

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



**EFFECTO ESPACIAL Y TEMPORAL EN LA ESTRUCTURA DE LA  
COMUNIDAD DE MAMÍFEROS TERRESTRES DE UN PROYECTO DE  
ENERGÍA EÓLICA DENTRO DE ALTIPLANO NORTE**

**POR**


**ADRIÁN EMILIANO VELOZ SÁNCHEZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO  
EN CONSERVACIÓN, FAUNA SILVESTRE Y SUSTENTABILIDAD**

**2024**

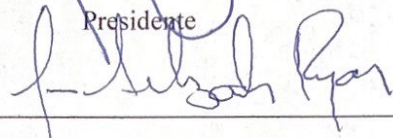
**HOJA DE FIRMAS**  
**EFFECTO ESPACIAL Y TEMPORAL EN LA ESTRUCTURA DE LA**  
**COMUNIDAD DE MAMÍFEROS TERRESTRES DE UN PROYECTO DE**  
**ENERGÍA EÓLICA DENTRO DE ALTIPLANO NORTE.**

Comité de tesis



Dr. Antonio Guzmán Velasco

Presidente



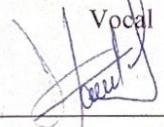
Dr. José Ignacio González Rojas

Secretario



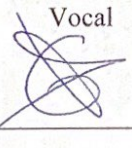
Dr. Edgar Cruz Acevedo

Vocal



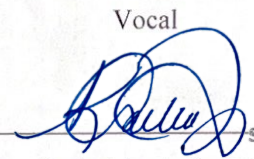
Dra. Susana Favela Lara

Vocal



Dr. Gabriel Ruiz Aymá

Vocal



Dra. Katiushka Arévalo Niño

Subdirector de Posgrado



**SUBDIRECCIÓN**  
**DE POSGRADO**

**EFFECTO ESPACIAL Y TEMPORAL EN LA ESTRUCTURA DE LA  
COMUNIDAD DE MAMÍFEROS TERRESTRES DE UN PROYECTO DE  
ENERGÍA EÓLICA DENTRO DE ALTIPLANO NORTE.**

**Dirección de tesis**



---

Dr. Antonio Guzmán Velasco

Director



---

Dr. Gustavo Alberto Arnaud Franco

Asesor externo

DERECHOS RESERVADOS©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta Tesis está protegido, el uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material contenido que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde se obtuvo mencionando al autor o autores.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que contribuyeron de manera significativa a la realización de este trabajo de investigación:

A mi director de tesis, Dr. Antonio Guzmán, por su orientación, apoyo y dedicación a lo largo de este proceso. Sus conocimientos, consejos y motivación fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A la Facultad de Ciencias Biológicas y la Universidad Autónoma de Nuevo León, por brindarme acceso a recursos, instalaciones y herramientas necesarias para llevar a cabo esta investigación.

Agradezco especialmente a mi comité de tesis por su colaboración, discusiones constructivas y valiosas sugerencias que enriquecieron este trabajo.

A mis amigos y familiares, por su comprensión, aliento constante y apoyo emocional durante todo este tiempo. Su estímulo y apoyo fueron un pilar fundamental en este camino.

Finalmente, quiero expresar mi gratitud a cada persona que de alguna manera contribuyó a este proyecto, su aporte ha sido invaluable.

## **DEDICATORIAS**

A mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificio para brindarme las oportunidades que me han permitido llegar hasta aquí. Son mi mayor inspiración.

Mi familia, por su calor humano y motivación en cada paso de este camino. Este logro también es suyo.

A mi pareja y amigos, por su apoyo y ánimo durante los momentos desafiantes. Gracias por estar siempre ahí.

Por último, pero no menos importante, a Dios, por darme la fuerza de seguir adelante y nunca abandonarme.

# ÍNDICE

## Tabla de contenido

|  |    |
|--|----|
| <b>ÍNDICE</b> .....  | 7  |
| <b>INDICE DE TABLAS</b> .....  | 9  |
| <b>INDICE DE FIGURAS</b> .....   | 10 |
| <b>RESUMEN</b> .....   | 11 |
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....   | 13 |
| <b>2. ANTECEDENTES</b> .....   | 15 |
| 2.1    Energía eólica.....   | 15 |
| 2.1.1 Energía eólica en México.....  | 15 |
| 2.2    Parques eólicos.....  | 16 |
| 2.2.1    Parques eólicos en México.....  | 17 |
| 2.3    Biodiversidad en parques eólicos.....                                   | 17 |
| 2.3.1    Impactos negativos.....   | 18 |
| 2.3.2    Impactos positivos.....   | 19 |
| 2.4    Mamíferos terrestres en parques eólicos.....                            | 19 |
| 2.4.1    Efectos espaciales.....   | 20 |
| 2.4.2    Efectos temporales .....  | 22 |
| 2.5    Aspectos de conservación de mamíferos en parques eólicos en México..... | 23 |
| <b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....  | 25 |
| <b>4. HIPOTESIS</b> .....  | 26 |
| <b>5. OBJETIVOS</b> .....  | 27 |
| 5.1    Objetivo general.....   | 27 |
| 5.2    Objetivos particulares .....  | 27 |
| <b>6. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....   | 28 |
| 6.1    Área de estudio .....   | 28 |
| 6.1.1    Clima.....  | 28 |
| 6.1.2    Flora y Fauna .....   | 28 |
| 6.2    Trabajo de campo.....   | 29 |
| 6.2.1    Métodos directos .....  | 29 |
| 6.2.2    Métodos Indirectos.....   | 30 |
| 6.2.3    Clasificación supervisada.....  | 30 |
| 6.3    Análisis de datos .....   | 31 |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| 6.3.1      | Identificación de especies .....   | 31        |
| 6.3.2      | Exploración de datos .....   | 31        |
| 6.4        | Análisis estadístico.....  | 31        |
| 6.4.1      | Riqueza y Representatividad.....   | 31        |
| 6.4.2      | Diversidad .....   | 31        |
| 6.4.3      | Abundancias relativas y su frecuencia de presencia .....   | 32        |
| <b>7.</b>  | <b>RESULTADOS</b> .....  | <b>34</b> |
| 7.1        | Muestreo multianual durante las diferentes etapas de desarrollo del proyecto de energía eólica ..... | 34        |
| 7.2        | Listado de especies determinando su estado de conservación .....                                     | 37        |
| 7.3        | Riqueza y representatividad .....  | 39        |
| 7.4        | Diversidad .....   | 45        |
| 7.5        | Abundancia y frecuencia relativas .....  | 48        |
| 7.6        | Clasificación supervisada.....   | 57        |
| <b>8.</b>  | <b>DISCUSIÓN</b> .....   | <b>59</b> |
| <b>9.</b>  | <b>CONCLUSIÓN</b> .....  | <b>67</b> |
| <b>10.</b> | <b>PERPECTIVAS</b> .....   | <b>69</b> |
| <b>11.</b> | <b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....  | <b>70</b> |



## INDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Coordenadas de los transectos. ....   | 34 |
| Tabla 2. Registro de mamíferos presentes. ....   | 35 |
| Tabla 3. Especies de mamíferos registradas (18) en la fase de preconstrucción. ....  | 35 |
| Tabla 4. Especies de mamíferos registradas (17) en la fase de construcción. ....   | 36 |
| Tabla 5. Especies de mamíferos registradas (20) en la fase de operación. ....  | 36 |
| Tabla 6. Listado de especies con categorías de protección por la Norma 059 de la SEMARNAT (Pr= sujeta a protección especial, A= amenazada, P= peligro de extinción, SC= sin categoría) y por la IUCN (LC=preocupación menor). .... | 37 |
| Tabla 7. Índice de completitud por medio de la riqueza estimada y representatividad de la fase de preconstrucción. ....  | 41 |
| Tabla 8. Índice de completitud por medio de la riqueza estimada y representatividad de la fase de construcción. ....   | 42 |
| Tabla 9. Índice de completitud por medio de la riqueza estimada y representatividad de la fase de operación. ....  | 44 |
| Tabla 10. Diversidad de mamíferos por el índice de Simpson complementario (1-D) en las distintas fases. ....   | 45 |
| Tabla 11. Abundancia y frecuencia relativa de la comunidad de mamíferos terrestres dentro del proyecto de energía eólica durante su fase de preconstrucción ....   | 48 |
| Tabla 12. Abundancia y frecuencia relativa de la comunidad de mamíferos terrestres dentro del proyecto de energía eólica durante su fase de construcción. ....   | 50 |
| Tabla 13. Abundancia y frecuencia relativa de la comunidad de mamíferos terrestres dentro del proyecto de energía eólica durante su fase de operación. ....  | 51 |

## INDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Área de estudio. ....  | 28 |
| Figura 2. Transectos dentro del proyecto eólico. ....  | 29 |
| Figura 3. Riqueza estimada por Chao 1 y 2 en la fase de preconstrucción .....  | 40 |
| Figura 4. Curva de acumulación de especies alcanzando la asíntota en la fase de preconstrucción. ....  | 40 |
| Figura 5. Riqueza estimada por Chao 1 y 2 en la fase de construcción. ....   | 41 |
| Figura 6. Curva de acumulación de especies alcanzando la asíntota en la fase de construcción. ....   | 42 |
| Figura 7. Riqueza estimada por Chao 1 y 2 en la fase de operación .....  | 43 |
| Figura 8. Curva de acumulación de especies alcanzando la asíntota en la fase de operación. ....  | 44 |
| Figura 9. Diagrama boxplot de caja, visualiza la distribución del índice de diversidad de Simpson en relación con las distintas etapas del proyecto eólico. ....                 | 47 |
| Figura 10. Gráfico de la abundancia y frecuencia relativa de la comunidad de mamíferos terrestres dentro del proyecto de energía eólica durante su fase de preconstrucción. .... | 49 |
| Figura 11. Gráfico de la abundancia y frecuencia relativa de la comunidad de mamíferos terrestres dentro del proyecto de energía eólica durante su fase de construcción. ....    | 51 |
| Figura 12. Gráfico de la abundancia y frecuencia relativa de la comunidad de mamíferos terrestres dentro del proyecto de energía eólica durante su fase de operación .....       | 53 |
| Figura 13. Clasificación supervisada, con un total de 22 asociaciones vegetales. ....  | 58 |

## **RESUMEN**

El presente estudio aborda el impacto de la energía eólica sobre las comunidades de mamíferos terrestres en el Altiplano Norte de México, analizando las variaciones en la diversidad y abundancia de especies en las diferentes etapas de un proyecto de energía eólica: preconstrucción, construcción y operación. La investigación se realiza debido al creciente interés en energías limpias y a la necesidad de entender sus efectos sobre la biodiversidad local. Se implementó un muestreo multianual durante las temporadas de lluvia, utilizando métodos directos e indirectos, como avistamientos y rastros de actividad. El área de estudio abarcó 32 transectos lineales de 1 km, donde se registraron 1197 individuos pertenecientes a 20 especies. Las fases de construcción y operación mostraron cambios significativos en la estructura de la comunidad, con una mayor diversidad durante la operación. El análisis estadístico incluyó índices de riqueza, diversidad (Simpson), PERMANOVA y SIMPER, revelaron que las perturbaciones causadas por la etapa de construcción redujeron la presencia de algunas especies, mientras que, en la etapa de operación, la comunidad de mamíferos mostró una recuperación en la diversidad. Se identificaron cinco especies en alguna categoría de riesgo según la NOM-059-SEMARNAT y la UICN, destacando la importancia de implementar medidas de mitigación adecuadas. Este trabajo proporciona información valiosa para la evaluación de impacto ambiental en proyectos de energía eólica y ofrece una base sólida para el desarrollo de estrategias que minimicen los impactos negativos en la fauna silvestre.

