





## TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria

División de Estudios de Posgrado e Investigación

### TESIS

Para obtener el grado de:

**Maestra en Ciencias en Biología**

**(Clave de CONAHCYT 002408)**

### PROPUESTA DE NUEVAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS EN MÉXICO

Presenta:

Yeimi Alexandra Mendoza Walle  
G-22380014

Director

**Crystian Sadiel Venegas Barrera**

Coodirector

**Ángel Rodríguez Moreno**

Ciudad Victoria, Tam., a 21/Noviembre/2024

**C. ADRIANA MEXICANO SANTOYO**  
**JEFE DE LA DEPI**  
**PRESENTE**

Los miembros del Comité Tutorial de la estudiante YEIMI ALEXANDRA MENDOZA WALLE del programa de Maestría en Ciencias en Biología, con Número de Control G-22380014, certificamos que después de haber sometido a revisión académica la tesis titulada: “Propuesta de Nuevas Áreas Naturales Protegidas en México”, que fue dirigida por el C. “Crystian Sadiel Venegas Barrera” y Codirigido por el C. “Ángel Rodríguez Moreno”, acordamos la ACEPTACIÓN del documento para obtener el grado de “MAESTRA EN CIENCIAS EN BIOLOGÍA”, dado que cumple con los criterios expresados en los lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado del Tecnológico Nacional de México.

## ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®  
"Verdad, Honestidad y Servicio"

**C. CRYSTIAN SADIEL VENEGAS BARRERA**  
**DIRECTOR**

**C. JORGE VICTOR HORTA VEGA**  
**TUTOR**

**C. ANGEL RODRIGUEZ MORENO**  
**CODIRECTOR**

**C. JORGE HOMERO RODRIGUEZ CASTRO**  
**TUTOR SUPLENTE**

c. c. p. Expediente



## AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS

Ciudad Victoria, Tam., a **25/noviembre/2024**  
OFICIO: DEPI-313/2024

**C. YEIMI ALEXANDRA MENDOZA WALLE**  
**CANDIDATA AL GRADO DE MAESTRA EN**  
**CIENCIAS EN BIOLOGÍA**  
**NO. DE CONTROL: G-22380014**  
**PRESENTE.**

Por recomendación de su H. Comité Tutorial, se le **AUTORIZA** imprimir y reproducir digitalmente la tesis: **"PROPUESTA DE NUEVAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS EN MÉXICO"**, que tuvo a bien desarrollar en la División de Estudios de Posgrado e Investigación de este instituto.

### ATENTAMENTE

*Excelencia en Educación Tecnológica®*  
*"Verdad, Honestidad y Servicio"*



**ADRIANA MEXICANO SANTOYO**  
**JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS**  
**DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



c. c. p. Expediente



## CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, la que suscribe, **C. YEIMI ALEXANDRA MENDOZA WALLE** como estudiante de la Maestría en Ciencias en Biología de esta Institución, con No. de Control G-22380014, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas o académicas, de procedencia nacional o internacional, que deriven del trabajo de investigación que realicé bajo la dirección del Profesor, **DR. CRYSTIAN SADIEL VENEGAS BARRERA**. Por tal motivo, **OTORGO LOS DERECHOS DE AUTORÍA DE MI TESIS "PROPUESTA DE NUEVAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS EN MÉXICO" y de LOS PRODUCTOS DE DICHA INVESTIGACIÓN** al Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. Las patentes y secretos industriales que deriven de la tesis serán registrados a nombre del Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria y las regalías económicas distribuidas equitativamente entre esta Institución, el Director de la Tesis y quien suscribe, de acuerdo con las negociaciones entre las tres partes. También, **ME COMPROMETO A NO REALIZAR NINGUNA ACCIÓN** que dañe el proceso de aprovechamiento comercial de dichos productos a favor de ésta misma Institución.

Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, a 25 de noviembre de 2024.



C. YEIMI ALEXANDRA MENDOZA WALLE

Vo. Bo.



C. CRYSTIAN SADIEL VENEGAS BARRERA



## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

### A QUIEN CORRESPONDA

La que suscribe **C. Itzel Rubí Rodríguez de León** coordinadora del programa de la **Maestría en Ciencias en Biología** del Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, hace constar que la tesis titulada **"PROPUESTA DE NUEVAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS EN MÉXICO"** fue desarrollada por la estudiante **C. Yeimi Alexandra Mendoza Walle** con número de control **G-22380014**, bajo la dirección de **C. Crystian Sadiel Venegas Barrera** y codirección de **C. Ángel Rodríguez Moreno**, que el documento de tesis fue evaluado con el software turnitin y se encontró que presenta una semejanza del **1** % respecto a contenidos publicados en internet.

Por tal motivo, se extiende la presente CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD en Ciudad Victoria, Tamaulipas, a los veintidós días del mes de noviembre de dos mil veinticuatro.

**ATENTAMENTE**  
**Excelencia en Educación Tecnológica**  
**"Verdad, Honestidad y Servicio"**



INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE CD. VICTORIA  
DEPARTAMENTO DE  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



**Dra. Itzel Rubí Rodríguez de León**  
**Coordinadora de la Maestría en Ciencias en Biología**

c. c. p. Archivo Coordinación.  
c. c. p. Expediente



## **Agradecimientos**

En primero lugar me gustaría expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a los docentes que fueron esenciales a lo largo del proceso de investigación y redacción del trabajo de tesis. Agradezco especialmente a mi director de tesis, Dr. Crystian Sadiel Venegas Barrera, quien a lo largo de este tiempo me oriento en mi formación académica. Le agradezco por transmitir su conocimiento de una manera excepcional, con mucha paciencia y respeto. El entusiasmo con el que desempeña su trabajo ha sido fuente de inspiración para mí, me encuentro sumamente agradecida por que esta tesis haya sido dirigida por usted. Considero que los conocimientos que me transmitió se verán reflejados en mi vida académica y profesional.

Al Dr. Ángel Rodríguez Moreno que a lo largo del tiempo me oriento para la realización del trabajo de tesis. Agradezco el tiempo que dedicó para co-dirigir el presente trabajo de tesis, además agradezco el que haya compartido sus conocimientos y no solo eso, sino los comentarios y sugerencias que contribuyeron a la mejora del trabajo. Además de darme distintos consejos que me pudieron ayudar a mejorar en la obtención del conocimiento.

Agradezco al Dr. Jorge Víctor Horta Vega por el tiempo que dedicó a la revisión del trabajo, así como los comentarios y observaciones que realizó para mejorar el trabajo. También agradezco al Dr. Jorge Homero Rodríguez Castro por sus observaciones y comentarios.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo económico recibido durante los años como becario. Además, agradezco al programa de Maestría en Ciencias en Biología del Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria por permitirme formar parte de su alumnado y así continuar con mi formación académica.

Agradezco a mis compañeros por brindarme apoyo cuando lo necesitaba y hacer más amenos los momentos de tensión. Gracias Miriam, Marlen, Sofia, Ceci, Aldair y Gilberto.

Por ultimo y no por menos importante, agradezco a mi familia, en especial a mi madre Nora y mi hermana pequeña Evelyn y a mi abuelita Hilda por siempre brindarme apoyo, aun en los momentos más difíciles y siempre creer en mí. A Manuel quien siempre me ha brindado apoyo y al igual que mi familia siempre ha creído en mí y me impulsa a seguir adelante.

### **Dedicatoria**

A mi amada familia, mi madre Nora y mi hermana pequeña Evelyn y mi abuelita Hilda, quienes siempre han creído y confiado en mí, incluso más que yo. Son mi fortaleza y quien me impulsa a seguir adelante. Gracias por todo el amor y apoyo incondicional que me brindan día con día, todo lo que soy se los debo a ustedes.

A Manuel, que a pesar de lo difícil que a veces ha sido el camino para ambos, siempre me ha brindado su apoyo incondicional, eres mi sostén, quien me impulsa a seguir adelante y confiar en mí misma.

A la memoria de mi abuelita Francisca y mi primo Javier, a pesar de no tenerlos físicamente, sus palabras y consejos siempre los recuerdo con claridad, la frase “Nunca te rindas” forma parte de mi vida.

Finalmente, A las personas que se dedican a la conservación de la biodiversidad, son una parte esencial y sus esfuerzos por preservar tendrán consecuencias positivas.

Incluso si me caigo y me lastimo

넘어져 다치고 아파도

Seguiré corriendo hacia mis sueños

끝없이 달리네 꿈을 향해

(Sueños, esperanzas, seguir adelante, seguir adelante)

(꿈, 희망, 전진, 전진)

- BTS “Forever Young”

## Resumen

El impacto negativo de las actividades antropogénicas condujo a los países a decretar Áreas Protegidas (AP), zonas geográficas destinadas a la conservación de la biodiversidad. Sin embargo, el Convenio de Diversidad Biológica 2011-2020 acordó distintas metas. La Meta 11 de Aichi promovió el aumento del 17% la superficie terrestre a través de las AP. En 2022, en la COP 15 se propuso que este porcentaje aumentara al 30% para el 2030. México firmó este convenio, pero lo incumplió ya que en el año 2020 sólo el 13.3% de su territorio se protegió. El presente estudio propone que las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) y Sitios Terrestres Prioritarios (STP), que se ubican en las provincias biogeográficas (PB) del norte de México, permitirán alcanzar los objetivos de conservar el 17% y 30% El análisis identificó a las RTP y STP (Áreas de conservación-AC) que presentaran la menor huella humana (efectividad), que contuvieran el mayor porcentaje de especies de vertebrados que podrían encontrarse en la provincia biogeográfica a la que pertenecen (representatividad) y que se encontraran como mínimo a 10 km de al menos una ANP decretada (conectividad). El estudio estimó el área en que se distribuyeron 1,749 especies de vertebrados en 1,472 AC. Los escenarios de conservación analizados incluyeron el criterio de efectividad y representatividad para complementar el 17% y 30% del territorio bajo conservación. Los otros dos escenarios consideraron los tres criterios para cumplir con el 17% y 30%. Además, para Tamaulipas, se identificaron las AC que permitirán alcanzar la conservación del 30% de la superficie. Las AC que cumplen con los criterios de efectividad y representatividad, a nivel de país, fueron 1,199, mientras que las áreas que cumplieron con los tres criterios fueron 952. El análisis de conectividad excluyó al 60% de áreas potenciales del norte de México. Las áreas potenciales a ser nuevas AP se ubicaron en la península de Yucatán y al noroeste de México. Las AC potenciales que permitirán alcanzar el 30% de conservación del estado de Tamaulipas fueron 47. Las AC potenciales a nivel nacional y municipal permitirán contribuir al cumplimiento de los objetivos estatales de conservación, sin embargo, se enfrentan a varios factores de riesgo como las actuales políticas ambientales y tenencia de la tierra. Finalmente, se considera que aquellas AC potenciales que no cumplen con las características para situarse en alguna de las categorías de ANP, se considerarían para ser propuestas como AICOMs y SICOMs.

## **Abstract**

The negative impact of anthropogenic activities led countries to decree Protected Areas (PAs), geographic zones intended for biodiversity conservation. However, the Convention on Biological Diversity 2011-2020 agreed on different targets. Aichi Target 11 promoted a 17% increase in land area through PAs. In 2022, COP 15 proposed that this percentage should increase to 30% by 2030. Mexico signed this agreement but failed to comply with it, since by 2020 only 13.3% of its territory was protected. This study proposes that the Priority Terrestrial Regions (RTP) and Priority Terrestrial Sites (STP), which are located in the biogeographic provinces (BP) of northern Mexico, will achieve the objectives of conserving 17% and 30% of the continental surface. The analysis identified the RTPs and STPs (Conservation Areas-CA) with the smallest human footprint (effectiveness), containing the highest percentage of vertebrate species that could be found in the biogeographic province to which they belong (representativeness) and located at least 10 km from at least one decreed NPA (connectivity). The study estimated the area in which 1,749 vertebrate species were distributed in 1,472 BC. The conservation scenarios analyzed included the criteria of effectiveness and representativeness to complement 17% and 30% of the territory under conservation. The other two scenarios considered the three criteria to meet 17% and 30%. In addition, for Tamaulipas, CA were identified that will allow the conservation of 30% of the area to be achieved. The CA that comply the criteria of effectiveness and representativeness, at the country level, were 1,199, while the areas that met the three criteria were 952. The connectivity analysis excluded 60% of potential areas in northern Mexico. Potential new PA areas were located in the Yucatan Peninsula and northwestern Mexico. The potential CA that will allow reaching 30% of conservation in the state of Tamaulipas were 47. Potential CA at the national and municipal level will contribute to the fulfillment of state conservation objectives; however, they face several risk factors such as current environmental policies and land tenure. Finally, it is considered that those potential CA that do not meet the characteristics to be placed in any of the NPA categories, would be considered to be proposed as AICOMs and SICOMs.

## Índice

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| 1. Introducción .....                                     | 1  |
| 2. Antecedentes .....                                     | 4  |
| 2.1 Conservación de la biodiversidad a nivel mundial..... | 4  |
| 2.2 Subrogados de la diversidad biológica.....            | 7  |
| 2.3 Conservación de la biodiversidad en México.....       | 8  |
| 2.3.1 Efectividad .....                                   | 9  |
| 2.3.2 Representatividad .....                             | 13 |
| 2.3.3 Conectividad.....                                   | 15 |
| 2.4 Vertebrados en México y en las ANP .....              | 17 |
| 2.5 Conservación de la biodiversidad en Tamaulipas .....  | 18 |
| 3. Hipótesis.....                                         | 20 |
| 4. Objetivo.....                                          | 20 |
| 4.1 General .....                                         | 20 |
| 4.2 Específicos .....                                     | 20 |
| 5. Métodos.....                                           | 21 |
| 5.1 Área de estudio.....                                  | 21 |
| 5.2 Efectividad .....                                     | 23 |
| 5.3 Representatividad .....                               | 25 |
| 5.4 Conectividad .....                                    | 27 |
| 5.5 Tamaulipas .....                                      | 28 |
| 6. Resultados .....                                       | 29 |
| 6.1 Efectividad y Representatividad.....                  | 30 |
| 6.2 Efectividad, representatividad y conectividad.....    | 33 |
| 6.3 Efectividad y representatividad en Tamaulipas.....    | 35 |
| 7. Discusión.....                                         | 38 |
| 8. Conclusiones .....                                     | 47 |
| 9. Literatura citada .....                                | 48 |
| 10. Anexos.....                                           | 61 |

## Índice de Figuras

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Categorías de huella humana en México (González Abraham <i>et al.</i> , 2015).....                                  | 13 |
| <b>Figura 2.</b> Regiones Terrestres Prioritarias de México (RTP).....                                                               | 22 |
| <b>Figura 3.</b> Sitios Terrestres Prioritarios de México (STP).....                                                                 | 22 |
| <b>Figura 4.</b> Categorías de huella humana en México (en paréntesis se muestra el porcentaje que aporta la categoría al país)..... | 25 |
| <b>Figura 5.</b> Distribución de las áreas de conservación mayores y menores de 500 hectáreas incluyendo las ANP decretadas.....     | 30 |
| <b>Figura 6.</b> Áreas de conservación que se retuvieron en el análisis de efectividad.....                                          | 31 |
| <b>Figura 7.</b> Áreas de conservación efectivas y representativas (2%). .....                                                       | 32 |
| <b>Figura 8.</b> Áreas de conservación efectivas y representativas (15%). .....                                                      | 32 |
| <b>Figura 9.</b> Áreas de conservación efectivas, representativas y con conectividad (2%) .....                                      | 34 |
| <b>Figura 10.</b> Áreas de conservación efectivas, representativas y con conectividad (15%). .....                                   | 34 |
| <b>Figura 11.</b> Áreas de conservación potenciales de Tamaulipas.....                                                               | 35 |
| <b>Figura 12.</b> Áreas de conservación resultantes del análisis de efectividad.....                                                 | 36 |
| <b>Figura 13.</b> Áreas de conservación efectivas y representativas. ....                                                            | 37 |

### **Indice de Tablas**

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> Porcentaje de área que ocupan las RTP y STP dentro de las Provincias Biogeográficas. .... | 23 |
| <b>Tabla 2.</b> Número de especies de vertebrados. ....                                                   | 25 |
| <b>Tabla 3.</b> Resumen de resultados .....                                                               | 29 |
| <b>Tabla 4.</b> Resumen de resultados del estado de Tamaulipas.....                                       | 35 |

### **Abreviaturas**

|         |                                                                                                    |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AP      | Áreas Protegidas                                                                                   |
| ANP     | Área Natural Protegida (Denominación oficial que México asignó para las Áreas Protegidas del país) |
| AC      | Áreas de Conservación                                                                              |
| CONABIO | Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas                                                    |
| CONANP  | Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad                                   |
| RTP     | Regiones Terrestres Prioritarias                                                                   |
| STP     | Sitios Terrestres Prioritarias                                                                     |
| CDB     | Convenio de Diversidad Biológica                                                                   |
| COP     | Conferencia de las partes                                                                          |
| PB      | Provincias biogeográficas                                                                          |
| AICOMs  | Áreas de Importancia para la Conservación de los Murciélagos                                       |
| SICOMs  | Sitios de Importancia para la Conservación de los Murciélagos                                      |
| LGEEPA  | Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente                                   |

## 1. Introducción

Las Áreas Protegidas (AP) son zonas geográficas decretadas para conservar la biodiversidad y los recursos naturales (Naughton Treves *et al.*, 2005), las cuales cubren cerca del 15.5% de la superficie continental del planeta (Watson *et al.*, 2014; Muñoz Brenes *et al.*, 2018). A pesar de que las AP son un instrumento importante para la conservación y contribuyen a preservar la biodiversidad, aún existen amenazas que ponen en riesgo su estabilidad (Dirzo *et al.*, 2014). La pérdida y degradación de la cobertura vegetal debido a las actividades antropogénicas son algunas de las amenazas (Dirzo *et al.*, 2014).

El Convenio de Diversidad Biológica (CDB), perteneciente a las Naciones Unidas, frente a la disminución de la diversidad biológica, propuso el plan estratégico 2011-2020 con el objetivo de reducir el impacto del hombre hacia la biodiversidad (CDB, 2010). En específico, la Meta 11 de Aichi, la cual estableció que para el 2020 los países firmantes deberían de tener al menos el 17% de su superficie terrestre y el 10% de áreas marinas y costeras conservadas mediante el sistema de AP (CDB, 2010). Además, deben ser ecológicamente representativas, conectadas, con una gestión eficaz y equitativa (CDB, 2010). En diciembre de 2022, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica (COP 15) se propusieron distintos objetivos con el fin de detener y revertir la pérdida de la naturaleza (CDB, 2022). El aumento de la superficie continental de conservación, de un 30% para el año 2030, fue uno de ellos (CDB, 2022).

Las AP de muchos países incumplen con la Meta 11, e incluso otros que cumplen con el porcentaje establecido no logran representar bien a las especies o no son efectivas para conservar (Rodrigues *et al.*, 2004; González Maya *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2020a). De particular importancia son los países con alta biodiversidad que se encuentran bajo presión antrópica. México, país firmante del CDB y que cuenta con una alta diversidad biológica que se encuentra amenazada, se comprometió a cumplir la Meta 11 de Aichi para el año 2020, además de comprometerse a cumplir con el objetivo propuesto en la COP 15 para el 2030. Sin embargo, México, para el 2020 tenía bajo la categoría de AP solo el 13.25% de su superficie continental (CONANP *et al.*, 2020). El porcentaje ascendió para el 2022 a un 15%, sin embargo, aún se situó por debajo de ambas metas (CONANP *et al.*, 2020).

El sistema de Áreas Naturales Protegidas (ANP), el cual es administrado por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), se encuentra incompleto y bajo amenaza (Farfán Gutiérrez *et al.*, 2016; SEMARNAT, 2016). Se estima que desde el año 2015 México

pierde anualmente 100,000 hectáreas de vegetación (Figueroa *et al.*, 2021), además los valores más altos de huella humana del país se concentran en el eje Neovolcánico Transversal y a lo largo de la costa del Golfo de México (González Abraham *et al.*, 2015). Aunado a esto se encuentra la distribución inequitativa de las AP, debido a que se prioriza áreas con mayor riqueza sobre áreas con la presencia de especies únicas (Figueroa *et al.*, 2021).

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) junto a distintos investigadores actuaron frente a dicha problemática y propusieron las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) y Sitios Terrestres Prioritarios (STP) (Arriaga Cabrera *et al.*, 2000; CONABIO *et al.*, 2007a). Las RTP y STP se distinguen del resto del país por sus características físicas y biológicas (Arriaga Cabrera *et al.*, 2000; CONABIO *et al.*, 2007a). Además, las RTP y STP se consideran sitios en donde se tiene una verdadera oportunidad para preservar las especies y recursos naturales, por lo que actúan como complemento de las ANP (Arriaga Cabrera *et al.*, 2000; CONABIO *et al.*, 2007a).

Las RTP Y STP representan el 56.68% del territorio (CONABIO *et al.*, 2007b), sin embargo, presentan su mayor superficie en la provincia del altiplano Norte, Altiplano Sur y Sierra Madre Occidental (Arriaga Cabrera *et al.*, 2000; CONABIO *et al.*, 2007b). Además, la mayor distribución de las RTP y STP coincide con los sitios en donde los valores de huella humana son los más bajos del país, al norte, noroeste en zonas áridas y el sureste tropical (González Abraham *et al.*, 2015). La modificación en la superficie terrestre se relaciona con efectos negativos al ecosistema y las especies (Pulido-Chadid *et al.*, 2023). Por lo tanto, la huella humana baja indica que el sitio o área tiene la capacidad de conservar en contraste con los sitios en donde existe una huella humana alta ya que es sinónimo de mayor modificación de origen antrópico (Watson *et al.*, 2016; Anderson y Mammides, 2019; Pulido-Chadid *et al.*, 2023).

