia-ausencia de los 53 subrogados y las celdas con presencia de los subrogados incluidos *a priori*. Al igual que en el modelo 1, se excluyeron las celdas correspondientes a áreas agrícolas, asentamientos humanos y zonas desprovistas de vegetación.

Una vez importados los archivos de texto requeridos para la ejecución de ConsNet, se definió como objetivo representar al menos el 10 % del área idónea de cada especie dentro de la red de áreas de conservación. Posteriormente, se construyó un modelo inicial utilizando el algoritmo heurístico RF4 *adjacency (rarity first)*, el cual selecciona primero las celdas que contienen los subrogados más raros que aún no han alcanzado su objetivo de representación. En caso de empate, la selección de celdas se realiza en función de su complementariedad.

A partir de esta solución inicial y de las celdas seleccionadas, se exploraron nuevas soluciones bajo el criterio de seleccionar el menor número posible de celdas, dentro del área más compacta. Para ello, se empleó la estrategia estándar, que implementa una diversificación de movimientos entre celdas, priorizando la selección de celdas vecinas (Ciarleglio *et al.*, 2010b).

En ambos modelos se revisó el número de celdas seleccionadas y de *clusters* (áreas individuales no conectadas) cada 500,000 iteraciones. Se ejecutaron en total 1,800,000 iteraciones, ya que a partir de este punto no se observaron cambios significativos en las soluciones obtenidas de ambos modelos.

## 5.9 Delimitación de las áreas de conservación

En los dos modelos generados por ConsNet, algunas de las celdas quedaron aisladas. Para agruparlas, se utilizó el complemento *Heatmap* de QGIS 3.36.2, diseñado para calcular la densidad de puntos (en este caso, los centroides de las celdas) dentro de un área específica. El análisis se realizó utilizando celdas de 1 km<sup>2</sup>, para identificar las zonas con mayor concentración de celdas seleccionadas. A partir de estas zonas, se trazaron polígonos, cada uno de los cuales representa un área potencial de conservación.

## 6.0 Análisis multicriterio

Los polígonos generados representan áreas clave para alcanzar las metas de conservación establecidas. No obstante, desde una perspectiva práctica de manejo, se optó por priorizar y seleccionar algunos de ellos mediante un análisis multicriterio que tomó en cuenta no solo a los subrogados, sino al conjunto completo de especies de los cuatro grupos taxonómicos. El análisis incluyó cuatro criterios: riqueza de especies, número de especies endémicas, complementariedad de especies actualmente no incluidas en las ANP decretadas y complementariedad de tipos de vegetación. Cada criterio se clasificó en tres intervalos de ponderación, asignando valores de 1 a 3 según el número de especies o tipos de vegetación presentes en cada polígono: 1 para el intervalo con menos especies o tipos de vegetación, 2 para el intermedio y 3 para el más alto (Tabla 5).

Para definir el peso relativo de cada criterio según su relevancia para la selección de áreas prioritarias para la conservación, se consultó a cinco expertos con conocimiento sobre la CSPM y la PSC. Con base en el promedio de sus respuestas, se asignaron los siguientes pesos: 0.26 para riqueza de especies, 0.24 para especies endémicas, 0.27 para complementariedad de especies y 0.23 para complementariedad de tipos de vegetación.

Una vez asignados los valores a cada polígono conforme a la Tabla 5, estos se multiplicaron por los pesos relativos correspondientes a cada criterio. La suma de estos

productos determinó la puntuación final de cada polígono. Se seleccionaron aquellos con las puntuaciones más altas, ya que maximizan la representación y complementariedad del conjunto de especies y tipos de vegetación en la cuenca. Como resultado, seis polígonos fueron identificados como prioritarios para su conservación.

**Tabla 5.** Ponderación de los criterios utilizados en el análisis multicriterio.

Criterios	Ponderación		
	1	2	3
Riqueza de especies	0-50	51-100	>100
Número de especies endémicas	0-3	4-5	>6
Especies complementarias	0-20	21-40	>40
Tipos de vegetación complementarios	0	1	2

## VI. RESULTADOS

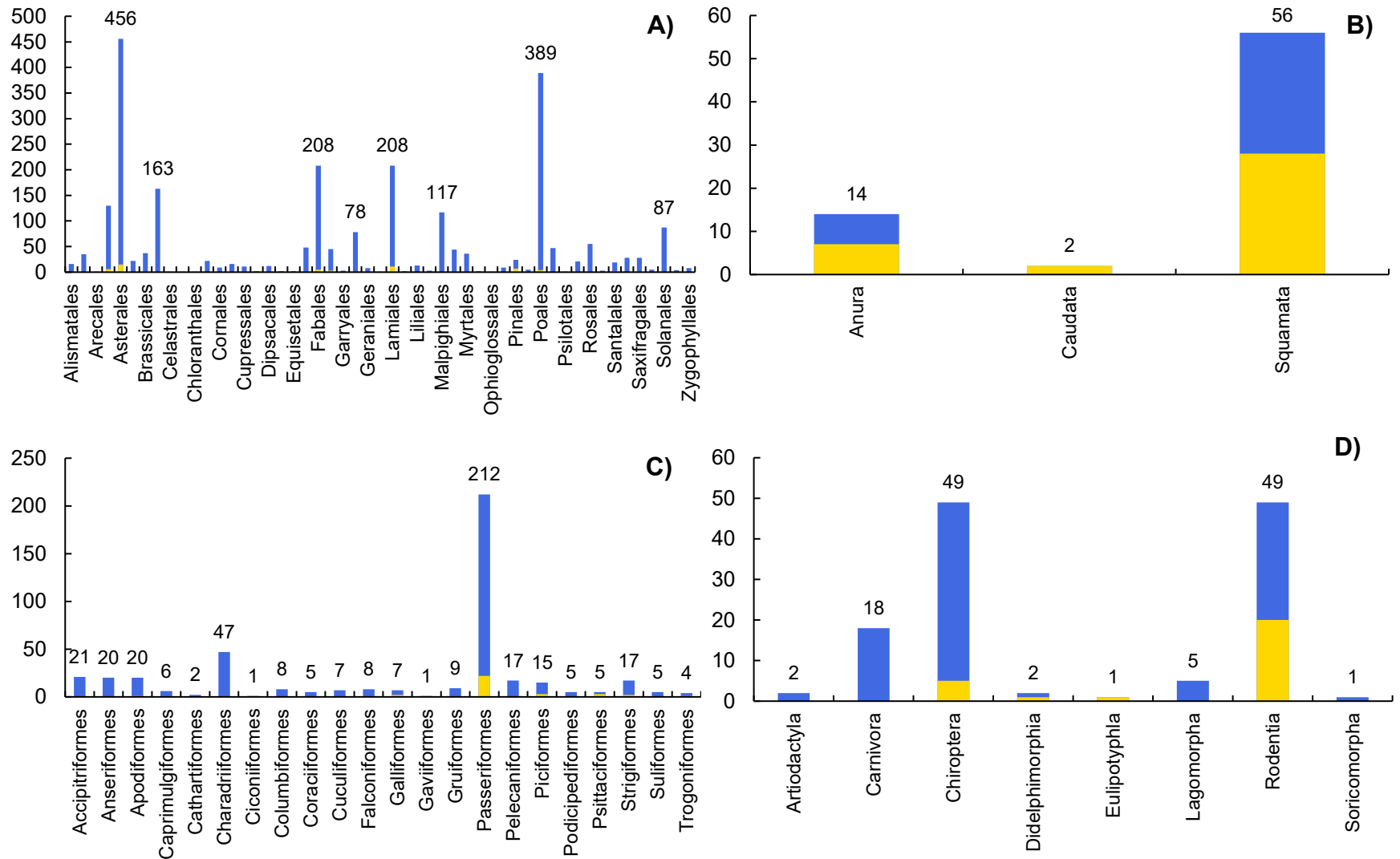
### 6.1 Vertebrados terrestres y plantas vasculares en la CSPM

La base de datos de la cuenca incluye 2,484 especies de plantas vasculares, pertenecientes a 51 órdenes, 166 familias y 809 géneros. Asterales es el orden con mayor riqueza (456 especies), seguido por Poales (389), Fabales y Lamiales (208 cada uno). Además, 66 especies son endémicas de la SMO. En la Figura 11A se muestran los órdenes con mayor número de especies registradas en la cuenca.

Los registros de anfibios y reptiles incluyen 72 especies, de los órdenes Anura, Caudata y Squamata, distribuidas en 16 familias y 31 géneros. De éstas, 37 son endémicas de México, 27 se encuentran en alguna categoría de riesgo según la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Anexo III, modificación de 2019; SEMARNAT, 2019): 17 sujetas a protección especial (Pr) y 10 amenazadas (A). Además, dos están incluidas en la Lista Roja de la IUCN (Figura 11B).

La base de datos de aves se compone por 442 especies, distribuidas en 23 órdenes, 70 familias y 260 géneros. Passeriformes es el orden más diverso (212 especies) y con más endemismos (22), seguido por Charadriiformes (47) y Accipitriformes (21). En total, 34 especies son endémicas de México y 57 están en alguna categoría de riesgo según la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Anexo III, modificación de 2019; SEMARNAT, 2019): 31 sujetas a protección especial (Pr), 16 amenazadas (A) y 10 en peligro de extinción (P). Por otra parte, 36 aparecen en la Lista Roja de la IUCN (Figura 11C).

Los registros de mamíferos comprenden 127 especies, distribuidas en ocho órdenes, 21 familias y 71 géneros. Chiroptera y Rodentia son los órdenes con mayor número de especies (49 cada uno), seguidos por Carnivora (18). Rodentia también concentra el mayor número de especies endémicas (20). En total, 27 especies de mamíferos son endémicas de México y 14 están enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Anexo III, modificación de 2019; SEMARNAT, 2019): cinco bajo protección especial (Pr), seis amenazadas (A) y tres en peligro de extinción (P). Además, 26 están incluidas en la Lista Roja de la IUCN (Figura 11D).



**Figura 11.** Riqueza de especies (barras azules) y número de especies endémicas de México (barras amarillas) por orden, en la cuenca del río San Pedro-Mezquital. A) Plantas vasculares, B) Anfibios y reptiles, C) Aves y D) Mamíferos.

## 6.2 Modelos de nicho ecológico (MNE)

Se generaron modelos de nicho ecológico para las 53 especies que contaron con al menos 10 registros (Anexo II), lo que permitió estimar las áreas de mayor idoneidad ambiental para cada una en la CSPM. En el Anexo III se presentan las estadísticas de desempeño de cada modelo, el área idónea calculada (km<sup>2</sup>) y la contribución de cada variable topográfica en su generación.

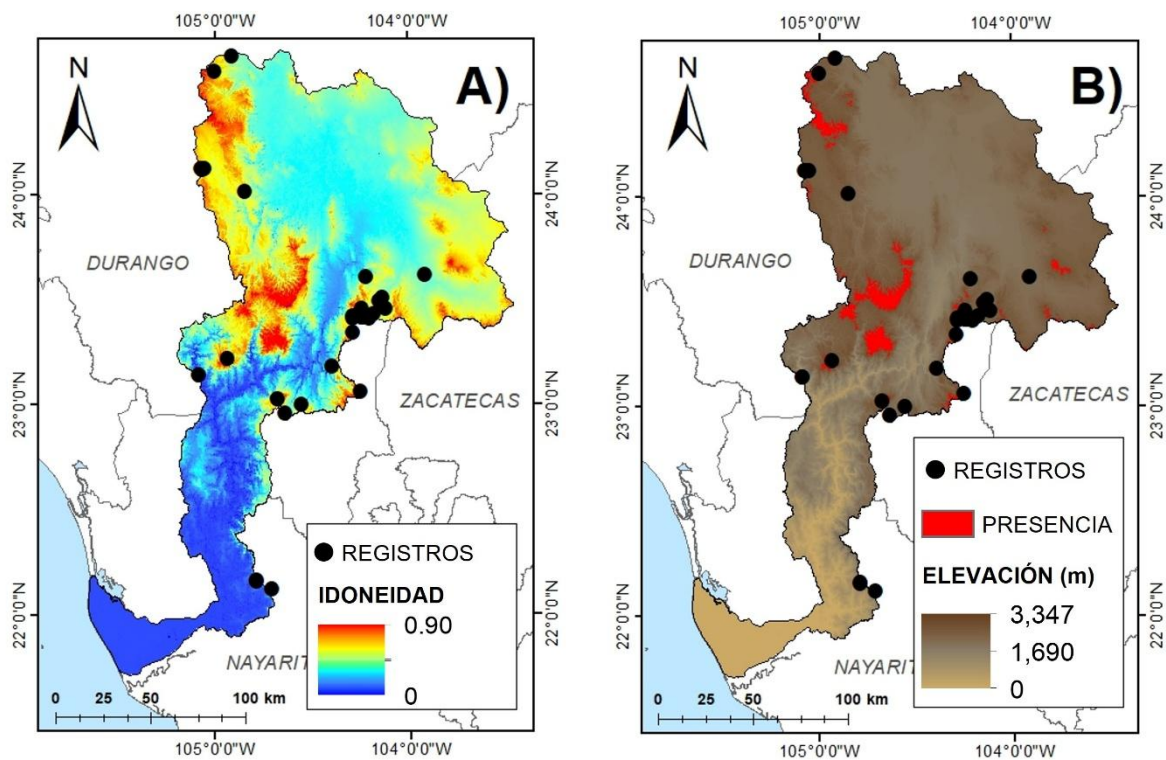
En general, los modelos indicaron que la elevación fue la variable con mayor contribución en la mayoría de los casos, lo que resalta su importancia en la determinación de la idoneidad ambiental de los subrogados. Sin embargo, en algunos modelos, variables como la pendiente o la rugosidad también mostraron un peso considerable (>70%). La extensión de las áreas idóneas varió notablemente entre especies, desde 1.22 km<sup>2</sup> hasta 4,445.16 km<sup>2</sup>. Esta amplitud refleja la diversidad en los rangos de distribución potencial, abarcando tanto especies con requerimientos muy específicos y distribución restringida, como otras con mayor tolerancia ambiental y rangos más amplios. No obstante, a pesar de estas diferencias, la sobreposición de los modelos permitió identificar áreas donde existe coincidencia en la idoneidad ambiental de múltiples subrogados.

Los 53 MNE, una vez sobrepuestos, permitieron estimar la riqueza de especies por celda en toda la cuenca. Esta riqueza varió entre 0 y 16 especies, lo que indica que algunas áreas presentaron coincidencia de hasta 16 subrogados, mientras que otras no registraron ninguno. Las celdas con mayor número de subrogados adquirieron mayor prioridad al momento de ejecutar el algoritmo para la selección de nuevas áreas de conservación.

Como ejemplo ilustrativo, en la Figura 12 se muestra el MNE generado para *Peromyscus schmidlyi*, un roedor endémico de la SMO (Ordoñez-Garza y Bradley, 2011). Para la calibración del modelo se utilizaron 30 registros de presencia, a partir de los cuales se generó un conjunto de modelos candidatos. Tras su evaluación, el modelo final presentó una tasa de omisión  $\leq 5\%$ , un valor delta AICc  $\leq 2$ , un AUC de

0.77 y una  $P$  de *partial* ROC < 0.001, lo que sugiere que el modelo tiene un buen ajuste y es estadísticamente significativo (Cobos *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2024).

La elevación fue la variable con mayor contribución al modelo (93.2 %), seguida por la orientación (3.4 %), la rugosidad (2.0 %) y la pendiente (1.4 %). En la Figura 12A se presenta el modelo con valores continuos generado en MaxEnt; una vez reclasificado con un umbral de corte de 0.7, las áreas de mayor idoneidad se ubicaron principalmente en las zonas de mayor elevación de la cuenca y abarcaron 815.55 km<sup>2</sup> (Figura 12B). De acuerdo con los registros que se tienen de la especie, se distribuye en las zonas altas boscosas de la SMO, entre los 1,550 y 2,500 m de elevación, principalmente en asociaciones de pino-encino (Ordoñez-Garza y Bradley, 2011; López-González *et al.*, 2013).