## **SUMMARY**

This study addresses the impact of wind energy on terrestrial mammal communities in the Northern Altiplano of Mexico, analyzing variations in species diversity and abundance at different stages of a wind energy project: preconstruction, construction, and operation. The research is conducted due to the growing interest in clean energy and the need to understand its effects on local biodiversity. A multiannual sampling was implemented during the rainy seasons, using direct and indirect methods, such as sightings and activity traces. The study area encompassed 32 linear transects of 1 km, where 1197 individuals belonging to 20 species were recorded. The construction and operation phases showed significant changes in community structure, with greater diversity during operation. Statistical analysis included richness and diversity indices (Simpson), PERMANOVA and SIMPER, revealing that disturbances caused by the construction phase reduced the presence of some species, while in the operation phase the mammal community showed a recovery in diversity. Five species were identified in some risk category according to NOM-059-SEMARNAT and IUCN, highlighting the importance of implementing appropriate mitigation measures. This work provides valuable information for the environmental impact assessment of wind energy projects and offers a solid basis for the development of strategies to minimize negative impacts on wildlife.

## 1. INTRODUCCIÓN

La creciente conciencia sobre el cambio climático ha impulsado una transición hacia energías más limpias en todo el mundo (Amjith & Bavanish 2022; Mohtasham 2015). La energía eólica se ha consolidado a través de los años y en distintos países como una alternativa energética sostenible que promueve la mitigación al cambio climático (Warren et al. 2012; Kaygusuz 2009). Dentro de sus beneficios tanto ambientales, económicos y sociales, destaca la reducción de emisiones de dióxido de carbono, no utiliza combustibles fósiles, genera empleos, brinda seguridad energética y tiene bajo impacto ambiental (SEGOB 2015; Mohtasham 2015; Warren et al. 2012). Este tipo de energía se genera dentro de los llamados “parques eólicos” los cuales utilizan grandes extensiones de terreno para la instalación de aerogeneradores situados en sitios con alto potencial de vientos que posteriormente se encargan de aprovechar la energía cinética producida por corrientes de viento, a su vez conectadas a generadores eléctricos (González-Ávila et al. 2006; Moragues & Rapallini 2003).

Ahora bien, México posee condiciones geográficas y climáticas ideales para la producción de la energía eólica, dichas condiciones permiten el posible aprovechamiento de vientos tanto marinos como terrestres (Pérez-Denicia et al., 2017). En algunos estados se puede generar hasta 5000kw de energía eléctrica por aerogenerador, siendo buena alternativa sustentable (Hernández-Escobedo et al., 2010). Debido a lo anterior, nuestro país destaca a nivel mundial como territorio con alto potencial energético (González-Ávila et al., 2006).

Sin embargo, como cualquier otra actividad humana que genere cambio de uso de suelo (ej. agricultura, ganadería, ciudades, caminos, campos solares, etc.) transforma el ambiente y causa impactos en los ecosistemas y su biodiversidad (De Chazal & Rounsevell, 2009; Turner & Meyer, 1994). Presentando impactos tanto a corto como largo plazo. Por lo tanto, se es esencial comprender las consecuencias ambientales de la construcción de proyectos de energías eólicas en el país.

Los proyectos de energía eólica cuentan con una serie de fases para su instalación de sus parques eólicos (planeación, proyección, pre-construcción, construcción y operaciones), donde en cada una de ellas se toman en cuenta parámetros que midan los impactos

ambientales y a la biodiversidad (Galvez et al., 2018; González-Ávila et al., 2006). Existe evidencia donde la fase de construcción presenta mayores niveles de perturbación (ruido, vibración y presencia humana) hacia la vida silvestre (Alday et al., 2020; Helldin et al., 2012). No obstante, también en la fase de operaciones se han registrado efectos por la generación de sombras y ruido de parte de los aerogeneradores (Helldin et al., 2012).

En la actualidad hay estudios que se centran más en fauna voladora; donde claro el efecto de mortalidad está bien documentado, producido por choques con los aerogeneradores y barotraumas (Arnett et al., 2008; Smallwood & Thelander, 2008). Con esto, se deja de lado o no se toma mucho en cuenta, el efecto hacia vida silvestre terrestre en los impactos ambientales (Helldin et al., 2012; Lundberg, 2011). Se ha visto como el impacto de parques eólicos pueden producir efectos negativos en mamíferos como, desplazamiento, migraciones, dispersión de poblaciones, uso de hábitat, comportamiento territorial y antidepredatorio (Mascarenhas et al., 2018; Helldin et al., 2012).

Es por ello la importancia de este proyecto, que busca conocer y presentar los efectos tanto espaciales como temporales en las comunidades de mamíferos terrestres (no voladores), siendo un grupo con muchas funciones ecológicas (Lacher et al., 2019; Rumiz, 2010), dentro de un proyecto de energía eólica en sus diferentes fases (preconstrucción, construcción, operaciones) en temporadas de lluvias, siendo estas las que presentan mejores condiciones y recursos para las comunidades dentro del altiplano norte de México.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1 Energía eólica**

Con miras de hacer frente al cambio climático y reducir emisiones, la energía eólica ha desarrollado un rápido crecimiento en todo el mundo (Fernández & Rodríguez, 2012). La conciencia sobre el calentamiento global nos da la necesidad de usar fuentes de energía sostenibles, buscando diversificación en la oferta energética, por lo que se ha visto la constante innovación en tecnologías y políticas a nivel mundial, permitiendo que países como los de Europa, China y Estados Unidos sean pioneros de energía eólica a gran escala (Archer & Jacobson, 2005; Smith, 2000).

La energía eólica con la cual se trabajará en este proyecto se refiere a la energía generada a partir del viento. Se utiliza para convertir la energía cinética del viento en energía mecánica a través de aerogeneradores y luego en energía eléctrica (Jones & Brown, 2018; Moragues & Rapallini, 2003). Tiene el potencial de contribuir a la mitigación del cambio climático (Kaygusuz, 2009). Además, no emite gases de efecto invernadero durante su operación, lo que la convierte en una alternativa favorable a los combustibles fósiles (Meyer et al., 2021; Warren et al., 2012).

A nivel global, la capacidad eólica reflejó un aumento en un promedio de más del 17% anual entre 2010 y 2020 (GWEC, 2022) y, junto a la energía solar, son las principales fuentes de energías limpias en la actualidad, siendo parte importante de la matriz energética global (Pérez, 2018). Además, la energía eólica es una fuente de energía competitiva en términos económicos ya que los costos de instalación y mantenimiento son cada vez más bajos (Pérez 2018; Boyle 2012).

#### **2.1.1 Energía eólica en México**

México es reconocido a nivel global por su potencial eólico, ya que presenta condiciones geográficas y climáticas que brindan corrientes de viento aprovechables (Martínez-Mendoza et al., 2019; Olivera & Colín, 2009). Según el informe de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE, 2018), las regiones con mayor potencial eólico se encuentran en la península de Baja California, el Istmo de Tehuantepec y algunas zonas en el norte del país.

Sumando a lo anterior, el gobierno mexicano ha implementado políticas para fomentar la inversión en energías renovables, incluida la eólica, como parte de sus esfuerzos para diversificar la matriz energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Juárez-Hernández & León, 2014). Se estima que la energía eólica evitó la emisión de aproximadamente 6.7 millones de toneladas de dióxido de carbono en 2020, siendo una medida de mitigación para el cambio climático (SENER, 2021).

Asimismo, los constantes desarrollos de proyectos y parques eólicos han ascendido tanto que en 2020 la energía eólica representó aproximadamente el 9.3% de la generación total de energía eléctrica en el país (SENER, 2021).

A pesar del crecimiento, no se deben olvidar algunos de los desafíos en la implementación de la energía eólica en México, como la necesidad de mejorar la infraestructura de transmisión y la integración de la energía eólica en la red eléctrica nacional (Smith, 2020; Martínez-Mendoza et al., 2019) y medidas de mitigación para impactos ambientales (Smith, 2020). Sin embargo, se considera que el potencial a largo plazo es prometedor (SENER, 2021; Smith, 2020).

## **2.2 Parques eólicos**

Los parques eólicos son instalaciones donde se aprovecha la energía cinética del viento para generar electricidad, a partir de una serie de aerogeneradores, que son las estructuras con grandes hélices que giran impulsadas por el viento y generan electricidad (Boyle, 2012). Pueden tener distintas capacidades de producción de energía eléctrica, desde unos pocos megavatios (un millón de vatios), hasta varios cientos de megavatios, dependiendo en su mayoría de las condiciones del viento en la zona donde se encuentren ubicados y de la cantidad de aerogeneradores que tengan (GWEC, 2022).

Entre los principales beneficios de los parques eólicos se encuentran la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la disminución de la dependencia de combustibles fósiles, lo que contribuye a la lucha contra el cambio climático y a la mejora de la calidad del aire (GWEC, 2022; EWEA, 2015).

Debe señalarse que su instalación depende de una serie de requisitos y normas específicas (cambia dependiendo del país o región), incluyendo permisos de tierra, construcción y



ambientales como, una evaluación en la zona donde se propone el parque eólico, que consiste en medir la velocidad y dirección del viento a diferentes alturas durante un largo periodo de tiempo para determinar el potencial energético (IEA Wind, 2019; Pao & Johnson, 2009). Se requiere una evaluación ambiental exhaustiva antes de la instalación de un parque eólico para evaluar el impacto potencial sobre la flora, la fauna, el paisaje, las aves migratorias y otros aspectos del medio ambiente (WWEA, 2018; Pao & Johnson, 2009). Otro requisito esencial es, realizar proyecciones de viabilidad técnica y económica para conectar los parques eólicos a la red eléctrica (Pao & Johnson, 2009).

Cabe resaltar, los parques eólicos no solo son los aerogeneradores, tienen muchos otros componentes como lo son, la infraestructura, líneas eléctricas, caminos, áreas despejadas, actividad humana dando mantenimientos, perturbación durante la construcción, desmantelamiento y creación de accesos en la zona (Helldin et al., 2012).

### **2.2.1 Parques eólicos en México**

En México, la industria de la energía eólica ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, con la instalación y construcción de varios parques eólicos en diferentes regiones del país, las cuales destacan por tener potencial eólico (Hernández-Escobedo et al., 2014; González-Ávila et al., 2006). Los estados con mayor desarrollo de parques eólicos son, Oaxaca, Tamaulipas y Nuevo León (AMDEE, 2017). Lo anterior se puede relacionar, debido a un estudio que menciona que, en el noreste, los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, cuentan con una velocidad del viento de más de 4.51 m/s. la cual se considera óptima para la generación de parques eólicos (Hernández-Escobedo et al., 2014).

Por último, es importante mencionar que el primer parque eólico en México comenzó en 1996 en Oaxaca, en ese entonces se contaba con 1.6 MW (Megavatios) (AMDEE, 2014), cifra que aumentó hasta 2551 MW en el 2014 (AMDEE, 2014). En la actualidad, se tiene registro de una capacidad instalada de 7312 MW anuales, producidos en parques eólicos de México (AMDEE, 2022; SENER, 2021).