El estado de Tamaulipas se ubica en el litoral del Golfo de México, donde la huella humana va de alta a muy alta. A pesar de esto, Tamaulipas cumplió con lo propuesto por la Meta 11 de Aichi, ya que el 22% de su superficie se encuentra bajo la categoría de AP desde 2022 (Periódico Oficial Gobierno del Estado de Tamaulipas, 2022). Sin embargo, el gobierno del estado planteó como objetivo complementario, para el año 2030, conservar el 30% de la superficie estatal como lo establece la COP 15, ya que es un estado que cuenta con una alta diversidad de ecosistemas, flora y fauna (Treviño-Carreón y Valiente-Banuet, 2005; Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas, 2022).

El decreto de espacios que cumplan con los objetivos de conservación a escala nacional y estatal es necesario para preservar la biodiversidad y servicios ecosistémicos. Por lo tanto, es necesario identificar áreas que sean efectivas, representativas y que estén conectadas con la red de ANP para alcanzar la meta 11 de Aichi y el objetivo del 30%, en particular en regiones con una alta biodiversidad como lo es México y el estado de Tamaulipas. El presente estudio propone que las Regiones Terrestres Prioritarias y Sitios Terrestres Prioritarios que se localizan en las PB del noroeste de México permitirán proteger el 17% del territorio terrestre del país, puesto que estas zonas no se encuentran bajo presión y modificación del ser humano, en comparación con otras zonas del país. Las potenciales Áreas de Conservación permitirán incrementar la red de Áreas Naturales Protegidas a través del análisis de efectividad, representatividad y conectividad.

## **2. Antecedentes**

### **2.1 Conservación de la biodiversidad a nivel mundial**

Las Áreas Protegidas (AP) son sitios geográficos destinados a la protección de la biodiversidad y los recursos naturales, a su vez se asocian a valores ecosistémicos y culturales (Naughton Treves *et al.*, 2005). El establecimiento de las Áreas Protegidas se remonta al año de 1872 en Estados Unidos, con la creación del Parque Nacional de Yellowstone, ya que fue la primera área protegida oficial a nivel mundial (Yui, 2014). Un siglo más tarde, se impulsó la expansión de las AP en el congreso Mundial de Parques en Bali y posteriormente en la Cumbre de Rio en 1992 (Naughton Treves *et al.*, 2005).

Las Áreas Protegidas son importantes para la conservación de la diversidad biológica y los recursos naturales, además proporcionan distintos servicios ambientales (Stolton *et al.*, 2015). Los servicios ambientales que brindan las AP se pueden dividir en servicios de aprovechamiento, de regulación y servicios culturales (Holzman, 2012; Stolton *et al.*, 2015). Los servicios de aprovechamiento incluyen la proporción de alimento, agua y materiales (Holzman, 2012; Stolton *et al.*, 2015). Por otro lado, los servicios de regulación incluyen el clima, agua y suelo; mientras que los servicios culturales como las oportunidades para la recreación y turismo dentro de las AP (Holzman, 2012; Stolton *et al.*, 2015), todos estos servicios ecosistémicos son insustituibles. Los servicios ecosistémicos son importantes en el ámbito ecológico, social y económico, se estimó que hasta el año de 1997 los servicios poseían un valor de 33 billones de dólares anuales (Constanza *et al.*, 1997; Holzman, 2012). Por otro lado, el valor de los servicios ecosistémicos a través de la generación de programas de pago por servicios ambientales se valoraba en 618 187 dólares hasta el 2007 (de Groot *et al.*, 2012).

El pago por servicios ambientales (PSA) en México se comenzó a realizar con el programa servicios ambientales hidrológicos (PSAH9 en el año 2003 (McAfee y Shapiro, 2010; Costedoat *et al.*, 2015). Posteriormente, el programa para desarrollar el mercado de servicios ambientales por captura de carbono y los derivados de la biodiversidad para fomentar el establecimiento y mejoramiento de sistemas agroforestales (PSA-CABSA) se implementó en el 2004 (McAfee y Shapiro, 2010). En el año 2003, se asignó a la CONAFOR como institución a cargo del programa el cual tuvo éxito ya que recaudó 20 millones de dólares que se derivaron de impuestos (McAfee y Shapiro, 2010). El programa PSAH creció y entre 2003- 2006 recaudó 100

millones de dólares lo cual llegó y se distribuyeron a través del fondo forestal mexicano (FFM) (McAfee y Shapiro, 2010; FONAFIFO *et al.*, 2012).

Los criterios paisajísticos, estéticos y políticos fueron los principales criterios para establecer las AP, sin embargo, con el establecimiento de nuevas AP se propusieron nuevos criterios (Mendel y Kirkpatrick, 2002; Rodrigues *et al.*, 2004). Los nuevos criterios para establecer una AP cambiaron hace aproximadamente dos décadas, los cuales consideraron a la biología de la conservación y los sistemas de información geográfica. Los nuevos criterios que fueron incorporados en el diseño de ANP incluyeron a la escala de protección, la representatividad, complementariedad y conectividad son los criterios (Castaño Villa, 2006). La escala de protección hace referencia a mantener áreas prioritarias para la conservación de acuerdo con los recursos financieros y técnicos con los que se cuente (Castaño Villa, 2006). Las escalas suelen ser global o continental, escala regional y en los últimos años se añadió la mesoescala (Castaño Villa, 2006). La escala global hace referencia a aquellos sitios en donde se concentra gran diversidad biológica e incluso alto número de endemismos, pero se encuentran en peligro de extinción. Por otro lado, dentro de la escala regional se refiere a que las AP establecidas tengan un plan de manejo para que de esta manera se conserven de manera correcta porciones de biomas, ecosistemas, hábitat, provincias o distritos biogeográficos. Finalmente, la mesoescala es a nivel de regiones biogeográficas en donde existen intersecciones entre las regiones (Castaño Villa, 2006).

La representatividad hace referencia a la biota que se registra dentro de la AP con respecto a la región de interés, en este criterio se utilizan a los sustitutos o subrogados de la diversidad (Castaño Villa, 2006; Aycrigg *et al.*, 2013). Por otro lado, la complementariedad busca que todas las especies sean consideradas en las áreas protegidas (Aycrigg *et al.*, 2013). La composición de especies en las AP se complemente entre sí para representar la diversidad de una región (Castaño Villa, 2006; Kullberg *et al.*, 2015). Finalmente, la conectividad se refiere a la continuidad de una ANP con alguna otra área de conservación o alguna zona importante para la biodiversidad. La conectividad es importante para mantener el flujo genético y se puedan llevar a cabo procesos ecológicos y evolutivos, lo cual mantendrá viables a las poblaciones de las especies (Castaño Villa, 2006; Saura *et al.*, 2019).

La efectividad hace referencia a la capacidad del AP de cumplir con los objetivos de conservación propuestos (Hockings *et al.*, 2006). La efectividad de las áreas protegidas se define

como la capacidad que posee dicho espacio geográfico para cumplir con las metas y objetivos de conservación que se establecieron, esta se puede medir a través de diferentes criterios (Hockings *et al.*, 2006). La efectividad se puede evaluar a partir de los planes de manejo, así como la riqueza de especies, tasa de deforestación, así como la presión del pastoreo y la caza (Feng *et al.*, 2021).

Las AP mundiales aumentaron en número de 1985 a 2010, sin embargo, la diversidad biológica disminuyó (Jenkins y Joppa, 2009). Las principales causas de la disminución de la biodiversidad son la contaminación, la caza, la introducción de especies invasoras, el cambio climático, incluso causas naturales. Sin embargo, la principal causa de pérdida de diversidad es la degradación y pérdida de la cobertura vegetal (Singh *et al.*, 2021). La degradación y la pérdida de la vegetación se debe principalmente a las actividades agrícolas y ganaderas (AbdelRahman, 2023). La pérdida de vegetación nativa entre los años de 2010 a 2020 fue de cerca de 11 millones de hectáreas debido a estas actividades (Symes *et al.*, 2018; Singh *et al.*, 2021). Por este motivo, el Convenio de Diversidad biológica (CDB) propuso el plan estratégico de biodiversidad 2011-2020 y dentro de él distintas metas dirigidas a mitigar la pérdida de biodiversidad y reducir el impacto del hombre contra la naturaleza (CDB, 2010).

El plan estratégico, del Convenio de Diversidad biológica, incluye 20 metas (Metas Aichi), las cuales se encuentran organizadas en cinco objetivos estratégicos. Los objetivos estratégicos abordan el conocer las causas de la pérdida de la biodiversidad, así como proponer estrategias para reducir las presiones y promover el uso sustentable de esta. Uno de ellos, es la mejora de los servicios ecosistémicos y salvaguardar la biodiversidad a largo plazo con una planificación participativa y activa del gobierno (CDB, 2010). Sin embargo, la Meta 11 de Aichi tiene como objetivo estratégico mejorar el estado de la biodiversidad a través de la protección de ecosistemas, especies y diversidad genética. La meta 11 estableció que para el 2020 los países firmantes deberían de tener al menos el 17% su superficie terrestre y el 10% de zonas marinas y costeras bajo conservación mediante el sistema de AP. Además, las AP debían de ser ecológicamente representativas, conectadas y su gestión debía ser eficaz y equitativa (CDB, 2010).

La meta 11 fue alcanzada por algunos países, como China y Kenia (Zhang *et al.*, 2020a; Onditi *et al.*, 2021). Sin embargo, estudios posteriores demostraron que las especies de vertebrados y mamíferos no estaban bien representados dentro de las AP de ambos países (Zhang *et al.*, 2020a; Onditi *et al.*, 2021). En China, las AP desempeñan un papel importante en el

mantenimiento y función de los ecosistemas, pero fueron insuficientes para capturar a las especies de vertebrados (Zhang *et al.*, 2020a). Los parques nacionales de China albergan pocas especies e incluso aquellas especies de vertebrados que necesitan de ser protegidas, es decir, las especies amenazadas. Por lo que los parques nacionales de este país no lograron cumplir con el objetivo de conservación (Zhang *et al.*, 2020a). En el caso de Kenia, la mayoría de los mamíferos terrestres están representados en al menos de una AP. Sin embargo, la proporción de área de distribución de las especies se considera baja, por lo que es recomendable que las AP se extiendan (Onditi *et al.*, 2021).

El 76.5% de los países Latinoamericanos lograron que el 17% de su territorio terrestre y aguas continentales fuera conservado en la forma de AP (OLACEFS y COMTEMA, 2015). En el caso del porcentaje terrestre se considera un porcentaje significativo. Los países que lograron alcanzar el 17% de AP fueron Bolivia, Brasil, Chile, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, Perú, Portugal, República Dominicana y España (OLACEFS y COMTEMA, 2015). A pesar de que Costa Rica cumplió con la Meta 11 y su sistema de Áreas Protegidas logra representar adecuadamente a las especies de mamíferos terrestres en un 98.5 %, estas poseen una baja complementariedad de especies. Por otro lado, la mayor parte del rango de distribución de las especies se encuentra bajo protección, solo el 25% del total de las especies no se encontraba bajo esta (González Maya *et al.*, 2015).

La baja representatividad biológica en las AP condujo a que en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Biodiversidad 2022, o también conocida como COP15, más de 200 países se comprometieran en proteger al menos el 30% de las áreas terrestres para 2030 (CDB, 2022). El acuerdo se adoptó el día 19 de diciembre de 2022 en Canadá, este involucra la protección de la biodiversidad y busca revertir la destrucción ambiental que amenaza a las especies y ecosistemas. El acuerdo involucra la participación social de los pueblos indígenas ya que son una parte esencial en la protección de la biodiversidad.

## **2.2 Subrogados de la diversidad biológica**

Los subrogados de la biodiversidad, así como su uso para el establecimiento de áreas de conservación es importante, ya que son un subconjunto de especies que mejor representan al resto de diversidad (Urquiza Haas *et al.*, 2011; Escalante *et al.*, 2020). Los subrogados de la biodiversidad pueden incluir diferentes grupos biológicos e incluso ambientales, como los tipos de suelo, climas, provincias biogeográficas, tipos de ecosistemas y regiones (Escalante *et al.*,

2020). Además, los subrogados pueden llegar a ser subconjuntos de taxones o especies, así como especies en peligro de extinción o endémicas (Monroy Gamboa *et al.*, 2019). Los subrogados se dividen en verdaderos y estimados, los subrogados verdaderos representan la diversidad general o verdadera, es decir, diversidad de especies, ecosistemas, provincias biogeográficas (Sarkar y Margules, 2002; Escalante *et al.*, 2020). Sin embargo, los subrogados verdaderos se vuelven difíciles de cuantificar, por lo que se tienen que hacer estimaciones o aproximaciones a lo que existe en realidad, lo cual se puede realizar mediante los subrogados estimados (Sarkar y Margules, 2002; Escalante *et al.*, 2020). Los subrogados estimados pueden ser especies con mayores registros, las cuales se pueden someter a análisis de riqueza, composición de especies, o los tipos de vegetación (Sarkar y Margules, 2002; Escalante *et al.*, 2020). Las especies de vertebrados como mamíferos, reptiles, aves y anfibios se consideran como subrogados estimados y por lo tanto suelen ser los más precisos (Escalante *et al.*, 2020). Los subrogados se emplean para proponer áreas de conservación puesto que es complejo conocer en cifras exactas la biodiversidad existente (Escalante *et al.*, 2020).

Los vertebrados son un ejemplo frecuente de subrogados de la biodiversidad, ya que se encuentran en todos los niveles de la cadena trófica y cuentan con más registros de colecta, por lo tanto, permiten realizar una estimación más precisa (Urquiza Haas *et al.*, 2011). Por otro lado, los vertebrados son importantes, por el papel que desempeñan en los ecosistemas, estos se ubican en todos los niveles de la cadena trófica, desde los consumidores primarios, hasta los depredadores tope. Además, contribuyen al transporte de energía en cada uno de los niveles, este traspaso de energía dentro de las cadenas tróficas y refleja el funcionamiento de los ecosistemas (Zhang *et al.*, 2018).

### **2.3 Conservación de la biodiversidad en México**

Las áreas naturales protegidas (ANP) (denominadas por México), se consideran las herramientas más eficaces para conservar la diversidad biológica y los ecosistemas, a su vez contribuyen a frenar los efectos del cambio climático (CONANP, 2023). La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) definen a las ANP como zonas territorio nacional que no han sido significativamente alteradas por la actividad humana y las cuales la Nación ejerce soberanía y jurisdicción. Además, son lugares cuyos ecosistemas requieren ser preservados y restaurados los cuales quedarán a lo previsto por la ley y ordenamientos aplicables (PROFEPA, 1988; CONANP, 2023).

México, firmante del CDB, se comprometió a cumplir la Meta 11 de Aichi. Sin embargo, incumplió dicho acuerdo, ya que para el 2020 solo logró conservar bajo el sistema de Área Natural Protegida (ANP) cerca del 13.25% del territorio (CONANP *et al.*, 2020). El 13.25% lo constituyen las ANP federales, estatales, municipales y las Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVC), en un porcentaje del 10.78%, 2.09%, 0.10% y 0.28% respectivamente (CONANP *et al.*, 2020). A pesar de que el porcentaje aumentó al 15% del año 2020 al 2022, aún es insuficiente.

La red de Áreas Naturales Protegidas (ANP) de México es insuficiente y se enfrenta a distintas amenazas, como la deforestación de la vegetación natural, el incremento de la urbanización, contaminación, el efecto del cambio climático e incluso la introducción de especies invasoras (SEMARNAT, 2016). Sin embargo, la deforestación es uno de los principales, ya que en México entre el 2000 y 2004 se perdieron de manera rápida cerca de 2967 hectáreas de selvas tropicales, principalmente por usos agropecuarios del suelo (Farfán Gutiérrez *et al.*, 2016). Por otro lado, la tasa de deforestación estimada para México fue superior en las selvas, en comparación con los bosques, ya que entre 1976 y 2000 se deforestaron 60 000 km<sup>2</sup> de selvas, mientras que la de los bosques de 20 000 km<sup>2</sup> (Mas *et al.*, 2004). Sin embargo, la mayoría de los ecosistemas presentes en México sufre deforestación lo cual causa la pérdida de biodiversidad (SEMARNAT, 2016).

### 2.3.1 Efectividad

Las evaluaciones de la efectividad en las ANP de México se realizaron a partir de la implementación del Sistema Permanente de Evaluación de la Efectividad del Manejo de las Áreas Naturales Protegidas Federales (i-efectividad) (SIMEC y CONANP, 2019; CONANP *et al.*, 2020). El i-efectividad se aplicó a 129 AP de carácter federal que contaban con programa de manejo. El sistema de efectividad evaluó cinco componentes: 1) contexto y planeación, 2) administrativo y financiero, 3) usos y beneficios, 4) gobernanza y participación social y 5) manejo. El resultado de la evaluación fue que 8 de las 129 obtuvieron un índice de efectividad sobresaliente, 56 un índice altamente efectivo, 40 un índice de manejo parcialmente efectivo y 10 con un índice de manejo inefectivo. Por último, 6 ANP se clasificaron como en incumplimiento (CONANP *et al.*, 2020).

### 2.3.1.1 Huella Humana

La efectividad evalúa el cumplimiento de los objetivos de conservación, pero también las amenazas a las que el área está expuesta (Hockings *et al.*, 2006). Por lo tanto, la efectividad involucra evaluar de qué manera las actividades antropogénicas impactan a la biodiversidad y esto puede realizarse a partir de la huella humana. El concepto de huella humana se utiliza para definir la transformación de la tierra por el ser humano, es decir, es la suma de los efectos negativos que causan las actividades antropogénicas las cuales impactan a la naturaleza (Sanderson *et al.*, 2002). Los valores de huella humana indicarán que tan conservada o no se encuentra un área e identificar aquellas que puedan ayudar a cumplir con los objetivos de conservación (Sanderson *et al.*, 2002).

La efectividad de las áreas protegidas a nivel mundial se puede medir a través de la eficacia de la gestión (Adams *et al.*, 2023), este se considera un indicador básico que realiza comparaciones entre áreas protegidas y no protegidas (Adams *et al.*, 2023). Sin embargo, existen otros métodos mediante los cuales se puede estudiar la efectividad de áreas protegidas, por ejemplo, mediante la huella humana (Geldmann *et al.*, 2019). La huella humana es un indicador de modificación e impacto de origen antropogénico a la superficie terrestre, mediante la huella humana se localizan y definen si los sitios tienen bajo o alto grado de modificación (Anderson y Mammides, 2019; Pulido-Chadid *et al.*, 2023). La modificación en la superficie terrestre se relaciona con efectos negativos al ecosistema y las especies, por lo tanto, el sitio o área ya no tendrá la misma capacidad de conservar en comparación con los sitios en donde existe baja o nula modificación humana (Watson *et al.*, 2016; Anderson y Mammides, 2019).

La huella humana se utilizó para medir la efectividad de la reserva natural del Gran Cañón Yarlung Zangbo, en Tíbet (Li *et al.*, 2018). El estudio determinó que mediante la utilización de la huella humana fue posible reconocer que la reserva natural permite reducir de manera eficiente las actividades humanas (Li *et al.*, 2018). Por otro lado, Irán generó y utilizó los datos de huella humana de su país para evaluar la presión humana dentro de las áreas protegidas, así como biomas de las ecorregiones pertenecientes al país (Karimi y Jones, 2020). La huella humana permitió determinar que al menos el 22% de su territorio, el cual se considera que se encuentra oficialmente protegido, está sometido a una presión humana constante (Karimi y Jones, 2020).

El mapeo de la huella humana a nivel global consideró cuatro criterios como indicadores de influencia humana, estos fueron a) la densidad poblacional, b) la transformación de la tierra, c)

la accesibilidad y d) la infraestructura de energía eléctrica (Sanderson *et al.*, 2002). La densidad poblacional se tomó en cuenta ya que refleja las modificaciones que se realizan a los ecosistemas naturales, es decir, cuanto mayor sea la densidad poblacional mayor requerimiento de servicios y mayor el deterioro del ecosistema. Por otro lado, la transformación de la tierra hace referencia a la remoción de vegetación nativa para la construcción de viviendas, establecimiento de zonas ganaderas y agricultura, así como la creación de vías de comunicación como carreteras y sus efectos directos. La accesibilidad se consideró porque las carreteras, los viajes en los principales ríos y costas brindan oportunidades que benefician económicamente a las poblaciones aledañas. Sin embargo, la extracción de recursos, contaminación e interrupción de los sistemas naturales se lleva a cabo. Finalmente, la infraestructura de la energía eléctrica proporciona una estimación del desarrollo tecnológico de un área, así como el uso de combustibles fósiles. Las luces visibles se consideran dado que son zonas donde existen grandes asentamientos humanos (Sanderson *et al.*, 2002).

El índice de huella humana en México se calculó con los métodos de Sanderson *et al.* 2002, en donde se utilizaron distintos datos espaciales que representen las fuentes de modificación humana directa e indirecta en la superficie terrestre del país. Los asentamientos humanos, tierras cultivadas para agricultura, ganadería, plantaciones forestales y pastizales cultivados, acuicultura marina y carreteras son ejemplo de fuentes de modificación humana (González Abraham *et al.*, 2015). Los datos vectoriales que se utilizaron fueron mapas de uso y cobertura del suelo (serie III, escala 1:250 000) se obtuvieron del Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática de México (INEGI) (González Abraham *et al.*, 2015). La distribución espacial de los asentamientos humanos, agricultura, acuicultura, plantaciones forestales y áreas con pastizales se obtuvo a partir de estos mapas. Por otro lado, las principales carreteras, autopistas y caminos de terracería locales se obtuvieron de los datos del Instituto Mexicano del Transporte (IMT) y la base de datos de la Red Nacional de Caminos (González Abraham *et al.*, 2015). El grado de huella humana o modificación se definió de acuerdo con la intensidad y extensión. El factor de intensidad se incorporó al asignar puntuaciones a las fuentes de modificación. Por otro lado, la extensión se asignó a través de un umbral, el umbral dada la resolución fue de 500 metros (González Abraham *et al.*, 2015).