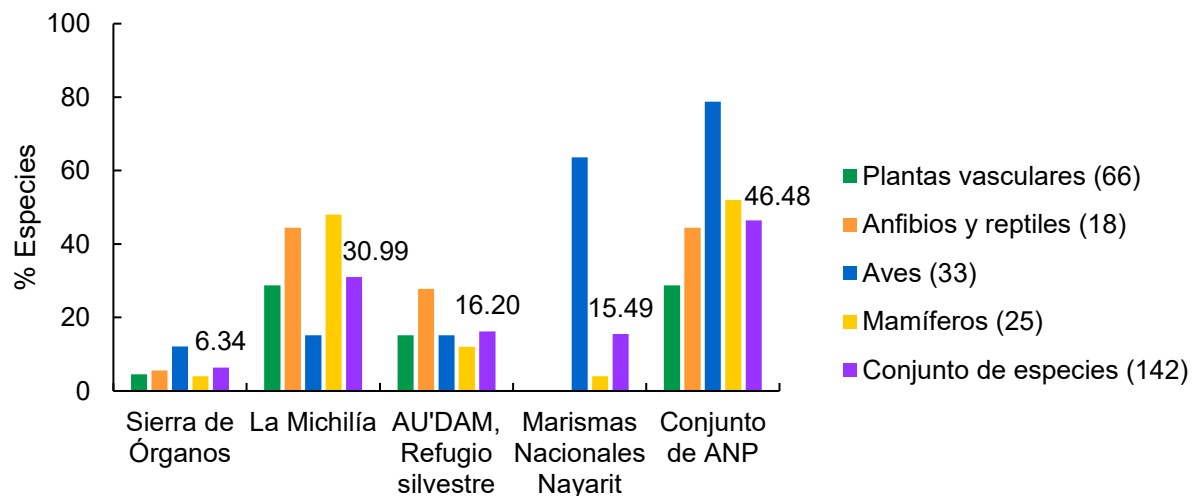


**Figura 12.** Ejemplo de modelos de nicho ecológico con el roedor *Peromyscus schmidlyi*. A) Modelo con valores continuos de idoneidad ambiental y B) Modelo binario reclasificado con un umbral de corte de 0.7, que muestra las áreas de presencia sobre un gradiente de elevación.

### 6.3 Representatividad de los subrogados en las ANP decretadas

La Figura 13 muestra la representatividad modelada de los subrogados en las ANP decretadas en la cuenca. Se observa una cobertura parcial y desigual entre grupos taxonómicos y entre áreas protegidas. El conjunto total de especies (142 subrogados) alcanzó un 46.48 % de representatividad al considerar todas las ANP en su conjunto, lo que indica que más de la mitad de los subrogados no están representados en ninguna de las ANP existentes. Las aves fueron el grupo con mayor representatividad (78.79 %), seguidas por los mamíferos (52 %) y los anfibios y reptiles (44.4 %), mientras que las plantas vasculares fueron el grupo menos representado (28.79 %).

Las ANP con mayor proporción de subrogados representados fueron La Michilía y Marismas Nacionales Nayarit, con 30.99 % y 15.49 % del total, respectivamente. Sin embargo, se observó una alta variación en la representación de los distintos grupos dentro de cada ANP. Por ejemplo, en Marismas Nacionales Nayarit, el grupo mejor representado fue el de aves (63.64 %), mientras que el resto de los grupos mostró una representatividad muy baja. En contraste, en La Michilía los grupos mejor representados fueron los mamíferos (48 %) y los anfibios y reptiles (44.4 %). Por otra parte, Sierra de Órganos y AU'DAM Refugio Silvestre mostraron valores bajos de representatividad, con menos del 20 % de los subrogados incluidos.



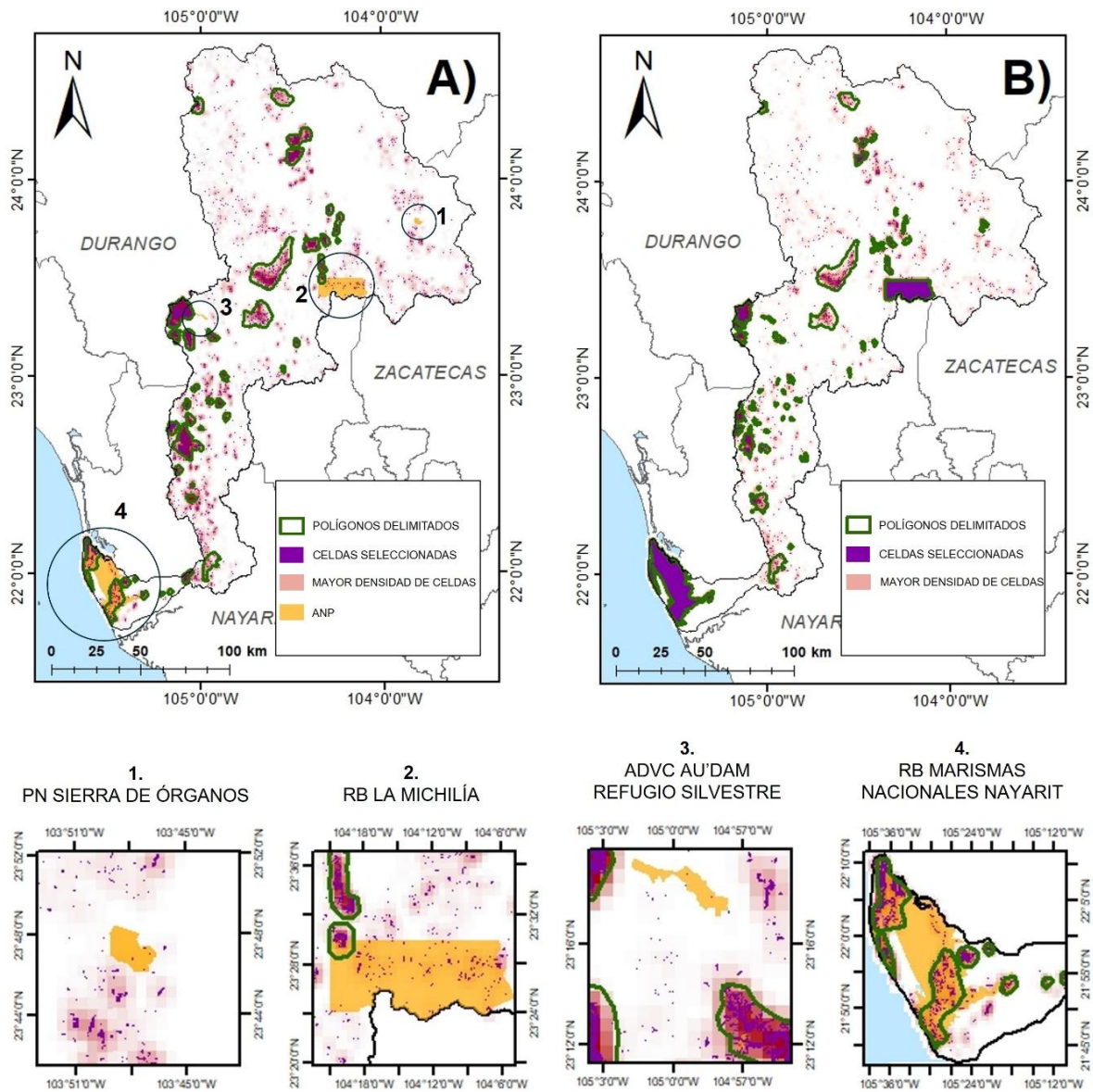
**Figura 13.** Representatividad modelada de los subrogados en las Áreas Naturales Protegidas de la cuenca del río San Pedro-Mezquital.

#### 6.4 Propuesta de red de áreas de conservación

En el modelo nulo, el algoritmo seleccionó 121,205 celdas prioritarias que cubren un área de 981.7 km<sup>2</sup>, equivalente al 3.54 % del área de la cuenca. En contraste, al considerar las ANP, el modelo identificó 194,738 celdas prioritarias, con una cobertura de 1,577 km<sup>2</sup> (5.87 %). De estas, 107,242 celdas (3.24 %) ya se encontraban dentro de las ANP existentes, mientras que 87,496 celdas (2.63 %) correspondieron a nuevas áreas seleccionadas.

Tras agrupar las celdas seleccionadas, se identificaron 42 polígonos en el modelo nulo, que abarcaron 1,939.8 km<sup>2</sup> (7.0 % de la cuenca), con tamaños que variaron entre 2.5 y 290 km<sup>2</sup>. En el modelo que incluyó las ANP, se obtuvieron 48 polígonos, que cubrieron un total de 2,020.6 km<sup>2</sup> (7.3 %), con tamaños que oscilaron entre 1.5 y 260 km<sup>2</sup>.

En la Figura 14 se muestran las áreas prioritarias para la conservación seleccionadas por ConsNet bajo dos escenarios: el modelo nulo (14A) y el modelo que incluyó *a priori* a las ANP (14B).

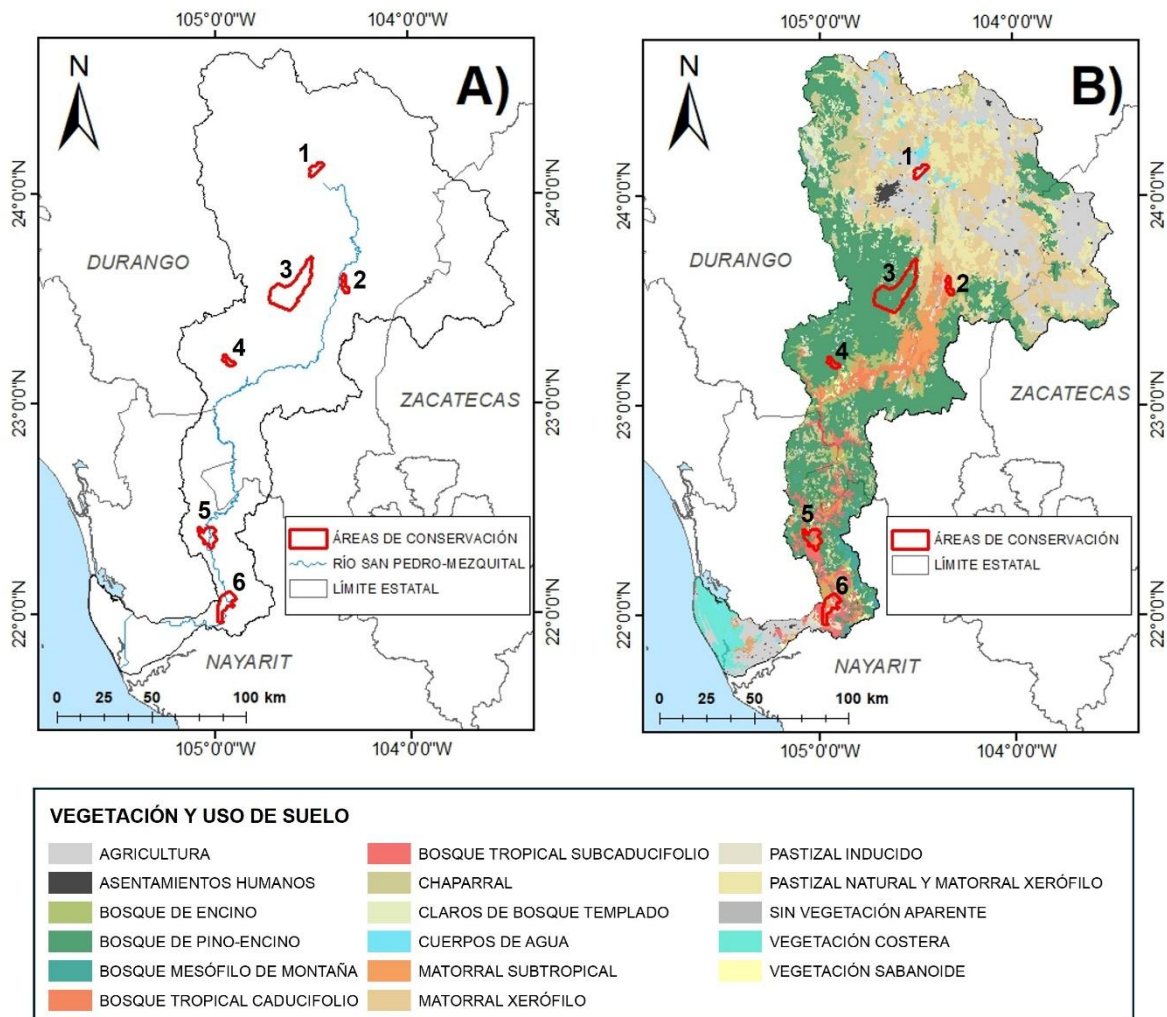


**Figura 14.** Áreas prioritarias para la conservación seleccionadas por ConsNet en la cuenca del río San Pedro-Mezquital. A) Modelo nulo y B) Modelo que incluye *a priori* las Áreas Naturales Protegidas. En morado se indica la distribución de las celdas seleccionadas por ConsNet, en rosa la densidad de su agrupación y en verde se delimitan las áreas con mayor densidad de celdas. En la parte inferior se muestra una ampliación de las cuatro ANP de la cuenca (enumeradas y en color naranja) y su coincidencia con las áreas prioritarias del modelo nulo.

Existe una coincidencia parcial entre las celdas seleccionadas por ConsNet y las áreas protegidas decretadas. En total, 14,393 celdas del modelo nulo coincidieron con alguna ANP, lo que representa 116.4 km<sup>2</sup> (14.1 % del área protegida en la cuenca). Marismas Nacionales Nayarit presentó la mayor coincidencia, con 13,173 celdas (106.5 km<sup>2</sup>), equivalentes al 18.2 % de la superficie de esta ANP dentro de la cuenca. En la Michilía se identificaron 1,155 celdas (9.3 km<sup>2</sup>), cubriendo el 3.5 % de su superficie en la cuenca; en la ADVC AU'DAM Refugio Silvestre, 49 celdas (0.4 km<sup>2</sup>), que representan el 4.9 %, y en el PN Sierra de Órganos solo 16 celdas fueron coincidentes (0.13 km<sup>2</sup>), equivalentes al 1.2 % del área de la ANP (Figura 14).

Respecto a los 89 subrogados incluidos *a priori*, ConsNet seleccionó todas las celdas asociadas a estas especies durante la ejecución del modelo. Sin embargo, al delimitar los 48 polígonos finales, solo 39 subrogados quedaron representados dentro de estas áreas, mientras que 50 no fueron incluidos, ya que sus celdas quedaron aisladas y no conformaron agrupaciones continuas. Este resultado muestra que ciertas especies con distribuciones muy restringidas pueden no quedar adecuadamente representadas mediante enfoques basados únicamente en criterios espaciales, por lo que podrían requerir estrategias y áreas de conservación específicas.

A partir del análisis multicriterio, se identificaron seis polígonos prioritarios para su conservación, los cuales constituyen la propuesta final del presente trabajo. Estos se distribuyen en distintas zonas de la cuenca, con variaciones en extensión, gradiente altitudinal y tipos de vegetación cubiertos. Los polígonos provienen del modelo que incluye *a priori* las ANP existentes; ya que éste permite complementar y mejorar la representatividad de especies y ecosistemas de la red actual. En la Figura 15 se muestra su ubicación, y en la Tabla 6 se detallan sus características principales. Estas áreas tienen una extensión entre 18.61 y 260.57 km<sup>2</sup>, incluyen entre 6 y 23 subrogados (modelados y *a priori*), una riqueza total de especies entre 7 y 264, y de 3 a 7 especies endémicas por polígono.