### **2.3 Biodiversidad en parques eólicos**

El uso de energías eólicas promueve la sustentabilidad (Amjith & Bavanish, 2022; Warren et al., 2012); así mismo su relación con la biodiversidad es inminente, por ello las

empresas destinan presupuesto para realizar estudios independientes y específicos dentro de los parques eólicos, en busca de determinar posibles impactos y consecuencias, ya sean negativas o positivas (SEGOB, 2015; Warren et al., 2012). Además, poder brindar medidas de mitigación, especialmente, si se construyen en áreas cercanas con un alto valor ecológico (Schuster et al., 2015; Lindeboom et al., 2011).

En cambio, aunque las instalaciones de energía eólica y la infraestructura asociada pueden crear peligros potenciales para muchas especies (Kuvlesky et al., 2007), estas instalaciones también pueden beneficiar a otras especies, debido a restricciones de acceso público y limitar actividades antropogénicas como la agricultura (Lovich & Daniels, 2000).

### **2.3.1 Impactos negativos**

Algunos de los impactos negativos en la biodiversidad y su ecosistema son la construcción de infraestructuras como carreteras y plataformas para las turbinas eólicas, ya que generan fragmentación en los hábitats, lo que puede afectar negativamente a la fauna silvestre y limitar la conectividad entre diferentes áreas (CONABIO, 2018; Lindeboom et al., 2011).

Las turbinas eólicas pueden ser peligrosas para la fauna silvestre, especialmente para la fauna voladora, debido a que pueden colisionar y morir, afectando negativamente a las poblaciones vulnerables y en peligro de extinción (Arnett et al., 2008; Smallwood & Thelander, 2008). Las rutas migratorias también se ven afectadas, modificando los patrones de migración y la supervivencia de las poblaciones de aves (BirdLife International, 2021).

También se han reportado impactos negativos sobre la vegetación, ya que, para la construcción de infraestructuras, se requiere una remoción de la vegetación existente y se crean barreras físicas (ej. caminos, cercas, torres), (Sovacool et al., 2020; European Environment Agency, 2019). Pueden provocar cambios microclimáticos locales, como la modificación de los patrones de viento y la reducción de la radiación solar, lo que puede influir en la distribución y el crecimiento de la vegetación circundante (Gouveia et al., 2019). Además, la compactación del suelo durante la construcción y el tráfico de vehículos pesados pueden afectar la calidad del suelo, con ello comprometer la salud y el crecimiento

de la vegetación (Alday et al., 2020). Sumado a lo anterior, las turbinas pueden contribuir a la contaminación acústica (Mishra et al., 2018).

### **2.3.2 Impactos positivos**

Existe evidencia de que pueden tener impactos positivos en la conservación de la fauna silvestre y vegetación. Se ha visto como los parques eólicos pueden proporcionar nuevas áreas de hábitat para la vida silvestre, que se benefician de los paisajes abiertos (Schuster et al., 2015). Aquí vale la pena decir, que estos sitios pueden crear nuevos hábitats para aves y murciélagos, especialmente en áreas donde la agricultura intensiva ha degradado los hábitats naturales (Hötker et al., 2006).

La vegetación también se ha visto beneficiada y juega un papel importante en los parques eólicos, debido a que se construyen en áreas con poca cobertura vegetal, teniendo poca remoción, proporcionando un hábitat para la fauna local, reducción de ruido por los aerogeneradores y mejorar la apariencia estética del parque (European Commission, 2014). Por ejemplo, algunas comunidades vegetales que se pueden beneficiar son los pastizales, puesto que, los parques eólicos proporcionan hábitats favorables para especies de pasto, se generan microclimas que reducen el estrés por sequía y promueven el crecimiento de plantas (Oteros-Rozas et al., 2014). Sin embargo, se debe tomar en cuenta la ubicación, el diseño y la gestión adecuada de los parques eólicos para minimizar los impactos negativos sobre la vegetación.

Se ha visto como la industria eólica muestra apoyos económicos a la conservación del ambiente y sus especies amenazadas, proporcionando financiamientos para diferentes proyectos de conservación, incluyendo programas de restauración de hábitats, la creación de reservas naturales y oportunidades para la investigación (Kaldellis et al., 2013; Hötker et al., 2006).

## **2.4 Mamíferos terrestres en parques eólicos**

El enfoque es dirigido a mamíferos terrestres no voladores. Un primer aspecto de los parques eólicos es contar con regulaciones y estudios ambientales, donde destaca el enfoque a mamíferos por su importancia ecológica (Jenner et al., 2011; Bevanger et al., 2010; Arnett et al., 2008). No obstante, raramente le dan importancia en evaluaciones ambientales (Helldin et al., 2012; Lundberg, 2011). Por consiguiente, se tiene poco

conocimiento acerca de la relación y efectos que pueden desarrollar comunidades de mamíferos dentro de los parques eólicos (Helldin et al., 2012). De manera que, se necesita realizar más atención a su relación (Jenner et al., 2011; Arnett et al., 2008).

De acuerdo con Helldin et al. (2012), el mayor impacto de la energía eólica en los mamíferos terrestres depende de cada proyecto, su tamaño, ubicación, fase del proyecto (construcción, operación, mantenimiento) y factores indirectos, principalmente la perturbación humana.

Sumado a lo anterior, en la fase de construcción, se ha observado mamíferos como carnívoros y ungulados, pueden evitar temporalmente los parques eólicos, lo que conduce a una disminución de la calidad del hábitat; pero cuando cesa la construcción y la presencia humana, estos animales se aclimatan a la infraestructura de energía eólica (Helldin et al., 2012; Walter et al., 2006).

Los impactos ecológicos que pueden surgir incluyen los llamados efectos en cascada, donde el ecosistema se ve afectado debido al cambio en las interacciones ecológicas. Lo que significa que, al afectar una especie, se afecta a muchas otras, generando un efecto en las diferentes interacciones (ej. competencia, depredación, herbivoría, dispersión de semillas) (Begon et al., 1996).

Por último, cabe mencionar la importancia que, uno de los grupos más estudiados y afectados dentro de los mamíferos son los quirópteros (murciélagos), siendo vulnerables a volar cerca de turbinas eólicas, ocasionando colisiones y barotraumas (daño en pulmones por cambios de presión del aire) a los individuos, afectando poblaciones, sus rutas migratorias y servicios ecosistémicos de gran importancia como la polinización (Arnett et al., 2008). De modo que, se han generado estrategias para mitigar este efecto, como dispositivos acústicos y reducción de velocidad de hélices en vientos bajos, sin embargo, no sirven para todas las especies (Bennun et al., 2021; Arnett et al., 2011).

#### **2.4.1 Efectos espaciales**

Los efectos espaciales se refieren a variaciones en la composición y distribución de la comunidad de mamíferos dentro de un área geográfica específica; relacionado a cambios ambientales y geográficos, que influyen en la presencia y abundancia de diferentes

especies de mamíferos (Rodríguez et al., 2003; Ronca, 2003). En muchas ocasiones estos efectos se presentan por actividades antropogénicas (Pérez-Irineo et al., 2021). Tal es el caso de los parques eólicos, por lo que los efectos mencionados a continuación son derivados de ellos.

Uno de los grupos de importancia son los ungulados (venados, borregos, pécaris), y se ha registrado como pueden ser afectados espacialmente por la construcción y operación de los parques eólicos, así como por el ruido y la presencia humana asociados con ellos, generando desplazamientos y afectando además las interacciones con sus depredadores (Bevanger et al., 2010). Dentro de los cuales destacan los carnívoros topes como algunos canidos, Álvares et al. (2011), menciona que en lobos europeos (*Canis lupus*), ha habido cambios importantes en patrones de movimiento, desplazamiento, el uso del hábitat (selección y fidelidad), búsqueda de comida, sitios de reproducción y el mismo éxito reproductivo. Puesto que, a mayor número de aerogeneradores en parques eólicos, la presencia de lobos reduce. Estas respuestas conductuales y espaciales pueden limitar la conectividad entre territorios de manadas, aumentando la inestabilidad reproductiva, especialmente en paisajes ya altamente antropizados (May & Bevanger, 2011).

Otro grupo del cual se conocen algunos efectos espaciales, son los mesocarnívoros, ocupando un lugar intermedio en la cadena alimenticia (ej. coyote, mapache, lince, zorros). Se vio como la instalación de proyectos eólicos, influye el comportamiento de lince (*Lynx Rufus*) coyote (*Canis latrans*), zorro gris (*Urocyon cinereoargenteus*) y zorrillo manchado occidental (*Spilogale gracilis*) mostrando afectaciones al momento de la búsqueda de presas en madrigueras, debido al ruido y vibraciones de infraestructura eólica (Agha et al., 2017). Aunque, se sabe que algunos mesocarnívoros pueden sacar provecho a la situación, se habitúan a los ruidos y ocasionalmente comen carroña que se encuentra debajo de los aerogeneradores (Smallwood et al., 2010).

Pasemos a el grupo de mamíferos pequeños, donde se conoce relativamente poco los efectos espaciales que presentan. Un estudio midió la gradiente de impacto (IG) sobre los posibles impactos de parques eólicos en la comunidad de roedores, con relación a la distancia de los aerogeneradores, donde no se vio en efecto claro (De Lucas, Janss & Ferrer, 2005). Su estudio muestra que las instalaciones de parques eólicos no afectaron

claramente a las poblaciones de pequeños mamíferos, por lo que la presencia de aerogeneradores no parece ser un problema significativo para estas poblaciones. Sumando a lo anterior, según Lopucki y Mróz (2016), también determinaron que no había diferencias en las características de las comunidades de pequeños mamíferos cerca de aerogeneradores, al mismo tiempo utilizaron sitios de control, donde observaron que estaban habitados por un número similar de especies, abundancia, composición, diversidad (índice  $H'$ ) y uniformidad de especies ( $J'$ ) (índice de Pielou).

Estudios determinaron que los caminos de grava pequeños y de bajo volumen pueden representar barreras significativas de movimiento para los roedores pequeños (Rico et al., 2007; Kozel & Fleharty 1979; Swihart & Slade 1984). Algunos roedores pequeños corren el riesgo de ser depredados al momento de cruzar caminos pequeños con poco tráfico, debido a la falta de vegetación protectora (Brehme et al., 2011).

#### **2.4.2 Efectos temporales**

El tema por desarrollar se enfoca en efectos temporales dentro de las comunidades de mamíferos, en los cuales toman en cuenta factores temporales, como el clima, variabilidad en disponibilidad de recursos, cambio en riqueza y composición de especies (Pozo-Montuy et al., 2019). Estos efectos son cruciales para comprender la dinámica de las comunidades de mamíferos y su adaptación a entornos en constante cambio, principalmente por efectos antropogénicos (Pérez-Irineo et al., 2021). Como los que se mencionaran a continuación, derivados de proyecto eólicos, lo cuales cuentan con una serie de fases que generan diferentes escenarios dentro del terreno a lo largo del tiempo. Pudiendo afectar tanto negativamente como positivamente la dinámica de las comunidades de mamíferos (De Matos, 2018; Sirén et al., 2017).