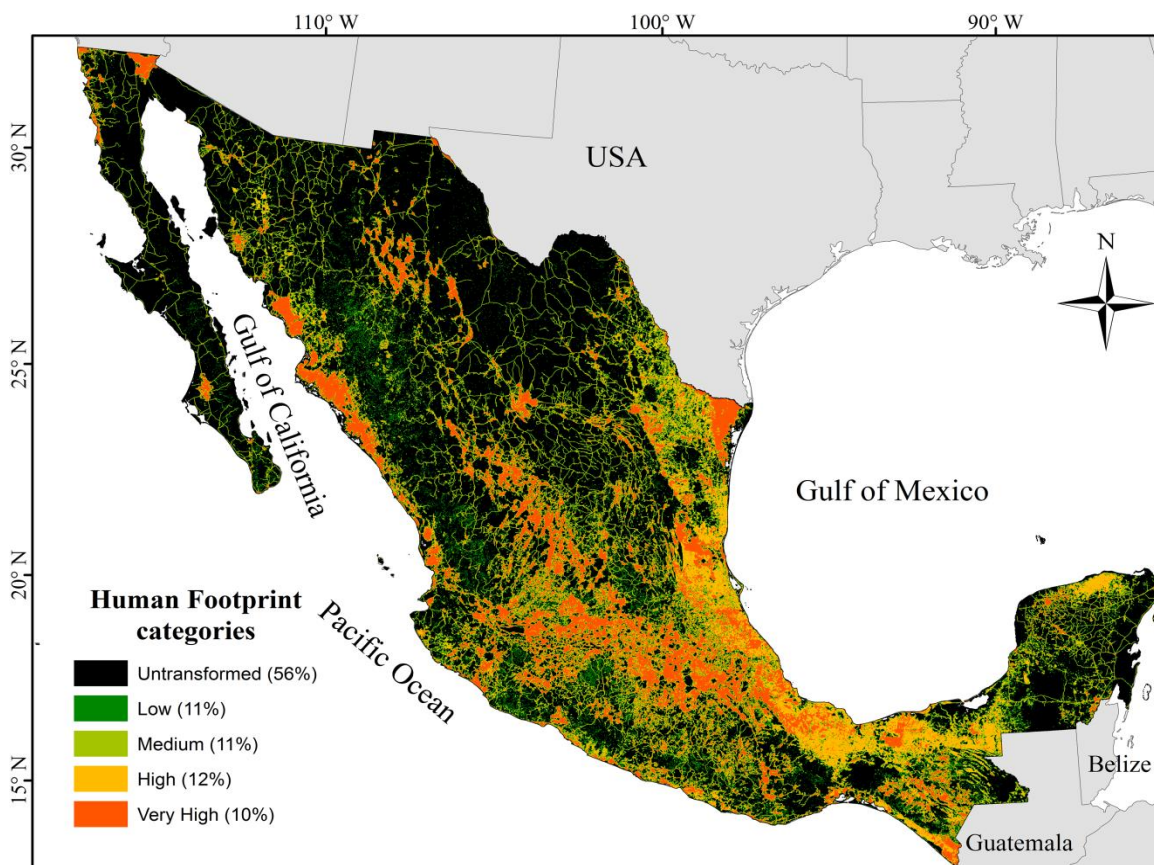
La huella humana posee un puntaje cuantitativo  $HF$  va de 0 a 10. El cero representa un nivel menor, en donde la modificación directa de tierra es baja. El 10 representa áreas donde se produjo la mayor acumulación de transformación ocasionado por el hombre (González Abraham

*et al.*, 2015). Por lo tanto, el valor de huella muy baja o sin transformar es  $HF = 0$ , huella baja es  $HF = 0,5-1$ , el valor de huella humana media es de  $HF = 2-3$ , huella humana alta ( $HF = 4-6$ ) y valor de huella muy alto ( $HF \geq 7$ ) (González Abraham *et al.*, 2015). El resultado de la huella humana en México es diverso, ya que el 55.9% de la superficie terrestre se encuentra dentro de los valores de huella humana muy bajo o sin transformar. Por otro lado, la superficie terrestre con valor de huella humana muy alto pertenece al 10.3% del territorio. La superficie terrestre restante (33.8%) pertenece a huella humana baja con 11.2%, huella humana media 10.6% y huella humana alta con 12%. Las áreas con valores de huella humana más altos se distribuyen espacialmente en las planicies costeras del golfo de México, así como a lo largo del eje volcánico transversal (González Abraham *et al.*, 2015) (Figura 1). Las áreas con valores altos de huella también predominan en las costas del Golfo de California (Figura 1). El noroeste árido de México y partes del sureste tropical, en la península de Yucatán, se encuentran valores de huella humana relativamente bajos (González Abraham *et al.*, 2015) (Figura 1). El resto del país, es decir, la región sur alberga variedad de fragmentos con valores de huella humana bajos y altos (González Abraham *et al.*, 2015) (Figura 1).

La huella humana baja, media y alta hacen referencia a los diferentes grados de transformaciones del medio o ecosistema natural. En este caso, la huella humana baja indica que el ambiente se encuentra con poca proporción de degradación, con impactos mínimos por parte de las actividades antropogénicas (Sanderson *et al.*, 2002; González Abraham *et al.*, 2015). Mientras que, la huella humana muy alta indica que los ambientes naturales ya no existen en dicha zona, ya que son ambientes con modificaciones humanas y los cuales se encuentran en degradación (Sanderson *et al.*, 2002; González Abraham *et al.*, 2015). Por lo tanto, la huella humana permite cuantificar el grado de conservación o degradación de la superficie terrestre (Sanderson *et al.*, 2002).

La huella humana, sus categorías y distribución de estas dentro del territorio mexicano no son uniformes. México o bien, algunas partes del territorio aún se mantienen conservadas, es decir, las zonas no se encuentran transformadas y existe la presencia de vegetación natural (González Abraham *et al.*, 2015). Mientras que, en otras zonas de México existen escasos parches conservados, o bien, otro desfavorable escenario también es que existen zonas del territorio nacional en donde las modificaciones son notables, y donde no existe la presencia de parches conservados (González Abraham *et al.*, 2015). La distribución espacial irregular de la

huella humana se debe al desarrollo humano, al legado ambiental de los asentamientos humanos y colapsos demográficos (González Abraham *et al.*, 2015). Por lo tanto, ubicar espacialmente los sitios permite relacionar las actividades humanas que generan mayor degradación a la superficie terrestre del país (González Abraham *et al.*, 2015). Un ejemplo claro es que en la zona centro del país se encuentra la mayor parte de los asentamientos humanos (INEGI, 2020).



**Figura 1.** Categorías de huella humana en México (González Abraham *et al.*, 2015)

### 2.3.2 Representatividad

La representatividad es un concepto que se utiliza con frecuencia en biología de la conservación, ya que se considera como criterio para designar un área protegida (Delso *et al.*, 2021). La representatividad hace referencia a que el área o sistema de reservas debe contener buena proporción de la biota original, es decir, el total de la biota en el espacio geográfico ya sea a nivel de región o provincia biogeográfica (Austin y Margules, 1986; Delso *et al.*, 2021). El análisis de representatividad requiere de varios puntos estratégicos para llevarse a cabo, algunos son la existencia de una clasificación jerárquica de las unidades ecológicas que se utilicen. Por otro

lado, es necesario definir unidades espaciales con un área específica y a su vez elegir el método para evaluar la representatividad de las áreas (Austin y Margules, 1986). Por este motivo, para realizar un análisis de representatividad se debe elegir la escala a la que se trabajará y el sistema biológico que se utilizará (Subrogados de la biodiversidad) (Austin y Margules, 1986; Delso *et al.*, 2021).

En Yunnan, China, la determinación de áreas de conservación se realizó a través de dos subrogados, los grupos de plantas y animales que se encuentran en peligro de extinción (Yang *et al.*, 2016). Si bien, las plantas lograron ser más eficientes como subrogados, en conjunto (plantas y animales) lograron contribuir en mayor medida a la determinación de áreas destinadas para conservar (Yang *et al.*, 2016). Por este motivo, es importante considerar varios grupos como subrogados ya que contribuirán en mayor proporción a la determinación de áreas de conservación (Yang *et al.*, 2016). Las áreas prioritarias de conservación se pueden establecer mediante la evaluación de distintos métodos, entre ellos, la representatividad biológica (Monroy Gamboa *et al.*, 2019).

La representatividad a nivel regional, es decir, en México, se evaluó de acuerdo con las ecorregiones establecidas globalmente, aunque también con la clasificación propia de México propuesta por el INEGI, CONABIO e INE (Olson *et al.*, 2001; INEGI *et al.*, 2008). Los resultados de representatividad de acuerdo con la clasificación global indicaron que 23 ecorregiones cuentan con una representatividad mayor al 10% al interior de las áreas protegidas, mientras que 23 ecorregiones se encuentran por debajo del 10% de representatividad (CONANP *et al.*, 2020). La representatividad en México se evaluó a nivel de ecorregiones con subrogados, entre ellos los tipos de ecosistemas y grupos de vertebrados como reptiles, aves y mamíferos, a escala estatal. La representatividad de los ecosistemas de las ANP del estado de Puebla fue de un 12%, sin embargo, se considera que este sistema de ANP es insuficiente y no representa bien a los ecosistemas. Los tipos de vegetación natural dentro del sistema de ANP de Puebla se consideraron ausentes y seis por debajo de un nivel adecuado de representatividad ecológica (Neri Suárez *et al.*, 2015).

Los vertebrados y su área de distribución demuestran ser un elemento clave para determinación de la representatividad (Monroy Gamboa *et al.*, 2019). Los anfibios, reptiles, aves y mamíferos se consideran adecuados representantes de la diversidad biológica (Zhang *et al.*, 2020b). La distribución en ecosistemas diversos, así como su posición en todos los niveles de la

cadena trófica, les confieren a los vertebrados la particularidad de ser subrogados de la diversidad (Zhang *et al.*, 2020b). En Oaxaca, México, el cálculo de representatividad en áreas protegidas se realizó mediante las especies de vertebrados (Monroy Gamboa *et al.*, 2019). Todos los grupos de vertebrados resultaron capaces de estimar la representatividad, unos en mayor medida que otros. Sin embargo, el estudio concluyó que la representatividad de los vertebrados dentro de las áreas protegidas del estado de Oaxaca es menor al 2% (Monroy Gamboa *et al.*, 2019).

### 2.3.3 Conectividad

La conectividad es una estrategia importante dentro de la conservación, ya que actúa como complemento de las áreas protegidas (Carrillo Hernández *et al.*, 2022). Por este motivo, las ANP y su estudio dentro del territorio mexicano condujo al desarrollo de iniciativas y proyectos que pudieran contribuir al desarrollo de los procesos biológicos, así como permitir el flujo genético de especies (Carrillo Hernández *et al.*, 2022). Los corredores biológicos, ecológicos y bioclimáticos impulsan la conexión de dos o más regiones para evitar el aislamiento entre poblaciones (CONANP *et al.*, 2020; CONABIO, 2022). En los últimos años, las instituciones y programas nacionales encargados de la conservación impulsaron la conectividad de aproximadamente 50.4 millones de hectáreas protegidas (CONANP *et al.*, 2020). El corredor biológico mesoamericano es un ejemplo de conectividad característico del territorio mexicano (CONABIO, 2022). El corredor abarcó varios estados al Sureste del país como Chiapas, Campeche, Quintana Roo y Yucatán y posteriormente Chiapas, sin embargo, el proyecto concluyó en el 2018 (Carrillo Hernández *et al.*, 2022; CONABIO, 2022).

### 2.3.4 Regiones Terrestres Prioritarias y Sitios Terrestres Prioritarios

La Comisión Nacional de la Biodiversidad (CONABIO), realizó diferentes ejercicios para complementar la red de ANP, entre estos se incluyen a las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) y Sitios Terrestres Prioritarios (STP). Las RTP se definen como unidades ambientalmente estables que poseen una riqueza de ecosistemas y de especies mayor en comparación con el resto del territorio nacional (Arriaga Cabrera *et al.*, 2000). Las RTP se considera se consideran zonas en donde se puede tener una verdadera oportunidad de conservación dado sus características biológicas (Arriaga Cabrera *et al.*, 2000). Las Regiones Terrestres Prioritarias son en total 152, las cuales abarcan aproximadamente 504 796 km<sup>2</sup> del territorio mexicano, incluso algunas de ellas ya se encuentran protegidas puesto que son ANP (Arriaga Cabrera *et al.*, 2000). La CONABIO consideró distintos criterios entre ellos el valor biológico, amenazas o riesgos y oportunidades de conservación (Arriaga Cabrera *et al.*, 2000).

La CONABIO consideró a la extensión del área, integridad ecológica funcional de la región, importancia como corredor biológico entre regiones, diversidad de ecosistemas dentro de los criterios de valor biológico (Cabrera *et al.*, 2000; CONABIO, 2023). Los endemismos, riqueza, centros de origen, diversificación natural, de domesticación y/o mantenimiento de especies útiles son fenómenos naturales que también consideraron los investigadores (Arriaga Cabrera *et al.*, 2000; Arriaga Cabrera *et al.*, 2009). Los factores de amenaza o riesgo que consideró la CONABIO fueron la pérdida de la superficie original, fragmentación, cambios en la densidad poblacional, presión sobre especies clave, concentración de especies en riesgo y práctica de manejo inadecuado (Arriaga Cabrera *et al.*, 2000). Los científicos también consideraron la proporción de áreas bajo algún tipo de manejo adecuado, importancia de los servicios ambientales y presencia de grupos u organizaciones civiles (Arriaga Cabrera *et al.*, 2000; Arriaga Cabrera *et al.*, 2009).

Los Sitios Terrestres Prioritarios (STP) fueron propuestos posteriores a las RTP, a través de un análisis de vacíos y omisiones de conservación el cual se realizó por parte de la CONABIO y CONANP, con el apoyo de más 260 colaboradores (CONABIO *et al.*, 2007b; CONABIO, 2021b). Los STP son sitios que contienen una valiosa biodiversidad, la cual se encuentra en peligro como consecuencia de las actividades antropogénicas (CONABIO, 2021b). Los investigadores analizaron elementos de la biodiversidad, en total 1450 y 19 diversos factores de amenaza (CONABIO *et al.*, 2007b). Entre los elementos de biodiversidad que se utilizaron por dichos expertos se pueden mencionar los tipos de vegetación críticos, riqueza de plantas (familias y géneros), plantas, árboles y magueyes en la NOM-059-Semarnat-2001 (SEMARNAT, 2002). Así como, aves residentes, reptiles, anfibios, mamíferos y riqueza de especies de vertebrados. Los STP se clasificaron en sitios de prioridad media, alta y extrema, cubren 594 894 km<sup>2</sup>, lo que equivale al 30.36% de la superficie de México. De manera individual de acuerdo con la prioridad media alta y extrema, los STP cubren el 14%, 14.42% y 2.18%, respectivamente (CONABIO, 2021b). En el 2008, los STP coincidían en 12.9% de la superficie de áreas protegidas, equivalente a 3.9% de la superficie del país (CONABIO *et al.*, 2007a).

### 2.3.5 Provincias biogeográficas

El territorio mexicano se divide en 19 provincias biogeográficas de acuerdo con la clasificación de Arriaga *et al.* (1997). La regionalización de estas provincias se llevó a cabo en un taller dirigido por la CONABIO en el cual participaron 20 expertos, dicha regionalización se realizó de un consenso en donde los investigadores tomaron en cuenta diferentes sistemas (Arriaga *et al.*

(1997). Los mapas temáticos se analizaron por dichos expertos y tomaron en cuenta características de clima, relieve, régimen de lluvias, temperatura media anual y vegetación potencial. Además, los mapas se compararon con cuatro sistemas biogeográficos, el sistema de rasgos morfotectónicos, el sistema de registros florísticos o fitogeográficos. Por otro lado, la herpetofauna y mastofauna, fueron sistemas que también se consideraron (Morrone, 2005; Morrone, 2019).

Las 19 provincias en las que se dividió el país se clasificaron en 3 medios, el medio árido subtropical contiene a las provincias de California, Baja California, Cabo, Sonorense, Tamaulipeca, Altiplano Norte (Chihuahuense) y Altiplano Sur (Zacatecano-Potosino) (Morrone, 2019). El medio tropical húmedo y subhúmedo contiene a las provincias de la Costa del Pacífico, Depresión del Balsas, Golfo de México, Yucatán y Petén (Morrone, 2019). El medio montano incluye las provincias de la Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental, Eje Volcánico Transversal, Sierra Madre del Sur, Oaxaca, Altos de Chiapas y Soconusco (Morrone, 2019). Finalmente, las provincias biogeográficas en las que se divide el territorio mexicano se definieron de acuerdo con las características físicas, biológicas y evolutivas que comparten (Morrone, 2019). Por este motivo, los RTP y STP se necesitan evaluar de acuerdo con la provincia biogeográfica a la que pertenezcan para evitar comparaciones irregulares en cuanto a las características físicas, biológicas y evolutivas.

## **2.4 Vertebrados en México y en las ANP**

Los vertebrados terrestres son uno de los grupos más diversos en México, quien ocupa el cuarto lugar en especies de vertebrados a nivel mundial (CONABIO, 2008; SEMARNAT, 2016). México posee 361 especies de anfibios, 804 de reptiles, 1096 de aves y 535 especies de mamíferos (CONABIO, 2008; SEMARNAT, 2016). A nivel mundial, México ocupa el segundo lugar en reptiles, tercero en mamíferos y cuarto lugar en anfibios (SEMARNAT, 2016). Sin embargo, 1494 especies que representan aproximadamente el 27% de la riqueza total del país se encuentran dentro de la Norma Oficial Mexicana 059 SEMARNAT-2010 dentro de alguna categoría de riesgo (Arnaud, 2020).

La conservación de la biodiversidad in situ, es decir, la utilización de las Áreas Protegidas para la conservación de las especies es muy importante, ya que permite proteger a las especies en su entorno natural, a su vez proteger su hábitat y los ecosistemas (Arnaud, 2020). La riqueza de los vertebrados dentro de las AP llega a ser mayor que fuera de ellas debido a que existen

programas para su conservación y mantenimiento, lo cual favorece a las poblaciones de vertebrados (Villegas Patraca *et al.*, 2022). Sin embargo, la situación de las AP también es preocupante puesto que dentro de algunas de ellas no cuentan con planes de manejo lo cual es esencial para la conservación e inventarios biológicos también son escasos, estos podrían permitir comparar la composición de especies dentro de las AP (Moreno Barajas *et al.*, 2021).

## **2.5 Conservación de la biodiversidad en Tamaulipas**

Las regiones biogeográficas neártica y neotropical confluyen en el territorio mexicano (CONABIO, 2020). Tamaulipas es uno de los estados de la república mexicana en donde estas dos regiones biogeográficas convergen (López Higareda *et al.*, 2024). La clasificación biogeográfica de Arriaga *et al.* (1997) indica que las provincias que se encuentran en Tamaulipas son la provincia Tamaulipeca, Golfo de México, Sierra Madre Oriental y Altiplano Sur (Arriaga *et al.*, 1997). La localización de Tamaulipas en la zona transicional de dichas provincias le confiere una diversidad de ecosistemas, flora y fauna distinguible (López Higareda *et al.*, 2024). Tamaulipas cuenta con aproximadamente 10,849 especies (CONABIO, 2008; Sarukhán *et al.*, 2017), las cuales se distribuyen en los diversos ecosistemas del estado, entre ellos se puede mencionar el bosque tropical caducifolio, matorral espinoso tamaulipeco y selva baja caducifolia (López Higareda *et al.*, 2024).

Tamaulipas es uno de los estados al noreste de México con mayor diversidad de especies de vertebrados, ya que en el estado se distribuyen entre 700 y 900 especies (Sarukhán *et al.*, 2017). Tamaulipas posee 44 especies de anfibios, 139 especies de reptiles, 553 de aves y 169 de mamíferos (Terán-Juárez *et al.*, 2024<sup>a</sup>; Terán-Juárez *et al.*, 2024<sup>b</sup>; Garza-Torres *et al.*, 2024; Moreno Valdez *et al.*, 2024). Sin embargo, las principales amenazas a las que se enfrentan las especies de vertebrados en el estado son de origen antropogénico (López Higareda *et al.*, 2024). La construcción de vías de comunicación (carreteras), asentamientos humanos y desarrollo de la agricultura y ganadería causan la mayor modificación e impacto negativo al hábitat de las especies (López Higareda *et al.*, 2024). La distribución de huella humana es un claro ejemplo, ya que los valores más altos cubren cerca del 40% de la superficie del estado (López Higareda *et al.*, 2024; González Abraham *et al.*, 2015). Por lo tanto, se considera que el estado posee altos índices de degradación ambiental (López Higareda *et al.*, 2024).

Tamaulipas se enfrenta a la continua degradación de sus ecosistemas, a pesar de esto, el estado posee ANP que cubren el 22% de su superficie (Garza Torres *et al.*, 2024; Periódico

Oficial Gobierno del Estado de Tamaulipas, 2022). Por este motivo, Tamaulipas se considera uno de los estados al noreste del país que cumple con la meta 11 de Aichi, su sistema se conforma de ANP estatales, federales y municipales (Garza Torres *et al.*, 2024; Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas, 2022). Sin embargo, el sistema de ANP se enfrenta a problemáticas ambientales y de gestión (Garza Torres *et al.*, 2024). Las principales problemáticas a las que se enfrentan las ANP del estado no son solo problemas ambientales, sino también económicos y de gestión (Garza Torres *et al.*, 2024). Los problemas de gestión hacen referencia a que solo seis de las ANP del estado cuentan con un plan de manejo. De esta manera se puede concluir que no existen recursos que se destinen para realizar monitoreos, investigaciones y para llevar a cabo las estrategias de conservación (Garza Torres *et al.*, 2024).

La efectividad, representatividad y conectividad del sistema de áreas protegidas en Tamaulipas no se encuentra dentro de los registros y evaluaciones, o bien las investigaciones estiman la diversidad de cierto grupo o están sesgadas a ciertas ANP (Caballero Rico, 2024<sup>a</sup>). Algunas de estas ANP son Laguna Madre y Delta del Río Bravo, El Cielo, Playa de Rancho Nuevo, Sierra de Tamaulipas y Altas Cumbres (Caballero Rico, 2024<sup>a</sup>). A pesar de esto, la información que se generó de dichas investigaciones se omitió a la hora de la toma de decisiones que involucraron la conservación eficiente y a largo plazo en dichas áreas protegidas (Caballero Rico, 2024<sup>c</sup>). Sin embargo, existen otras alternativas para la conservación las cuales son las RTP y STP. Las RTP y STP también se distribuyen en Tamaulipas, estos se consideran como áreas importantes por características fisiográficas y biológicas en donde se puede desarrollar una oportunidad de conservación (Caballero Rico, 2024<sup>b</sup>).