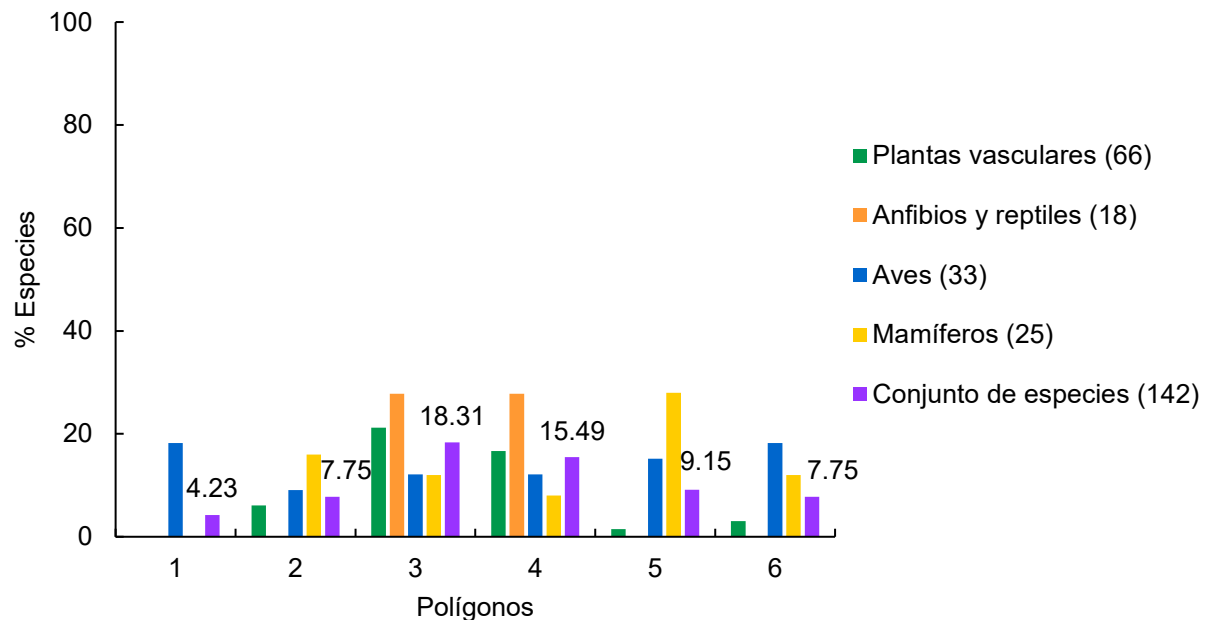


**Figura 15.** Áreas propuestas para la conservación en la cuenca del río San Pedro-Mezquital. A) Ubicación de los seis polígonos seleccionados como prioritarios para la conservación y B) Tipos de vegetación y polígonos prioritarios, modificado de INEGI (2021). Polígonos prioritarios: 1) Málaga, 2) La Joya de Atotonilco, 3) Aserradero La Flor, 4) Cerro Gordo, 5) San Blasito y 6) San Pedro Ixcatán.

**Tabla 6.** Características de las áreas prioritarias propuestas para la conservación en la cuenca del río San Pedro-Mezquital.

Polígonos	Área (km <sup>2</sup> )	Elevación (m s. n. m.)	Tipos de vegetación	Número de subrogados	Riqueza total	Especies endémicas
<b>1.Málaga,</b> Municipio de Durango, Dgo.	28.87	1,853–1,862	Matorral de mezquite-huizache y claros de bosque templado	6	264	3
<b>2.La Joya de Atotonilco,</b> Municipio de Mezquital, Dgo.	20.92	1,495–2,104	Matorral subtropical y matorral xerófilo	11	31	4
<b>3.Aserradero La Flor,</b> Municipios de Durango y Mezquital, Dgo.	260.57	2,144–3,176	Bosque de pino-encino, chaparral, claros de bosque templado y matorral subtropical	26	46	5
<b>4.Cerro Gordo,</b> Municipio de Pueblo Nuevo, Dgo.	18.61	2,031–3,347	Bosque de pino-encino	22	159	4
<b>5.San Blasito,</b> Municipios de Acaponeta, Del Nayar y Rosamorada, Nay.	68.00	150–813	Bosque tropical subcaducifolio, chaparral, matorral subtropical, bosque de pino-encino y pastizal inducido	13	27	7
<b>6.San Pedro Ixcatán,</b> Municipios de Rosamorada y Ruiz, Nay.	74.70	40–774	Bosque tropical subcaducifolio, matorral subtropical, bosque de pino- encino, vegetación sabanoide y pastizal inducido	11	7	4

En la Figura 16 se muestra la representación de los grupos taxonómicos en los polígonos seleccionados como prioritarios. Las aves y los mamíferos presentan una distribución más equilibrada entre los seis polígonos, mientras que las plantas vasculares, los anfibios y los reptiles se concentran principalmente en los polígonos 3 y 4, con representación escasa o nula en los demás. Esta diferencia puede deberse tanto a aspectos biológicos de los subrogados como a la forma en que fueron incorporados al análisis. La variación observada en la representación de los grupos sugiere que cada polígono aporta distintos elementos a la red de conservación, lo cual favorece la complementariedad entre ellos. Aunque los porcentajes de representación no superan el 20 % para ningún grupo taxonómico, el propósito de estos polígonos es complementar la representatividad que existe en las ANP. Así, muchos subrogados no reflejados en la Figura 16 sí están incluidos dentro del sistema actual de ANP. Esta complementariedad se detalla en la Tabla 7, que muestra el aporte adicional de los nuevos polígonos a la representación total de los subrogados.



**Figura 16.** Representatividad modelada de los subrogados en los polígonos identificados como prioritarios para su conservación en la cuenca del río San Pedro-Mezquital. Se muestra el porcentaje de subrogados presentes en cada polígono, tanto de los subrogados modelados como para aquellos incluidos *a priori*.

La Tabla 7 resume la complementariedad en términos de subrogados, riqueza de especies y tipos de vegetación entre las ANP decretadas y los seis polígonos propuestos. Si bien las ANP cubren un número considerable de elementos, los nuevos polígonos aportan componentes que no estaban representados previamente. En particular, contribuyen con 15 subrogados, 219 especies de los cuatro grupos taxonómicos evaluados y 3 tipos de vegetación. Esto incrementa la representatividad del sistema de conservación, alcanzando una cobertura conjunta del 57 % de los subrogados, el 41.2 % de la riqueza total y el 84.61% de los tipos de vegetación presentes en la cuenca del río San Pedro-Mezquital.

**Tabla 7.** Aporte de los polígonos propuestos a la representatividad y complementariedad del sistema de conservación en la cuenca del río San Pedro-Mezquital.

	<b>CSPM</b>	<b>ANP</b>	<b>Nuevos polígonos</b>	<b>En común</b>	<b>Complementariedad</b>	<b>Sistema combinado</b>
Subrogados (modelados y <i>a priori</i> )	142	66	56	41	ANP: 25 Polígonos: 15	81
Riqueza de especies	3,125	1,068	514	295	ANP: 773 Polígonos: 219	1,287
Tipos de vegetación	13	9	8	6	ANP: 3 Polígonos: 2	11

“Complementariedad” indica los elementos exclusivos de las ANP o de los nuevos polígonos. “Sistema combinado” muestra el total representado sumando lo que está incluido en las ANP y lo que añaden los nuevos polígonos.

## VII. DISCUSIÓN

A pesar de los esfuerzos de conservación en la CSPM, los resultados muestran que las ANP decretadas representan de manera parcial y desigual a las especies endémicas y a aquellas en alguna categoría de riesgo. Si bien algunas áreas contribuyen a proteger ciertos grupos biológicos, su cobertura resulta insuficiente ante la complejidad ecológica y la heterogeneidad ambiental de la cuenca (Figura 13). Los resultados indican que ninguna de las ANP supera individualmente el 31 % de representatividad del total de subrogados, y que el conjunto de áreas representa apenas el 46.48 %. Esta limitada cobertura evidencia que la red actual no es suficiente para garantizar la conservación de las especies analizadas, lo que subraya la necesidad de incorporar áreas complementarias que amplíen y fortalezcan el sistema existente, con el fin de asegurar la persistencia de la biodiversidad en la región.

### **Representatividad de los subrogados y metas de conservación**

De los 89 subrogados incluidos *a priori* en el análisis, 20 están actualmente representados en las ANP. Con la incorporación de los seis polígonos prioritarios, se suman ocho subrogados que no estaban previamente protegidos, de éstos, tres son endémicos de México, cuatro son endémicos de la SMO y uno es microendémico de la CSPM. Con ello, el total de subrogados cubiertos entre el sistema actual y las nuevas áreas asciende a 28, lo que representa el 31.5 % de los subrogados incluidos *a priori*.

Se estableció como meta conservar al menos el 10 % del área idónea de cada subrogado modelado. De las 53 especies modeladas, 46 se encuentran actualmente incluidas en las ANP, aunque solo 12 cumplen con la meta establecida del 10 %. Los subrogados que no tienen área idónea de distribución dentro de ninguna ANP decretada son: *Leptonycteris yerbabuenae*, *Peromyscus micropus*, *P. spicilegus* y *Sigmodon mascotensis* (mamíferos); *Anas diazi* e *Icterus abeillei* (aves); y *Agave pintilla* (plantas vasculares). Los cinco reptiles modelados se encuentran representados en su totalidad. La incorporación de los seis polígonos propuestos aumenta la representatividad de las especies ya incluidas en las ANP y permite que

otras 27 alcancen la meta de conservación, sumando así  $12 + 27 = 39$  subrogados que cumplen con la meta establecida. Las 14 especies restantes también están presentes en el sistema combinado, aunque con porcentajes de representación inferiores al 10 % (entre 1 % y 9 %).

Las ANP decretadas incluyen actualmente 1,068 especies de los cuatro grupos taxonómicos evaluados, mientras que los seis polígonos propuestos reúnen 514. De ese total, 295 especies están presentes en ambos sistemas. Al integrar las nuevas áreas, la red combinada abarcaría  $1,068 + 219 = 1,287$  especies, siendo las 219 complementarias al sistema actual.

Se han documentado previamente vacíos y omisiones en la conservación de los diferentes tipos de vegetación en el estado de Durango, siendo el bosque templado, los matorrales y el bosque de pino-encino los menos representados dentro del sistema de ANP (Rentería-Arrieta *et al.*, 2011). De los 13 tipos de vegetación presentes en la CSPM, nueve ya cuentan con representación en el sistema actual. Con la incorporación de los seis polígonos prioritarios propuestos, se añadirían dos tipos no incluidos anteriormente: el bosque tropical subcaducifolio, que cubre el 3 % de la superficie total de la cuenca y el 1.6 % de la SMO, y la vegetación sabanoide, con una distribución del 1 % dentro de la cuenca. Esto ampliaría la diversidad de ecosistemas considerados en la red de conservación, incluyendo también aquellos con distribución restringida.

En la vertiente occidental de la SMO, colindante con la cuenca del río Jesús María, existen algunas áreas de bosque mesófilo de montaña que continuarían sin estar representadas. Este tipo de vegetación ocupa el 0.14 % de la superficie de la SMO (González-Elizondo *et al.*, 2012) y el 1% de México, por lo que representa una prioridad a considerar en futuros estudios de conservación debido a su alta diversidad biológica, elevado endemismo y vulnerabilidad frente al cambio climático (Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2017). Si bien el análisis realizado con ConsNet permitió seleccionar algunos parches de esta vegetación, la escasez de registros de especies asociadas a ésta redujo su puntuación en el análisis multicriterio, por lo que no fueron clasificados como prioritarios.

## **Representatividad de vertebrados terrestres y plantas vasculares en las áreas propuestas**

Las aves y los mamíferos presentaron una distribución más homogénea entre los polígonos seleccionados, mientras que las plantas vasculares, los reptiles y los anfibios se concentraron en ciertas áreas. Esta variación sugiere que cada polígono prioritario aporta elementos distintos a la red de conservación, lo que favorece su complementariedad. Por otra parte, la mayor disponibilidad de registros a lo largo de la cuenca para aves y mamíferos permitió generar modelos de nicho más robustos y representativos, lo que incrementó la probabilidad de que sus áreas idóneas coincidieran con múltiples polígonos seleccionados. Además, debe considerarse que los porcentajes de representación por grupo están condicionados tanto por el número de especies incluidas como por la forma en que fueron incorporadas al análisis.

En este contexto, el polígono 1 presentó representación exclusiva de aves, lo cual se alinea con su condición de humedal, hábitat clave para varias especies de este grupo. Los polígonos 3 y 4 mostraron la representación más equilibrada entre grupos, probablemente por ser los más extensos. En el caso de las plantas vasculares, estos dos polígonos concentran la mayor representación en comparación con el resto, lo cual puede atribuirse a la afinidad de ciertas especies por condiciones de altitud, así como al esfuerzo de muestreo dirigido a este grupo en dichas zonas. Por otro lado, en los polígonos 2, 5 y 6 no quedaron representados los anfibios ni los reptiles, lo que podría estar relacionado con la escasez de registros en esas áreas. Cabe resaltar que no se modeló ninguna especie de anfibio debido a la falta de datos; aunque tres especies fueron incluidas *a priori* en el análisis, ninguna alcanzó a ser representado en los polígonos finales.

El porcentaje de representatividad también está influido por el número total de subgrupos incluidos por grupo. En el caso de los anfibios y reptiles, su mayor representatividad puede explicarse por el bajo número de especies consideradas (18), en contraste con las plantas vasculares (66 especies), para las cuales resultó más difícil alcanzar una alta representación.

Además, la forma en la que se incorporaron los subrogados al análisis fue un factor importante. Para las plantas, solo 12 especies fueron modeladas mediante MNE, mientras que las restantes se incluyeron *a priori*, algunas con apenas uno o dos registros, lo que dificultó su agrupamiento espacial y redujo su probabilidad de ser seleccionadas. Para los demás grupos, la proporción de subrogados incluidos *a priori* fue menor.

### **Características de las áreas propuestas**

El polígono 1 “Málaga” corresponde a un complejo de humedales ubicado al este de la ciudad de Durango. Ha sido identificado con anterioridad como un sitio importante para la anidación de aves acuáticas (Garza-Herrera *et al.*, 2017), entre ellas, el ganso nevado *Anser caerulescens* (De la Fuente y Carrera, 2003). Un estudio sobre la composición florística de los humedales del estado de Durango señala que la mitad de las especies registradas tienen presencia en este complejo (Heynes-Silerio *et al.*, 2017). No obstante, en Málaga persisten algunos parches de matorral xerófilo amenazados principalmente por el crecimiento urbano, expansión de cultivos, actividades pecuarias e industriales.

El polígono 2 “La Joya de Atotonilco” incluye matorral subtropical y algunas zonas de matorral xerófilo. Se distingue por contener áreas idóneas para dos especies endémicas de mamíferos que no están representadas en ninguno de los otros polígonos: *Peromyscus pectoralis* y *Chaetodipus durangae*.

El polígono 3, “Aserradero La Flor”, es el de mayor superficie entre los identificados y abarca territorio de dos municipios. En el municipio de Mezquital, Durango, se ha documentado la presencia de *Salvia odam* (González-Gallegos, 2015; González-Gallegos *et al.*, 2022), una de las tres plantas vasculares microendémicas de la CSPM. Al igual que el polígono 4, destaca por presentar elevaciones que superan los 3,000 msnm, lo que le confiere características distintas respecto a los polígonos de menor altitud. Desde la perspectiva de conservación, su principal amenaza es el aprovechamiento forestal (Rentería-Arrieta y Cantú-Ayala, 2017).

El polígono 4 “Cerro Gordo” corresponde a la cima de mayor elevación en la SMO, donde se han registrado comunidades vegetales con características de vegetación alpina. Junto con los cerros El Huehuento y Las Antenas, es ecológicamente relevante por su alto índice de diversidad y endemismo, compartiendo pocas especies de plantas con estos dos cerros (Ruacho-González *et al.*, 2013). Cabe destacar que el Cerro Gordo también posee un valor cultural, ya que es considerado un sitio sagrado por los pueblos indígenas Tepehuanos del Sur (O’dam y Au’dam), Coras (Náayeri) y Huicholes (Wixárika), quienes lo visitan de forma recurrente para realizar ceremonias y rituales en distintas épocas del año (Cramaussel, 2016).