En relación con efectos temporales, Skarin et al. (2015) mencionan que, la fase de construcción de un parque eólico en Suecia, provoco una reducción en el uso de hábitat de renos (*Rangifer tarandus*), evitando el área en escala regional y paisajística, cambiando sus corredores de migración. A pesar de todo lo mencionado anteriormente, se han visto especies que no muestran efectos temporales, Walter et al. (2006), estudiaron la respuesta de los alces (*Cervus elaphus*) en las distintas fases de un proyecto de energía eólica en Oklahoma, donde no se vieron afectados negativamente, determinándolo por medio de la

calidad de dieta y su área distribución, ni un alce abandono el sitio de estudio y, además utilizaron los caminos del parque eólico.

Ahora bien, los depredadores topes suelen ser muy sensibles al cambio de suelo y la actividad e infraestructura humana (Berger, 2007; Nellemann et al. 2007; May et al. 2006; Creel et al. 2002). Ya se ha identificado en América, que la expansión de energía eólica amenaza felinos de gran tamaño como el puma (*Puma concolor*) y el jaguar (*Panthera onca*), los cuales evitan las zonas, alterando su desplazamiento anual (Azevedo et al., 2013 y Paula et al., 2012). Sumado a lo anterior, De Matos (2018), evaluó la probabilidad de ocupación de dos felinos con relación a parques eólicos, siendo el jaguar el que presento una correlación negativa con la distancia a parques eólicos, evitando estas zonas. Sin embargo, el otro felino de menor tamaño yaguarundi (*Herpailurus yagouaroundi*), presento una correlación positiva a la distancia de parques eólicos, ocupando estas zonas.

Los parques eólicos tienen el potencial de aumentar el acceso a carnívoros más generalistas, tal es el caso del zorro rojo europeo (*Vulpes vulpes*) donde no sufrió afectaciones por los parques eólicos (Łopucki et al., 2017). En otro estudio similar se vio al zorro rojo americano (*Vulpes fulva*) extendiendo su hábitat, aprovechando los recursos e infraestructuras (caminos) de parques eólicos (Sirén et al., 2017).

## **2.5 Aspectos de conservación de mamíferos en parques eólicos en México**

Los parques eólicos en México pueden tener impactos significativos en la fauna local, especialmente en los mamíferos. Se deben tomar aspectos antes de su instalación como, evaluaciones de impacto ambiental para identificar los posibles efectos negativos en la fauna local y planificar medidas de mitigación adecuadas (Mendoza et al., 2019).

El diseño y ubicación de las turbinas eólicas es importante para minimizar los impactos en la fauna silvestre. Por ejemplo, la distancia entre las turbinas debe ser suficiente para permitir que los mamíferos se muevan libremente sin interferencias (SEMARNAT, 2012). Los aerogeneradores se deben ubicar en zonas donde no haya rutas migratorias ni zonas de desplazamiento de la fauna silvestre, en busca de reducción de impacto en los diferentes hábitats (SEMARNAT, 2012; Barrios et al., 2011).

Se deben implementar medidas de mitigación adecuadas para reducir el impacto del parque eólico en los mamíferos. Algunas medidas pueden incluir la colocación de barreras físicas para evitar que los animales entren en el área del parque eólico, la iluminación nocturna mínima para evitar la desorientación de los murciélagos y la reducción de la velocidad de las turbinas durante los periodos de migración de aves (Cruz-López et al., 2020; SEMARNAT, 2012).

Además, el realizar monitoreos y seguimientos de la fauna silvestre antes, durante y después de la construcción y operación del parque eólico. Según la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) de México, el monitoreo y seguimiento debe ser constante y sistemático para detectar cualquier impacto sobre la fauna silvestre y tomar medidas oportunas para mitigarlo (CONANP, 2013). Se utilizan para evaluar el impacto real del parque en los mamíferos y ajustar las medidas de mitigación en consecuencia (Manzano-Rivera et al., 2021; Palmero-López et al., 2020). Es fundamental proteger los hábitats de los mamíferos cercanos al parque eólico para minimizar el impacto negativo en su distribución y comportamiento (Arroyo-Arce et al., 2020).



### **3. JUSTIFICACIÓN**

El constante desarrollo de energía eólica en el mundo es imparable, es parte de la transición hacia fuentes de energía limpias y sostenibles, en busca de un frente al cambio climático y calentamiento global. Sin embargo, estos proyectos eólicos, deben tomar en cuenta sus posibles impactos ambientales. Este estudio se enfoca en determinar los efectos espaciales y temporales sobre las comunidades de mamíferos terrestres (no voladores) dentro de un proyecto de energía eólica en Altiplano Mexicano. Se escogió este grupo debido a su gran importancia ecológica en México. Se busca una gestión sostenible al promover una conciencia más amplia sobre la importancia ecológica de los mamíferos y de equilibrar las necesidades energéticas con la protección de los ecosistemas y las especies. El presente trabajo busca contribuir con información base sobre la afectación de la energía eólica hacia las comunidades de mamíferos, lo cual coadyuvará a el desarrollo de estrategias, futuras medidas de mitigación y mejores prácticas para reducir los impactos negativos en los mamíferos de México y otras regiones del mundo donde hay energía eólica, y de esta manera poder demostrar que es posible implementar proyectos de energía renovable de manera compatible con la conservación de la biodiversidad.

#### **4. HIPOTESIS**

Existe un variación espacial y temporal en la estructura de la comunidad de mamíferos terrestres, dentro de un proyecto de energía eólica en el altiplano norte, influenciado por sus diferentes etapas de desarrollo.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo general**

Determinar la variación en la diversidad y composición de la comunidad de mamíferos terrestres durante la etapa de preconstrucción, construcción y operación dentro de un proyecto de energía eólica.

### **5.2 Objetivos particulares**

- Realizar un muestreo multianual de las comunidades de fauna terrestre presentes durante las diferentes etapas de desarrollo del proyecto de energía eólica (preconstrucción, construcción y operación).
- Elaborar un listado de mamíferos terrestres, determinando su estado de conservación.
- Evaluar el cambio de abundancias y diversidad de la comunidad de mamíferos entre las etapas del proyecto (preconstrucción, construcción y operación).
- Aplicar la clasificación supervisada en la vegetación del proyecto eólico como una línea base para el monitoreo en el cambio del suelo.

## 6. MATERIAL Y MÉTODOS

### 6.1 Área de estudio

El área de estudio (Fig. 1) se sitúa en el municipio General Cepeda, en colindancia con Ramos Arizpe, al Oeste del poblado Hipólito, en el estado de Coahuila. Se localiza a 46 km al Noroeste de Saltillo por la carretera libre Federal No. 40.

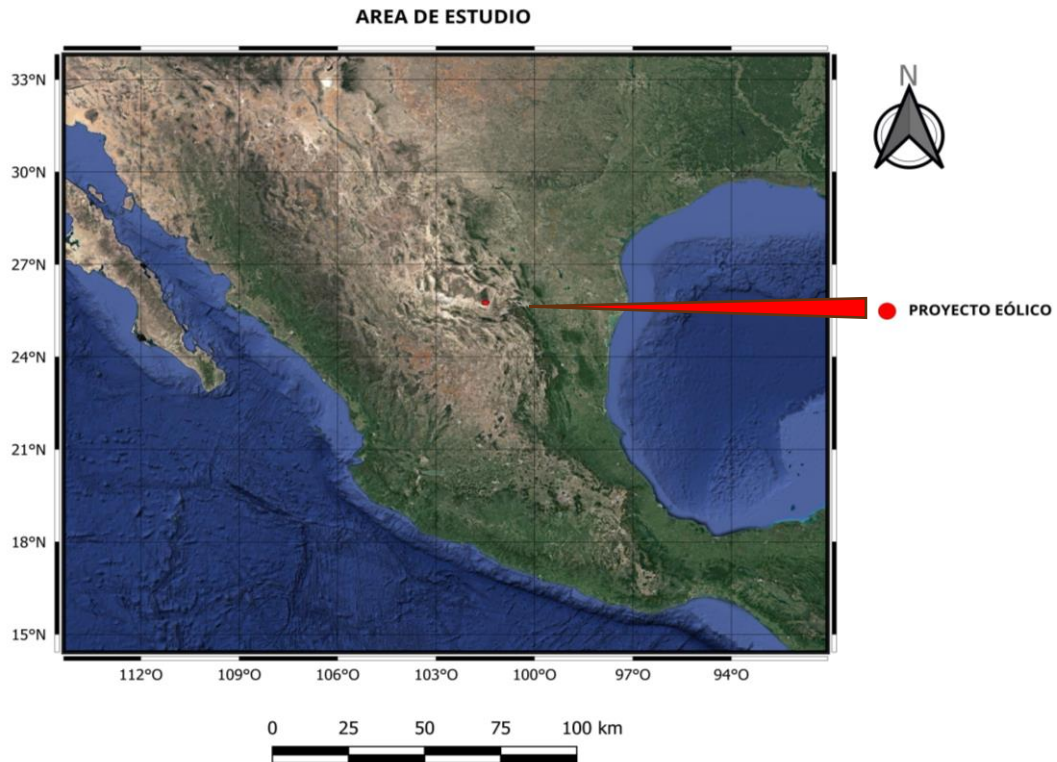


Figura 1. Área de estudio.

#### 6.1.1 Clima

El clima de la región es semiárido, con una temperatura media anual de alrededor de 20.4 °C y una precipitación media anual de aproximadamente 164.1 mm (SMN, 2023).

#### 6.1.2 Flora y Fauna

La vegetación predominante corresponde al matorral desértico rosetófilo y matorral desértico micrófilo (INEGI, 2021). La fauna de la región incluye especies como, venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), lince (*Lynx rufus*), coyote (*Canis latrans*), zorrillo (*Conepatus leuconotus*), tejón americano (*Taxidea taxus*), serpientes de cascabel (*Crotalus sp.*) y diversas especies de aves y reptiles (CONABIO, 2021).

## 6.2 Trabajo de campo

Los muestreos se realizaron estacionalmente durante los meses de lluvias (septiembre, octubre y noviembre) y en las distintas etapas del proyecto (preconstrucción, construcción y el primer año de operación).

Para el registro de mamíferos se aplicaron dos métodos, los directos (avistamientos por transectos) y los indirectos como cualquier tipo de indicio que dejan los mamíferos durante sus actividades (ej. excretas, huellas, madrigueras).

### 6.2.1 Métodos directos

Se establecieron un total de 32 transectos lineales (Fig. 2) de 1 km de largo, los cuales se recorrieron dos veces en la temporada de lluvias, uno en la mañana (6:00 -10:00 h) y otro durante la noche (18:00-22:00 h).