### **3. Hipótesis**

Las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) y Sitios Terrestres Prioritarios (STP) de las provincias biogeográficas (PB) del norte de México que poseen la menor huella humana permitirán alcanzar el 17% de la superficie terrestre, incrementando la efectividad, representatividad y conectividad, de la actual red de áreas protegidas de México.

### **4. Objetivo**

#### **4.1 General**

- Identificar las áreas geográficas que tengan la mayor representatividad, efectividad y conectividad para alcanzar la meta de que el 17% del territorio se encuentre dentro de la red de Áreas Naturales Protegidas en México.

#### **4.2 Específicos**

- Identificar áreas entre las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) y Sitios Terrestres Prioritarios (STP) sin transformar o con poca modificación (huella humana baja).
- Identificar las RTP y STP que cuenten con la mayor representatividad biológica con respecto a la provincia biogeográfica en la que se encuentran.
- Identificar las RTP y STP que se encuentren cercanas a la red de Áreas Naturales Protegidas.
- Identificar las RTP y STP sin transformar o con huella humana baja y que contengan la mayor representatividad biológica para el estado de Tamaulipas.

## 5. Métodos

El análisis se inició a partir de las Regiones Terrestres Prioritarias y Sitios Terrestres Prioritarios, los cuales son 1472. En primer lugar, las AC se sometieron al análisis de efectividad, el cual se realizó a partir de los datos de huella humana disponibles para México. Las AC potenciales que disponían de huella humana baja o sin transformar se sometieron al análisis de representatividad biológica. La representatividad biológica se calculó a partir del área de distribución de más de mil especies de vertebrados. El área de distribución de las especies en la AC se contrastó con el área de distribución de las especies en la provincia biogeográfica a la que pertenece. Finalmente, las áreas de conservación resultantes de los análisis de efectividad y representatividad, se sometieron al análisis de conectividad. La conectividad se obtuvo mediante un buffer de 10 km a la red de áreas protegidas de México.

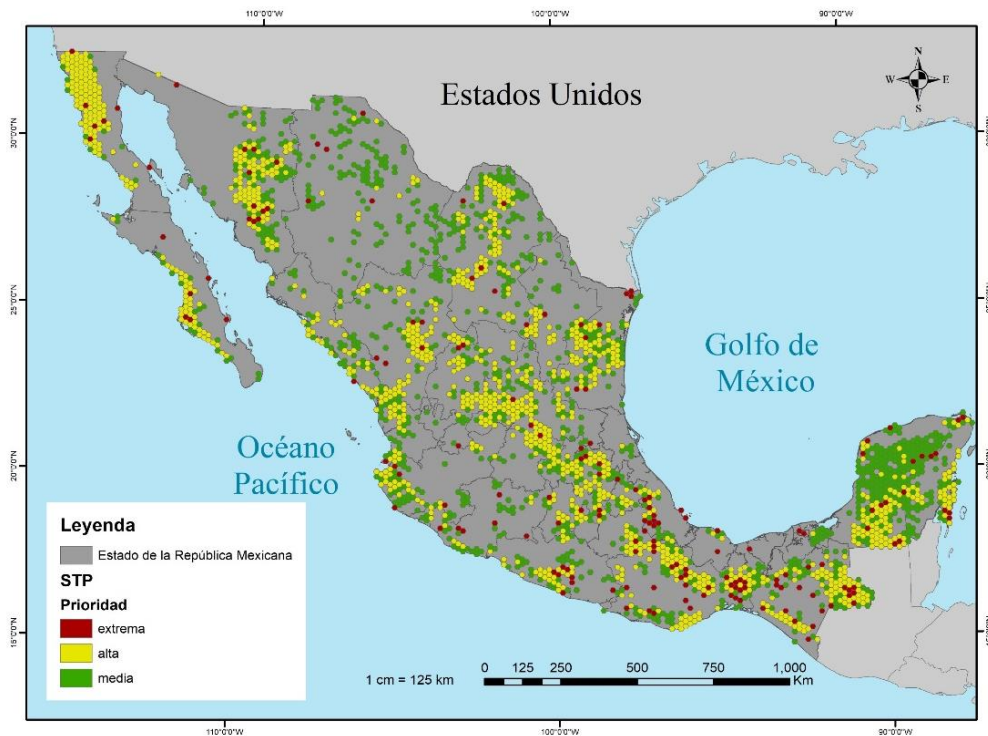
El análisis de efectividad y representatividad para el estado de Tamaulipas se realizó de la misma manera. El análisis de efectividad, eliminó aquellas Regiones Terrestre Prioritarias (13) y Sitios Terrestres Prioritarios (132) que tuvieran una huella humana media, alta y muy alta. Posteriormente, las AC restantes se sometieron al análisis de representatividad, por lo que también se consideró a las especies de vertebrados que se distribuyen en el estado y se contrastó con el área de distribución de las especies en la provincia biogeográfica a la que pertenecen.

### 5.1 Área de estudio

El área de estudio son las áreas prioritarias para la conservación para México propuestas por la Comisión Nacional para la Biodiversidad (CONABIO), las cuales se dividen en las Regiones Terrestres Prioritarias (Figura 2) y los Sitios Terrestres Prioritarios (Figura 3). Las Regiones Terrestres Prioritarias se definen como áreas importantes para la biodiversidad debido a sus características bióticas y físicas, por lo que se distinguen del resto del territorio (Arriaga Cabrera *et al.*, 2000).

El número de RTP es de 152, y ocupan el 28.3% del territorio terrestre de México (Tabla 1). Por otro lado, los Sitios Terrestres Prioritarios se eligieron en función a criterios biológicos importantes, así como factores de amenazas, se dividen en prioridad media, alta y extrema (CONABIO, 2021b) y ocupan el 49.9% del territorio terrestre de México. La provincia biogeográfica con menor superficie de RTP es la provincia del Cabo, mientras que la que cuenta con mayor superficie es la provincia Sierra Madre Occidental (Tabla 1). Por otro lado, la provincia biogeográfica que cuenta con la menor superficie de STP es la provincia del Cabo y

con la mayor superficie es la provincia Altiplano Sur (Tabla 1). El empalme que existe entre las RTP y STP abarca el 21.8% del territorio terrestre mexicano.



**Figura 2.** Regiones Terrestres Prioritarias de México (RTP).



**Figura 3.** Sitios Terrestres Prioritarios de México (STP).

**Tabla 1.** Porcentaje de área que ocupan las RTP y STP dentro de las Provincias Biogeográficas.

| <b>Provincias</b>              | <b>Áreas de Conservación</b> |              |                      |
|--------------------------------|------------------------------|--------------|----------------------|
|                                | <b>RTP</b>                   | <b>STP</b>   | <b>Total general</b> |
| <b>Altiplano Norte</b>         | 4.81                         | 7.86         | 12.67                |
| <b>Altiplano Sur</b>           | 1.53                         | 9.44         | 10.97                |
| <b>Baja California</b>         | 0.72                         | 2.09         | 2.82                 |
| <b>California</b>              | 0.04                         | 1.32         | 1.35                 |
| <b>Costa del Pacífico</b>      | 3.34                         | 4.51         | 7.85                 |
| <b>Del Cabo</b>                | 0.00                         | 0.07         | 0.07                 |
| <b>Depresión del Balsas</b>    | 0.55                         | 0.70         | 1.26                 |
| <b>Eje Volcánico</b>           | 1.03                         | 2.54         | 3.57                 |
| <b>Golfo de México</b>         | 1.40                         | 4.06         | 5.46                 |
| <b>Los Altos de Chiapas</b>    | 0.20                         | 0.41         | 0.61                 |
| <b>Oaxaca</b>                  | 0.08                         | 0.28         | 0.36                 |
| <b>Peten</b>                   | 1.84                         | 1.63         | 3.47                 |
| <b>Sierra Madre del Sur</b>    | 1.76                         | 0.79         | 2.55                 |
| <b>Sierra Madre Occidental</b> | 5.89                         | 2.24         | 8.13                 |
| <b>Sierra Madre Oriental</b>   | 0.51                         | 1.46         | 1.97                 |
| <b>Soconusco</b>               | 0.08                         | 0.12         | 0.20                 |
| <b>Sonorense</b>               | 1.72                         | 4.38         | 6.10                 |
| <b>Tamaulipeca</b>             | 2.80                         | 1.81         | 4.60                 |
| <b>Yucatán</b>                 | 0.02                         | 4.22         | 4.24                 |
| <b>Total general</b>           | <b>28.34</b>                 | <b>49.91</b> |                      |

## 5.2 Efectividad

La efectividad se define como el conjunto de acciones que permiten cumplir los objetivos principales que se establecen en las AP (Cifuentes A. *et al.*, 2000; Feng *et al.*, 2021). La efectividad se puede estimar a través de la riqueza de especies, la productividad de las plantas (Oliveira *et al.*, 2007; Feng *et al.*, 2021). La efectividad de las AC se analizó a partir de los datos de huella humana, ya que es un indicador de modificación e impacto de origen antropogénico a la superficie terrestre (Anderson y Mammides, 2019; Pulido-Chadid *et al.*, 2023). Las AC se clasificaron con el análisis generalizado de k medias, donde los objetos a agrupar fueron las AC y las variables el porcentaje por categoría de huella humana. La huella humana permitió la diferenciación de la superficie con mayor modificación y menor o nula modificación humana para que fuese descartada o retenida. Las AC que se descartaron fueron aquellas con los niveles más altos de huella humana. Se considera que aquellas áreas con mayor modificación no tendrán la misma capacidad de conservar en comparación con los sitios en donde existe baja o nula modificación humana (Watson *et al.*, 2016; Anderson y Mammides, 2019).

La capa de huella humana reporta cinco niveles: sin transformar, baja, media, alta y muy alta) (González Abraham *et al.*, 2015) (Figura 4). Los sitios sin transformar, con huella humana baja, media, alta y muy alta indican el grado de modificación en la superficie terrestre, la cual es el resultado de la intensidad y extensión del impacto directo de la actividad humana en la superficie (Sanderson *et al.*, 2002; González Abraham *et al.*, 2015). Los sitios sin transformar poseen un ecosistema prístino (55.9 %), mientras que los sitios con huella humana baja se encuentran transformados en poca proporción (11.2 %). Los sitios con huella humana media se encontraron transformados en mayor proporción que los sitios bajos (10.0 %). Los sitios con huella humana alta (12.0 %) y muy alta (10.3 %) son áreas donde se produjo la mayor acumulación de transformación humana, es decir, áreas con mayor modificación (González Abraham *et al.*, 2015). La huella humana es muy baja cuando ( $HF = 0$ ), huella baja ( $HF = 0,5$  a  $1$ ), media ( $HF = 2$  a  $3$ ), alta ( $HF = 4$  a  $6$ ) y huella muy alta ( $HF \geq 7$ ).

Las AC se agruparon en función del porcentaje de superficie por categoría de huella humana, lo cual se realizó mediante el análisis de K-medias. El análisis de k-medias es un algoritmo de agrupamiento y sirve para dividir “n” datos en grupos, los datos que pertenezcan al mismo grupo (k) tendrán características similares o iguales en comparación con los datos de otros grupos (Li y Wu, 2012). Las AC que se seleccionaron fueron aquellas que poseyeron un alto porcentaje de superficie sin transformar o huella humana baja. El análisis arrojó los grupos de áreas generados de minimizar la varianza dentro de los grupos y entre los grupos, por lo que se reportará el radio de Fisher (P), los grados de libertad, la probabilidad de que el porcentaje de huella humana es similar, tanto para la prueba global como para cada variable.



**Figura 4.** Categorías de huella humana en México (en paréntesis se muestra el porcentaje que aporta la categoría al país).

### 5.3 Representatividad

El análisis de representatividad estimó el número de especies de muy amplia distribución que se encuentran en un área determinada (áreas de conservación) con respecto a la que existe en su totalidad (provincias biogeográficas). Las AC con un alto porcentaje sin transformar y huella humana baja fueron utilizadas para estimar su capacidad para representar la diversidad regional. La representatividad se obtuvo usando las capas de distribución geográfica potencial de 1,774 especies de vertebrados. Las capas se obtuvieron del geoportal de la CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>, Anexo 2). La estimación de la representatividad biológica se obtuvo a través del uso de los subrogados ya que son un conjunto de especies que reflejan al resto de diversidad (Urquiza Haas *et al.*, 2011; Escalante *et al.*, 2020). Los subrogados se emplean para la determinación de áreas de conservación y dado que es complejo conocer en cifras exactas la biodiversidad existente, se emplean a los subrogados como estos indicadores (Escalante *et al.*, 2020). Los vertebrados se consideran como subrogados estimados y por lo tanto suelen ser los más precisos para determinar la representatividad (Escalante *et al.*, 2020). Las especies de vertebrados que se consideraron para realizar el análisis se distribuyen en las clases taxonómicas Anfibios, Reptiles, Aves y Mamíferos (Tabla 2).

**Tabla 2.** Número de especies de vertebrados.

| <b>Clase</b>     | <b>Orden</b>     | <b>No. de Familias</b> | <b>No. de especies</b> |
|------------------|------------------|------------------------|------------------------|
| <b>Anfibios</b>  | Anura            | 8                      | 191                    |
|                  | Caudata          | 3                      | 80                     |
|                  | Gymnophiona      | 1                      | 2                      |
| <b>Reptiles</b>  | Squamata         | 27                     | 333                    |
|                  | Testudines       | 6                      | 28                     |
| <b>Aves</b>      | Accipitriformes  | 2                      | 41                     |
|                  | Anseriformes     | 1                      | 23                     |
|                  | Apodiformes      | 2                      | 71                     |
|                  | Caprimulgiformes | 2                      | 18                     |
|                  | Charadriiformes  | 9                      | 74                     |
|                  | Ciconiiformes    | 1                      | 25                     |
|                  | Columbiformes    | 1                      | 27                     |
|                  | Coraciiformes    | 2                      | 14                     |
|                  | Cuculiformes     | 1                      | 13                     |
|                  | Falconiformes    | 1                      | 47                     |
|                  | Galliformes      | 3                      | 24                     |
|                  | Gruiformes       | 4                      | 20                     |
|                  | Passeriformes    | 39                     | 436                    |
|                  | Pelecaniformes   | 4                      | 8                      |
|                  | Piciformes       | 4                      | 35                     |
|                  | Podicipediformes | 1                      | 6                      |
|                  | Psittaciformes   | 1                      | 31                     |
|                  | Strigiformes     | 1                      | 32                     |
|                  | Tinamiformes     | 1                      | 4                      |
|                  | Trogoniformes    | 1                      | 9                      |
| <b>Mamíferos</b> | Artiodactyla     | 3                      | 3                      |
|                  | Carnivora        | 6                      | 23                     |
|                  | Chiroptera       | 5                      | 53                     |
|                  | Didelphimorphia  | 1                      | 2                      |
|                  | Eulipotyphla     | 1                      | 28                     |
|                  | Lagomorpha       | 1                      | 13                     |
|                  | <b>39</b>        | <b>143</b>             | <b>1774</b>            |

La tabla muestra el número total de especies de vertebrados, las cuales pertenecen a cuatro clases, 39 órdenes y 162 familias.

La representatividad se obtuvo del porcentaje de especies con muy amplia distribución (N2) dentro de las áreas de conservación, es decir, regiones y sitios terrestres prioritarios, con respecto al área de distribución total de las especies (N0) en la provincia biogeográfica. Las especies con muy amplia distribución se obtuvieron a partir del número dos de la serie de Hill, el cual emplea valores de abundancia. En este caso, se utilizó el área de distribución de las especies dentro de las AC y PB. El área de distribución de las especies intervino como indicador de

presencia con datos numéricos, ya que indica en hectáreas el área en la que se distribuye la especie y no solo proporciona valores binarios (presencia-ausencia). Esto resulta una ventaja incluso por encima de la abundancia, ya que es complejo cuantificarla para todas las especies o los datos de abundancia disponibles se encuentran solo para cierto número de especies.

El número dos de la serie de Hill es un índice que permite medir el número efectivo de especies, en donde cada especie se pondera por su abundancia, se considera que este índice puede ejecutarse e interpretarse de una manera sencilla, además de que no es sensible a especies raras (Segnini, 1995; Roswell *et al.*, 2021). El número dos de la serie de Hill se obtiene:

$$\text{Número de Hill } 2 = \frac{1}{D}$$

Donde D es el índice de Simpson

$$\text{Índice de Simpson} = \sum_{i=1}^n (P_i)^2$$

$p_i$  es la proporción del área de especie con respecto a la suma del área que ocupa cada especie en el AC y  $n$  el número de especies

La representatividad se obtuvo del porcentaje de especies con muy amplia distribución en la AC entre el área de distribución total de las especies en la en la PB:

$$\text{Porcentaje número de Hill}_{AC} = \frac{\text{Número de Hill } 2_{AC}}{\text{Número de Hill } 0_{PB}} * 100$$

Las AC que se retuvieron para su análisis posterior fueron aquellas que tuvieran una superficie mayor a 500 hectáreas, fueran efectivas y representativas en especies. En cuanto a la representatividad se consideraron todos los cuartiles. El análisis posterior consistió en la obtención del promedio de la representatividad total (incluyó todos los grupos), así como la obtención del porcentaje de área y porcentaje de área acumulado. Posteriormente, se ordenó de mayor a menor con base a la representatividad, se identificó aquellas áreas de conservación que en porcentaje acumulado cumplieran con el 2% faltante y el 15% de acuerdo con lo que se estableció para el 2030 (CDB, 2022).

#### 5.4 Conectividad

La conectividad se evaluó como aquellas AC que se encontraron a menos de 10 km de alguna Área Natural Protegida de categoría federal, estatal, municipal o ejidal decretada, lo cual se

realizó sólo para aquellas que fueron efectivas para conservar y representativas. La conectividad entre las áreas potenciales con alguna ANP se obtuvo a través del empalme del buffer, o área de influencia de 10 kilómetros, de las potenciales AC con alguna de las áreas Naturales Protegidas de competencia Federal o Estatal.

Los escenarios totales son cuatro, ya que se pretende alcanzar la meta del 17% y proponer AC potenciales que puedan sumar el 30%. Los primeros dos escenarios consideran alcanzar el 17% y 30%, respectivamente, solo considerando los criterios de efectividad y conectividad. Por otro lado, el resto de los escenarios para alcanzar el 17% y 30% consideran la efectividad, representatividad y conectividad.

### **5.5 Tamaulipas**

EL número de Regiones Terrestres Prioritarias que se ubican en Tamaulipas son 13, mientras que los Sitios Terrestres Prioritarios son 132 (Caballero Rico, 2024<sup>c</sup>). Las RTP y STP cubren el 23.3% y 40.2% de la superficie del estado, respectivamente. Las AC se agruparon en función del porcentaje de superficie por categoría de huella humana mediante el análisis de K-medias. El análisis de K-medias permitió identificar las áreas de conservación (AC) con los valores más bajos de huella humana o aquellos sin transformar. Las AC con un alto porcentaje sin transformar y huella humana baja se utilizaron para estimar su capacidad para representar la diversidad a nivel de estado. La representatividad se obtuvo del porcentaje de especies con muy amplia distribución (N2) dentro de las áreas de conservación del estado, con respecto al área de distribución total de las especies (N0) disponibles en la provincia biogeográfica a la que pertenecen.

## 6. Resultados

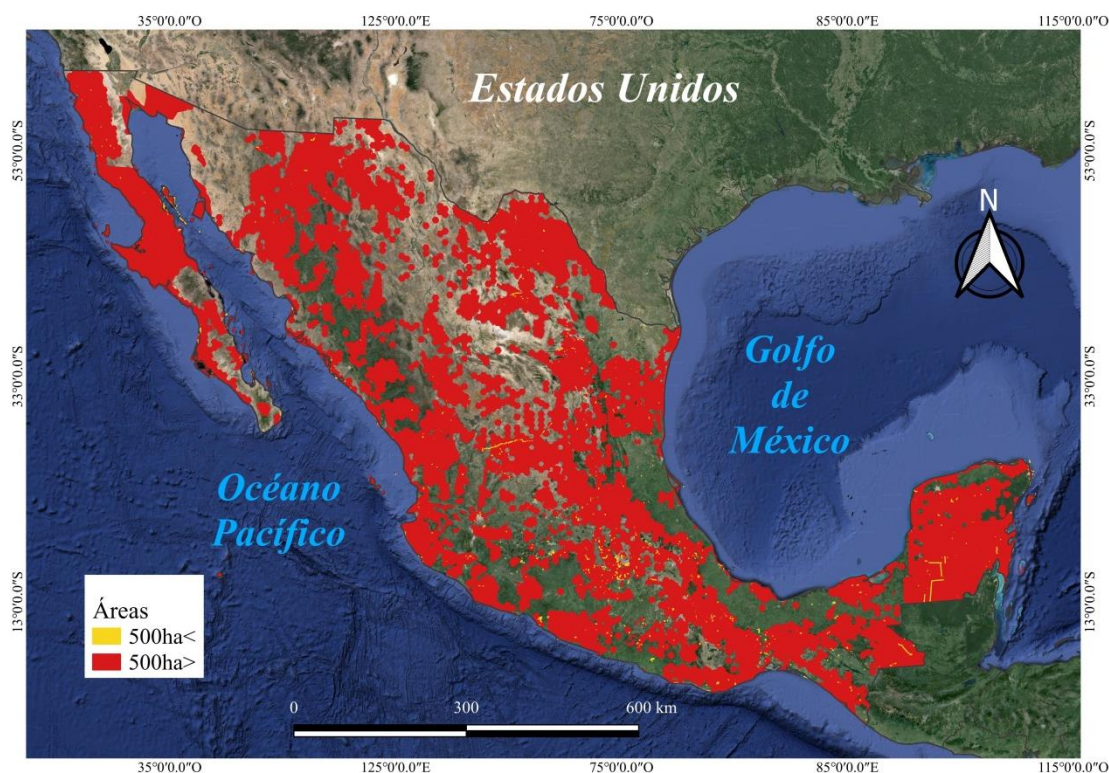
El número total de áreas de conservación con las que se inició el análisis fue de 2,105 las cuales cubren un área de más de 54 millones de hectáreas y ocupan el 28.06% del territorio nacional. Las AC que poseen una superficie mayor a 500 ha fueron 1,922 el cual se redujo a 1,104 después de efectuar el análisis de efectividad (Tabla 3). Las AC efectivas fueron aquellas que poseen ambientes conservados o con poca proporción de tierras modificadas por la actividad humana. El análisis de representatividad concluyó con 1,199 AC, equivalentes a 16.93% de la superficie de México. Por otro lado, las AC que resultaron de los tres análisis, es decir, efectividad, representatividad y conectividad fueron 952, que cubren equivalentes al 12.11% de la superficie (Tabla 3).