El polígono 5 “San Blasito” incluye en su mayoría bosque tropical subcaducifolio, así como fauna con afinidad tropical no representada anteriormente en las ANP. Entre ellas se encuentran los murciélagos *Rhogeessa parvula*, *Natalus mexicanus*, *Artibeus jamaicensis*, *Glossophaga leachii*, *Dermanura tolteca*, *Artibeus intermedius*, *Sturnira parvidens*, *Desmodus rotundus*, *Myotis yumanensis* y *Macrotus californicus*; los roedores *Hodomys alleni*, *Sigmodon alleni*, *Sigmodon mascotensis* y *Peromyscus simulus* (López-González *et al.*, 2014); así como el tlacuachín endémico *Tlacuatzin sinaloae*, recientemente descrito (Arcangeli *et al.*, 2018).

El polígono 6 “San Pedro Ixcatán” es el área seleccionada más al sur de la cuenca, de los tipos de vegetación representados, incluye algunos parches de vegetación sabanoide y abarca parte de bosque tropical subcaducifolio, el cual se encuentra amenazado. Las especies no representadas en otros polígonos que se encuentran en esta zona incluyen a las aves *Buteo plagiatus* y *Trogon citreolus*, así como *Bursera vazquezyanesii*, del grupo de las plantas vasculares (Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 2000).

En la Figura 17 se muestra un ejemplo del tipo de vegetación presente en los polígonos seleccionados como prioritarios para su conservación.



**1. Málaga, Durango.**

Fotografía: Dr. Jonathan G. Escobar Flores



**2. La Joya de Atotonilco, Durango.**

Fotografía: Dra. Celia López González



**3. Aserradero La Flor, Durango**

Fotografía: Dra. Ma. del Socorro González E.



**4. Cerro Gordo, Durango.**

Fotografía: Dra. Ma. del Socorro González E.



**5. San Blasito, Nayarit.**

Fotografía: Dra. Celia López González



**6. San Pedro Ixcatán, Nayarit.**

Fotografía: Dra. Celia López González

**Figura 17.** Vegetación en las áreas prioritarias para la conservación en la cuenca del río San Pedro-Mezquital.

Los polígonos propuestos abarcan desde las zonas más elevadas de la cuenca hasta áreas de baja altitud con afinidad tropical, lo que permite representar al gradiente altitudinal de la CSPM. De acuerdo con el estudio de López-González y Lozano (2015), la alta biodiversidad de la CSPM está estrechamente relacionada con su heterogeneidad ambiental y con un alto recambio de especies. Además, se ha observado que en la cuenca grupos como los mamíferos pequeños responden de forma individual a la disponibilidad de recursos específicos, más que a tipos de vegetación o intervalos altitudinales definidos. En este contexto, el cañón del río genera microclimas que permiten una transición ambiental continua y actúa como un corredor para algunas especies, facilitando la dispersión entre las vertientes oriental y occidental de la SMO.

Por otra parte, Albrecht *et al.* (2021) demostraron que en paisajes heterogéneos como el de la CSPM, la riqueza de especies tiene un impacto directo en procesos ecológicos clave como la productividad, la polinización y la acumulación de biomasa, lo que subraya la importancia de conservar ambientes diversos y funcionalmente conectados. Esta perspectiva coincide con lo planteado por Rodríguez *et al.* (2003), quienes destacan que en México la diversidad beta es el principal componente de su megadiversidad, ya que el recambio de especies entre sitios es lo que explica la alta diversidad regional. Ambas ideas refuerzan la necesidad de conservar tanto sitios con alta riqueza como una red representativa de ecosistemas distintos, especialmente en regiones ambientalmente complejas como la CSPM.

### **Planeación Sistemática de la Conservación**

Este trabajo contempló exclusivamente la dimensión biológica de los pasos 1, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 de la PSC, los cuales incluyen la selección del área de estudio, la recopilación y tratamiento de datos, la selección de subrogados, el establecimiento de objetivos de conservación, la evaluación de la representatividad de las ANP existentes en la cuenca y, finalmente, el desarrollo de una propuesta de áreas prioritarias para la conservación basada en atributos biológicos (Margules y Sarkar, 2009; Sarkar e Illoldi-Rangel, 2010).

Los pasos siguientes de la PSC incluyen la evaluación de la vulnerabilidad ante amenazas (paso 9), las cuales, en el corto plazo, se relacionan con el cambio de uso de suelo por actividades agrícolas, ganaderas y la expansión urbana (Figuroa y Sánchez-Cordero, 2008), y a largo plazo, con los efectos del cambio climático, que podrían alterar la distribución de las especies y afectar la funcionalidad de los ecosistemas (Urquiza-Haas *et al.*, 2011). Posteriormente, el proceso contempla la revisión y refinamiento de la red de áreas propuestas (paso 10), la incorporación de criterios de persistencia del hábitat para los subrogados, el análisis de factibilidad para su implementación (paso 11), la ejecución de acciones (paso 12) y el establecimiento de un sistema de monitoreo continuo (paso 13). Estos pasos marcan la ruta hacia una implementación efectiva y permiten la evaluación futura de la propuesta de conservación aquí desarrollada.

### **Amenazas y conectividad ecológica**

La eficacia de la propuesta dependerá no solo de la selección de áreas prioritarias, sino también de su integración en una red ecológicamente conectada. Los seis polígonos pueden funcionar como nodos estratégicos dentro de un sistema interconectado si se conservan parches de vegetación, lo cuales pueden ser incluso vegetación secundaria. Diversos estudios han demostrado que, en paisajes fragmentados, estos hábitats pueden facilitar la dispersión y el movimiento de especies (Estrada *et al.*, 1993; Fahrig, 2003). En este sentido, el mapa de celdas seleccionadas por ConsNet (Figura 14), previo a la delimitación de polígonos, puede servir como una herramienta complementaria para identificar posibles corredores biológicos, ya que varios de estos parches aislados podrían coincidir con zonas clave para enlazar las áreas prioritarias propuestas.

La CSPM enfrenta amenazas relacionadas con el cambio de uso de suelo, concentradas principalmente en la cuenca alta y baja, donde parte de la vegetación primaria ha sido reemplazada por actividades agrícolas, ganaderas y urbanas (Figura 4). Aunque este estudio no aplicó métricas específicas de conectividad ni fragmentación, los patrones espaciales en la distribución de la vegetación sugieren un

aislamiento entre parches de vegetación primaria (Figura 4). En este tipo de escenarios, donde hay pérdida de hábitat, la fragmentación puede afectar negativamente la dispersión y la persistencia de algunas poblaciones biológicas (Fletcher *et al.*, 2018). No obstante, diversos autores han señalado que, incluso en paisajes fragmentados, los parches bien conservados pueden mantenerse conectados mediante corredores funcionales, lo que contribuye a sostener procesos ecológicos clave (Fahrig, 2017).

Además de la conectividad ecológica y las amenazas territoriales, la viabilidad de la propuesta también depende de su implementación práctica en el territorio. Otro factor clave para la implementación efectiva del plan de conservación es la accesibilidad a las áreas seleccionadas. Los seis polígonos propuestos son accesibles mediante carreteras principales y caminos secundarios: el polígono 1 se encuentra próximo a la ciudad de Durango y puede accederse por la carretera 40D y caminos de terracería; el polígono 2, por la carretera 23; el polígono 3, mediante la vía estatal 115 Durango–Aserradero La Flor; los polígonos 4 y 5, por caminos de terracería; y el polígono 6, a través de la carretera estatal Ruiz–Zacatecas (Figura 7). Aledaños a los polígonos existen localidades, en su mayoría pequeñas y con baja densidad poblacional, con excepción del polígono 1, ubicado a 10 km de la ciudad de Durango. La proximidad a estas localidades puede facilitar procesos de consulta y participación comunitaria, así como la implementación de medidas de manejo que integren las necesidades locales. No obstante, también implica considerar posibles conflictos por el uso del territorio y la necesidad de establecer acuerdos con actores locales que aseguren el equilibrio entre conservación biológica y desarrollo.

### **Fortalezas y limitantes metodológicas**

Una de las principales fortalezas metodológicas de este trabajo es la inclusión de subrogados pertenecientes a distintos grupos taxonómicos, lo que permite incorporar una mayor diversidad de hábitats, requerimientos ecológicos y respuestas a las perturbaciones, al integrar especies que interactúan con distintos procesos y condiciones ambientales (Tälle *et al.*, 2023). Se ha demostrado que la combinación de varios grupos biológicos aporta mayor eficacia a la identificación de áreas prioritarias

---

para la conservación, en comparación con enfoques que utilizan un solo taxón (Monroy-Gamboa *et al.*, 2019). La selección de subrogados se ha fundamentado en trabajos previos que consideran diversas características de las especies. En mamíferos y aves se ha priorizado el endemismo y la inclusión en categorías de riesgo (Illoldi-Rangel *et al.*, 2008; Galindo-Cruz, 2021). En anfibios y reptiles se han considerado especies con distribución restringida y susceptibilidad a la fragmentación (Pawar *et al.*, 2007; Urbina-Cardona *et al.*, 2010; Srinivasulu *et al.*, 2021). En el caso de las plantas, se han incorporado atributos bioculturales como el valor etnobotánico, el estatus de protección legal y la vulnerabilidad ecológica (Santi *et al.*, 2010; Suárez-Mota *et al.*, 2015, 2018; Pío-León *et al.*, 2024). Algunos enfoques recientes han considerado también criterios internacionales de conservación, como la inclusión de especies en los listados de CITES (The Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) (Abdollahi *et al.*, 2024). Este análisis incluyó especies endémicas y en riesgo porque suelen tener rangos de distribución reducidos, alta sensibilidad a la fragmentación y una mayor probabilidad de desaparecer si no se toman medidas específicas. Usarlas como subrogados permite identificar sitios irremplazables para la conservación, ya que representan componentes únicos de la biodiversidad regional (Margules y Pressey, 2000; Brooks *et al.*, 2006).

Además de la selección de subrogados, la escala espacial empleada (90 m) representó otra fortaleza clave del análisis, al permitir delimitar con mayor precisión las áreas idóneas para las especies modeladas. Esta resolución es particularmente adecuada en regiones heterogéneas como la CSPM, donde los modelos reflejaron patrones espaciales acordes con el gradiente altitudinal de la cuenca. Como han señalado Wiens (1989) y Tang *et al.* (2025), tanto el grano como la extensión del análisis determinan los patrones ecológicos que pueden detectarse. Austin y Van Niel (2011) destacan que la elección de escala debe ajustarse a los objetivos del estudio y a las características fisiográficas del área, ya que las respuestas de las especies varían según el nivel de resolución. En este trabajo, la elección de escala, junto con el uso de variables topográficas en lugar de bioclimáticas, respondió a la falta de estaciones meteorológicas en la cuenca media, lo que limitaría la precisión de las capas interpoladas de temperatura y precipitación de WorldClim, aumentando el sesgo

---

espacial en la modelación del nicho ecológico. Esta resolución también permitió que ConsNet identificara parches pequeños con alta idoneidad ambiental, lo cual fue clave para que varios subrogados alcanzaran la meta del 10 % de representatividad. No obstante, el uso de una resolución fina también implicó la necesidad de agrupar celdas contiguas para interpretar operativamente los resultados.

Entre las limitantes metodológicas destaca que no fue posible modelar aquellas especies con menos de diez registros de presencia. Aunque se incorporaron *a priori* en ConsNet, su representación espacial fue limitada, lo que derivó en celdas aisladas que no pudieron agruparse con otras celdas idóneas, quedando fuera de la propuesta final. Por otra parte, el presente trabajo no consideró factores socioeconómicos ni criterios de factibilidad, lo cual representa un aspecto pendiente para fortalecer futuras estrategias de conservación en la cuenca.

Si bien no se incluyeron peces como subrogados debido a la falta de datos disponibles, Domínguez-Domínguez *et al.* (2006) destacan que la CSPM alberga una de las líneas más antiguas de la familia Goodeidae, grupo de peces dulceacuícolas endémicos de México. Esta región representa la base evolutiva de la subfamilia Goodeinae, ya que en ella se distribuyen los miembros más primitivos del grupo, como *Characodon lateralis* y *C. audax*. La divergencia de estas especies se asocia con procesos de aislamiento geológico desde el Mioceno, lo que subraya el papel histórico de la CSPM como refugio evolutivo.

La presente propuesta de áreas de conservación se alinea con los compromisos internacionales que México ha asumido en materia de biodiversidad. Uno de los más recientes es la meta de conservar al menos el 30 % del territorio terrestre y marino para el año 2030, establecida en el Marco Mundial para la Biodiversidad post-2020 y retomada a nivel nacional a través de la iniciativa Mex30x30 (FMCN, 2023). La cual busca ampliar la superficie protegida, asegurar la representatividad ecológica y fortalecer la conectividad entre áreas.

## VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados de este estudio indican que las Áreas Naturales Protegidas decretadas en la cuenca brindan una cobertura parcial a las especies endémicas y en riesgo, sin garantizar la representatividad necesaria para conservar el conjunto de especies evaluado. De los 142 subrogados considerados, solo el 46.48 % se encuentran incluidos en alguna ANP.

La propuesta de seis nuevos polígonos, distribuidos a lo largo del gradiente altitudinal, complementa al sistema actual al incorporar especies endémicas, especies en alguna categoría de riesgo y tipos de vegetación previamente no representados, como el bosque tropical subcaducifolio y la vegetación sabanoide. En conjunto con las ANP existentes, se protegerían áreas idóneas para 1,287 especies de los cuatro grupos taxonómicos evaluados, de las cuales 81 son de importancia para la conservación. Este sistema combinado permitiría incluir a los 53 subrogados modelados, de los cuales 39 alcanzarían la meta de conservar al menos el 10 % de su área idónea, además de contemplar ocho especies endémicas con menos de diez registros.

Desde el punto de vista metodológico, el análisis se caracterizó por integrar distintos grupos taxonómicos y emplear variables topográficas con una resolución espacial fina (90 m), lo que permitió delimitar con mayor precisión las zonas de alta idoneidad ambiental. No obstante, las especies con menos de diez registros no pudieron ser modeladas, lo que limitó su representación espacial.

La propuesta presentada tiene el objetivo de orientar procesos de expansión del sistema de ANP y apoyar la planeación territorial en la cuenca. Se recomienda que en futuras etapas de planificación se incorporen variables socioeconómicas y criterios de factibilidad, considerando las presiones sobre el uso del suelo y promoviendo la participación de las comunidades locales.