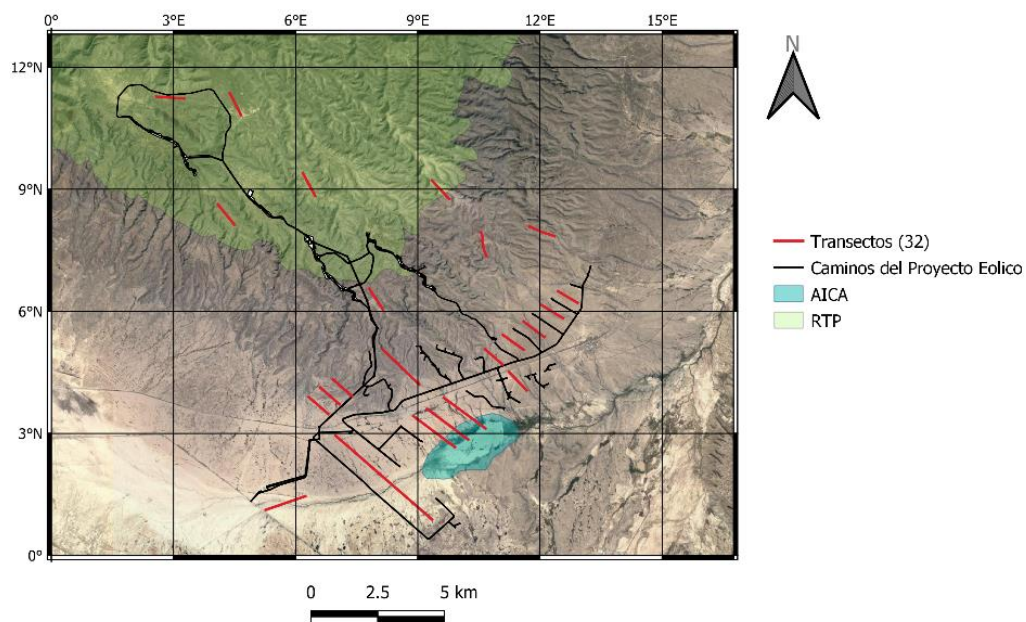


Figura 2. Transectos dentro del proyecto eólico.

Los transectos fueron ubicados procurando abarcar los diferentes hábitats presentes en el área de estudio, esperando de esta manera registrar con mayor probabilidad todas las especies presentes. Cada transecto fue recorrido con la ayuda de un GPS, al inicio de cada recorrido se registraron datos generales, como fecha, número de transecto, hora de inicio y hora final del recorrido.

Se recorrieron lentamente, para cada evento de detección se registró el nombre de la especie, además se toma la distancia entre el animal y el observador, con ayuda de un distanciómetro (distancia radial) y el ángulo formado entre la distancia radial y el centro del transecto, esto con la finalidad de poder calcular la distancia perpendicular desde el animal al transecto.

### **6.2.2 Métodos Indirectos**

La presencia de los mamíferos terrestres se registró mediante métodos directos durante los recorridos de transectos diurnos y nocturnos; sin embargo, debido a que las observaciones directas de muchas especies de mamíferos suelen ser eventos ocasionales y muy raros, se aplicaron técnicas indirectas, esto por medio de rastros, como lo son huellas, excretas, comederos, huesos, madrigueras, o cualquier indicio de actividad que proporcionara información suficiente para determinar la especie. Los rastros que no permitieron la identificación a nivel de especie fueron descartados.

### **6.2.3 Clasificación supervisada**

Se seleccionaron las áreas de entrenamiento (172 puntos) dentro del muestreo de mamíferos de forma aleatoria, en donde se identificaron las clases de interés, en este caso el tipo de suelo y vegetación, tomando datos como la cobertura, vegetación predominante, especies vegetales, todo dentro de un rango de cinco metros.

Para el etiquetado de clases se asignaron tipos de vegetación cada punto de entrenamiento con la asociación a la que pertenece (vegetación). Después se seleccionó un complemento de clasificación supervisada disponible en QGIS (SCP Semi-Automatic Classification Plugin). Con ello se elige el entrenamiento del modelo, utilizando los puntos de entrenamiento etiquetados para entrenar el clasificador y generar un modelo de clasificación. La aplicación del modelo clasifica toda la imagen de acuerdo con las clases definidas en el paso de entrenamiento.

Se evaluó y verificó de manera visual, la clasificación para identificar áreas problemáticas o errores potenciales, ya que se conoce el sitio. Por último, se hicieron ajustes y mejoras, en los casos con errores significativos, se ajustaron los parámetros del clasificador y/o se agregaron más puntos de entrenamiento para mejorar la precisión.

## **6.3 Análisis de datos**

### **6.3.1 Identificación de especies**

Se utilizaron guías y claves para la identificación de mamíferos de México (Álvarez-Castañeda et al., 2017; Sánchez et al., 2015), para métodos directos como indirectos. Además, se empleó un manual de rastreo de mamíferos (Aranda-Sánchez, 2012), para complementar los métodos indirectos y poder identificar rastros o como, huellas, excretas, comederos, huesos, madrigueras, o cualquier indicio de actividad que proporcione información suficiente para identificar especies.

### **6.3.2 Exploración de datos**

Se revisaron los datos para identificar valores atípicos, evaluar la distribución de los datos, la independencia y las relaciones entre las variables independientes y dependientes. Una vez finalizada esta exploración inicial, se describió el esfuerzo de monitoreo en función al número de repeticiones de los transectos, el número de kilómetros totales recorridos y el número de horas totales invertidas en el monitoreo.

## **6.4 Análisis estadístico**

Todos los parámetros se calcularon en la temporada de lluvias y por fase de proyecto (preconstrucción, construcción y operación).

### **6.4.1 Riqueza y Representatividad**

Con la información obtenida a través de las observaciones, se utilizó el programa EstimateS 9.1 (Colwell, 2006) para generar una curva de acumulación especies con intervalos de confianza de 95% (Colwell et al., 2004; Colwell et al., 2012) y verificar que se alcance la asíntota.

Se calculó el índice de completitud para evaluar la representatividad del muestreo. Además, se utilizaron los estimadores de riqueza basados en abundancia y/o en presencia dependiendo del tipo de muestreo: Chao y Chao 2 (Chao, 1984).

### **6.4.2 Diversidad**

Se calculó el índice de diversidad de Simpson (1949) utilizando la función diversity del paquete vegan en R (R Core Team, 2023; Oksanen, 2013) por etapa y para cada transecto

(32), por fase (preconstrucción, construcción y operación) y se compararon mediante una prueba de ANOVA para determinar si al menos uno de ellos es significativamente diferente de los demás utilizando la función `aov` en el software R (R Core Team, 2023).

#### **6.4.3 Abundancias relativas y su frecuencia de presencia**

Para cada especie se calculó dentro de las diferentes fases su abundancia relativa (AR) y su frecuencia de presencia (porcentaje en los que la especie fue detectada) utilizando el software R (R Core Team, 2023).

Además, se realizó un análisis de PERMANOVA (Permutational multivariate análisis of variance) en las abundancias de la comunidad de mamíferos, utilizando la función `adonis2` del paquete `vegan` en R (R Core Team, 2023; Oksanen, 2013; Anderson, 2001), para evaluar el efecto de las fases del proyecto (preconstrucción, construcción, operación) en la composición de especies. La prueba se ejecutó con 9999 permutaciones para determinar si las diferencias en la composición de especies entre las fases eran estadísticamente significativas.

Para evaluar las diferencias en la composición de especies entre las etapas del estudio (preconstrucción, construcción y operaciones), se utilizó un análisis de comparación múltiple por pares mediante la función `pairwise.adonis` en el software R (R Core Team, 2023). Este enfoque permite realizar pruebas de permutación multivariante para todas las combinaciones posibles de pares de grupos definidos, utilizando el procedimiento de permutaciones basado en el análisis PERMANOVA (Anderson, 2001). Este método se ha implementado ampliamente en estudios ecológicos para comparar la disimilitud en la composición de comunidades entre múltiples grupos. En este análisis, se calcularon los estadísticos de prueba (F.Model) para cada comparación de pares de etapas: Construcción vs. Operaciones, Construcción vs. Pre-Construcción, y Operaciones vs. Pre-Construcción

Por último, se realizó un análisis SIMPER (Similarity Percentage) se utiliza para identificar las especies que más contribuyen a las diferencias en la composición entre grupos predefinidos, en este caso, entre las etapas de desarrollo: construcción, operación y preconstrucción. Se utilizó el comando `simper` en R (R Core Team, 2023), ejecutado con 999 permutaciones para obtener una estimación robusta de la significancia de los resultados. Con el objetivo de desglosar las contribuciones individuales de cada especie a



las diferencias en la composición de las comunidades de mamíferos en cada par de etapas: construcción vs. operaciones, construcción vs. preconstrucción, y operaciones vs. preconstrucción. Especialmente útil en estudios ecológicos donde se busca comprender cómo y por qué cambian las comunidades biológicas bajo diferentes condiciones ambientales o de manejo.

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Muestreo multianual durante las diferentes etapas de desarrollo del proyecto de energía eólica

El muestreo multianual realizado es fundamental para presentar una línea base que permita evaluar los efectos de las perturbaciones de proyectos eólicos en la biodiversidad.

Los transectos (Tabla 1) se realizaron en los mismos sitios durante las diferentes etapas y temporadas dentro del proyecto eólico.

Tabla 1. Coordenadas de los transectos.

| Transecto    | Distancia | X      | Y       | Vértice | Transecto    | Distancia | X      | Y       | Vértice |
|--------------|-----------|--------|---------|---------|--------------|-----------|--------|---------|---------|
| Transecto 01 | 999       | 258494 | 2846282 | Inicial | Transecto 17 | 1000      | 253542 | 2841366 | Inicial |
| Transecto 01 | 999       | 257671 | 2846848 | Final   | Transecto 17 | 1000      | 254301 | 2840715 | Final   |
| Transecto 02 | 1000      | 257936 | 2845657 | Inicial | Transecto 18 | 1000      | 252275 | 2841719 | Inicial |
| Transecto 02 | 1000      | 257121 | 2846237 | Final   | Transecto 18 | 1000      | 253034 | 2841068 | Final   |
| Transecto 03 | 1000      | 257220 | 2844896 | Inicial | Transecto 19 | 1000      | 253034 | 2841068 | Inicial |
| Transecto 03 | 1000      | 256463 | 2845550 | Final   | Transecto 19 | 1000      | 253794 | 2840417 | Final   |
| Transecto 04 | 1000      | 256449 | 2844383 | Inicial | Transecto 20 | 1000      | 252889 | 2837441 | Inicial |
| Transecto 04 | 1000      | 255673 | 2845013 | Final   | Transecto 20 | 1000      | 252181 | 2838146 | Final   |
| Transecto 05 | 1000      | 255644 | 2843790 | Inicial | Transecto 21 | 1000      | 252181 | 2838146 | Inicial |
| Transecto 05 | 1000      | 254936 | 2844496 | Final   | Transecto 21 | 1000      | 251472 | 2838852 | Final   |
| Transecto 06 | 1000      | 256520 | 2842705 | Inicial | Transecto 22 | 1000      | 251472 | 2838852 | Inicial |
| Transecto 06 | 1000      | 255883 | 2843476 | Final   | Transecto 22 | 1000      | 250764 | 2839558 | Final   |
| Transecto 07 | 1000      | 252509 | 2843023 | Inicial | Transecto 23 | 1000      | 250764 | 2839558 | Inicial |
| Transecto 07 | 1000      | 251838 | 2843764 | Final   | Transecto 23 | 1000      | 250055 | 2840263 | Final   |
| Transecto 08 | 1000      | 251838 | 2843764 | Inicial | Transecto 24 | 1000      | 250055 | 2840263 | Inicial |
| Transecto 08 | 1000      | 251167 | 2844506 | Final   | Transecto 24 | 1000      | 249347 | 2840969 | Final   |
| Transecto 09 | 1000      | 249994 | 2842590 | Inicial | Transecto 25 | 1000      | 243950 | 2854991 | Inicial |
| Transecto 09 | 1000      | 249287 | 2843297 | Final   | Transecto 25 | 1000      | 242939 | 2855088 | Final   |
| Transecto 10 | 1000      | 249517 | 2842262 | Inicial | Transecto 26 | 1000      | 245665 | 2855182 | Inicial |
| Transecto 10 | 1000      | 248810 | 2842969 | Final   | Transecto 26 | 1000      | 246066 | 2854265 | Final   |
| Transecto 11 | 1000      | 249084 | 2841874 | Inicial | Transecto 27 | 1000      | 245148 | 2850572 | Inicial |
| Transecto 11 | 1000      | 248377 | 2842581 | Final   | Transecto 27 | 1000      | 245727 | 2849752 | Final   |
| Transecto 12 | 1001      | 247921 | 2839492 | Inicial | Transecto 28 | 1000      | 248768 | 2850884 | Inicial |
| Transecto 12 | 1001      | 248101 | 2840476 | Final   | Transecto 28 | 1000      | 248344 | 2851797 | Final   |
| Transecto 13 | 1000      | 247227 | 2838153 | Inicial | Transecto 29 | 1000      | 251217 | 2846142 | Inicial |
| Transecto 13 | 1000      | 248168 | 2838492 | Final   | Transecto 29 | 1000      | 250721 | 2847010 | Final   |
| Transecto 14 | 1000      | 253429 | 2842453 | Inicial | Transecto 30 | 999       | 253780 | 2850661 | Inicial |
| Transecto 14 | 1000      | 254193 | 2841808 | Final   | Transecto 30 | 999       | 253147 | 2851431 | Final   |
| Transecto 15 | 1000      | 254193 | 2841808 | Inicial | Transecto 31 | 1000      | 254943 | 2849241 | Inicial |
| Transecto 15 | 1000      | 254958 | 2841163 | Final   | Transecto 31 | 1000      | 255124 | 2848263 | Final   |