**Tabla 3.** Resumen de resultados

|                             | Número | Área (ha)    | Porcentaje (%) |
|-----------------------------|--------|--------------|----------------|
| Áreas de conservación total | 2105   | 54,644,384.7 | 28.06          |
| AC 500ha>                   | 1922   | 53,969,556   | 27.71          |
| Efectividad                 | 1104   | 32,376,882.6 | 16.62          |
| Representatividad (15%)     | 1057   | 32,971,653.1 | 14.76          |
| Representatividad (2%)      | 142    | 4,229,330.8  | 2.17           |
| Conectividad 10 km (15%)    | 840    | 20,338,718   | 10.44          |
| Conectividad 10 km (2%)     | 112    | 3,258,903    | 1.67           |

Porcentaje (%) = porcentaje del área con respecto a México

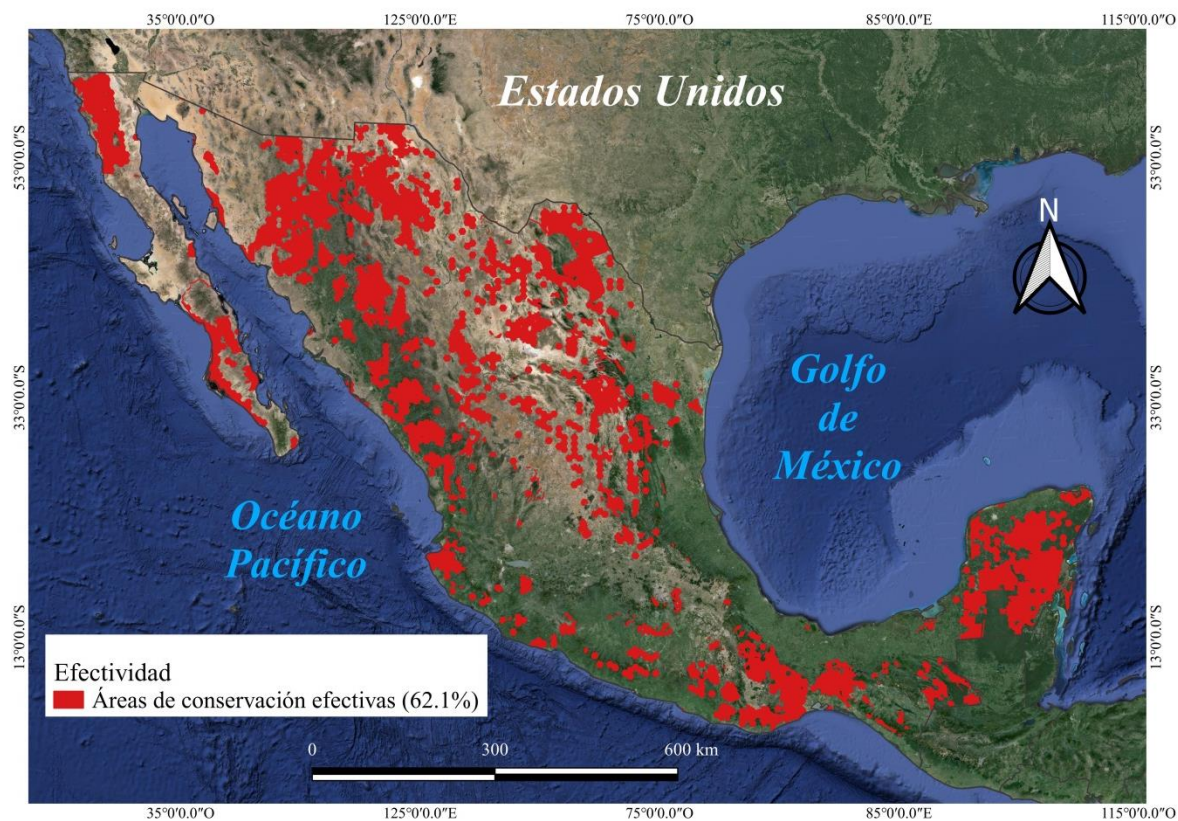
Las áreas de conservación mayores a 500 hectáreas se distribuyeron uniformemente en el país, pero tendieron a ser más frecuentes en el norte y centro (Figura 5). En cambio, las áreas menores a 500 hectáreas se ubican al centro del país y también al sur de México, pero abarcando una superficie menor (Figura 5). Las AC mayores de 500 ha se ilustran en color rojo, mientras que el resto de las áreas de conservación, las cuales se descartaron, se representan en amarillo (Figura5). Para la elaboración del mapa se consideró a las áreas protegidas decretadas.



**Figura 5.** Distribución de las áreas de conservación mayores y menores de 500 hectáreas incluyendo las ANP decretadas.

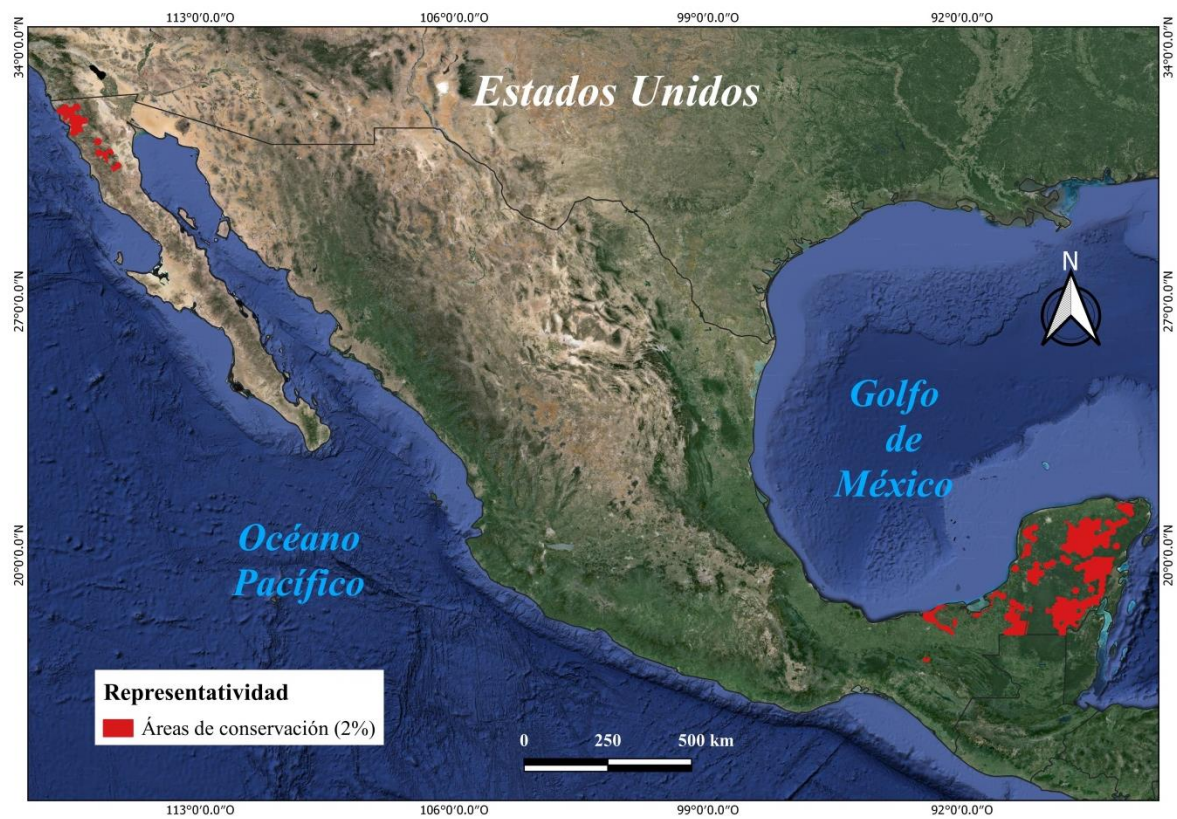
## 6.1 Efectividad y Representatividad

El análisis de efectividad indicó que dos grupos tuvieron una huella humana baja y sin transformar ( $F_{gl\ 4} = 60728.56$ ,  $p < 0.001$ ). Las AC efectivas se distribuyeron en los estados de Coahuila, Chihuahua, Sonora, Sinaloa, Baja California y Baja California Sur. Al sur del país las AC se encontraron en los estados de Yucatán, Quintana Roo, Campeche, Oaxaca y poca proporción de sitios en Chiapas y Guerrero (Figura 6). El análisis de representatividad indicó que las AC que cumplen con las características de efectividad y representatividad se distribuyeron en los extremos del país al noroeste y sureste. De manera que, las áreas de conservación potenciales a completar el 2% faltante con respecto a la meta 11 de Aichi se ubican en los estados de Baja California, Yucatán, Quintana Roo, Campeche y poca proporción de sitios en Tabasco (Figura 7).

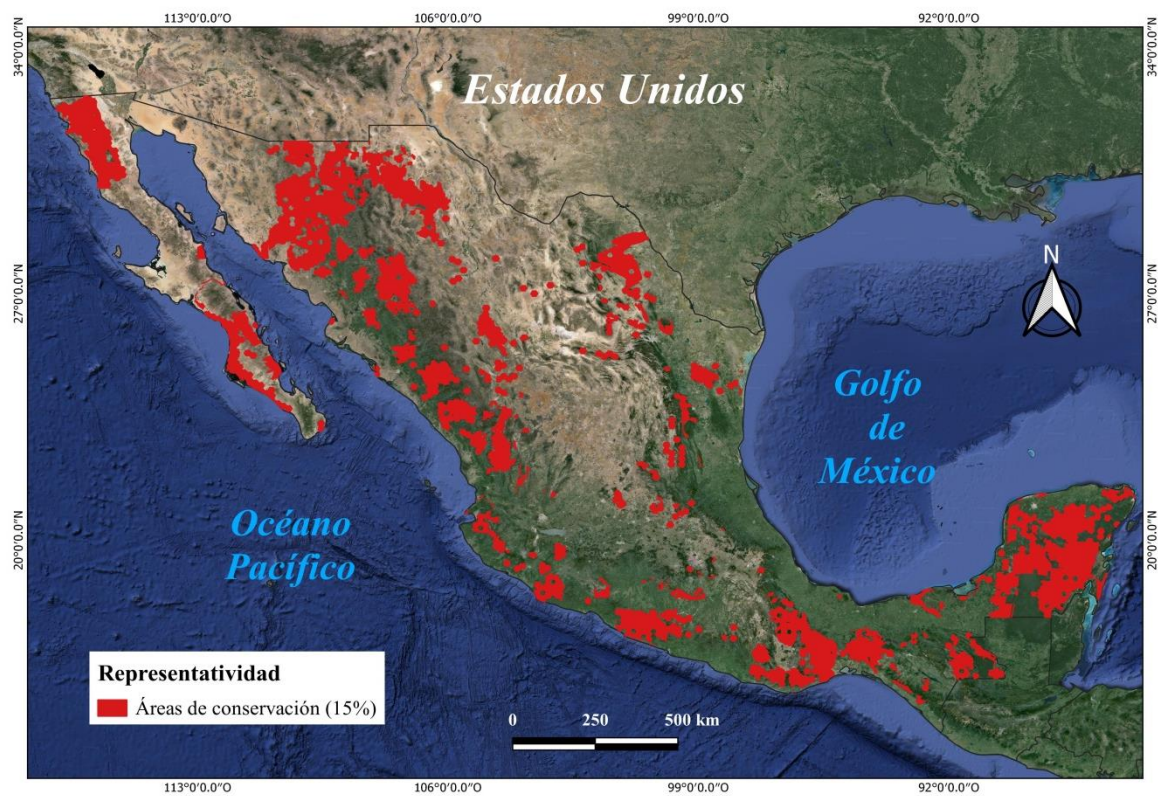


**Figura 6.** Áreas de conservación que se retuvieron en el análisis de efectividad.

Las AC que cumplen con las características de efectividad y representatividad se distribuyeron en varias zonas al norte y sur del país (Figura 8). Las áreas de conservación potenciales a completar el 15% faltante, con respecto a lo propuesto por la COP 15, se ubican en los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango y Sinaloa (Figura 8). Además, los AC potenciales también se ubican en los estados de Yucatán, Quintana Roo, Campeche, Oaxaca y Guerrero. Los estados con poca proporción de AC potenciales son Tamaulipas, Colima, Jalisco, Guanajuato y Chiapas (Figura 8). De esta manera se puede observar que las áreas de conservación que poseen las características de efectividad y representatividad para completar el 15% faltante se ubican principalmente en las zonas montañosas del país.



**Figura 7.** Áreas de conservación efectivas y representativas (2%).

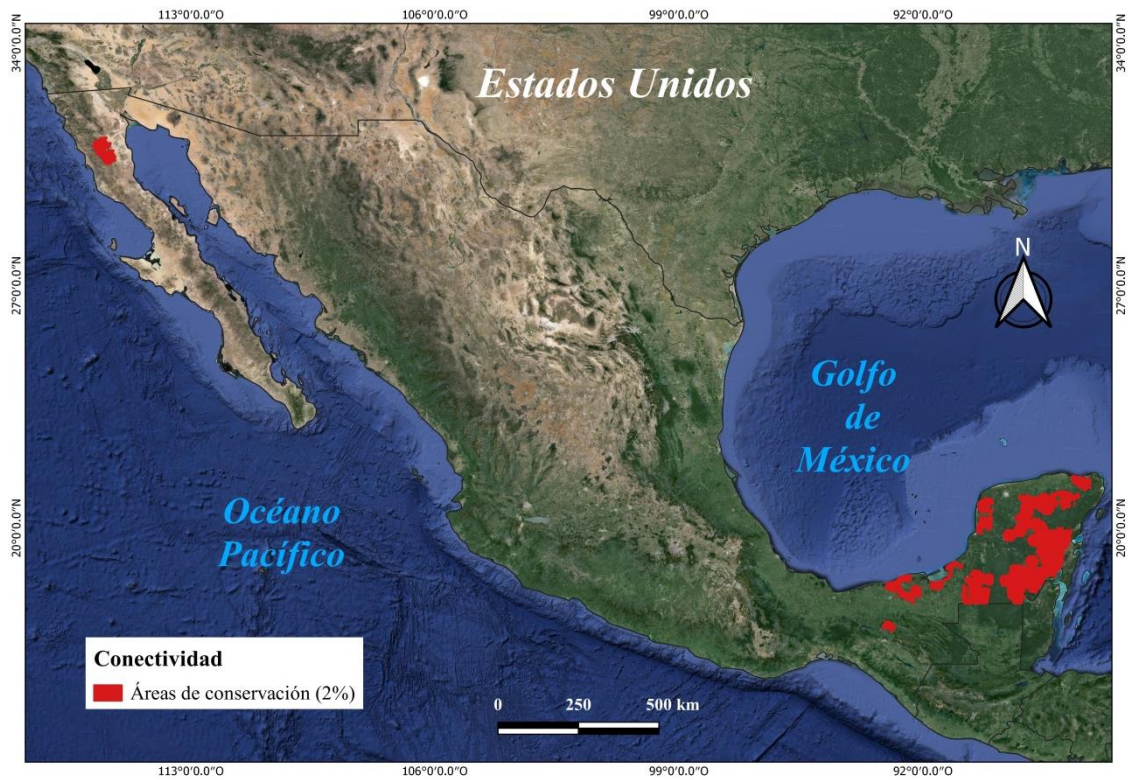


**Figura 8.** Áreas de conservación efectivas y representativas (15%).

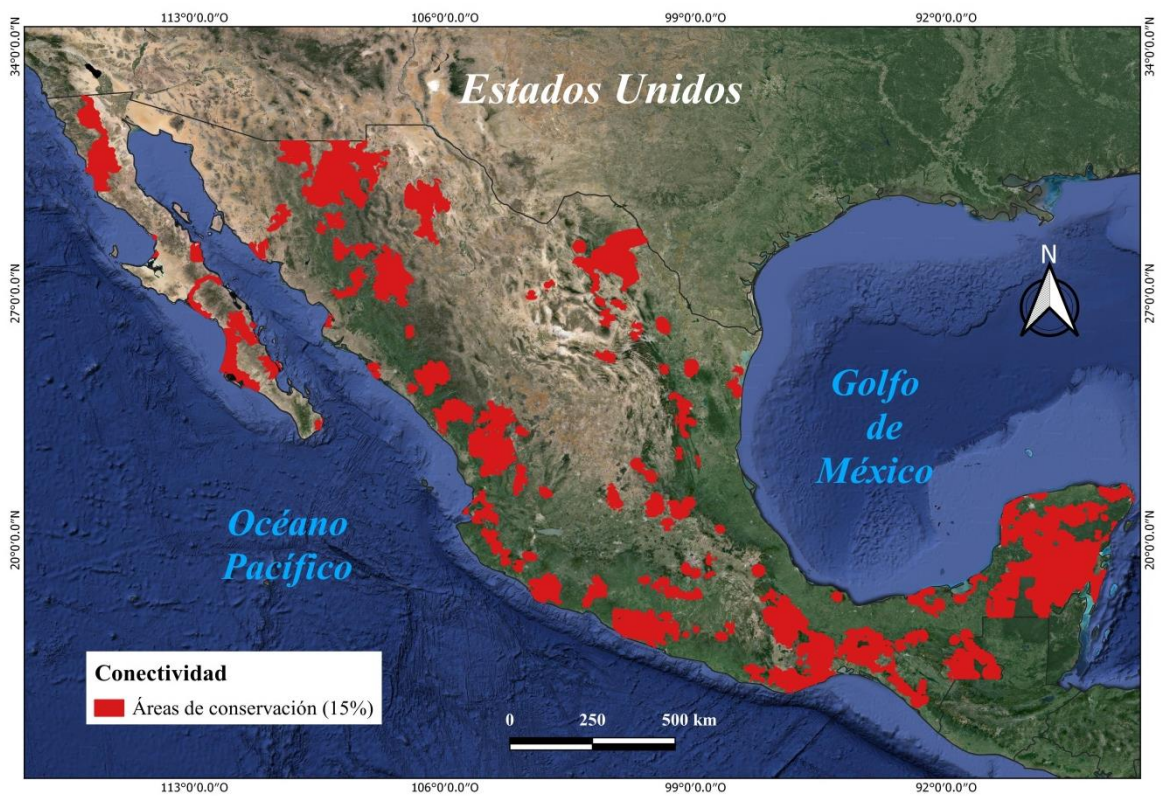
## **6.2 Efectividad, representatividad y conectividad**

Las áreas de conservación potenciales que son efectivas, representativas y que poseen conectividad se ubican al norte y sur de México, siendo en la península de Yucatán donde se presentó el mayor número de AC potenciales (Figura 9). Por lo que, las AC potenciales a complementar el porcentaje propuesto por la Meta 11 de Aichi (17%), se ubican en los estados de Baja California, Yucatán, Quintana Roo, Campeche y baja proporción en Chiapas (Figura 9). Por otro lado, las AC potenciales, que poseen los tres criterios y que pueden llegar a complementar el 30% de acuerdo con lo propuesto en la COP 15 se distribuyen de al norte, centro y sur del país.

El Sur del país es donde se concentra el mayor número de AC potenciales, en los estados de Yucatán, Quintana Roo, Campeche, Oaxaca y Guerrero (Figura 10). Los estados en donde se distribuyen las AC potenciales son Coahuila, Sonora, Chihuahua, Baja California, Baja California Sur, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Guerrero, Oaxaca. Mientras que en Tamaulipas, Guanajuato e Hidalgo es en menor proporción (Figura 10). Las áreas de conservación que cumplen con las características de efectividad, representatividad y conectividad y que pueden llegar a complementar el 15% faltante se distribuyen en algunas zonas montañosas del país (Figura 10).