## IX. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Abdollahi, S., Khalilzadeh, P., Zeilabi, E. y Lesbarrères, D. (2024). Spatial assessment of biodiversity and conservation priorities in Hamedan Province, Iran, using a landscape ecology approach. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 14, 358-371. <https://doi.org/10.1007/s13412-024-00890-9>
- Aguilar-Tomasini, M. A., Martin, M. D. y Speed, J. D. M. (2021). Assessing spatial patterns of phylogenetic diversity of Mexican mammals for biodiversity conservation. *Global Ecology and Conservation*, 31, e01834. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01834>
- Albrecht, J., Peters, M. K., Becker, J. N. et al. Species richness is more important for ecosystem functioning than species turnover along an elevational gradient. *Nature Ecology & Evolution*, 5, 1582–1593 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01550-9>
- Aliaga-Samanez, A., Real, R., Vermeer, J., Olivero, J. (2019). Modelling species distributions limited by geographical barriers: A case study with African and American primates. *Global Ecology and Biogeography*, 29, 444-453. <https://doi.org/10.1111/geb.13041>
- Anderson, R. P. y Martínez-Meyer, E. (2004). Modeling species' geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (*Heteromys*) of Ecuador. *Biological Conservation*, 116(2024), 167-179. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(03\)00187-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00187-3)
- Arcangeli, J., Light, J. E. y Cervantes, F. A. (2018). Molecular and morphological evidence of the diversification in the gray mouse opossum, *Tlacuatzin canescens* (*Didelphimorphia*), with description of a new species. *Journal of Mammalogy*, 99(1), 138–158. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyx173>

- Arriaga, L., Espinoza-Rodríguez, J. M., Aguilar-Zúñiga, C., Martínez-Romero, E., Gómez-Mendoza, L. y Loa, E. (2000). Regiones Terrestres Prioritarias de México. CONABIO, México.  
<https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/1036.pdf>
- Austin, M. P. y Van Niel, K. P. (2011). Improving species distribution models for climate change studies: variable selection and scale. *Journal of Biogeography*, 38, 1-8.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02416.x>
- Ball, I. R., Possingham, H. P. y Watts, M. E. (2009). Marxan and relatives: Software for spatial conservation prioritization. En *Spatial conservation prioritization: Quantitative methods and computational tools*. Oxford University Press, Reino Unido. 185–195. <https://doi.org/10.1093/oso/9780199547760.003.0014>
- Barquez, R. M., Aguirre, L. F., Nassar, J. M., Burneo, S. F., Mancina, C. A. y Díaz, M. M. (2022). Áreas y Sitios de Importancia para la Conservación de los Murciélagos en Latinoamérica y El Caribe (1a ed.). RELCOM.  
<https://relcomlatinoamerica.net/libro-aicoms-sicoms>
- Basille, M., Calenge, C., Marboutin, E., Andersen, R. y Gaillard, J. M. (2008). Assessing habitat selection using multivariate statistics: Some refinements of the ecological-niche factor analysis. *Ecological modelling*, 211, 233-240.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.09.006>
- Begon, M., Townsend, C. R., y Harper, J. L. (2006). *Ecology from individuals to ecosystems* (4a ed.). Blackwell Publishing, Reino Unido.
- Bezaury-Creel, J. y Gutiérrez-Carbonell, D. (2009). Áreas naturales protegidas y desarrollo social en México. En: *Capital natural de México vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México. 385-431.  
<https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/7404.pdf>

- Boria, R. A., Olson, L. E., Goodman, S. M. y Anderson, R. P. (2014). Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models. *Ecological Modelling*, 275(10), 73-77. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.12.012>
- Botello, F., Sarkar, S. y Sánchez-Cordero, V. (2015). Impact of habitat loss on distributions of terrestrial vertebrates in a high-biodiversity region in Mexico. *Biological Conservation*, 184, 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.11.035>
- Brito-Castillo, L., Farfán, L. M., Pineda-Martínez, L. F. y Vega-Camarena, J. P. (2019). Eventos de inundación en el Río San Pedro-Mezquital, Nayarit, México. *Digital Ciencia @UAQRO*, 12(1), 22-32. <https://revistas.uaq.mx/index.php/ciencia/article/view/11>
- Brooks, T. M., Mittermeier, R. A., Da Fonseca, G. A. B., Gerlach, J., Hoffmann, M., Lamoreux, J. F., Mittermeier, C. G., Pilgrim, J. D. y Rodrigues, A. S. L. (2006). Global Biodiversity Conservation Priorities. *Science*, 313(5783), 58–61. <https://doi.org/10.1126/science.1127609>
- Carabias, J., Meave, J. A., Valverde, T. y Cano-Santana, Z. (2009). Ecología y medio ambiente en el siglo XXI (1a ed.). Pearson Educación, México.
- Chávez González, H., González Guillén, M. J. y Hernández de la Rosa, P. (2014). Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6 (27), 8-23. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i27.277>
- Ciarleglio, M., Barnes, J. W., y Sarkar, S. (2009). ConsNet: New software for the selection of conservation area networks with spatial and multi-criteria analyses. *Ecography*, 32, 205–209. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2008.05721.x>

- Ciarleglio, M., Barnes, J.W. y Sarkar, S. (2010a). ConsNet—A tabu search approach to the spatially coherent conservation area network design problem. *Journal of Heuristics*, 16, 537–557. <https://doi.org/10.1007/s10732-008-9098-7>
- Ciarleglio, M., Sarkar, S. y Barnes, J. W. (2010b). ConsNet Manual ver 2.0. University of Texas Austin. [http://uts.cc.utexas.edu/~consbio/Cons/consnet\\_home.html](http://uts.cc.utexas.edu/~consbio/Cons/consnet_home.html)
- Cobos, M. E., Peterson, A. T., Barve, N. y Osorio-Olvera, L. (2019). kuenm: an R package for detailed development of ecological niche models using Maxent. *PeerJ*, 7, e6281. <https://doi.org/10.7717/peerj.6281>
- Cobos, M. E., Nuñez-Penichet, C., Campbell, P. D., Cooper, J. C., Machado-Stredel, F., Barve, N., Ashraf, U., Alkische, A. A., Ng'eno, E., Nair, R. R., Atauchí, P. J. Adeboje, A. y Peterson, A. T. (2023). Effects of occurrence data density on conservation prioritization strategies. *Biological Conservation*, 284 (2023), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110207>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2013a). Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales Nayarit. [https://simec.conanp.gob.mx/pdf\\_libro\\_pm/77\\_libro\\_pm.pdf](https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/77_libro_pm.pdf)
- CONANP. (2013b). Programa de Manejo Parque Nacional Sierra de Órganos. [https://simec.conanp.gob.mx/pdf\\_libro\\_pm/48\\_libro\\_pm.pdf](https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/48_libro_pm.pdf)
- CONANP. (2018). 100 años de conservación en México: Áreas Naturales Protegidas de México. SEMARNAT-CONANP, México. <https://www.conanp.gob.mx/pdf/100A%C3%B1osConservaci%C3%B3n.pdf>
- CONANP. (2020). Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2020 – 2024. [https://www.conanp.gob.mx/datos\\_abiertos/DES/PNANP2020-2024.pdf](https://www.conanp.gob.mx/datos_abiertos/DES/PNANP2020-2024.pdf)
- CONANP. (2024a). Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (diciembre 2024). [https://advc.conanp.gob.mx/wp-content/uploads/2025/01/Listado\\_ADVC\\_diciembre2024.pdf](https://advc.conanp.gob.mx/wp-content/uploads/2025/01/Listado_ADVC_diciembre2024.pdf)

CONANP. (2024b). Áreas Naturales Protegidas. CONANP. <https://www.gob.mx/conanp/documentos/areas-naturales-protegidas-278226>

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2024). Información estadística climatológica. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2015). Áreas de Importancia para la Conservación de las aves AICA. <https://avesmx.conabio.gob.mx/AICA.html>

Cramaussel, C. (2016). El recorrido al Cerro Gordo y el ritual tepehuano de las ofrendas en los cerros de la comunidad de San Bernardino de Milpillas. *Frontera Norte*, 26(52), 135–154. <https://doi.org/10.17428/rfn.v26i52.106>

De la Fuente, G. y Carrera, E. (2003). Identificación, clasificación y protección de los humedales de importancia para el ganso del ártico en México. Ducks Unlimited de México.

Diario Oficial de la Federación (DOF). (1917). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>

DOF. (1988). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>

DOF. (1992). Ley de Aguas Nacionales. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAN.pdf>

DOF. (2000a). Ley General de Vida Silvestre. [https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/146\\_200521.pdf](https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/146_200521.pdf)

DOF. (2000b). Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Áreas Naturales Protegidas. [https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg\\_LGEEPA\\_ANP.pdf](https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGEEPA_ANP.pdf)

DOF. (2007). Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPAS.pdf>

DOF. (2018). Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGDFS.pdf>

Díaz, S. y Malhi, Y. (2022). Biodiversity: Concepts, patterns, trends, and perspectives. *Annual Review of Environment and Resources*, 47, 31-63. <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-environ-120120-054300>

Domínguez-Domínguez, O., Doadrio, I. y Pérez-Ponce de León, G. (2006). Historical biogeography of some river basins in central Mexico evidenced by their goodeine freshwater fishes: a preliminary hypothesis using secondary Brooks parsimony analysis. *Journal of Biogeography*, 33, 1437-1447. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01526.x>

Elith, J. y Leathwick, J. R. (2009). Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 677–697. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159>

Escobedo-Quiñones, H. E., Salinas-Rodríguez, S. A., Barrios-Ordoñez, J. E. y Martínez-Pacheco, A. I. (2017). Caudales ecológicos en la cuenca del río San Pedro-Mezquital. En: *La biodiversidad en Durango. Estudio de Estado*. CONABIO, México. 541-553. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/13345.pdf>

Estrada, A., Coates-Estrada, R., y Meritt, D. A. (1993). Bat species richness and abundance in tropical rain forest fragments and in agricultural habitats at Los Tuxtlas, Mexico. *Ecography*, 16(4), 309–318. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.1993.tb00220.x>

- Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34, 487–515. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419>
- Fahrig, L. (2017). Ecological Responses to Habitat Fragmentation Per Se. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48, 1-23. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022612>
- Figueroa, F. y Sánchez-Cordero, V. (2008). Effectiveness of natural protected areas to prevent land use and land cover change in Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 17, 3223–3240. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9423-3>
- Fletcher, R. J., Didham, R. K., Banks-Leite, C., Barlow, J., Ewers, R. M., Rosindell, J., Holt, R. D., Gonzalez, A., Pardini, R., Damschen, E. I., Melo, F. P. L., Ries, L., Prevedello, J. A., Tschamntke, T., Laurance, W. F., Lovejoy, T. y Haddad, N. M. (2018). Is habitat fragmentation good for biodiversity? *Biological Conservation*, 226, 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.07.022>
- Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN). (2023). *Proyecto MEx30x30*. <https://fmcn.org/es/noticia/proyecto-mex30x30>
- Fryxell, P.A. (1988). *Malvaceae of Mexico*. *Systematic Botany Monographs*, 25, 1-522. <https://doi.org/10.2307/25027717>
- Fuller, T., Sánchez-Cordero, V., Illoldi-Rangel, P., Linaje, M. y Sarkar, S. (2007). The cost of postponing biodiversity conservation in Mexico. *Biological Conservation*, 134 (2007), 593-600. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.08.028>
- Galindo-Cruz, A., Rosas-Espinoza, V. C., Vásquez-Bolaños, M. y Sahagún-Sánchez, F. J. (2021). Priorización de áreas para la conservación de aves en el occidente de la Faja Volcánica Transmexicana. *Madera y Bosques*, 27(2), e2722175. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722175>

- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. <https://librosoa.unam.mx/handle/123456789/1372>
- Garza-Herrera, A., Sharp, B., Aragón Piña, E. E. y Ríos Ruiz, F. (2017). Aves. En: *La biodiversidad en Durango. Estudio de Estado*. CONABIO, México. 459-474. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/13345.pdf>
- Glover, F., Taillard, E. y de Werra, D. (1993). A user's guide to tabu search. *Annals of Operations Research*, 41, 1–28. <https://doi.org/10.1007/BF02078647>
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., y Márquez Linares, M. A. (2007). Vegetación y Ecorregiones de Durango. Plaza y Valdés Editores-Instituto Politécnico Nacional.
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L. y López-Enríquez, I. L. (2012). Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: una síntesis. *Acta Botanica Mexicana*, 100, 351-403. <https://doi.org/10.21829/abm100.2012.40>
- González-Elizondo, M., González-Elizondo, M. S., López-Enríquez, I. L. y Herrera-Arrieta, Y. (2017). Importancia económica y usos tradicionales de la flora. En: *La biodiversidad en Durango. Estudio de Estado*. CONABIO, México. 513-528. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/13345.pdf>
- González-Gallegos, J. G. (2015). Two New *Salvia* Species (Lamiaceae) from the Sierra Madre Occidental, Durango, Mexico. *Systematic Botany*, 40(4), 1093-1101. <https://doi.org/10.1600/036364415X690139>
- González-Gallegos, J. G., Castro-Castro, A., González-Elizondo, M., López-Enríquez, I. L., Ruacho-González, L. y Retana-Rentería, F. L. (2022). Riqueza y distribución de Lamiaceae en el estado de Durango, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 93, e933838. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2022.93.3838>

- González Ocampo, H. A., Cortés-Calva, P., Íñiguez Dávalos, L. I., Ortega-Rubio, A. (2014). Las áreas naturales protegidas de México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 60, 7-15. <https://revistas.uaa.mx/index.php/investycien/article/view/3666>
- Gual-Díaz, M. y Rendón-Correa, A. (2017). Los bosques mesófilos de montaña de México. *Agro Productividad*, 10(1), 3-9. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/930>
- Herrera Izaguirre, J. A., Cruz Rodríguez, D. y Reyes Monsiváis, D. (2019). Áreas naturales protegidas: ¿esquema de conservación integral en el RLGE EPA-ANP? *Boletín Mexicano De Derecho Comparado*, 1(153), 879–902. <https://doi.org/10.22201/ij.24484873e.2018.153.13661>
- Heynes-Silerio, S. A., González-Elizondo, M. S., Ruacho-González, L., González-Elizondo, M. y López-Enríquez, I. L. (2017). Vegetación de humedales del municipio de Durango, Durango, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(2), 358–364. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.005>
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. y Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25 (15), 1965-1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Hutchinson, G. E. (1957). Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22, 415–427. <https://doi.org/10.1101/SQB.1957.022.01.039>
- Illoldi-Rangel, P., Fuller, T., Linaje, M., Pappas, C., Sánchez-Cordero, V. y Sarkar, S. (2008). Solving the maximum representation problem to prioritize areas for the conservation of terrestrial mammals at risk in Oaxaca. *Diversity and Distributions*, 14, 493–50. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00458.x>

Íñiguez Dávalos, L. I., Jiménez Sierra, C. L., Sosa Ramírez, J. y Ortega-Rubio, A. (2014). Categorías de las áreas naturales protegidas en México y una propuesta para la evaluación de su efectividad. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 22(60), 65-70. <https://revistas.uaa.mx/index.php/investycien/article/view/3692/3067>

Íñiguez Dávalos, L. I., Jiménez Sierra, C. L., Sosa Ramírez, J. y Ortega-Rubio, A. (2015). Valoración de las diferentes categorías de las áreas naturales protegidas en México. En A. Ortega-Rubio, M. J. Pinkus-Rendón e I. C. Espitia-Moreno (Ed.), *Las Áreas Naturales Protegidas y la Investigación Científica en México*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C., La Paz B.C.S., Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2024). Consulta de información/Presas. <http://sisuar.imta.mx/aplicacion/vista/presa/presas.php>

Instituto Mexicano del Transporte (IMT). (2024). *Red Nacional de Caminos*. <http://rnc.imt.mx>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2008). Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Unidades climáticas. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>

INEGI. (2016). Estructura económica de Zacatecas en síntesis. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825088507.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825088507.pdf)

INEGI. (2017). Anuario estadístico y geográfico de Durango 2017. [https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/anuarios\\_2017/702825092115.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825092115.pdf)

INEGI. (2020). México en cifras. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/#collapse-Resumen>

INEGI. (2021). Uso de suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII (continuo nacional).

<http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/usv250s7gw.html>

INEGI. (2022). Producto Interno Bruto por Entidad Federativa (PIBE).

<https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/PIBEF/PIBEF2022.pdf>

Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas (INPI). (2025). Catálogo Nacional de Pueblos y Comunidades Indígenas y Afromexicanas.

<https://catalogo.inpi.gob.mx/>

International Union for the Conservation of Nature (IUCN). (1994). World Conservation Strategy: Conservation for Sustainable Development. Worldwide Fund for Nature, Gland, Switzerland.

Koleff, P., Tambutti, M., March, I. J., Esquivel, R., Cantú, C. y Lira-Noriega, A. (2009). Identificación de prioridades y análisis de vacíos y omisiones en la conservación de la biodiversidad de México. En: Capital natural de México vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México. 385-431.

<https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/7404.pdf>

Koleff, P. y Urquiza-Haas, T. (2011). Planeación para la conservación de la biodiversidad terrestre en México: retos en un país megadiverso. CONANP.