|              |      |        |         |         |              |      |        |         |         |
|--------------|------|--------|---------|---------|--------------|------|--------|---------|---------|
| Transecto 16 | 1000 | 252783 | 2842017 | Inicial | Transecto 32 | 1000 | 256755 | 2849470 | Inicial |
| Transecto 16 | 1000 | 253542 | 2841366 | Final   | Transecto 32 | 1000 | 257669 | 2849058 | Final   |

Se registraron un total de 1197 registros de mamíferos, los cuales pertenecen a cinco ordenes, 12 familias y 20 géneros (Tabla 2). La fase de preconstrucción registro 18 especies (Tabla 3), en construcción se registraron 17 especies (Tabla 4) y operaciones fuera la que tuvo mayores registros con 20 especies (Tabla 5), siendo esta última fase la que tuvo un muestreo de solo un año.

Tabla 2. Registro de mamíferos presentes.

| Fase            | Registros |
|-----------------|-----------|
| Preconstrucción | 585       |
| Construcción    | 320       |
| Operación       | 292       |
| Total           | 1197      |

Tabla 3. Especies de mamíferos registradas (18) en la fase de preconstrucción.

| Orden        | Familia      | Especie                           | Nombre común            |
|--------------|--------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Artiodactyla | Cervidae     | <i>Odocoileus virginianus</i>     | Venado cola blanca      |
| Artiodactyla | Tayassuidae  | <i>Pecari tajacu</i>              | Pecarí de collar        |
| Carnivora    | Canidae      | <i>Vulpes macrotis</i>            | Zorra norteña           |
| Carnivora    | Canidae      | <i>Canis latrans</i>              | Coyote                  |
| Carnivora    | Canidae      | <i>Urocyon cinereoargenteus</i>   | Zorra gris              |
| Carnivora    | Felidae      | <i>Lynx rufus</i>                 | Lince                   |
| Carnivora    | Mephitidae   | <i>Conepatus leuconotus</i>       | Zorrillo espalda blanca |
| Carnivora    | Mustelidae   | <i>Taxidea taxus</i>              | Tejón                   |
| Carnivora    | Procyonidae  | <i>Procyon lotor</i>              | Mapache                 |
| Carnivora    | Procyonidae  | <i>Bassariscus astutus</i>        | Cacomixtle norteño      |
| Lagomorpha   | Leporidae    | <i>Lepus californicus</i>         | Liebre cola negra       |
| Lagomorpha   | Leporidae    | <i>Sylvilagus audubonii</i>       | Conejo de desierto      |
| Rodentia     | Cricetidae   | <i>Neotoma micropus</i>           | Rata de campo           |
| Rodentia     | Cricetidae   | <i>Peromyscus eremicus</i>        | Ratón de cactus         |
| Rodentia     | Heteromyidae | <i>Chaetodipus sp.</i>            | Ratón de abazones       |
| Rodentia     | Heteromyidae | <i>Dipodomys merriami</i>         | Rata canguro de merriam |
| Rodentia     | Sciuridae    | <i>Ictidomys parvidens</i>        | Ardilla de tierra       |
| Rodentia     | Sciuridae    | <i>Otospermophilus variegatus</i> | Ardillon                |

Tabla 4. Especies de mamíferos registradas (17) en la fase de construcción.

| Orden        | Familia      | Especie                         | Nombre común            |
|--------------|--------------|---------------------------------|-------------------------|
| Artiodactyla | Cervidae     | <i>Odocoileus virginianus</i>   | Venado Cola Blanca      |
| Artiodactyla | Tayassuidae  | <i>Pecari tajacu</i>            | Pecarí de collar        |
| Carnivora    | Canidae      | <i>Canis latrans</i>            | Coyote                  |
| Carnivora    | Canidae      | <i>Vulpes macrotis</i>          | Zorra norteaña          |
| Carnivora    | Canidae      | <i>Urocyon cinereoargenteus</i> | Zorra gris              |
| Carnivora    | Felidae      | <i>Lynx Rufus</i>               | Lince                   |
| Carnívora    | Ursidae      | <i>Ursus americanus</i>         | Oso negro               |
| Carnívora    | Mephitidae   | <i>Mephitis macroura</i>        | Zorrillo listado sureño |
| Carnívora    | Procyonidae  | <i>Procyon lotor</i>            | Mapache                 |
| Carnivora    | Procyonidae  | <i>Bassariscus astutus</i>      | Cacomixtle norteaño     |
| Lagomorpha   | Leporidae    | <i>Lepus californicus</i>       | Liebre cola negra       |
| Lagomorpha   | Leporidae    | <i>Sylvilagus audubonii</i>     | Conejo de desierto      |
| Rodentia     | Cricetidae   | <i>Neotoma micropus</i>         | Rata de campo           |
| Rodentia     | Cricetidae   | <i>Peromyscus eremicus</i>      | Ratón de cactus         |
| Rodentia     | Sciuridae    | <i>Ictidomys parvidens</i>      | Ardilla de tierra       |
| Rodentia     | Heteromyidae | <i>Chaetodipus sp.</i>          | Ratón de abazones       |
| Rodentia     | Heteromyidae | <i>Dipodomys merriami</i>       | Rata canguro de merriam |

Tabla 5. Especies de mamíferos registradas (20) en la fase de operación.

| Orden        | Familia     | Especie                         | Nombre común            |
|--------------|-------------|---------------------------------|-------------------------|
| Artiodactyla | Cervidae    | <i>Odocoileus virginianus</i>   | Venado cola blanca      |
| Artiodactyla | Tayassuidae | <i>Pecari tajacu</i>            | Pecarí de collar        |
| Carnivora    | Canidae     | <i>Vulpes macrotis</i>          | Zorra norteaña          |
| Carnivora    | Canidae     | <i>Canis latrans</i>            | Coyote                  |
| Carnivora    | Canidae     | <i>Urocyon cinereoargenteus</i> | Zorra gris              |
| Carnivora    | Felidae     | <i>Lynx Rufus</i>               | Lince                   |
| Carnívora    | Ursidae     | <i>Ursus americanus</i>         | Oso negro               |
| Carnivora    | Mephitidae  | <i>Conepatus leuconotus</i>     | Zorrillo espalda blanca |
| Carnivora    | Mephitidae  | <i>Mephitis macroura</i>        | Zorrillo listado sureño |
| Carnivora    | Mustelidae  | <i>Taxidea taxus</i>            | Tejón                   |
| Carnivora    | Procyonidae | <i>Procyon lotor</i>            | Mapache                 |
| Carnivora    | Procyonidae | <i>Bassariscus astutus</i>      | Cacomixtle norteaño     |
| Lagomorpha   | Leporidae   | <i>Lepus californicus</i>       | Liebre cola negra       |
| Lagomorpha   | Leporidae   | <i>Sylvilagus audubonii</i>     | Conejo de desierto      |
| Rodentia     | Cricetidae  | <i>Neotoma micropus</i>         | Rata de campo           |
| Rodentia     | Cricetidae  | <i>Peromyscus eremicus</i>      | Ratón de cactus         |

|          |              |                                   |                         |
|----------|--------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Rodentia | Heteromyidae | <i>Chaetodipus sp.</i>            | Ratón de abazones       |
| Rodentia | Heteromyidae | <i>Dipodomys merriami</i>         | Rata canguro de merriam |
| Rodentia | Sciuridae    | <i>Ictidomys parvidens</i>        | Ardilla de tierra       |
| Rodentia | Sciuridae    | <i>Otospermophilus variegatus</i> | Ardillon                |

## 7.2 Listado de especies determinando su estado de conservación

El estado de conservación se determinó mediante la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, siendo una regulación de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), teniendo como objetivo establecer que especies de flora y fauna silvestre están en riesgo de extinción o categorizarlas según su grado de riesgo.

También se utilizó para determinar el estado de conservación la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), siendo una herramienta reconocida y utilizada a nivel global para evaluar el estado de conservación de especies vegetales y animales en todo el mundo. Calificando a las especies en diferentes categorías según su estado de riesgo.

De los 1197 registros se obtuvo un total de 20 especies de mamíferos, de los cuales cinco están amenazadas (A), una a protección especial (Pr), dos en Peligro de Extinción (P) y los restantes sin categoría de riesgo (SC) dentro de la NOM-059 de la SEMARNAT y todas clasificadas como preocupación menor en la lista roja de IUCN (Tabla 6).

Tabla 6. Listado de especies con categorías de protección por la Norma 059 de la SEMARNAT (Pr= sujeta a protección especial, A= amenazada, P= peligro de extinción, SC= sin categoría) y por la IUCN (LC=preocupación menor).

| Especie                    | Nombre Común            | NOM-059 | IUCN |
|----------------------------|-------------------------|---------|------|
| <i>Bassariscus astutus</i> | Cacomixtle Norteño      | A       | LC   |
| <i>Dipodomys merriami</i>  | Rata canguro de Merriam | A       | LC   |
| <i>Vulpes macrotis</i>     | Zorra norteña           | A       | LC   |
| <i>Chaetodipus sp.</i>     | Ratón de abazones       | P-A-Pr  | LC   |
| <i>Taxidea taxus</i>       | Tejón                   | A       | LC   |
| <i>Ursus americanus</i>    | Oso negro               | P       | LC   |
| <i>Lepus californicus</i>  | Liebre                  | SC      | LC   |

|                                   |                            |    |    |
|-----------------------------------|----------------------------|----|----|
| <i>Canis latrans</i>              | Coyote                     | SC | LC |
| <i>Neotoma micropus</i>           | Rata de campo              | SC | LC |
| <i>Peromyscus eremicus</i>        | Ratón de cactus            | SC | LC |
| <i>Sylvilagus audubonii</i>       | Conejo del desierto        | SC | LC |
| <i>Urocyon cinereoargenteus</i>   | Zorra gris                 | SC | LC |
| <i>Lynx rufus</i>                 | Lince                      | SC | LC |
| <i>Procyon lotor</i>              | Mapache                    | SC | LC |
| <i>Conepatus leuconotus</i>       | Zorrillo de espalda blanca | SC | LC |
| <i>Ictidomys parvidens</i>        | Ardilla de tierra          | SC | LC |
| <i>Odocoileus virginianus</i>     | Venado cola blanca         | SC | LC |
| <i>Otospermophilus variegatus</i> | Ardillón                   | SC | LC |
| <i>Pecari tajacu</i>              | Pecarí de collar           | SC | LC |
| <i>Mephitis macroura</i>          | Zorrillo listado suereño   | SC | LC |

Estas clasificaciones son importantes para la conservación de la biodiversidad en México y para garantizar que las actividades antropogénicas no pongan en riesgo la supervivencia de especies vulnerables. Además, establecen lineamientos de vigilancia y monitoreo de poblaciones, así como la restauración y recuperación de sus hábitats.