**Figura 9.** Áreas de conservación efectivas, representativas y con conectividad (2%)



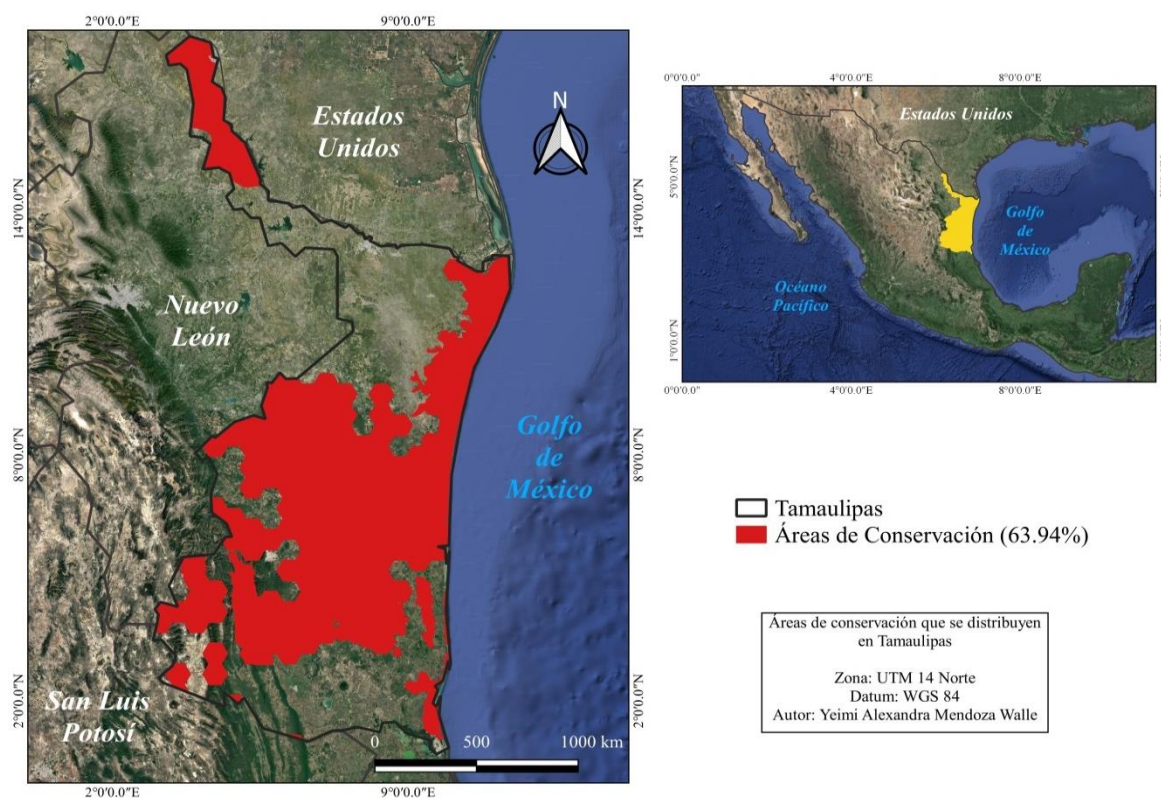
**Figura 10.** Áreas de conservación efectivas, representativas y con conectividad (15%).

### 6.3 Efectividad y representatividad en Tamaulipas

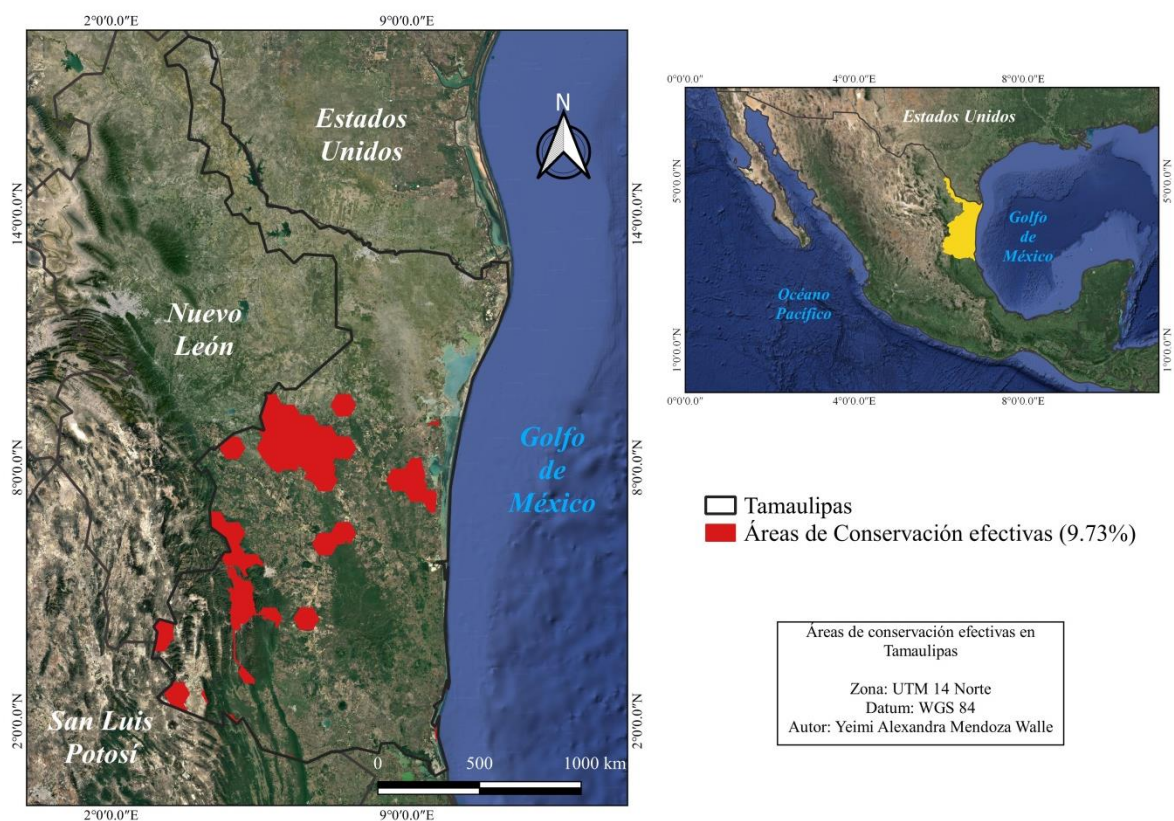
El número total de áreas de conservación con las que se inició el análisis para Tamaulipas fue de 145, las cuales cubren cerca de 5 millones de hectáreas y ocupan el 63.94% del estado. Las AC se localizan principalmente al centro del estado de Tamaulipas (Figura 11). Las áreas también se distribuyen a lo largo de la planicie del golfo de México que cubre al estado (Figura 11). Al norte, en la zona fronteriza la proporción de áreas de conservación es menor (Figura 11). El análisis de efectividad redujo el número de áreas de conservación a 64, lo que equivale al 9.73% de la superficie (Tabla 4). La mayor distribución de áreas efectivas dentro del estado de Tamaulipas se encuentra al centro-oeste (Figura 12). El resto de AC efectivas cubre poca proporción del altiplano (sur-oeste) y al centro centro-este del estado (Figura12).

**Tabla 4.** Resumen de resultados del estado de Tamaulipas

|                       | Número | Área (ha)   | Porcentaje (%) |
|-----------------------|--------|-------------|----------------|
| Áreas de conservación | 145    | 5,048,172.1 | 63.94          |
| Efectividad           | 64     | 768,404.5   | 9.73           |
| Representatividad     | 47     | 654,444.3   | 8.29           |

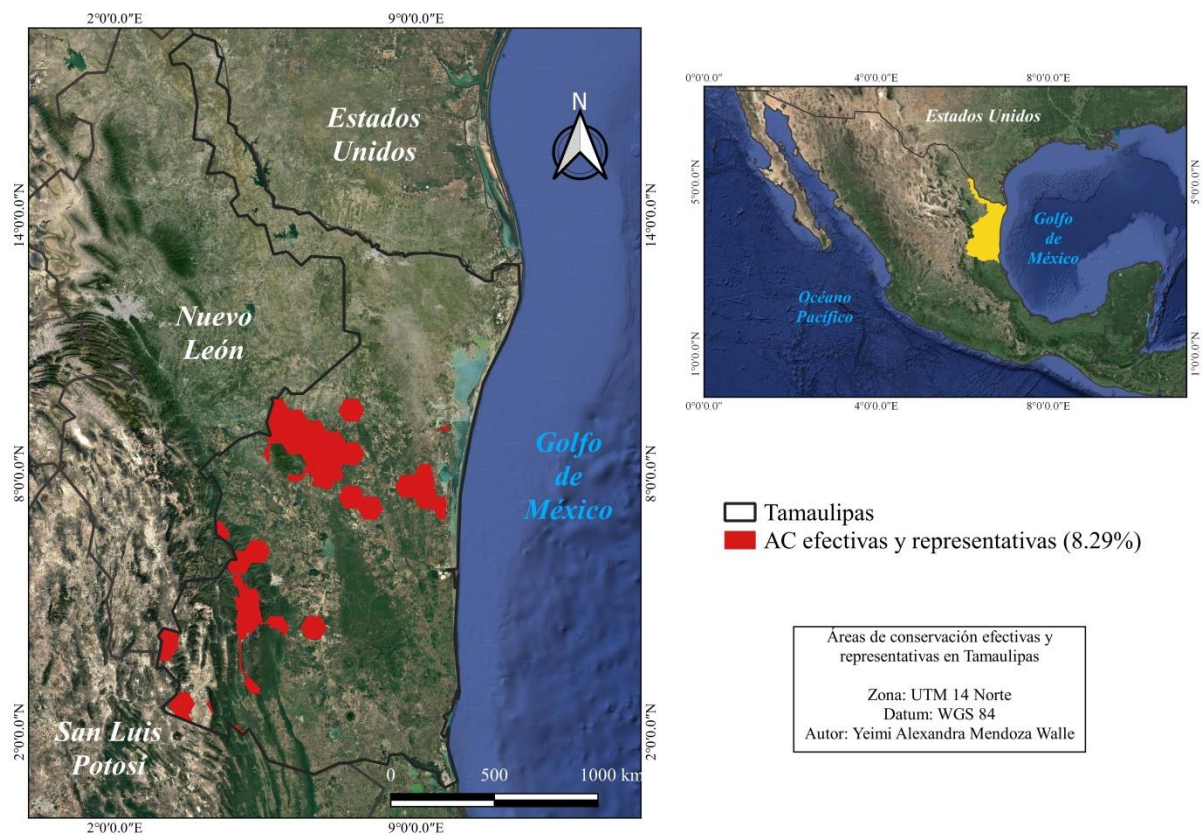


**Figura 11.** Áreas de conservación potenciales de Tamaulipas.



**Figura 12.** Áreas de conservación resultantes del análisis de efectividad.

El análisis de representatividad concluyó con 47 AC equivalentes a 8.29% de la superficie de Tamaulipas. Las áreas de conservación potenciales a alcanzar el 30% de áreas bajo conservación se ubican en mayor proporción al centro del estado (Figura 13). Existe menor proporción de áreas potenciales al centro-oeste y suroeste (Figura 13). Las áreas cubren varios municipios del estado de Tamaulipas, entre ellos se pueden mencionar a Burgos, Méndez, Hidalgo, Güemez, Bustamante, Jaumave, Ocampo y Soto la Marina (Figura 13). Las áreas de conservación potenciales se encuentran cercanas a algunas ANP decretadas del estado.



**Figura 13.** Áreas de conservación efectivas y representativas.

## 7. Discusión

Las áreas potenciales a ser nuevas áreas naturales protegidas no se encontraron al norte del país como se hipotetizó. El estado de conservación de la cobertura vegetal nativa a lo largo de la superficie del territorio es muy variable, ya que existen estados que poseen altos porcentajes con vegetación nativa, otros con vegetación remanente y otros con mayor modificación (SEMARNAT, 2015a). Por ejemplo, los estados con vegetación natural remanente en estado secundario son Campeche, Yucatán y Quintana Roo (SEMARNAT, 2015b). Los estados que se ubican en la costa del Golfo de México y centro del país poseen mayor superficie con modificaciones, ya que la dedican al desarrollo de la agricultura y ganadería (SEMARNAT, 2015b). Tlaxcala, Veracruz y Tabasco son algunos de los estados que poseen mayor superficie destinada al desarrollo de la agricultura y ganadería (SEMARNAT, 2015b), por lo que es consistente que las AC potenciales no se distribuyan en estas zonas dadas las altas modificaciones.

Los sitios con índices de degradación altos, es decir, que poseen huella humana media, alta y extrema, se consideran que presentan poca o nula posibilidad que las áreas protegidas tengan éxito (Huang *et al.*, 2019). Coincide con investigaciones previas que datan que los sitios donde se realizan actividades humanas y por lo tanto generan mayor impacto, serán poco eficientes para conservar (Huang *et al.*, 2019). A pesar de que el impacto que generan las actividades humanas es constante (Williams *et al.*, 2020), las actualizaciones de los datos nacionales dependen de fuentes externas. Pese a esto, el cálculo de la efectividad a partir de los datos de huella humana permitió descartar áreas con los índices más altos de degradación (Huang *et al.*, 2019). Las investigaciones previas, de igual manera, sugieren que los datos de huella humana permiten la identificación y diferenciación de las zonas ya que la modificación de la superficie se relaciona con efectos negativos hacia la conservación (Huang *et al.*, 2019; Anderson y Mammides, 2019; Pulido-Chadid *et al.*, 2023).

Los mapas de distribución geográfica potencial de las especies de vertebrados permitieron identificar y priorizar las áreas de conservación potenciales para completar el porcentaje de AP a partir del análisis de representatividad (Stevens, 2002). La representatividad consideró el área de distribución de las especies de vertebrados en las AC y el área de distribución en la provincia biogeográfica a la que pertenecen. Las características de las provincias biogeográficas permitieron que las comparaciones entre las AC con respecto a las PB fueran homogéneas, puesto que la regionalización del territorio se realizó a partir de características bióticas, abióticas y

evolutivas que los sitios comparten (Morrone, 2019). Investigaciones previas consideran que esta clasificación biogeográfica es la adecuada para realizar estudios puesto que considera diferentes sistemas y evita comparaciones irregulares dentro del territorio (Morrone, 2019). Al respecto, las especies con muy amplia distribución en el AC en comparación con la distribución total de las especies en la provincia biogeográfica permitieron disminuir irregularidades en el análisis.

La elección del subrogado de la biodiversidad puede poner en riesgo los resultados presentados en el presente estudio. Los vertebrados en particular son uno de los grupos de animales con mayor muestreo en campo, por lo que las predicciones de su distribución geográfica son más precisas y con mayor acceso, en comparación con los datos de otros grupos de organismos (Summerville *et al.*, 2004; Falcón-Brindis *et al.*, 2021). Por ejemplo, los lepidópteros a pesar de que concentran el 30% de la riqueza de insectos para México la disponibilidad de modelos de distribución es reducida y presenta sesgos (Summerville *et al.*, 2004). Los sesgos incluyen las ubicaciones de muestreo, identificación deficiente, así como un menor número de especialistas involucrados en el estudio e identificación de lepidópteros (Summerville *et al.*, 2004; Falcón-Brindis *et al.*, 2021).

El índice de la relación de la representatividad dentro y fuera de las AC también puede sesgar los resultados. Las especies con muy amplia distribución se obtuvieron a partir del número dos de la serie de Hill, sin embargo, originalmente este índice se ejecuta con datos de abundancia (Segnini, 1995; Roswell *et al.*, 2021). No obstante, la disponibilidad de datos de abundancia de las especies de vertebrados en las AC es escasa, lo cual imposibilitaba la ejecución de los métodos. Por este motivo, la distribución de las especies dentro de las AC se utilizó como indicador de presencia de la especie.

La distribución de las especies permitió reducir los sesgos existentes, ya que el cálculo del área de distribución se realizó en hectáreas, en comparación con otros estudios donde solo se utilizan datos de presencia-ausencia (MacKenzie, 2009). Los datos de presencia-ausencia indican si la especie está o no está presente, independientemente del área que ocupa. En particular, una especie que ocupa una mayor área de distribución se considera igualmente presente que aquella especie que ocupa una menor área de distribución (MacKenzie, 2009). Si bien, los datos de presencia-ausencia son de gran utilidad para realizar modelos de distribución potencial poseen la limitante que el valor que se le asigna a las especies es el mismo (MacKenzie, 2009). Los datos

de distribución de las especies que se encuentran a disposición en el portal de geoinformación de la CONABIO permitieron optimizar y llevar a cabo el método.

Las evaluaciones de la representatividad con base a los vertebrados se hacen con mayor frecuencia en áreas protegidas ya establecidas, para identificar el porcentaje de representatividad que posee una o varias especies dentro del AP (González Maya *et al.*, 2015; Monroy Gamboa *et al.*, 2019). Si bien, la representatividad biológica se estudia de manera amplia, la mayoría de los trabajos concluyen en que no se logra representar de forma completa la diversidad de especies (Delso *et al.*, 2021). La deficiencia de las áreas protegidas para lograr captar la mayor representatividad biológica se atribuye a la exclusión de los grupos de invertebrados y hongos (Delso *et al.*, 2021). Sin embargo, considerar dichos grupos es una tarea compleja puesto que los datos disponibles son limitados (Hernandez-Manrique *et al.*, 2012). Por lo que, la opción más factible es realizar análisis de representatividad a escalas más pequeñas, es decir, que el enfoque sea únicamente en alguna ANP del país (Hernandez-Manrique *et al.*, 2012).

La evaluación de la representatividad biológica a partir de las especies de vertebrados en AC potenciales es la particularidad del presente estudio. Además, la representatividad promedio de los grupos de vertebrados se organizó de los valores mayores a los menores lo que permitió que a los valores de representatividad biológica mayores se les diera prioridad. La representatividad de las especies de vertebrados alcanzó en promedio valores desde 25.59 hasta los 63.91. A su vez, el área acumulada de estas AC potenciales contribuyó a completar el porcentaje de área conservación faltante, es decir, el 2% para el acuerdo de Aichi y del 15% para la COP 15. En conjunto, los análisis de representatividad y efectividad permitieron descartar aproximadamente la mitad de las AC sin afectar el porcentaje de área acumulada, lo cual contribuyó cumplir con el porcentaje de superficie (2.17% y 14.76%).

La conectividad es otro criterio importante para la declaración de áreas protegidas (Rudnick *et al.*, 2012; Ceballos *et al.*, 2021). Sin embargo, en este estudio el análisis de conectividad excluyó a un porcentaje considerable de áreas que cumplen con los primeros dos criterios. Por este motivo, el presente trabajo consideró los cuatro distintos escenarios, dos de ellos para alcanzar la meta del 17% y 30% de la superficie bajo la categoría de área protegida en donde solo se consideraron los criterios de efectividad y representatividad. Los otros dos escenarios para cumplir con los objetivos del 17 y 30% de la superficie se consideraron los criterios de efectividad, representatividad y conectividad. Las áreas de conservación potenciales

que se ubican al noroeste de México se descartaron en el análisis de conectividad, puesto que la mayor distribución de las ANP es al sur de México (CONANP, 2023). A pesar de esto, las áreas de conservación potenciales resultantes que consideraron los tres criterios son próximas a completar el 2% de la superficie faltante, ya que el 1.67% de la superficie fue la que resultó ideal. En cambio, las áreas de conservación potenciales para completar el 15% faltante y que cumplen con los tres criterios solo abarca el 10.44% de la superficie.

La conectividad es un criterio importante en el ámbito de la conservación, reduce los riesgos de que existan relaciones endogámicas, extinción y amplía la capacidad de adaptación al cambio climático (Saura *et al.*, 2019). Por este motivo, la conectividad se considera un elemento clave para el cumplimiento de los objetivos de conservación (Saura *et al.*, 2019). Sin embargo, restringe áreas al norte del país lo cual dificulta alcanzar el cumplimiento de la COP 15, la cual compromete que el 30% de la superficie debe de estar bajo conservación (en el caso de México, el 15% faltante). A pesar de esto, las áreas protegidas y su establecimiento también consideran otros criterios, como es el caso de la complementariedad (Gil y Moreno, 2003). La complementariedad se basa en que los sitios o áreas elegidas contengan biotas distintas, es decir, que sean lo más diferente entre sí con el propósito de cubrir mayor cantidad de especies en menor número de áreas (Gil y Moreno, 2003; Kullberg *et al.*, 2015). Por lo tanto, la complementariedad puede utilizarse como una alternativa que aumenta la posibilidad de encontrar áreas de conservación potenciales (Gil y Moreno, 2003). La complementariedad puede utilizarse en este estudio y estudios futuros similares.

Las áreas de conservación potenciales que resultaron de los tres análisis se localizan al norte y sur del país, en donde al sur el número de áreas potenciales es mayor. La península de Yucatán, Quintana Roo y Campeche poseen el mayor número de AC potenciales. Sin embargo, se considera las AC que se localizan al sur del país, se encuentran expuestas a los daños que podría causar la estructura ferroviaria del tren maya. El tramo 5 sur del Tren Maya contiene distintos componentes, entre ellos, obras permanentes que suman una superficie de 605.082 hectáreas (Olivera Bonilla, 2022). De este total de hectáreas, la superficie que se considera área de afectación corresponde a 516.758 hectáreas (Olivera Bonilla, 2022), es decir, más de la mitad de la superficie se considera sufrirá impactos a causa de la infraestructura. El Tren Maya formó parte de las propuestas de campaña del partido Movimiento Regeneración Nacional (MORENA) (Gobierno de México, 2018). El proyecto entró en vigor para su construcción el 16 de diciembre

de 2018 bajo indicaciones del presidente de la república mexicana, en la región selvática tropical del país, la selva maya (Gobierno de México, 2018).

La región selvática tropical en México abarca 42,300 km<sup>2</sup>, por lo cual se considera la segunda selva más grande de América (CONABIO, 2017). Alberga cerca de 20 ecosistemas diferentes y se caracteriza por poseer una riqueza biológica importante y un número elevado de especies endémicas (CONABIO, 2017). Sin embargo, el desarrollo de este megaproyecto implica la destrucción de la selva, ya que el tren atravesará zonas biológicas y ecológicas importantes, como la Reserva de la Biosfera Sian ka'an (Gobierno de México, 2018; Camargo y Vázquez Maguirre, 2020). La construcción del tren maya tiene como objetivo el desarrollo socioeconómico del país y e impulsar el turístico, pero es probable que no se logren conseguir los objetivos de desarrollo sustentable y conservación (García Quintanilla *et al.*, 2022). Las AC potenciales a completar el porcentaje de áreas protegidas y en las cuales se pueda efectuar correctamente la conservación de la biodiversidad y recursos naturales se encuentran en peligro (García Quintanilla *et al.*, 2022).

El tren maya pretende impulsar el turismo y desarrollo del país, preservar el patrimonio cultural indígena de la zona, así como proteger las áreas naturales protegidas ya establecidas (Gobierno de México, 2018). Sin embargo, las comunidades indígenas también podrían padecer situaciones no favorables para su vida, ya que en años pasados los proyectos turísticos en Quintana Roo y Veracruz afectaron los ingresos económicos de las comunidades (Camargo y Vázquez Maguirre, 2020). Además, las comunidades indígenas obligatoriamente tenían que otorgar acceso a áreas de tierra comunal y colaborar con los desarrolladores de los proyectos además de que se excluían en la toma de decisiones (Camargo y Vázquez Maguirre, 2020). Por los anteriores motivos se considera que el aspecto social (comunidades indígenas) y ambiental (superficie selvática) se verá influenciado de manera negativa por dicho megaproyecto.