[https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/versiones\\_digitales/conservacion133r.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/versiones_digitales/conservacion133r.pdf)

Li, Y., Wang, Y., Zhao, C., Du, X., He, P. y Meng, F. (2024). Predicting the spatial distribution of three *Ephedra* species under climate change using the MaxEnt model. *Heliyon*, 10, e32696. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32696>

- López-González, C., García-Mendoza, D. F. y Correa-Ramírez, M. M. (2013). Morphologic characterization of *Peromyscus schmidlyi* (Rodentia: Cricetidae), an endemic of the Sierra Madre Occidental, Mexico. *Journal of Mammalogy*, 94(4), 923-937. <https://doi.org/10.1644/13-MAMM-A-004.1>
- López-González, C., Lozano, A., García-Mendoza, D. F. y Villanueva-Hernández, A. I. (2014). Mammals of the San Pedro-Mezquital River Basin, Durango-Nayarit, Mexico. *Check list*, 10(6), 1277-1289. <https://doi.org/10.15560/10.6.1277>
- López-González, C. y Lozano, A. (2015). Metacommunity structure of small mammals in Western Mexico: Is the San Pedro-Mezquital River a biological corridor? *The Southwestern Naturalist*, 60(4), 327-335. <https://doi.org/10.1894/0038-4909-60.4.327>
- López-González, C., Sandoval, S. y Escobar-Flores, J. G. (2023). An ecoregionalization of the Sierra Madre Occidental, México, based on non-volant, small mammal distributions. *Écoscience*, 30, 65-81. <https://doi.org/10.1080/11956860.2023.2207947>
- Margules, C. R. y Pressey, R. L. (2000). Systematic conservation planning. *Nature*, 405, 243-253. <https://doi.org/10.1038/35012251>
- Margules, C. R. y Sarkar, S. (2009). Planeación Sistemática de la Conservación, traducción Sánchez-Cordero, V. y Figueroa, F. Cambridge University Press.
- Márquez-Linares, M. A. (2017). Hidrología superficial. En: *La biodiversidad en Durango. Estudio de Estado*. CONABIO, México. 53-58. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/13345.pdf>
- Martínez-Meyer, E., Sosa-Escalante, J. E. y Álvarez, F. (2014). El estudio de la biodiversidad en México: ¿una ruta con dirección? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(S1), 1-9. <https://doi.org/10.7550/rmb.43248>

- Mayani-Parás, F., Botello, F., Castañeda, S., Munguía-Carrara, M. y Sánchez-Cordero, V. (2021). Cumulative habitat loss increases conservation threats on endemic species of terrestrial vertebrates in Mexico. *Biological Conservation*, 253 (2021), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108864>
- Mayani-Parás, F., Botello, F., Castañeda, S., Munguía-Carrara, M. y Sánchez-Cordero, V. (2022). Extinction risk assessment of the endemic terrestrial vertebrates in Mexico. *Biological Conservation*, 270 (109562), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109562>
- Melo-Merino, S. M., Reyes-Bonilla, H. y Lira-Noriega, A. (2020). Ecological niche models and species distribution models in marine environments: A literature review and spatial analysis of evidence. *Ecological Modelling*, 415 (108837), 1-35. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108837>
- Moilanen, A., Franco, A. M. A., Early, R. I., Fox, R., Wintle, B. y Thomas, C. D. (2005). Prioritizing multiple-use landscapes for conservation: methods for large multi-species planning problems. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 272(1575), 1885–1891. <https://doi.org/10.1098/rspb.2005.3164>
- Monroy-Gamboa, A. G., Briones-Salas, M. A., Sarkar, S. y Sánchez-Cordero, V. (2019). Terrestrial vertebrates as surrogates for selecting conservation areas in a biodiversity hotspot in Mexico. *Conservation Science and Practice*, 1(12), 1-9. <https://doi.org/10.1111/csp2.12>
- Montenegro, O. L. (2009). La conservación biológica y su perspectiva evolutiva. *Acta Biológica Colombiana*, 14, 255-268. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-548X2009000400016](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2009000400016)
- Morrone, J. J. (2019). Regionalización biogeográfica y evolución biótica de México: encrucijada de la biodiversidad del Nuevo Mundo. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90, e902980. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2980>

- Ordóñez-Garza, N. y Bradley, R. D. (2011). *Peromyscus schmidlyi* (Rodentia: Cricetidae). *Mammalian Species*, 43 (872), 31–36. <https://doi.org/10.1644/872.1>
- Pawar, S., Koo, M. S., Kelley, C., Ahmed, M. F., Chaudhuri, S. y Sarkar, S. (2007). Conservation assessment and prioritization of areas in Northeast India: Priorities for amphibians and reptiles. *Biological conservation*, 136, 346-361. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.12.012>
- Peterson, A. T. y Holt, R. D. (2003). Niche differentiation in Mexican birds: using point occurrences to detect ecological innovation. *Ecology Letters*, 6, 774–782. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00502.x>
- Phillips S. J., Anderson R. P. y Schapire R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Pío-León, J. F., Munguía-Lino, G., González-Gallegos, J. G. y González-Elizondo, M. (2024). Priority areas for conservation based on endemic vascular plant species and their biocultural attributes: a case study in Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 95, 1-12. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2024.95.5446>
- Primack, R., Rozzi, R., Feinsinger, P., Dirzo, R. y Massardo, F. (2001). *Fundamentos de conservación biológica perspectivas latinoamericanas* (1a ed.). Fondo de Cultura Económica, México.
- Ramírez-Morillo, I., Carrillo-Reyes, P., Tapia-Muñoz, J. L. y Ramírez-Díaz, C. J. (2021). In disentangling two species limits of *Hechtia* (Bromeliaceae: Hechtioideae) from Sierra Madre Occidental, a new species is discovered from Durango, Mexico. *Phytotaxa*, 523(1), 55-72. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.523.1.3>
- Ramsar. (1995). The Convention on Wetlands. <https://rsis Ramsar.org>

- Rentería-Arrieta, L., Cantú Ayala, C., Estrada Castellón, E., Moncivais, J. M. y González Saldívar, F. (2011). Representatividad de los tipos de vegetación en las áreas naturales protegidas de Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(3), 69-82. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v2i3.630>
- Rentería-Arrieta, L. I. y Cantú-Ayala, C. (2017). Identificación de los vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad. En: *La biodiversidad en Durango. Estudio de Estado*. CONABIO, México. 173-182. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/13345.pdf>
- Reyes-Carrillo, R. (2020). Diagnóstico de riesgo de la actividad minera de las cuencas de los ríos Presidio y San Pedro [tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional]. <https://repositoriodigital.ipn.mx/jspui/handle/123456789/26243>
- Rodríguez, P., Soberón, J. y Arita, H. (2003). El componente beta de la diversidad de mamíferos de México. *Acta Zoológica Mexicana*, 89, 241-259. <https://doi.org/10.21829/azm.2003.89891785>
- Rodríguez-Gutiérrez, M. F. (2022). Análisis panbiogeográfico de los saurios de la Sierra Madre Occidental [tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional].
- Ruacho-González, L., González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M. y López-González, C. (2013). Diversidad florística en cimas de la Sierra Madre Occidental, México, y su relación con variables ambientales. *Botanical Sciences*, 91(2), 193-205. <https://doi.org/10.17129/botsci.414>
- Rzedowski, J. y Calderón de Rzedowski, G. (2000). Tres especies nuevas de *Bursera* (Burseraceae) de la región costera del occidente de México. *Acta Botanica Mexicana*, 50, 47–59. <https://doi.org/10.21829/abm50.2000.843>
- Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. Primera edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

- Sánchez-Cordero, V., Cirelli, V., Munguía, M. y Sahotra, S. (2005). Place prioritization for biodiversity representation using species ecological niche modeling. *Biodiversity Informatics*, 2, 11-23. <https://doi.org/10.17161/bi.v2i0.9>
- Sánchez-Cordero, V., Illoldi, P., Linaje, M., Fuller, T. y Sarkar, S. (2008). ¿Por qué hay un costo en posponer la conservación de la diversidad biológica en México? *Biodiversitas-CONABIO*, 76, 7-12.
- Sánchez-Cordero, V., Figueroa, F., Illoldi-Rangel, P. y Linaje, M. (2011). Efectividad del sistema de áreas protegidas para conservar la vegetación natural. En: *Planeación para la conservación de la biodiversidad terrestre en México: retos en un país megadiverso*. CONANP, México. 59-86. [https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/versiones\\_digitales/conservacion133r.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/versiones_digitales/conservacion133r.pdf)
- Sandoval, S., López-González, C., Escobar-Flores, J. G. y Martínez-Rincón, R. O. (2020). Effect of spatial resolution, algorithm and variable set on the estimated distribution of a mammal of concern: the squirrel *Sciurus aberti*. *Écoscience*, 27, 195–207. <https://doi.org/10.1080/11956860.2020.1772609>
- Santana, E. y Graf Montero, S. (2009). Planeación y gestión ambiental municipal en las regiones prioritarias de México. En: *Capital natural de México vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO. 385-431. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/7404.pdf>
- Santi, E., Maccherini, S., Rocchini, D., Bonini, I., Brunialti, G., Favilli, L., Perini, C., Pezzo, F., Piazzini, S., Rota, E., Salerni, E. y Chiarucci, A. (2010). Simple to sample: Vascular plants as surrogate group in a nature reserve. *Journal for Nature Conservation*, 18(2010), 2-11. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2009.02.003>
- Sarkar, S., Aggarwal, A., Garson, J., Margules, C. R. y Zeidler, J. (2002). Place prioritization for biodiversity content. *Journal of Biosciences*, 4(2), 339-346. <https://doi.org/10.1007/BF02704964>

Sarkar, S., Pressey, R. L., Faith, D. P., Margules, C. R., Fuller, T., Stoms, D. M., Moffett, A., Wilson, K. A., Williams, K. J., Williams, P. H. y Andelman, S. (2006). Biodiversity Conservation Planning Tools: Present Status and Challenges for the Future. *Annual Review of Environment and Resources*, 31, 123-159. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.31.042606.085844>

Sarkar, S. e Illoldi-Rangel, P. (2010). Systematic Conservation Planning: an Updated Protocol. *Natureza & Conservação*, 8(1), 19-26. <http://dx.doi.org/10.4322/natcon.00801003>

Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., Halffter, G., González, R., March, I., Mohar, A., Anta, S. y De la Maza, J. (2009). Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. CONABIO, México. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/6362.pdf>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010. <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm>

SEMARNAT. (2013). Cuencas hidrográficas fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. Cuadernos de divulgación ambiental. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001596.pdf>

- SEMARNAT. (2014). Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de aguas superficiales en las Cuencas Hidrológicas Laguna de Santiaguillo, La Tapona, Río La Saucedá, Río El Tunal, Río Santiago Bayacora, Río Durango, Río Poanas, Río Súchil, Río Graseros, Río San Pedro-Mezquital y Río San Pedro-Desembocadura de la Subregión Hidrológica Río San Pedro de la Región Hidrológica número 11 Presidio-San Pedro. Diario Oficial de la Federación, 09 de julio de 2024. <https://catalogonacional.gob.mx/FichaRegulacionid?regulacionId=83592>
- SEMARNAT. (2019). MODIFICACIÓN del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019#gsc.tab=0)
- Sillero, N. y Barbosa, A. M. (2021). Common mistakes in ecological niche models. *International Journal of Geographical Information Science*, 35(2), 213-226. <https://doi.org/10.1080/13658816.2020.1798968>
- Soulé, M. E. (1985). What is Conservation Biology? A new synthetic discipline addresses the dynamics and problems of perturbed species, communities, and ecosystems. *BioScience*, 35(11), 727–734. <https://doi.org/10.2307/1310054>
- Srinivasulu, A., Srinivasulu, B. y Srinivasulu, C. (2021). Ecological niche modelling for the conservation of endemic threatened squamates (lizards and snakes) in the Western Ghats. *Global Ecology and Conservation*, 28, e01700. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01700>
- Suárez-Mota, M. E., Villaseñor, J. L. y López-Mata, L. (2015). La región del Bajío, México y la conservación de su biodiversidad florística. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86, 799-808. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2015.06.001>

- Suárez-Mota, M. E., Villaseñor, J. L. y Ramírez-Aguirre, M. B. (2018). Sitios prioritarios para la conservación de la riqueza florística y el endemismo de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Acta Botanica Mexicana*, 124, 49-74. <https://doi.org/10.21829/abm124.2018.1296>
- Tälle, M., Ranius, T. y Öckinger, E. (2023). The usefulness of surrogates in biodiversity conservation: A synthesis. *Biological Conservation*, 288, 110384. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110384>
- Tang, Z., Tian, H., Wang, Y., Zhang, J., Li, W., Wang, T., Cheng, J., Su, C. y Qi, L. (2025). Scale effects of supplementary nature reserves on biodiversity conservation in China's southern hilly region. *Journal of Environmental Management*, 373, 123676. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123676>
- Urbina-Cardona, J. N. y Flores-Villela, O. (2010). Ecological-Niche modeling and prioritization of conservation-area networks for mexican herpetofauna. *Conservation Biology*, 24(4), 1031-1041. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01432.x>
- Urquiza-Haas, T., Tobón, W. y Koleff, P. (2011). Sitios prioritarios para la conservación de mamíferos terrestres: evaluación de los criterios de selección de indicadores. En: *Planeación para la conservación de la biodiversidad terrestre en México: retos en un país megadiverso*. 131-149. [https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/versiones\\_digitales/conservacion133r.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/versiones_digitales/conservacion133r.pdf)
- Wiens, J. A. (1989). Spatial scaling in ecology. *Functional Ecology*, 3 (4), 385-397. <https://doi.org/10.2307/2389612>
- Wisz, M. S., Hijmans, R. J., Li, J., Peterson, A. T., Graham, C. H., Guisan, A. y NCEAS Predicting Species Distributions Working Group. (2008). Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*, 14, 763-773. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2008.00482.x>

World Wildlife Fund (WWF). (2009). Propuesta de caudal ecológico en la cuenca San Pedro-Mezquital y su consideración en el estudio de disponibilidad de aguas superficiales. Fundación Gonzalo Río Arronte, I. A. P.

WWF. (2012a). El Río San Pedro Mezquital el gran desconocido. Alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte, I. A. P. [https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/san\\_pedro\\_mezquital\\_2012.pdf](https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/san_pedro_mezquital_2012.pdf)

WWF. (2012b). La cuenca del río San Pedro Mezquital (ficha técnica). Alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte, I. A. P. [https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/fichatecnica\\_sanpedromezquital.pdf](https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/fichatecnica_sanpedromezquital.pdf)

## X. ANEXOS

**Anexo I.** Modificaciones realizadas a la capa de uso de suelo y vegetación de la serie VII del INEGI.

<b>Tipos de vegetación, serie VII INEGI</b>	<b>Modificaciones hechas a los polígonos</b>	<b>Tipos de vegetación considerados en este trabajo</b>
Agricultura de riego anual Agricultura de riego anual y permanente Agricultura de riego anual y semipermanente Agricultura de riego permanente Agricultura de temporal anual Agricultura de temporal anual y permanente Agricultura de temporal permanente	Unión de polígonos	Agricultura
Bosque de encino Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino	Unión de polígonos	Bosque de encino
Bosque de pino Bosque de pino-encino Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino	Unión de polígonos	Bosque de pino-encino

<b>Tipos de vegetación, serie VII INEGI</b>	<b>Modificaciones hechas a los polígonos</b>	<b>Tipos de vegetación considerados en este trabajo</b>
<p>Bosque mesófilo de montaña</p> <p>Vegetación secundaria arbórea de bosque mesófilo de montaña</p> <p>Vegetación secundaria arbustiva de bosque mesófilo de montaña</p> <p>Vegetación secundaria arbórea de bosque mesófilo de montaña</p> <p>Vegetación secundaria herbácea de bosque mesófilo de montaña</p>	<p>Unión de polígonos</p>	<p>Bosque mesófilo de montaña</p>
<p>Selva baja caducifolia</p> <p>Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia</p> <p>Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia</p>	<p>Unión de polígonos</p>	<p>Bosque tropical caducifolio</p>
<p>Selva mediana subcaducifolia</p> <p>Vegetación secundaria arbórea y arbustiva de selva mediana subcaducifolia</p>	<p>Unión de polígonos</p>	<p>Bosque tropical subcaducifolio</p>

Tipos de vegetación, serie VII INEGI	Modificaciones hechas a los polígonos	Tipos de vegetación considerados en este trabajo
Chaparral	Sin modificaciones	Chaparral
Pastizal inducido	Pastizal inducido en una elevación mayor a 2000 msnm, se modificó el nombre	Claros en bosque templado
	Pastizal inducido en una elevación entre 1600-1999 msnm, se modificó el nombre	Vegetación secundaria de pastizal inducido
	Pastizal inducido en una elevación <1600 msnm	Vegetación sabanoide
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia Vegetación secundaria arbustiva de selva mediana subcaducifolia Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino*	Unión de polígonos *En cañada (quebrada) San Pedro-Mezquital	Matorral subtropical
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino*	Unión de polígonos *En la cuenca alta correspondiente al Altiplano	Matorral xerófilo
Matorral crasicaule	Mexicano, vegetación	
Matorral rosetófilo	derivada de encinares bajos	

<b>Tipos de vegetación, serie VII INEGI</b>	<b>Modificaciones hechas a los polígonos</b>	<b>Tipos de vegetación considerados en este trabajo</b>
Matorral espinoso (de mezquite y huizache)	Unión de polígonos	Matorral xerófilo
Pastizal natural	Se modificó el nombre	Pastizal natural y matorral xerófilo
Manglar Vegetación secundaria de manglar Vegetación acuática y subacuática Vegetación halófila hidrófila	Unión de polígonos	Vegetación costera
Asentamientos humanos	Sin modificaciones	Asentamientos humanos
Cuerpos de agua	Sin modificaciones	Cuerpos de agua
Desprovisto de vegetación	Se modificó el nombre	Sin vegetación aparente

**Anexo II.** Listado de especies de subrogados de la cuenca del río San Pedro-Mezquital y su inclusión en la red de áreas de conservación.