### **7.3 Riqueza y representatividad**

La riqueza se refiere al número total de especies de mamíferos presentes en el proyecto de energía eólica, se utilizó los estimadores Chao 1 y 2, siendo una técnica común en ecología para calcular la riqueza de especies en una comunidad, especialmente cuando el muestreo no ha capturado todas las especies presentes o cuando algunas especies son raras y difíciles de detectar. Ambos métodos, están basados en la abundancia de especies observadas y especies raras.

Y la curva de acumulación de especies se utilizó como una herramienta grafica para evaluar la representatividad del muestreo. Si la curva de acumulación de especies alcanza la asíntota, sugiere que el muestreo ha capturado la mayoría de las especies presentes en el área y que la muestra es representativa de la diversidad de especies en ese lugar. Por otro lado, si la curva de acumulación sigue aumentando de forma significativa a medida que se incrementa el esfuerzo de muestreo, esto podría indicar que la muestra no es representativa y que se necesitan más esfuerzos de muestreo para capturar la diversidad completa de especies.

Además, se representa el índice de completitud en cada etapa, evaluando qué tan bien se ha muestreado la comunidad en relación con la diversidad total esperada en el área de estudio. Este índice proporciona una estimación de qué porcentaje de la diversidad total se ha capturado mediante el muestreo, cuando es cercano al 100% indica que se ha muestreado una gran proporción de la diversidad total, mientras que un índice bajo indica que aún falta muestrear una parte significativa de la diversidad.

A continuación, se muestran los valores de riqueza (chao 1, chao2), la representatividad de muestreo de la comunidad de mamíferos mediante curvas de acumulación de especies y el índice de completitud, en cada una de las tres etapas del proyecto durante las temporadas de lluvia.

#### **Preconstrucción**

La estimación de Chao 1 (Fig. 3) sugiere que la riqueza total de especies en el parque eólico es de aproximadamente 20.99 especies, mientras que Chao 2 (Fig. 3) estima una

riqueza de aproximadamente 20.95 especies. Estas riquezas estimadas sugieren una comunidad de mamíferos más diversa de lo que se estimó en el muestreo (18 especies).

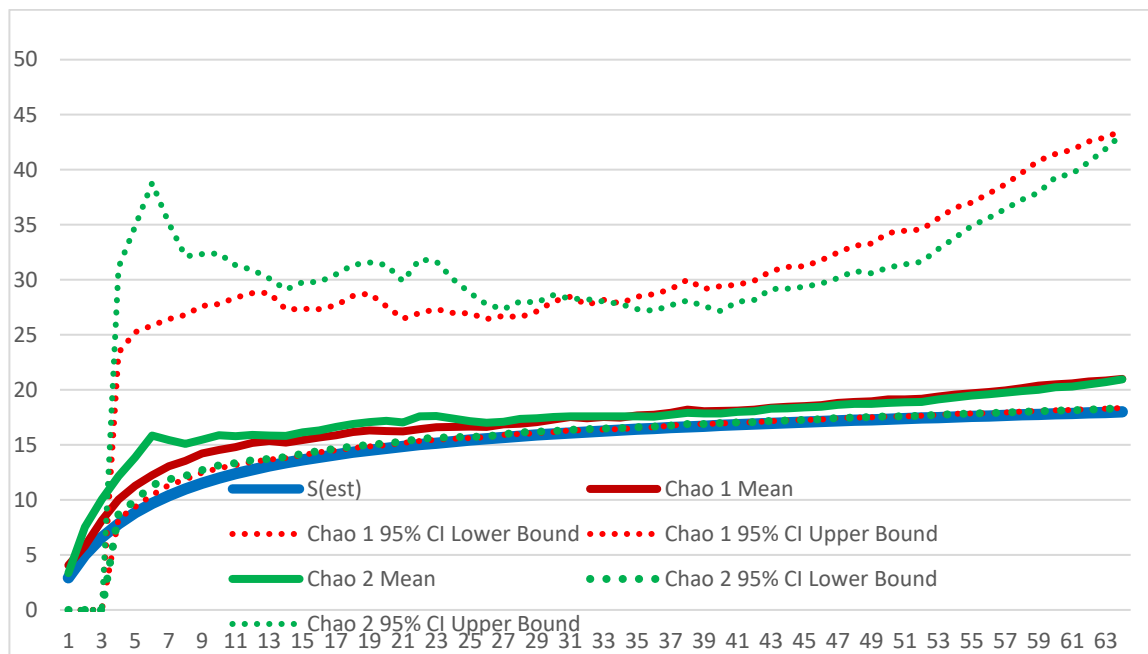


Figura 3. Riqueza estimada por Chao 1 y 2 en la fase de preconstrucción.

Ahora bien, la curva de acumulación de especies en preconstrucción (Fig. 4) muestra el alcance de la asíntota, significando que la mayoría de las especies presentes en el sitio fueron muestreadas, siendo un muestreo representativo.

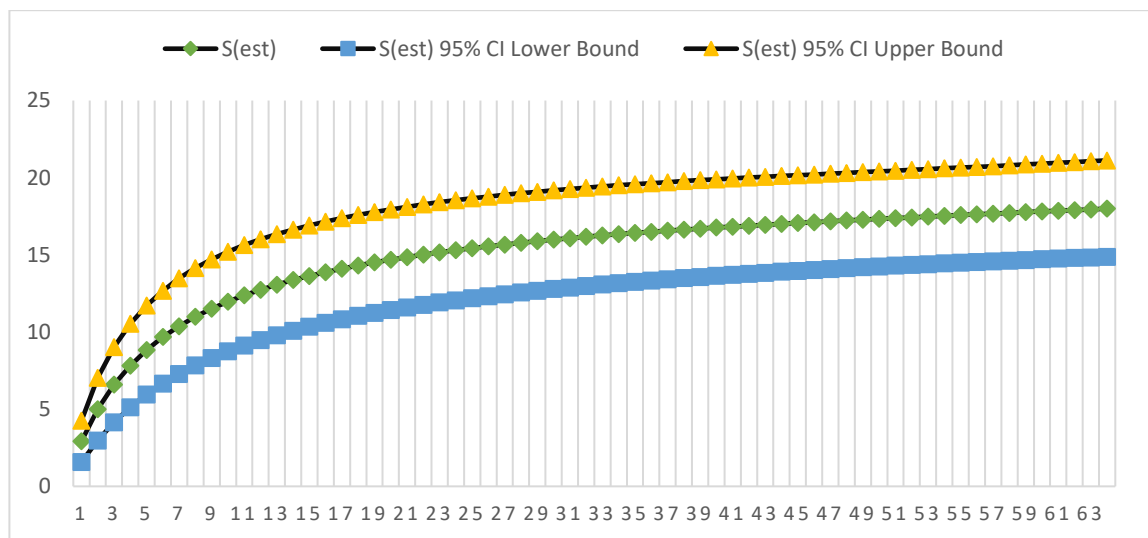


Figura 4. Curva de acumulación de especies alcanzando la asíntota en la fase de preconstrucción.



Por último, el índice de completitud (Tabla 7), muestra una representatividad del 85.76% en Chao 1 y 85.92% en Chao 2. Con estos valores se interpreta que se ha muestreado una gran proporción de la diversidad total esperada, si bien no es el 100%, estos resultados son representativos de la comunidad estudiada.

Tabla 7. Índice de completitud por medio de la riqueza estimada y representatividad de la fase de preconstrucción.

|                     | Riqueza estimada | Representatividad |
|---------------------|------------------|-------------------|
| Estimada (muestreo) | 18               |                   |
| Chao 1              | 20.99            | 85.76%            |
| Chao 2              | 20.95            | 85.92%            |

## Construcción

La estimación de Chao 1 (Fig. 5) sugiere que la riqueza total de especies en el parque eólico es de aproximadamente 17.33 especies, mientras que Chao 2 (Fig. 5) estima una riqueza de aproximadamente 17.23 especies. El muestreo mostro un total de 17 especies, siendo igual a los estimados. Cabe aclarar que esta fase de construcción es en la que menos especies se detectaron, siendo esta la que mayor perturbación genera en el hábitat.

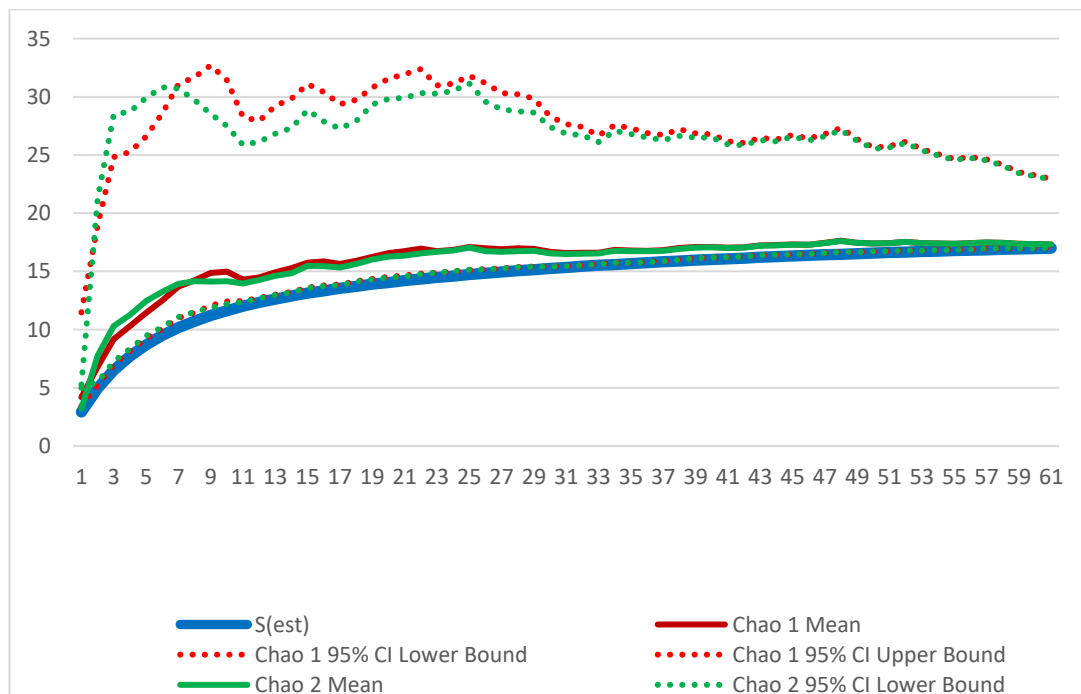


Figura 5. Riqueza estimada por Chao 1 y 2 en la fase de construcción.