Las AC potenciales se enfrentan también otro factor de riesgo, la tenencia de las tierras, la cual hace referencia a la relación de la sociedad con el uso de los recursos naturales (FAO, 2002; Bonilla-Moheno *et al.*, 2013). La tenencia incluye la asignación de derechos de propiedad, es decir, quién, el periodo de tiempo y en qué condiciones los recursos pueden utilizarse (FAO, 2002; Bonilla-Moheno *et al.*, 2013). México y la desigualdad de la tenencia de las tierras trajeron consigo cambios en la política del país, la propuesta de la reforma agraria fue uno de ellos. La reforma agraria ocasionó que el número de personas con tierras aumentara, así como la

conversión de ecosistemas naturales a zonas ganaderas (Bonilla-Moheno *et al.*, 2013). México, para finales del siglo XX, se encontró bajo control directo de 5 mil ejidatarios, comuneros y pequeños propietarios privados (SRA, 2007; Bonilla-Moheno *et al.*, 2013).

México posee tres tipos de tenencia de la tierra, la propiedad social (ejidos y comunales), privados y públicos (SRA, 2007). Los ejidos y comunales representan el 54% del territorio mexicano (SRA, 2007). Los terrenos privados representan el 38% del territorio y las tierras públicas representan solo el 4% el territorio nacional (SRA, 2007). Las tierras públicas se encuentran a cargo del gobierno, sin embargo, son las tierras que más baja proporción poseen (Bonilla-Moheno *et al.*, 2013). En este caso, la superficie pública y las AC potenciales que se obtuvieron en el análisis, es muy poco probable que coincidan. Por lo tanto, si el presente trabajo se formalizara con instituciones públicas nacionales para conseguir los objetivos de conservación, sería un tanto complejo.

La identificación de áreas potenciales a ser nuevas áreas naturales protegidas para Tamaulipas se logró a partir de los análisis propuestos y ejecutados. En Tamaulipas, la cobertura vegetal se mantuvo nativa de 2002 a 2015 solo para los municipios de San Carlos, Miquihuana, Jaumave, Bustamante, Palmillas, San Nicolás y Tula (Venegas Barrera *et al.*, 2024). Lo cual coincide con los datos de huella humana que se realizaron para todo el país en el año 2015 (González Abraham *et al.*, 2015). Dado lo anterior, es congruente que la distribución de las AC potenciales se encuentre al centro y suroeste del estado donde existen menores niveles de modificación humana. A excepción de los municipios de Miquihuana y Palmillas que a pesar de que poseen bajo porcentaje de superficie modificada (Venegas Barrera *et al.*, 2024), no resultaron contener áreas de conservación potenciales.

El análisis de efectividad a partir de la huella humana de las áreas de conservación resultó ser útil, ya que logró descartar aquellas áreas donde los niveles de modificación antropogénica son mayores. Por otro lado, existen otros métodos para evaluar la efectividad como lo es la tasa de pérdida de cobertura vegetal (Venegas Barrera *et al.*, 2024). Si bien, la tasa de pérdida se consideran un método adecuado implica más tiempo realizarlo y lo conveniente es calcularlo mediante los datos de uso de suelo y vegetación más recientes (por ejemplo, uso de suelo y vegetación serie VII). Las estimaciones de tasa de pérdida y vegetación permiten definir en porcentajes la cobertura vegetal que se perdió durante un tiempo determinado (Cuevas *et al.*,

2010). Por lo tanto, este método puede considerarse como alternativa de medición de efectividad en estudios futuros en caso de que no se cuenten con los datos de huella humana.

La tasa de pérdida de vegetación permite calcular la disminución de la superficie vegetal nativa (Cuevas *et al.*, 2010). La pérdida de vegetación primaria para Tamaulipas va de 500 a 52 mil hectáreas por año (Cuevas *et al.*, 2010). A través de estos datos, el programa de Ordenamiento General de Territorio (POEGT) estimó que para el 2030 el 56.1% de la superficie del estado de Tamaulipas se encontrará en estado crítico a muy crítico (Cuevas *et al.*, 2010). Por lo anterior, se considera que las AC potenciales se encuentran en riesgo, se espera que, si no se realizan las acciones pertinentes para su conservación, esta superficie continuará disminuyendo a causa de las actividades agrícolas y ganaderas (Cuevas *et al.*, 2010; Venegas Barrera *et al.*, 2024). Por lo tanto, el objetivo de conservación propuesto en la COP 15 para el año 2030, será difícil de alcanzar dado ese escenario.

Las AC potenciales que se obtuvieron a nivel federal y estatal se enfrentan a distintos factores de riesgo ambiental y sociopolítico. Por ejemplo, a nivel nacional la probabilidad de que las AC potenciales coincidan con un área de tierra de propiedad ejidal, comunal o privada es de más del 50% (SRA, 2007). Por lo que dificultaría el proceso de estudios técnicos justificativos hasta el posible decreto de dichas áreas, en caso de que el presente estudio se formalice. En cuanto a problemas ambientales, las AC potenciales se enfrentan a la estructura ferroviaria del tren maya. Además de que las AC potenciales que se obtuvieron en el presente trabajo se distribuyen principalmente en donde se encuentra la ruta y estaciones del tren (Gobierno de México, 2018).

Los análisis hacia la manifestación de impacto ambiental (MIA) del tren maya se han hecho presentes, por ejemplo, en 2022 se analizó la MIA del tramo 5 sur del tren maya. En el análisis se descubrió que dicho tramo intercepta con Karst de depresión (Olivera Bonilla, 2022). Los karst de depresión son zonas donde la disolución de roca es mayor, además, el sistema kárstico es responsable de la recarga de acuíferos (Olivera Bonilla, 2022). Por otro lado, la información en cuanto a ríos subterráneos se considera incompleta ya que no se reportan el número y el nombre de los ríos que interceptan con el tramo 5, además de que intercepta con al menos tres cenotes (Olivera Bonilla, 2022).

La línea 5 del tren recorrería una zona urbana de Playa del Carmen, sin embargo, en 2022, se estableció un cambio de ruta dado que era necesario concluir la obra (Olivera Bonilla, 2022).

No obstante, la nueva ruta del tramo 5 sur requirió la remoción de 485.476 hectáreas de vegetación selvática, sin embargo, el capítulo II de la MIA, omiten la información de la ubicación de los polígonos forestales (Olivera Bonilla, 2022). La remoción de la vegetación implica impacto negativo a los ecosistemas existentes, así como a la diversidad de flora y fauna (Olivera Bonilla, 2022). Por este motivo se considera el mega proyecto “Tren Maya” implica la modificación de más de 1, 525 kilómetros de superficie de selva, lo cual afecta la diversidad de ecosistemas como los cenotes, así como flora y fauna de los estados que se relacionan con el proyecto como Yucatán, Quintana Roo y Campeche (Olivera Bonilla, 2022).

Los factores de riesgo ambiental en el estado de Tamaulipas son el incremento de la frontera agrícola y los incendios forestales (Aradillas González, 2024). Las condiciones climáticas, los combustibles forestales, las fuentes de ignición y las actividades antropogénicas son las causas principales de la generación de incendios (Aradillas González, 2024: Chuvieco *et al.*, 2010). Los incendios forestales se presentan con mayor frecuencia en el centro, sur, sureste y suroeste del estado (Aradillas González, 2024). La distribución de sitios en donde se dan con mayor frecuencia los incendios, coincide con la distribución de las AC potenciales que se obtuvo en la presente investigación. Por lo tanto, los incendios forestales son otra fuente de amenaza a las AC potenciales propuestas.

Las AC potenciales que se obtuvieron de los análisis de efectividad y representatividad (más de 1000) contribuirán a alcanzar el 17% y 30% de la superficie bajo conservación, es decir, a cumplir con los objetivos de conservación a nivel nacional. Sin embargo, al considerar los tres criterios se reducen este número de AC potenciales a aproximadamente 800, lo cual afecta el porcentaje de superficie que se puede destinar para la conservación. Las 840 AC potenciales solo aportan el 1.67% y 10.44% de la superficie. Por este motivo, a nivel nacional, se deben considerar otros criterios para ubicar superficies potenciales, tal es el caso del criterio de complementariedad (Kullberg *et al.*, 2015). Por otro lado, Tamaulipas posee superficie idónea para cumplir con lo propuesto en la COP 15 (30% de la superficie bajo conservación) a través de las AC potenciales propuestas en este trabajo. Sin embargo, ante la pérdida de vegetación natural que enfrenta el estado se requiere ampliar los resultados de área de conservación potenciales para el estado de Tamaulipas.

Las AC potenciales propuestas a nivel nacional impulsarán el cumplimiento de la Meta 11 de Aichi, así como apoyo al cumplimiento del porcentaje de área dedicada a la conservación

propuesto en la COP 15 (30% de la superficie). A nivel estatal, para Tamaulipas también se impulsará el cumplimiento de ambos objetivos de conservación a partir de estas AC potenciales. En relación con las AC potenciales que no cumplen con las características para situarse en alguna de las categorías de ANP, se propone que dichas AC se consideren para ser propuestas como AICOMs y SICOMs.

Las Áreas de Importancia para la Conservación de los Murciélagos (AICOMs) son superficies extensas en donde poblaciones de una o más especies de murciélagos pueden habitar, alimentarse y reproducirse de manera que se garantice su permanencia (Barquez, 2022). Por otro lado, los Sitios de Importancia para la Conservación de los Murciélagos (SICOMs) tienen el mismo propósito, sin embargo, son sitios puntuales que poseen una extensión menor en comparación con los AICOMs (Barquez, 2022). Los SICOMs se consideran refugios físicos como cuevas o sitios de forrajeo, cuerpos de agua o bien infraestructura como puentes, túneles, casas, minas abandonadas, en donde las especies de murciélagos puedan desarrollar sus actividades vitales (Barquez, 2022). La Red Latinoamericana y del Caribe para la Conservación de los Murciélagos (RELCOM) es encargada de reconocer a las AICOMs y SICOMs siempre y cuando cumplan con las características específicas (Barquez, 2022).

Los criterios para el establecimiento de AICOMs y SICOMs son: a) alta riqueza de especies de murciélagos, así como b) especies de interés a nivel nacional o regional y finalmente c) servir como refugios temporales o permanentes (Barquez, 2022). La riqueza considera el número de especies en un área determinada (Aggemyr *et al.*, 2018), sin embargo, el presente trabajo de investigación solo consideró a 53 especies de la familia Phyllostomatidae. Si bien, la distribución de la familia Phyllostomatidae coincide con la distribución de las AC potenciales es complejo determinar las AICOMs y SICOMs potenciales a partir del área de distribución de solo estas 53 especies.

Los AICOMs y SICOMs representan una alternativa para la conservación de la biodiversidad, por lo tanto, a partir de estas AC se pueden proponer áreas y sitios que se dediquen únicamente a la conservación de los murciélagos. Sin embargo, esto requiere de trabajos complementarios, como el aumento del número de especies, por lo que se puede considerar como una oportunidad para la realización de futuros estudios.

## 8. Conclusiones

Los análisis de efectividad, representatividad y conectividad a los que se sometieron las RTP y STP permitieron ubicar potenciales ANP a nivel nacional y estatal. Los tres análisis que se consideraron forman parte de los criterios para la declaración de las AP a nivel nacional e internacional. Por lo tanto, se considera que estas áreas potenciales son capaces de cumplir con los objetivos de conservación propuestos (Meta 11 de Aichi- 17% de la superficie bajo la categoría de AP y COP 30- 30% de la superficie bajo la categoría de AP). Sin embargo, a nivel nacional, las áreas potenciales que se sometieron a los tres análisis solo logran cubrir el 10% de la superficie, no el 15% que se requiere. Por lo tanto, se sugiere incluir a la complementariedad en estudios futuros ya que se considera un criterio importante para el establecimiento de áreas protegidas.

Las investigaciones que podrían surgir de este trabajo, son: la propuesta de estas áreas como AICOMs y SICOMs, para todo el país, así como para Tamaulipas. Los AICOMs y SICOMs se enfocan exclusivamente a la conservación de los murciélagos y su decreto considera la riqueza de especies, los refugios existentes (naturales o artificiales) y si las especies son de preocupación dentro de la conservación (a escala nacional o regional). De manera que, si las áreas potenciales resultantes de este trabajo se propusieran como AICOMs y SICOMs se requerirían datos y análisis complementarios para someterse a evaluación. Dada la situación en cuanto a alternativas en programas de conservación, se considera que este trabajo es solo el inicio de los probables estudios futuros para determinar áreas potenciales que impulsen la conservación de las especies y ecosistemas a largo plazo.

Las áreas potenciales, resultado de la investigación deben proponerse formalmente ante instituciones nacionales, como la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). De esta manera, la institución contará con la información y distribución de las AC potenciales, para que, de ser probable, se someta a las evaluaciones correspondientes incluyendo los estudios técnicos justificativos.

## 9. Literatura citada

- AbdelRahman, M. A. E. (2023). An overview of land degradation, desertification and sustainable land management using gis and remote sensing applications. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 34, 767-808.
- Adams, V. M., Chauvenet, A. L. M., Stoudmann, N., Gurney, G. G., Brockington, D. y Kuempel, C. D. (2023). Multiple-use protected areas are critical to equitable and effective conservation. *One Earth*, 6, 1173-1189.
- Aggemyr, E., Auffret, A.G., Jädergård, L. y Cousins. S. A. O (2018). Species richness and composition differ in response to landscape and biogeography. *Landscape Ecology*, 33, 2273–2284.
- Anderson, E. y Mammides, C. (2020). The role of protected areas in mitigating human impact in the world's last wilderness areas. *Ambio*, 49, 434-441.
- Aradillas González, M. d. R. (2024). Incendios forestales. En CONABIO (Eds.), *La Biodiversidad en Tamaulipas. Estudio de Estado, Vol. III* (pp. 272-280). México, D. F.
- Arnaud, G. (2020). Estrategias de conservación de los vertebrados de México. *Recursos Naturales y Sociedad*, 6, 55-65.
- Arriaga Cabrera, L., Aguilar, V. y Espinoza Rodríguez, J. M. (2009). Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad. En *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, p. 433-457.
- Arriaga Cabrera, L., Espinoza Rodríguez, J. M., Aguilar Zuñiga, C., Martínez Romero, E., Gómez Mendoza, L. y Loa Loza, E. (2000). *Regiones terrestres prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F.
- Austin, M. y Margules, C. (1986), Capítulo 2 assessing representativeness. En *Wildlife conservation evaluation* M. B. Ushers (Ed.). Chapman and Hall, New Fetter Lane, Londres, p. 45-67.
- Aycrigg, J. L., Davidson, A., Svancara, L. K., Gergely, K. J., McKerrow, A. y Scott, J. M. (2013). Representation of ecological systems within the protected areas network of the continental united states. *PLOS ONE*, 8, e54689.
- Barquez, R. M. (2022). VII. Áreas y sitios de importancia para la conservación de los murciélagos (AICOMs y SICOMs). En R. M, Barquez, L. F. Aguirre, J. M. Nassar, S. F. Burneo, C. A. Mancina y M. M. Díaz (Eds.), *Áreas y sitios de importancia para la*

- conservación de los murciélagos en Latinoamérica y el Caribe* (pp. 27-30). RELCOM, Yerba Buena, Tucumán, Argentina.
- Bonilla-Moheno, M., Redo, D. J., Aide, T. M., Clark, M. L. y Grau, H. R. (2013). Vegetation change and land tenure in Mexico: A country-wide analysis. *Land Use Policy*, 30, 355-364.
- Caballero Rico, F.C. (2024)<sup>a</sup>. Resumen ejecutivo. Gestión de la biodiversidad. En CONABIO (Eds.), *La biodiversidad en Tamaulipas. Estudio de Estado. Vol. III* (pp. 25-28). México, D.F.
- Caballero-Rico, F.C. (2024)<sup>b</sup>. Regiones prioritarias para la conservación. En CONABIO (Eds.), *La biodiversidad en Tamaulipas. Estudio de Estado. Vol. III* (pp. 47-59). México, D.F.
- Caballero Rico, F. C. (2024)<sup>c</sup>. Investigación sobre áreas naturales protegidas en Tamaulipas. En CONABIO (Eds.), *La biodiversidad en Tamaulipas. Estudio de Estado. Vol. III* (101-110). México, D.F.
- Camargo, B. y Vázquez Maguirre, M. (2020). Humanism, dignity and indigenous justice: The mayan train megaproject, mexico. *Journal of Sustainable Tourism*, 29, 1-20.
- Carrillo Hernández, A. C., Ortega-Argueta, A., Gama Campillo, L. M., Bello-Baltazar, E. y Rioja Nieto, R. (2022). Effectiveness of management of the mesoamerican biological corridor in mexico. *Landscape and Urban Planning*, 226, 104504.
- Castaño Villa, G. J. (2006). Áreas protegidas, criterios para su selección y problemáticas en su conservación. *Boletín Científico-Centro de Museos-Museo de Historia Natural*, 10, 79-101.
- CDB. (2010). Decision x/2: Strategic plan for biodiversity 2011-2020. Recuperado el 7 de Septiembre, 2022 de: <https://www.cbd.int/decision/cop/?id=12268>.
- CDB. (2022). Decision 15/3. Review of progress in the implementation of the convention and the strategic plan for biodiversity 2011-2020 and the achievement of the aichi biodiversity targets. Recuperado el 14 de Enero, 2023 de: <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-03-es.pdf>
- Ceballos, G., de la Torre, J. A., Zarza, H., Huerta, M., Lazcano Barrero, M. A., Barcenas, H., Cassaigne, I., Chávez, C., Carreón, G., Caso, A., Carvajal, S., García, A., Morales, J. J., Moctezuma, O., Monroy Vilchis, O., Ruiz, F. y Torres Romero, E. J. (2021). Jaguar distribution, biological corridors and protected areas in Mexico: From science to public policies. *Landscape Ecology*, 36, 3287-3309.

- Cheng, Z., Aakala, T. y Larjavaara, M. (2023). Elevation, aspect, and slope influence woody vegetation structure and composition but not species richness in a human-influenced landscape in northwestern Yunnan, China. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6, 1-12.
- Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Salas, J., Martín, M. P., Vilar, L., Martínez-Vega, J., Martín, S., Ibarra, P., de la Riva, J., Baeza, J., Rodríguez, F., Molina, J. R., Herrera, M. A. y Zamora, R. (2010). Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies. *Ecological Modelling*, 221, 46-58.
- Cifuentes A., M., Izurieta V., A. y De Faria, H. H. (2000). *Medición de la efectividad del manejo de áreas protegidas*. Turrialba, Cost Rica p. 105.
- CONABIO. (2008). *Capital natural de México, vol.1: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F.
- CONABIO. (2017). Selva maya. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F. Recuperado el 20 enero, 2024 de: <https://www.gob.mx/conabio/prensa/selva-maya-101932>
- CONABIO. (2020). Regiones Biogeográficas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F. Recuperado el 03 mayo, 2024 de: <https://www.biodiversidad.gob.mx/region/regiones-biogeograficas..>
- CONABIO. (2021a). Corredores bioclimáticos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F. <https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/planeacion-para-la-conservacion/corredores-bioclimaticos>. Recuperado 23 noviembre, 2022.
- CONABIO. (2021b). Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad terrestre. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F. Recuperado el 10 octubre, 2022 de: <https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/planeacion-para-la-conservacion/sitiosp-terrestre>.
- CONABIO. (2022). ¿Qué es un corredor biológico?. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F. Recuperado el 23 enero, 2024 de: <https://www.biodiversidad.gob.mx/region/que-es-corredor>.
- CONABIO. (2023). Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F. Recuperado el 7 enero, 2024 de: <https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/regiones-terrestres-prioritarias-de-mexico>.

- CONABIO, CONANP, TNC, PRONATURA, FCF y UANL. (2007b). *Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad terrestre de México: Espacios y especies*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy-Programa México, Pronatura, A. C., Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, México, México, D. F.
- CONANP. (2023). Áreas naturales protegidas. Recuperado el 8 de Junio, 2023 de: <https://www.gob.mx/conanp/documentos/areas-naturales-protegidas-278226>.
- CONANP, CONABIO y SRE. (2020). Avances hacia el cumplimiento de la meta 11 de Aichi en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F. p. 51 pp.
- Constanza, R., d' Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., o'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P. y van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- Costedoat, S., Corbera, E., Ezzine de Blas, D., Honey Rosés, J., Baylis, K. y Castillo Santiago, M. A. (2015). How effective are biodiversity conservation payments in Mexico? *Plos One*, 10, e0119881.
- Cuevas, M.L., Garrindo, A., Pérez-Damián, J.L. y Lura-González, D. (2010). Procesos de cambio de uso del suelo y degradación de la vegetación natural. En H. Cotler-Ávalos (Eds.), *Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización* (pp. 96-103). México, D. F.
- de Groot, R., Brander, L., van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, M., Crossman, N., Ghermandi, A., Hein, L., Hussain, S., Kumar, P., McVittie, A., Portela, R., Rodriguez, L. C., ten Brink, P. y van Beukering, P. (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 1, 50-61.
- Delso, Á., Fajardo, J. y Muñoz, J. (2021). Protected area networks do not represent unseen biodiversity. *Scientific Reports*, 11, 12275.
- Di Marco, M., Chapman, S., Althor, G., Kearney, S., Besancon, C., Butt, N., Maina, J. M., Possingham, H. P., Rogalla von Bieberstein, K., Venter, O. y Watson, J. E. M. (2017).