Categorías de riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010-Anexo Normativo III (2019), (NC: No considerada, Pr: Sujeta a protección especial, A: Amenazada, P: En peligro de extinción), categorías de riesgo según la lista roja de la IUCN (NC: No considerada, DD: Datos insuficientes, LC: Preocupación menor, NT: Casi amenazada, VU: Vulnerable, EN: En peligro de extinción, CR: En peligro crítico, EW: Extinto en estado silvestre, E: Extinto, NE: No evaluada). Se indican aquellas especies de las que se generaron modelos de nicho ecológico (MNE) y aquellas que se incluyeron *a priori* en el análisis.

<b>Especie</b>	<b>NOM-059</b>	<b>IUCN</b>	<b>Endemismos</b>	<b>Localidades</b>	<b>MNE</b>	<b><i>a priori</i></b>
<b>Reino Plantae</b>						
<b>Orden Asparagales</b>						
<i>Agave durangensis</i> Gentry	NC	NE	Endémica de la SMO	41	✓	
<i>Agave maximiliana</i> var. <i>katherineae</i> (A. Berger) Gentry	NC	NE	Endémica de Sin., Dgo., Nay., Jal., Col.	5		✓
<i>Agave pintilla</i> S. González, M. González & L. Reséndiz	NC	CR	Endémica de Dgo. y Zac.	12	✓	
<i>Liparis madrensis</i> Soto Arenas, Salazar & R. Jiménez	NC	NE	Endémica de la SMO (Chih., Dgo., Zac.) y Ags.	7		✓

<b>Especie</b>	<b>NOM-059</b>	<b>IUCN</b>	<b>Endemismos</b>	<b>Localidades</b>	<b>MNE</b>	<b>a priori</b>
<i>Nolina durangensis</i> Trel.	NC	NE	Endémica de la SMO (Chih., Dgo.)	6		✓
<i>Polianthes nelsonii</i> Rose	NC	NE	Endémica de la SMO (Chih., Dgo.)	10	✓	
<b>Orden Asterales</b>						
<i>Baccharis supplex</i> G.L. Nesom	NC	NE	Endémica de la SMO, La Michilía, Súchil y Mezquital, Dgo.	1		✓
<i>Cirsium michiliense</i> G.L. Nesom	NC	NE	Endémica de la SMO (Dgo.)	1		✓
<i>Conoclinium gonzaleziae</i> E.E. Schill. & Panero	NC	NE	Endémica de la SMO	2		✓
<i>Dahlia sherffii</i> P.D. Sørensen	NC	NE	Endémica de la SMO (Son., Chih., Sin., Dgo.)	17	✓	
<i>Eremosis foliosa</i> (Benth.) Gleason	NC	NE	Endémica de la SMO (Dgo., Jal., Nay., Zac.)	2		✓
<i>Iostephane madrensis</i> (S. Watson) Strother	NC	NE	Endémica de la SMO (Chih., Dgo.)	6		✓

<b>Especie</b>	<b>NOM-059</b>	<b>IUCN</b>	<b>Endemismos</b>	<b>Localidades</b>	<b>MNE</b>	<b>a priori</b>
<i>Lasianthaea zinniioides</i> (Hemsl.) K.M. Becker	NC	NE	Endémica de la SMO (Sin. a Nay.)	1		✓
<i>Lobelia rzedowskii</i> Art. Castro & I. Gut.	NC	NE	Endémica de la SMO (NW Nay.)	2		✓
<i>Mexerion mexicanum</i> G.L. Nesom	NC	NE	Endémica de la SMO (Chih., Dgo., Sin.)	3		✓
<i>Packera quebradensis</i> (Greenm.) W.A. Weber & Á. Löve	NC	NE	Cuasiendémica de la SMO	1		✓
<i>Roldana gonzaleziae</i> (B.L. Turner) B.L. Turner	NC	NE	Endémica de la SMO	16	✓	
<i>Stevia scabrelloides</i> Soejima & Yahara	NC	NE	Endémica de la SMO	1		✓
<i>Trichocoryne connata</i> S.F. Blake	NC	NE	Endémica de la SMO (Dgo.)	3		✓
<i>Urbarella palmeri</i> Greenm.	NC	NE	Endémica de la SMO (Dgo.)	6		✓
<i>Xanthocephalum durangense</i> M.A. Lane	NC	NE	Endémica de Dgo.	5		✓
<b>Orden Brassicales</b>						
<i>Halimolobos stylosus</i> (Rollins) Al-Shehbaz & C.D. Bailey	NC	NE	Endémica de Dgo.	1		✓

<b>Especie</b>	<b>NOM-059</b>	<b>IUCN</b>	<b>Endemismos</b>	<b>Localidades</b>	<b>MNE</b>	<b>a priori</b>
<b>Orden Caryophyllales</b>						
<i>Cerastium madreense</i> S. Watson	NC	NE	Endémica de Chih. y Dgo.	4		✓
<b>Orden Cupressales</b>						
<i>Juniperus deppeana</i> var. <i>robusta</i> Martínez	NC	LC	Endémica de la SMO	12	✓	
<b>Orden Dipsacales</b>						
<i>Vesalea occidentalis</i> (Villarreal) Hua Feng Wang & Landrein	NC	NE	Endémica de Dgo. y Jal.	11	✓	
<b>Orden Ericales</b>						
<i>Arbutus madrensis</i> S. González	NC	LC	Cuasiendémica de la SMO	20	✓	
<b>Orden Fabales</b>						
<i>Lupinus chihuahuensis</i> S. Watson	NC	NE	Endémica de la SMO (Chih., Dgo., Sin.)	6		✓
<i>Lupinus confusus</i> Rose	NC	NE	Endémica de la SMO (Chih., Dgo.)	4		✓
<i>Lupinus madrensis</i> Seem.	NC	NE	Endémica de la SMO (Dgo., Sin.)	3		✓
<i>Lupinus montanus</i> subsp. <i>glabrior</i> (S. Watson) D.B. Dunn & Harmon	NC	NE	Endémica de la SMO (Chih., Dgo.)	1		✓

<b>Especie</b>	<b>NOM-059</b>	<b>IUCN</b>	<b>Endemismos</b>	<b>Localidades</b>	<b>MNE</b>	<b>a priori</b>
<i>Tephrosia seemannii</i> (Britten & Baker f.) K. Schum.	NC	NE	Endémica de la SMO	1		✓
<b>Orden Fagales</b>						
<i>Quercus huicholensis</i> R.A. McCauley	NC	NE	Endémica de la SMO (Dgo., N Jal., Zac.)	31	✓	
<i>Quercus pennivenia</i> Trel.	NC	NE	Endémica de la SMO	7		✓
<i>Quercus striatula</i> Trel.	NC	LC	Endémica de la SMO (Chih., Dgo., Zac.)	19	✓	
<b>Orden Gentianales</b>						
<i>Coutaportla lorenceana</i> Torr.-Montúfar, Ocho.-Booth & Art. Castro	NC	NE	Endémica de Sin. y Dgo.	1		✓
<b>Orden Geraniales</b>						
<i>Geranium deltoideum</i> Rydb.	NC	NE	Endémica de la SMO (Dgo., Chih.)	1		✓
<b>Orden Lamiales</b>						
<i>Castilleja rhizomata</i> N.H. Holmgren	NC	NE	Endémica de la SMO (Chih., Dgo., Son.)	3		✓

<b>Especie</b>	<b>NOM-059</b>	<b>IUCN</b>	<b>Endemismos</b>	<b>Localidades</b>	<b>MNE</b>	<b>a priori</b>
<i>Erythranthe flammea</i> G.L. Nesom	NC	NE	Endémica de la SMO (Dgo., Sin., Nay.)	5		✓
<i>Hedeoma jucunda</i> Greene	NC	NE	Endémica de Dgo.	1		✓
<i>Lamourouxia avendanoi</i> Franc.Gut.	NC	NE	Endémica de la SMO (Dgo., Jal.)	1		✓
<i>Lippia curtisiana</i> Moldenke	NC	NE	Endémica de la SMO	8		✓
<i>Lippia durangensis</i> Moldenke	NC	NE	Endémica de Dgo.	9		✓
<i>Penstemon bolanius</i> Straw	NC	NE	Endémica de la SMO (Dgo., Zac., Jal.)	4		✓
<i>Penstemon campanulatus</i> var. <i>chihuahuensis</i> (Straw) B.L. Turner	NC	NE	Endémica de la SMO (Chih., Son., Dgo.)	1		✓
<i>Penstemon miniatus</i> var. <i>durangensis</i> (Straw) Straw	NC	NE	Endémica de Dgo.	1		✓
<i>Penstemon wislizeni</i> (A. Gray) Straw	NC	NE	Endémica de la SMO	4		✓
<i>Salvia odam</i> J.G. González	NC	NE	Endémica de la CSPM	2		✓

<b>Especie</b>	<b>NOM-059</b>	<b>IUCN</b>	<b>Endemismos</b>	<b>Localidades</b>	<b>MNE</b>	<b>a priori</b>
<b>Orden Malvales</b>						
<i>Pavonia durangensis</i> Fryxell	NC	NE	Endémica de la CSPM	3		✓
<b>Orden Myrtales</b>						
<i>Lopezia gentryi</i> (Munz) Plitmann, P.H. Raven & Breedlove	NC	NE	Endémica de la SMO (Dgo., Sin.)	1		✓
<b>Orden Pinales</b>						
<i>Abies durangensis</i> Martínez	NC	LC	Endémica de la SMO (Son., Chih., Dgo., Nay., Jal.)	7		✓
<i>Picea chihuahuana</i> Martínez	P	EN	Endémica de la SMO (Chih., Dgo.)	1		✓
<i>Pinus cooperi</i> C.E. Blanco	NC	VU	Endémica de la SMO	28	✓	
<i>Pinus durangensis</i> Martínez	NC	NT	Endémica de la SMO (Chih., Sin., Dgo., N Jal.)	39	✓	
<i>Pinus luzmariae</i> Pérez de la Rosa	NC	LC	Cuasiendémica de la SMO	5		✓
<i>Pinus praetermissa</i> Styles & McVaugh	NC	NT	Cuasiendémica de la SMO	2		✓

<b>Especie</b>	<b>NOM-059</b>	<b>IUCN</b>	<b>Endemismos</b>	<b>Localidades</b>	<b>MNE</b>	<b>a priori</b>
<i>Pinus yecorensis</i> Debreczy & I. Rácz	NC	NE	Endémica de la SMO (Son., Sin.)	1		✓
<b>Orden Piperales</b>						
<i>Aristolochia albopilosa</i> M. González, S. González & Barrie	NC	NE	Endémica de la SMO, Dgo.	2		✓
<b>Orden Poales</b>						
<i>Eleocharis gonzaleziae</i> D.J. Rosen	NC	NE	Endémica de Dgo.	1		✓
<i>Eleocharis svenssoniana</i> S. González	NC	NE	Endémica de la SMO (Son., Chih., Sin., Dgo., Jal.)	8		✓
<i>Hechtia marthae</i> I. Ramírez	NC	NE	Endémica de la CSPM	5		✓
<i>Oatea odam</i> Ruiz-Sánchez & Art. Castro	NC	NE	Endémica de Dgo. y Zac.	4		✓
<b>Orden Ranunculales</b>						
<i>Thalictrum parvifructum</i> B. Boivin	NC	NE	Endémica de la SMO (Son., Sin.)	2		✓
<b>Orden Rosales</b>						
<i>Ceanothus fernandezii</i> Villarreal, A.E. Estrada & Encina	NC	NE	Endémica de Dgo.	2		✓

<b>Especie</b>	<b>NOM-059</b>	<b>IUCN</b>	<b>Endemismos</b>	<b>Localidades</b>	<b>MNE</b>	<b>a priori</b>
<b>Orden Santales</b>						
<i>Arceuthobium verticilliflorum</i> Engelm.	NC	NE	Endémica de la SMO, Dgo., Chih., Zac.	2		✓
<i>Phoradendron leucarpum</i> subsp. <i>angustifolium</i> (Kuijt) J.R. Abbott & R.L. Thompson	NC	NE	Endémica de la SMO	3		✓
<b>Orden Saxifragales</b>						
<i>Graptopetalum pusillum</i> Rose	NC	NE	Endémica de Dgo., Chih., Son.	1		✓
<b>Reino Animalia</b>						
<b>Clase Amphibia</b>						
<b>Orden Anura</b>						
<i>Craugastor tarahumaraensis</i> (Taylor)	Pr	LC	Endémica a México	1		✓
<i>Lithobates pustulosus</i> (Boulenger)	Pr	LC	Endémica a México	6		✓
<b>Orden Caudata</b>						
<i>Ambystoma rosaceum</i> (Taylor)	Pr	LC	Endémica a México	2		✓
<b>Clase Reptilia</b>						
<b>Orden Squamata</b>						
<i>Aspidoscelis costatus</i> (Cope)	Pr	LC	Endémica a México	3		✓

<b>Especie</b>	<b>NOM-059</b>	<b>IUCN</b>	<b>Endemismos</b>	<b>Localidades</b>	<b>MNE</b>	<b>a priori</b>
<i>Barisia imbricata</i> (Wiegmann)	Pr	LC	Endémica a México	3		✓
<i>Barisia levicollis</i> (Stejneger)	Pr	DD	Endémica a México	1		✓
<i>Ctenosaura pectinata</i> (Wiegmann)	A	LC	Endémica a México	8		✓
<i>Hypsiglena torquata</i> (Günther)	Pr	LC	Endémica a México	1		✓
<i>Lampropeltis mexicana</i> (Garman)	A	LC	Endémica a México	6		✓
<i>Phrynosoma orbiculare</i> (Linnaeus)	A	LC	Endémica a México	15	✓	
<i>Pituophis deppei</i> (Duméril)	A	LC	Endémica a México	5		✓
<i>Plestiodon lynxe</i> (Wiegmann)	Pr	LC	Endémica a México	8		✓
<i>Sceloporus grammicus</i> (Wiegmann)	Pr	LC	No endémica	10	✓	
<i>Sceloporus scalaris</i> (Wiegmann)	NC	LC	Endémica a México	25	✓	
<i>Thamnophis cyrtopsis</i> (Kennicott)	A	LC	No endémica	12	✓	
<i>Thamnophis eques</i> (Reuss)	A	LC	No endémica	15	✓	
<i>Thamnophis melanogaster</i> (Wiegmann)	A	EN	Endémica a México	7		✓
<i>Thamnophis nigronuchalis</i> (Thompson)	Pr	DD	Endémica a México	2		✓
<b>Clase Aves</b>						
<b>Orden Accipitriformes</b>						
<i>Geranospiza caerulescens</i> (Vieillot)	A	LC	No endémica	12	✓	
<b>Orden Anseriformes</b>						
<i>Anas diazi</i> (Ridgway)	A	NE	No endémica	157	✓	