- Changing trends and persisting biases in three decades of conservation science. *Global Ecology and Conservation*, 10, 32-42.
- Dirzo, R., Young, H. S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N. J. B. y Collen, B. (2014). Defaunation in the anthropocene. *Science*, 345, 401-406.
- Escalante, T., Noguera Urbano, E. A. y Anaya, V. (2020). "Subrogados" para conservar la biodiversidad. *Ecofronteras*, 24, 22-25.
- Falcón-Brindis, A., León-Cortés, J. L. y Montañez-Reyna, M. (2021). How effective are conservation areas to preserve biodiversity in Mexico? *Perspectives in Ecology and Conservation*, 19, 399-410.
- Farfán Gutiérrez, M., Rodríguez Tapia, G. y Mas, J. F. (2016). Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la reserva de la biosfera sierra de manantlán, México. *Investigaciones Geográficas*, 90, 89-104.
- FAO. (2002). *Land tenure and rural developmet*. Roma, Italia.
- Feng, Y., Wang, Y., Su, H., Pan, J., Sun, Y., Zhu, J., Fang, J. y Tang, Z. (2021). Assessing the effectiveness of global protected areas based on the difference in differences model. *Ecological Indicators*, 130, 108078.
- Figuerola, D., Galeana Pizaña, J. M., Núñez, J. M., Anzaldo Gómez, C., Hernández Castro, J. R., Sánchez Ramírez, M. M y Garduño, A. (2021). Assessing drivers and deterrents of deforestation in Mexico through a public policy tool. The adequacy of the index of economic pressure for deforestation. *Forest Policy and Economics*, 133, 102608.
- FONAFIFO, CONAFOR y MAE. (2012). Lecciones aprendidas para redd+ desde los programas de pago por servicios ambientales e incentivos para la conservación. Ejemplos de Costa Rica, México y Ecuador. CATIE, p. 176.
- García Quintanilla, A., López Barreto, M. F., Espadas Manrique, C., Cach Pérez, M. J., Caballero Vázquez, J. A., Hernández Zepeda, C. y Reyes García, C. (2022). Impact of the tren maya megaproject on the biocultural heritage of the mayan area in Mexico's best conserved tropical forest. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 31, 556317.
- Garza-Torres, H. A., Rodríguez-Ruiz, E. R. y Herrera-Herrera, J. R. (2024). Aves. En CONABIO (Eds.), *La biodiversidad en Tamaulipas. Estudio de Estado. Vol. II* (pp. 465-475). México, D.F.

- Garza-Torres, H. A., Zamora-Tovar, C. y Requena-Lara, G. N. (2024). Áreas naturales protegidas. En CONABIO (Eds.), *La biodiversidad en Tamaulipas. Estudio de Estado. Vol. III* (pp. 29-35). México, D.F.,
- Geldmann, J., Manica, A., Burgess, N. D., Coad, L. y Balmford, A. (2019). A global-level assessment of the effectiveness of protected areas at resisting anthropogenic pressures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116, 23209-23215.
- Gil, G. y Moreno, C. (2003). El método de complementariedad para la selección y evaluación de áreas protegidas. *Mesoamericana*, 7, 51.
- Gobierno de México. (2018). ¿Qué es el tren maya?. México, D. F. Recuperado el 15 enero, 2024 de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/455316/TM\\_Folleto\\_Espa\\_ol.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/455316/TM_Folleto_Espa_ol.pdf).
- González Abraham, C., Ezcurra, E., Garcillán, P. P., Ortega Rubio, A., Kolb, M. y Bezaury Creel, J. E. (2015). The human footprint in Mexico: Physical geography and historical legacies. *PLOS ONE*, 10, e0121203.
- González Maya, J. F., Viquez R., L. R., Belant, J. L. y Ceballos, G. (2015). Effectiveness of protected areas for representing species and populations of terrestrial mammals in Costa Rica. *Plos One*, 10, e0124480.
- Hernandez-Manrique, O. L., Numa, C., Verdú, J., Galante, E. y Lobo, J. (2012). Current protected sites do not allow the representation of endangered invertebrates: The spanish case. *Insect Conservation and Diversity*, 5, 414-421.
- Hockings, M., Stolton, S., Leverington, F., Dudley, N. y Courrau, J. (2006). *Evaluating effectiveness: A framework for assessing management effectiveness of protected areas*. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido.
- Holzman, D. C. (2012). Accounting for nature's benefits: The dollar value of ecosystem services. *Environmental Health Perspectives*, 120, 153-157.
- Hooker, K. R., Conner, L. M., Jack, S. B., Morris, G., Palmer, W. E., Rutledge, B. T., Sisson, D. C., Terhune, T. M., Wellendorf, S. D. y McCleery, R. A. (2023). Trophic interactions between primary consumers appear to weaken during periods of synchrony. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 1159464.

- Huang, L., Shao, Q. y Liu, J. (2019). Assessing the conservation effects of nature reserve networks under climate variability over the northeastern tibetan plateau. *Ecological Indicators*, 96, 163-173.
- INEGI. (2020). Población. Consulta de indicadores sociodemográficos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, D. F. Recuperado el 24 julio, 2023 de: <https://www.inegi.org.mx/default.html>.
- INEGI, CONABIO y INE. (2008). Ecorregiones terrestres de México. Escala 1: 1 000 000. México, D. F. Recuperado el 20 noviembre, 2022 de: <https://www.inegi.org.mx/default.html>.
- Jenkins, C. N. y Joppa, L. (2009). Expansion of the global terrestrial protected area system. *Biological Conservation*, 142, 2166-2174.
- Karimi, A. y Jones, K. (2020). Assessing national human footprint and implications for biodiversity conservation in Iran. *Ambio*, 49, 1506-1518.
- Kazama, T., Urabe, J., Yamamichi, M., Tokita, K., Yin, X., Katano, I., Doi, H., Yoshida, T. y Hairston, N. G. (2021). A unified framework for herbivore-to-producer biomass ratio reveals the relative influence of four ecological factors. *Communications Biology*, 4, 49.
- Kullberg, P., Toivonen, T., Montesino Pouzols, F., Lehtomäki, J., Di Minin, E. y Moilanen, A. (2015). Complementarity and area-efficiency in the prioritization of the global protected area network. *Plos One*, 10, e0145231.
- Li, Y. y Wu, H. (2012). A clustering method based on k-means algorithm. *Physics Procedia*, 25, 1104-1109.
- Li, S., Wu, J., Gong, J. y Li, S. (2018). Human footprint in Tibet: Assessing the spatial layout and effectiveness of nature reserves. *Science of The Total Environment*, 621, 18-29.
- López-Higareda, D., Cruz-Angón, A. y Melgarejo, D. (2024). Introducción. En CONABIO (Eds.), *La biodiversidad en Tamaulipas. Estudio de Estado. Vol. III* (pp. 15-20). México, D. F.,
- MacKenzie, D. (2009). What are the issues with presence-absence data for wildlife managers? *Journal of Wildlife Management*, 69, 849-860.
- Mas, J. F., Velázquez, A., Díaz Gallegos, J. R., Mayorga Saucedo, R., Alcántara, C., Bocco, G., Castro, R., Fernández, T. y Pérez Vega, A. (2004). Assessing land use/cover changes: A

- nationwide multirate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 5, 249-261.
- McAfee, K. y Shapiro, E. N. (2010). Payments for ecosystem services in Mexico: Nature, neoliberalism, social movements, and the state. *Annals of the Association of American Geographers*, 100, 579-599.
- Mendel, L. C. y Kirkpatrick, J. B. (2002). Historical progress of biodiversity conservation in the protected-area system of Tasmania, Australia. *Conservation Biology*, 16, 1520-1529.
- Monroy Gamboa, A. G., Briones Salas, M. Á., 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, e12.
- Moreno Barajas, R., Rogel Fajardo, I. y Colindres Jardón, I. (2021). Vertebrados en las áreas naturales protegidas del estado de México. Análisis de registros de bases de datos. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 23, 131-147.
- Moreno-Valdez, A. (2024). Mamíferos. En CONABIO (Eds.), *La biodiversidad en Tamaulipas. Estudio de estado* (pp. 535-544). México, D. F.
- Morrone, J. J. (2005). Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 76, 207-252.
- Morrone, J. J. (2019). Regionalización biogeográfica y evolución biótica de México: Encrucijada de la biodiversidad del nuevo mundo. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90, e902980.
- Muñoz Brenes, C. L., Jones, K. W., Schlesinger, P., Robalino, J. y Vierling, L. (2018). The impact of protected area governance and management capacity on ecosystem function in Central America. *Plos One*, 13, e0205964.
- Naughton Treves, L., Holland, M. B. y Brandon, K. (2005). The role of protected areas in conserving biodiversity and sustaining local livelihoods. *Annual Review of Environment and Resources*, 30, 219-252.
- Neri Suárez, M., Bustamante, A., Vargas López, S. y Guerrero Rodríguez, J. d. D. (2015). Representatividad ecológica de las áreas naturales protegidas del estado de Puebla, México. *Ecología Aplicada*, 14, 87-93.
- Ni, C., Chen, Y., Hu, X. y Feng, J. (2023). Vegetation change and conservation evaluation of the Cangshan Erhai National Nature Reserve (Cangshan mountain part) in southwest China. *Forests*, 14, 1485.

- OLACEFS y COMTEMA. (2015), Áreas protegidas América Latina. *Auditoría coordinada. Resumen ejecutivo*. República de Paraguay- Brasilia p. 19.
- Oliveira, P. J. C., Asner, G. P., Knapp, D. E., Almeyda, A., Galván Gildemeister, R., Keene, S., Raybin, R. F. y Smith, R. C. (2007). Land-use allocation protects the peruvian amazon. *Science*, 317, 1233-1236.
- Olivera Bonilla, A. (2022). Comentarios y observaciones de Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional del Proyecto Tren Maya Tramo 5 Sur. Recuperado el 04 noviembre, 2024 de: <https://www.biologicaldiversity.org>
- Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V. N., Underwood, E. C., D'Amico, J. A., Itoua, I., Strand, H. E., Morrison, J. C., Loucks, C. J., Allnutt, T. F., Ricketts, T. H., Kura, Y., Lamoreux, J. F., Wettengel, W. W., Hedao, P. y Kassem, K. R. (2001). Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on earth: A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. *BioScience*, 51, 933-938.
- Onditi, K. O., Li, X., Song, W., Li, Q., Musila, S., Mathenge, J., Kioko, E. y Jiang, X. (2021). The management effectiveness of protected areas in kenya. *Biodiversity and Conservation*, 30, 3813-3836.
- Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas. (2022). Decreto Gubernamental por el que se declara como Área Natural Protegida con la Categoría de Paisaje Natural, denominado “De la Mariposa Monarca”, localizado en los Municipios de Antiguo Morelos, Bustamante, Jaumave, Miquihuana, Nuevo Morelos, Ocampo, Palmillas y Tula, en el Estado de Tamaulipas, Secretaría General; Estados Unidos Mexicanos; DOET 01 septiembre, 2022. Recuperado 01 mayo, 2024 de: <https://po.tamaulipas.gob.mx/wp-content/uploads/2022/09/cxlvii-105-010922F.pdf>
- PROFEPA. (1988). Ley general de equilibrio ecológico y protección al ambiente (LGEEPA). México, D. F.
- Pulido-Chadid, K., Virtanen, E. y Geldmann, J. (2023). How effective are protected areas for reducing threats to biodiversity? A systematic review protocol. *Environmental Evidence*, 12, 18.
- Rodrigues, A. S. L., Andelman, S. J., Bakarr, M. I., Boitani, L., Brooks, T. M., Cowling, R. M., Fishpool, L. D. C., da Fonseca, G. A. B., Gaston, K. J., Hoffmann, M., Long, J. S., Marquet,

- P. A., Pilgrim, J. D., Pressey, R. L., Schipper, J., Sechrest, W., Watts, M. E. J. y Yan, X. (2004). Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity. *Nature*, 428, 640-643.
- Roswell, M., Dushoff, J. y Winfree, R. (2021). A conceptual guide to measuring species diversity. *Oikos*, 130, 321-338.
- Rudnick, D., Ryan, S., Beier, P., Cushman, S., Dieffenbach, F., Epps, C., Gerber, L., Hartter, J., Jenness, J., Kintsch, J., Merenlender, A., Perkl, R., Preziosi, D. y Trombulak, S. (2012). The role of landscape connectivity in planning and implementing conservation and restoration priorities. *Issues in Ecology*, 16, 1-20.
- Sanderson, E. W., Jaiteh, M., Levy, M. A., Redford, K. H., Wannebo, A. V. y Woolmer, G. (2002). The human footprint and the last of the wild. *BioScience*, 52, 891-904.
- Sarkar, S. y Margules, C. (2002). Operationalizing biodiversity for conservation planning. *Journal of Biosciences*, 27, 299-308.
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente Bousquets, J., Halffter, G., González, R., March, I., Mohar, A., Anta, S., de la Maza, J., Pisanty, I., Urquiza Haas, T., Rui González, S. P. y García Méndez, G. (2017). *Capital natural de México. Síntesis: evaluación del conocimiento y tendencias de cambio, perspectivas de sustentabilidad, capacidades humanas e institucionales*. CONABIO, México, D. F.
- Saura, S., Bertzky, B., Bastin, L., Battistella, L., Mandrici, A. y Dubois, G. (2019). Global trends in protected area connectivity from 2010 to 2018. *Biological Conservation*, 238, 108183.
- Schmitz, O. (2008). Effects of predator hunting mode on grassland ecosystem function. *Science*, 319, 952-954.
- Segnini, S. (1995). Medición de la diversidad en una comunidad de insectos. *Boletín de Entomología Venezolana*, 10, 105-113.
- SEMARNAT (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, 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.
- SEMARNAT. (2015a). Capítulo 1. Población y medio ambiente. En Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ed.), *Informe de la situación del medio ambiente en México* (pp. 1-60). México, D. F.

- SEMARNAT. (2015b). Capítulo 2. Ecosistemas terrestres. En Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ed.) *Informe de la situación de medio ambiente en México* (pp. 61-152). México, D. F.
- SEMARNAT. (2016). Capítulo 6. Biodiversidad. En *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave de desempeño ambiental y de crecimiento verde*. México, D. F. p. 498.
- SIMEC y CONANP. (2019). El abc de la evaluación de la efectividad del manejo de las áreas naturales protegidas. México, D. F. Recuperado el 25 julio, 2023 de: [https://simec.conanp.gob.mx/pdf\\_evaluacion/ABC\\_Evaluacion\\_Efectividad\\_Sep\\_2019.pdf](https://simec.conanp.gob.mx/pdf_evaluacion/ABC_Evaluacion_Efectividad_Sep_2019.pdf)
- Singh, V., Shukla, S. y Singh, A. (2021). The principal factors responsible for biodiversity loss. *Open Journal of Plant Science*, 6, 011-014.
- Smallwood, K. S. y Smallwood, N. L. (2023). Measured effects of anthropogenic development on vertebrate wildlife diversity. *Diversity*, 15, 1037.
- SRA. (2007). Programa sectorial agrario 2007-2012. Secretaría de la Reforma Agraria, México, D. F. Recuperado el 25 febrero, 2024 de: [https://paot.org.mx/centro/programas/federal/Programa\\_Sectorial\\_Agrario.pdf](https://paot.org.mx/centro/programas/federal/Programa_Sectorial_Agrario.pdf).
- Stevens, T. (2002). Rigor and representativeness in marine protected area design. *Coastal Management*, 30, 237-248.
- Stolton, S., Dudley, N., Çokçalışkan, B. A., Hunter, D., Ivanić, K.-Z., Kanga, E., Kettunen, M., Kumagai, Y., Maxted, N., Senior, J., Wong, M., Keenleyside, K., Mulrooney, D. y Waithaka, J. (2015). Values and benefits of protected areas. In *Protected area governance and management*, G. L. Worboys, M. Lockwood, A. Kothari, S. Feary y I. Pulsfords (Eds.). ANU Press, Canberra, Australia, p. 145-168.
- Summerville, K. S., Ritter, L. M. y Crist, T. O. (2004). Forest moth taxa as indicators of lepidopteran richness and habitat disturbance: A preliminary assessment. *Biological Conservation*, 116, 9-18.
- Symes, W. S., Edwards, D. P., Miettinen, J., Rheindt, F. E. y Carrasco, L. R. (2018). Combined impacts of deforestation and wildlife trade on tropical biodiversity are severely underestimated. *Nature Communications*, 9, 4052.

- Terán-Juárez, S. A., Lavín-Murcio, P. A., García-Padilla, E. y Lazcano Villareal, D. (2024)<sup>a</sup>. Anfibios. En CONABIO (Eds.), *La biodiversidad en Tamaulipas. Estudio de Estado. Vol. II* (pp. 437-445). México, D. F.
- Terán-Juárez, S.A., Lavín-Murcio, P.A., García-Padilla, E. y Lazcano Villareal, D. (2024)<sup>b</sup>. Reptiles. En CONABIO (Eds.), *La biodiversidad en Tamaulipas. Estudio de Estado. Vol. II* (pp. 447-456). México, D. F.
- Thébault, E. y Loreau, M. (2003). Food-web constraints on biodiversity–ecosystem functioning relationships. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100, 14949-14954.
- Treviño-Carreón, J. y Valiente-Banuet, A. (2005). La vegetación de Tamaulipas y sus principales asociaciones vegetales. En L. Barrientos-Lozano, A. Correa-Sandoval, J. V. Horta-Vega y J. García-Jiménez (Eds.), *Biodiversidad tamaulipecta* (pp.120–155). Cd. Victoria, Tamaulipas: Instituto Tecnológico de Cd. Victoria.
- Urquiza Haas, T., Koleff, P., Lira Noriega, A., Kolb, M. y Alarcon, J. (2011), Selección de áreas prioritarias para la conservación de los vertebrados terrestres: ¿es posible usar un grupo como indicador? En *Planeación para la conservación de la biodiversidad terrestre en México: Retos en un país megadiverso*, P. Koleff y T. Urquiza (Eds.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México, México, D. F.
- Venegas-Barrera, C. S., Vázquez-Reyes, C. J., Martínez-Gutiérrez, G., Mora-Olivo, A., Horta-Vega, J. V., Correa-Sandoval, A., Terán-Juárez, S. A. y Rangel-Lucio, J. A. (2024). Cambio de cobertura de terreno. En CONABIO (Eds.), *La Biodiversidad en Tamaulipas. Estudio de Estado, Vol. III* (pp. 257-270). Mexico, D. F.
- Villegas Patraca, R., Aguilar López, J. L., Hernández Hernández, J. C. y Muñoz Jiménez, Ó. (2022). Diversity and conservation of terrestrial vertebrates (birds, mammals, and reptiles) of sierra cucapá, mexicali, baja california, mexico. *Zookeys*, 1088, 17-39.
- Watson, J. E. M., Dudley, N., Segan, D. B. y Hockings, M. (2014). The performance and potential of protected areas. *Nature*, 515, 67-73.
- Watson, J. E. M., Jones, K. R., Fuller, R. A., Marco, M. D., Segan, D. B., Butchart, S. H. M., Allan, J. R., McDonald-Madden, E. y Venter, O. (2016). Persistent disparities between

recent rates of habitat conversion and protection and implications for future global conservation targets. *Conservation Letters*, 9, 413-421.

Williams, B. A., Venter, O., Allan, J. R., Atkinson, S. C., Rehbein, J. A., Ward, M., Di Marco, M., Grantham, H. S., Ervin, J., Goetz, S. J., Hansen, A. J., Jantz, P., Pillay, R., Rodríguez-Buritica, S., Supples, C., Virnig, A. L. S. y Watson, J. E. M. (2020). Change in terrestrial human footprint drives continued loss of intact ecosystems. *One Earth*, 3, 371-382.

Yang, F., Hu, J. y Wu, R. (2016). Combining endangered plants and animals as surrogates to identify priority conservation areas in Yunnan, China. *Scientific Reports*, 6, 30753.

Yui, M. (2014). The development of national parks and protected areas around the world. Natural Environment Coexistence Technology Association Tokio, Japón p. 24.

Zhang, J., Qian, H., Girardello, M., Pellissier, V., Nielsen, S. y Svenning, J. C. (2018). Trophic interactions among vertebrate guilds and plants shape global patterns in species diversity. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285, 20180949.

Zhang, S. Y., Gheyret, G., Chi, X., Bai, Y. H., Zheng, C. y Tang, Z. (2020a). Representativeness of threatened terrestrial vertebrates in nature reserves in China. *Biological Conservation*, 246, 108599.

Zhang, C., Zhu, R., Sui, X., Chen, K., Li, B. y Chen, Y. (2020b). Ecological use of vertebrate surrogate species in ecosystem conservation. *Global Ecology and Conservation*, 24, e01344.

## 10. Anexos

Actividades de retribución social



La Secretaría de Educación de Tamaulipas  
a través de la Subsecretaría de Educación Básica  
en coordinación con el Programa Enseñanza Vivencial de las Ciencias

otorga el presente

# RECONOCIMIENTO

a la

**Lic. Yeimi Alexandra Mendoza Walle**

Por su destacada participación como Tallerista en las actividades correspondientes al **"Viernes de Detectives del Conocimiento, Ciencia y Cultura" STEAM Tamaulipas**, con el *Taller: descubriendo un mundo pequeño* que se llevó a cabo en el Gimnasio Multidisciplinario de la Universidad Autónoma de Tamaulipas de esta ciudad. Con una duración de 5 horas.



Tamaulipas  
Secretaría  
de Educación  
Subsecretaría  
de Educación Básica  
**MARCELA RAMÍREZ JORDÁN**  
SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN BÁSICA



Tamaulipas  
Secretaría  
de Educación  
**SANDRA LUZ PEDRAZA ANAYA**  
DIRECCIÓN DE PROGRAMAS TRANSVERSALES

Ciudad Victoria, Tamaulipas; 23 de febrero de 2024.

Constancia de participación en el curso de redacción y publicación científica en inglés



## Constancia de participación en el congreso REFAMA



La Universidad Veracruzana y la Red Temática Biología, Manejo y  
Conservación de Fauna Nativa en Ambientes Antropizados

Otorgan la presente

### CONSTANCIA

A

**Crystian S. Venegas Barrera, Yeimi Alexandra Mendoza Walle, Ángel Rodríguez-Moreno,  
Jorge Víctor Horta-Vega y Javier Manjarrez**

Por su participación como Ponente Oral de la charla:

*“Grado de riesgo de las especies del género *Thamnophis* en México  
y sus áreas de conservación”*

En el marco del

**VIII Congreso Nacional de Fauna Nativa en Ambientes Antropizados**

7 al 9 de septiembre de 2022

Dra. María Cristina Mac Swiney González  
Presidente del Comité Organizador Local UV

Dr. Romeo Saldaña Vázquez  
Responsable Técnico de la Red REFAMA