<b>Especie</b>	<b>NOM-059</b>	<b>IUCN</b>	<b>Endemismos</b>	<b>Localidades</b>	<b>MNE</b>	<b>a priori</b>
<b>Orden Apodiformes</b>						
<i>Cypseloides niger</i> (Gmelin)	NC	VU	No endémica	14	✓	
<b>Orden Charadriiformes</b>						
<i>Calidris mauri</i> (Cabanis)	A	LC	No endémica	29	✓	
<i>Larus heermanni</i> (Cassin)	Pr	NT	No endémica	12	✓	
<i>Limnodromus griseus</i> (Gmelin)	NC	VU	No endémica	12	✓	
<i>Limosa fedoa</i> (Linnaeus)	A	VU	No endémica	17	✓	
<i>Pluvialis squatarola</i> (Linnaeus)	NC	VU	No endémica	13	✓	
<i>Tringa flavipes</i> (Gmelin)	NC	VU	No endémica	57	✓	
<b>Orden Galliformes</b>						
<i>Callipepla douglasii</i> (Vigors)	NC	LC	Endémica a México	21	✓	
<i>Ortalis wagleri</i> (Gray)	NC	LC	Endémica a México	20	✓	
<b>Orden Passeriformes</b>						
<i>Corvus sinaloae</i> (Davis,)	NC	LC	Endémica a México	27	✓	
<i>Cyanocorax beecheii</i> (Vigors)	P	LC	Endémica a México	11	✓	
<i>Cyanocorax dickeyi</i> (Moore)	P	NT	Endémica a México	4		✓
<i>Geothlypis tolmiei</i> (Townsend)	A	LC	No endémica	30	✓	
<i>Icterus abeillei</i> (Lesson)	NC	LC	Endémica a México	20	✓	
<i>Lepidocolaptes leucogaster</i> (Swainson)	NC	LC	Endémica a México	17	✓	

<b>Especie</b>	<b>NOM-059</b>	<b>IUCN</b>	<b>Endemismos</b>	<b>Localidades</b>	<b>MNE</b>	<b>a priori</b>
<i>Melanotis caerulescens</i> (Swainson)	NC	LC	Endémica a México	14	✓	
<i>Oriturus superciliosus</i> (Swainson)	NC	LC	Endémica a México	19	✓	
<i>Pheugopedius felix</i> (Sclater)	NC	LC	Endémica a México	22	✓	
<i>Progne sinaloae</i> (Nelson)	Pr	VU	Endémica a México	1		✓
<i>Sporophila torqueola</i> (Bonaparte)	NC	LC	Endémica a México	44	✓	
<i>Thryophilus sinaloa</i> (Baird)	NC	LC	Endémica a México	21	✓	
<i>Xenospiza baileyi</i> (Bangs)	P	EN	Endémica a México	1		✓
<b>Orden Pelecaniformes</b>						
<i>Egretta rufescens</i> (Gmelin)	P	NT	No endémica	23	✓	
<b>Orden Piciformes</b>						
<i>Melanerpes chrysogenys</i> (Vigors)	NC	LC	Endémica a México	21	✓	
<b>Orden Psittaciformes</b>						
<i>Amazona finschi</i> (Sclater)	P	EN	Endémica a México	3		✓
<i>Ara militaris</i> (Linnaeus)	P	VU	No endémica	13	✓	
<i>Eupsittula canicularis</i> (Linnaeus)	Pr	VU	No endémica	14	✓	
<i>Forpus cyanopygius</i> (Souance)	Pr	NT	Endémica a México	1		✓
<i>Rhynchopsitta pachyrhyncha</i> (Swainson)	P	EN	Endémica a México	3		✓
<b>Orden Strigiformes</b>						
<i>Glaucidium palmarum</i> (Nelson)	A	LC	Endémica a México	1		✓

<b>Especie</b>	<b>NOM-059</b>	<b>IUCN</b>	<b>Endemismos</b>	<b>Localidades</b>	<b>MNE</b>	<b>a priori</b>
<b>Orden Trogoniformes</b>						
<i>Euptilotis neoxenus</i> (Gould)	A	LC	No endémica	19	✓	
<b>Clase Mammalia</b>						
<b>Orden Chiroptera</b>						
<i>Artibeus hirsutus</i> (Andersen)	NC	LC	Endémica a México	8		✓
<i>Corynorhinus mexicanus</i> (G. M. Allen,)	NC	NT	Endémica a México	4		✓
<i>Leptonycteris yerbabuenae</i> (Martínez y Villa-R.)	Pr	NT	No endémica	15	✓	
<i>Myotis carteri</i> (LaVal)	Pr	NE	Endémica a México	1		✓
<i>Pteronotus mexicanus</i> (G. S. Miller)	NC	NE	Endémica a México	6		✓
<i>Rhogeessa parvula</i> (H. Allen)	NC	LC	Endémica a México	4		✓
<b>Orden Rodentia</b>						
<i>Chaetodipus durangae</i> (Neiswenter)	NC	NE	Endémica a México	57	✓	
<i>Dipodomys phillipsii</i> (J. E. Gray)	Pr	LC	Endémica a México	9		✓
<i>Hodomys alleni</i> (C. H. Merriam)	NC	LC	Endémica a México	1		✓
<i>Nelsonia neotomodon</i> (C. H. Merriam)	Pr	LC	Endémica a México	3		✓
<i>Neotamias bulleri</i> (J. A. Allen)	NC	VU	Endémica a México	9		✓
<i>Peromyscus difficilis</i> (J. A. Allen)	NC	LC	Endémica a México	34	✓	
<i>Peromyscus melanotis</i> (J. A. Allen y F. M. Chapman)	NC	LC	Endémica a México	1		✓

<b>Especie</b>	<b>NOM-059</b>	<b>IUCN</b>	<b>Endemismos</b>	<b>Localidades</b>	<b>MNE</b>	<b>a priori</b>
<i>Peromyscus micropus</i> (R. H. Baker)	NC	NE	No endémica	14	✓	
<i>Peromyscus pectoralis</i> (Osgood)	NC	LC	Endémica a México	59	✓	
<i>Peromyscus schmidlyi</i> (Bradley)	NC	LC	Endémica a México	30	✓	
<i>Peromyscus simulus</i> (Osgood)	NC	VU	Endémica a México	6		✓
<i>Peromyscus spicilegus</i> (J. A. Allen)	NC	LC	Endémica a México	19	✓	
<i>Peromyscus zamorae</i> (Osgood)	NC	NE	Endémica a México	17	✓	
<i>Reithrodontomys zacatecae</i> (C. H. Merriam)	NC	LC	Endémica a México	9		✓
<i>Sigmodon alleni</i> (V. O. Bailey)	NC	VU	Endémica a México	4		✓
<i>Sigmodon leucotis</i> (V. O. Bailey)	NC	LC	Endémica a México	6		✓
<i>Sigmodon mascotensis</i> (J. A. Allen)	NC	LC	Endémica a México	11	✓	
<i>Thomomys atrovarius</i> (J. A. Allen)	NC	NE	Endémica a México	1		✓
<i>Thomomys sheldoni</i> (V. O. Bailey)	NC	NE	Endémica a México	17	✓	

### Anexo III. Modelos de nicho ecológico generados para los subrogados seleccionados.

Los modelos incluidos presentaron una tasa de omisión  $\leq 5\%$ , un valor delta AICc  $\leq 2$  y una  $P$  de partial ROC  $< 0.001$ . Se consideró como área idónea aquella conformada por píxeles con idoneidad  $\geq 0.7$ . También se muestra la contribución de las variables topográficas en la generación de cada modelo.

Especie	Número de registros	AUC	Área idónea (km <sup>2</sup> )	Elevación	Orientación	Rugosidad	Pendiente
<b>Reino Plantae</b>							
<b>Orden Asparagales</b>							
<i>Agave durangensis</i> Gentry	41	0.74	1,227.90	0.9	3.8	33.7	61.5
<i>Agave pintilla</i> S. González, M. González & L. Reséndiz	12	0.95	32.17	61.2	16.8	8.8	13.1
<i>Polianthes nelsonii</i> Rose	10	0.89	879.73	48.8	48.8	1.2	1.2
<b>Orden Asterales</b>							
<i>Roldana gonzaleziae</i> (B.L. Turner) B.L. Turner	16	0.92	593.30	67.5	1.2	3.6	27.7
<b>Orden Cupressales</b>							
<i>Juniperus deppeana</i> var. <i>robusta</i> Martínez	12	0.95	259.11	94	4.3	0.4	1.3
<b>Orden Ericales</b>							
<i>Arbutus madrensis</i> S. González	20	0.89	600.12	94.2	0.4	1.7	3.7

Espece	Número de registros	AUC	Área idónea (km <sup>2</sup> )	Elevación	Orientación	Rugosidad	Pendiente
<b>Orden Fagales</b>							
<i>Quercus huicholensis</i> R.A. McCauley	31	0.83	4,445.16	25.3	3.4	46.3	25.1
<i>Quercus striatula</i> Trel.	19	0.85	741.04	94	1.5	0.5	4
<b>Orden Pinales</b>							
<i>Pinus cooperi</i> C.E. Blanco	28	0.95	275.46	89.3	1.4	3	6.3
<i>Pinus durangensis</i> Martínez	39	0.93	471.33	79.2	0.3	17.5	3
<b>Reino Animalia</b>							
<b>Clase Reptilia</b>							
<b>Orden Squamata</b>							
<i>Phrynosoma orbiculare</i> (Linnaeus)	15	0.81	394.51	53.7	26.6	6.9	12.8
<i>Sceloporus grammicus</i> (Wiegmann)	10	0.82	412.03	81.4	15	1.7	1.9
<i>Sceloporus scalaris</i> (Wiegmann)	25	0.78	517.14	58.6	5.5	10.1	25.9
<i>Thamnophis cyrtopsis</i> (Kennicot)	12	0.70	473.13	50	0	50	0
<i>Thamnophis eques</i> (Reuss)	15	0.79	57.34	32.8	15.5	6.3	45.3
<b>Clase aves</b>							
<b>Orden Accipitriformes</b>							
<i>Geranospiza caerulescens</i> (Vieillot)	12	0.98	640.22	94.2	3.1	0.9	1.8
<b>Orden Anseriformes</b>							
<i>Anas diazi</i> (Ridgway)	157	0.86	730.27	36.6	5.8	10.4	51.3

Especie	Número de registros	AUC	Área idónea (km <sup>2</sup> )	Elevación	Orientación	Rugosidad	Pendiente
<b>Orden Apodiformes</b>							
<i>Cypseloides niger</i> (Gmelin)	14	0.91	339.08	34.5	17.2	15.1	33.2
<b>Orden Charadriiformes</b>							
<i>Calidris mauri</i> (Cabanis)	29	0.94	749.42	48.3	18.8	1.2	31.7
<i>Larus heermanni</i> (Cassin)	12	0.95	347.98	56.2	8.5	32.8	2.4
<i>Limnodromus griseus</i> (Gmelin)	12	0.92	743.52	47.4	21.1	8	23.5
<i>Limosa fedoa</i> (Linnaeus)	17	0.97	1,181.39	8.4	4.3	15.6	71.7
<i>Pluvialis squatarola</i> (Linnaeus)	13	0.97	200.09	68.9	2.7	2.5	6.9
<i>Tringa flavipes</i> (Gmelin)	57	0.95	1,150.86	25.8	5.3	41	27.9
<b>Orden Galliformes</b>							
<i>Callipepla douglasii</i> (Vigors)	21	0.98	139.17	96.9	1.6	0.7	0.7
<i>Ortalis wagleri</i> (Gray)	20	0.97	941.31	86.2	6	0.2	7.6
<b>Orden Passeriformes</b>							
<i>Corvus sinaloae</i> (Davis)	27	0.97	259.16	95.7	1.8	1.7	0.8
<i>Cyanocorax beecheii</i> (Vigors)	11	0.97	1,362.70	99.2	0.4	0.1	0.3
<i>Geothlypis tolmiei</i> (Townsend)	30	0.92	1,880.74	34.8	4.3	27	33.9
<i>Icterus abeillei</i> (Lesson)	20	0.95	300.65	21	2.4	13.6	63
<i>Lepidocolaptes leucogaster</i> (Swainson)	17	0.77	318.35	33.4	9.3	49.9	7.4
<i>Oriturus superciliosus</i> (Swainson)	19	0.80	768.47	14.7	17.5	36.1	31.7
<i>Pheugopedius felix</i> (Sclater)	22	0.97	769.83	90.2	6.6	0.8	2.4

Espece	Número de registros	AUC	Área idónea (km <sup>2</sup> )	Elevación	Orientación	Rugosidad	Pendiente
<i>Sporophila torqueola</i> (Bonaparte)	44	0.93	919.60	76.1	4.3	3	16.6
<i>Thryophilus sinaloa</i> (Baird)	21	0.95	1,135.76	96.6	1.6	0.2	1.6
<b>Orden Pelecaniformes</b>							
<i>Egretta rufescens</i> (Gmelin)	23	0.98	924.66	76.7	11.9	0.4	11
<b>Orden Piciformes</b>							
<i>Melanerpes chrysogenys</i> (Vigors)	21	0.97	1,272.70	99.1	0.4	0	0.5
<b>Orden Psittaciformes</b>							
<i>Ara militaris</i> (Linnaeus)	13	0.82	691.95	46.4	8.7	3.2	41.8
<i>Eupsittula canicularis</i> (Linnaeus)	14	0.97	1,355.58	89	5.5	0.1	5.5
<b>Orden Trogoniformes</b>							
<i>Euptilotis neoxenus</i> (Gould)	19	0.88	238.44	87.3	8.6	2	2.1
<b>Clase Mammalia</b>							
<b>Orden Chiroptera</b>							
<i>Leptonycteris yerbabuenae</i> (Martínez y Villa-R.)	15	0.92	320.11	79.7	1.7	8.7	10
<b>Orden Rodentia</b>							
<i>Chaetodipus durangae</i> (Neiswenter et al.)	57	0.89	581.66	62.5	2.5	11	24
<i>Peromyscus difficilis</i> (J. A. Allen)	34	0.81	744.58	85.6	3.8	8.2	2.4
<i>Peromyscus micropus</i> (R. H. Baker)	14	0.94	344.92	76.8	4.0	4.5	14.7
<i>Peromyscus pectoralis</i> (Osgood)	59	0.85	590.60	72.4	6.9	12.2	8.5

---

---

<b>Especie</b>	<b>Número de registros</b>	<b>AUC</b>	<b>Área idónea (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Elevación</b>	<b>Orientación</b>	<b>Rugosidad</b>	<b>Pendiente</b>
<i>Peromyscus schmidlyi</i> (Bradley <i>et al.</i> )	30	0.77	815.55	93.2	3.4	2	1.4
<i>Peromyscus spicilegus</i> (J. A. Allen)	19	0.93	724.72	75.4	3.7	14.7	6.1
<i>Sigmodon mascotensis</i> (J. A. Allen)	11	0.98	1.22	90.9	3.4	1.9	3.8
<i>Thomomys sheldoni</i> (V. O. Bailey)	17	0.73	865.22	30.9	19.1	19.1	30.9

---