La curva de acumulación de especies en la etapa de construcción (Fig. 6) muestra un alcance de la asíntota, significando que la mayoría de las especies presentes en el sitio fueron muestreadas, conformando un muestreo representativo aun con menos especies que la etapa de preconstrucción.

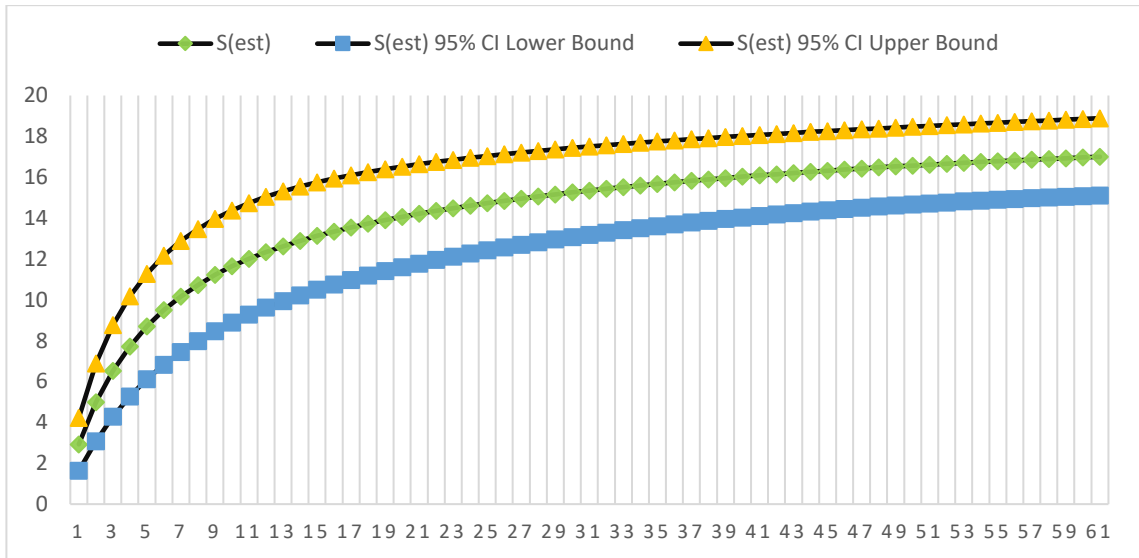


Figura 6. Curva de acumulación de especies alcanzando la asíntota en la fase de construcción.

En construcción el índice de completitud (Tabla 8) muestra una representatividad del 98.09% en Chao 1 y 98.66% en Chao 2. Estos valores interpretan un muestreo representativo de casi 100% en la comunidad estudiada.

Tabla 8. Índice de completitud por medio de la riqueza estimada y representatividad de la fase de construcción.

|                     | Riqueza estimada | Representatividad |
|---------------------|------------------|-------------------|
| Estimada (muestreo) | 17               |                   |
| Chao 1              | 17.33            | 98.09%            |
| Chao 2              | 17.23            | 98.66%            |

## Operación

La estimación de Chao 1 (Fig. 7) sugiere que la riqueza total de especies en el parque eólico es de aproximadamente 20.17 especies, mientras que Chao 2 (Fig. 7) estima una riqueza de aproximadamente 20.14 especies. El muestreo fue de 20 especies, siendo esta etapa la que mayor diversidad mostro.

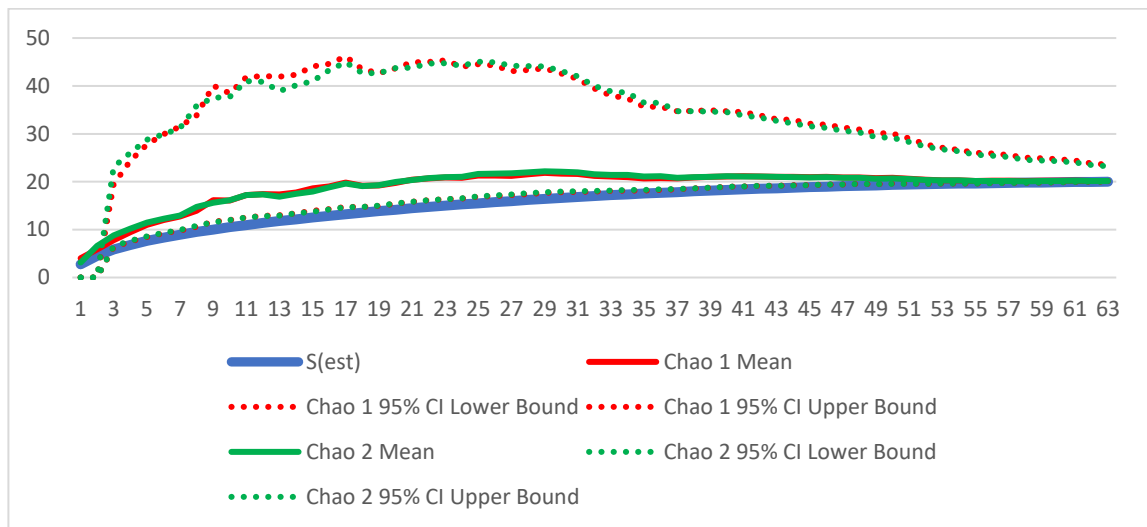


Figura 7. Riqueza estimada por Chao 1 y 2 en la fase de operación .

La curva de acumulación de especies en operaciones (Fig. 8) muestra un alcance de la asíntota ya al final del muestreo, significando que la mayoría de las especies presentes en el sitio se detectaron, conformando un muestreo representativo y ya con más especies presentes.

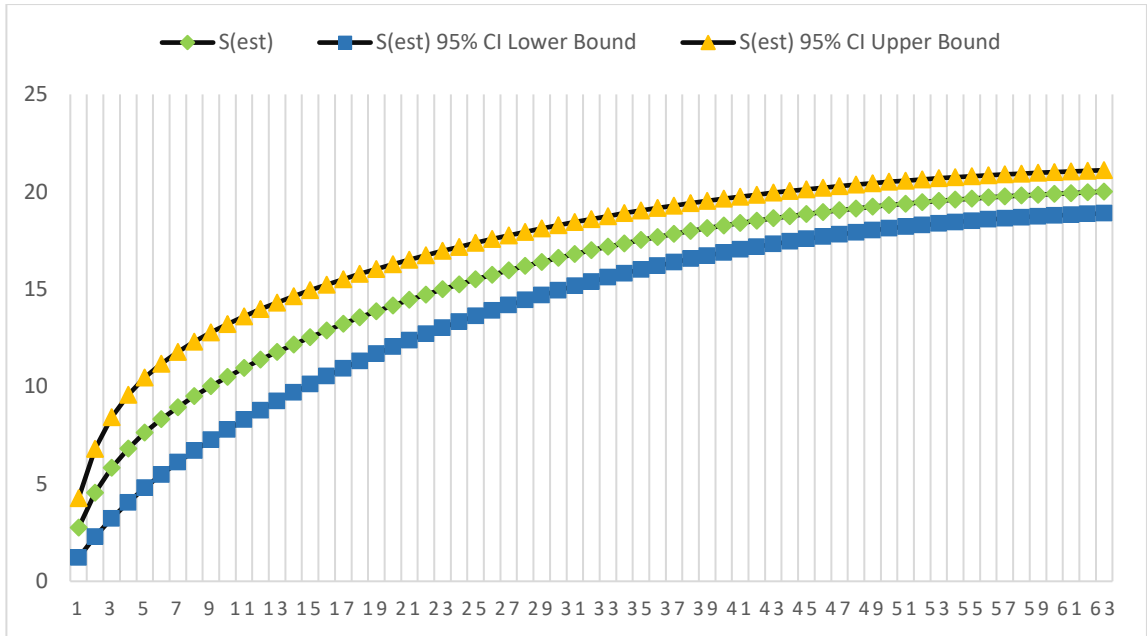


Figura 8. Curva de acumulación de especies alcanzando la asíntota en la fase de operación.

Por último, el índice de completitud (Tabla 9) muestra una representatividad del 99.15% en Chao 1 y 99.30% en Chao 2, conformando los valores más altos y confiables de todas las etapas. Esta etapa es la que menos perturbaciones presenta.

Tabla 9. Índice de completitud por medio de la riqueza estimada y representatividad de la fase de operación.

|                     | Riqueza estimada | Representatividad |
|---------------------|------------------|-------------------|
| Estimada (muestreo) | 20               |                   |
| Chao 1              | 20.17            | 99.15%            |
| Chao 2              | 20.14            | 99.30%            |

## 7.4 Diversidad

El índice Simpson complementario (1-D) es una medida de diversidad que refleja la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar de una muestra pertenezcan a diferentes especies. Un valor más alto de 1-D representa una comunidad muy diversa en la cual todas las especies son igualmente comunes. A continuación, se presentan los resultados de diversidad en las diferentes etapas del proyecto (Tabla 10).

Tabla 10. Diversidad de mamíferos por el índice de Simpson complementario (1-D) en las distintas fases.

| <b>Índice</b> \ <b>Etap</b>         | <b>Preconstrucción</b> | <b>Construcción</b> | <b>Operación</b> |
|-------------------------------------|------------------------|---------------------|------------------|
| <b>Simpson complementario (1-D)</b> | 0.7715                 | 0.8295              | 0.8353           |

Preconstrucción (0.7715): El índice muestra una diversidad relativamente alta, pero es el valor más bajo entre las etapas. Esto puede indicar que, antes de la construcción, la comunidad de mamíferos tiene una diversidad moderada.

Construcción (0.8295): La diversidad aumentó durante la etapa de construcción. Aunque esta etapa puede ser perturbadora, en este caso, la diversidad parece haber aumentado. Esto podría deberse a cambios en el hábitat que favorecen a diferentes especies o al aumento de recursos disponibles.

Operación (0.8353): La etapa de operación presenta el valor más alto de diversidad. Esto sugiere que, después de la construcción y durante la operación del parque eólico, la comunidad de mamíferos muestra la mayor diversidad. Puede indicar que la comunidad se ha adaptado bien al nuevo entorno o que el hábitat se ha estabilizado y favorece a más especies.

Estos resultados proporcionan una visión positiva sobre cómo un proyecto de energía eólica puede influir en la diversidad de mamíferos a lo largo del tiempo, sugiriendo que la comunidad puede adaptarse y prosperar incluso después de las perturbaciones iniciales.

### **Análisis de Varianza (ANOVA) para el Índice de Diversidad de Simpson**

Para investigar si la diversidad de especies, medida mediante el índice de Simpson, varía significativamente entre las diferentes etapas del estudio, se realizó un análisis de varianza

(ANOVA). El índice de Simpson se calculó utilizando la función `diversity` de R, aplicada a la matriz de datos correspondiente a las especies en cada etapa. Posteriormente, se ajustó un modelo ANOVA con el índice de Simpson como variable dependiente y las etapas del estudio como variable independiente.

En el análisis de la diversidad de especies utilizando el índice de Simpson, se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas en la diversidad entre las distintas etapas del proyecto eólico. Los resultados del ANOVA mostraron que la suma de cuadrados para la variable Fase fue de 0.0527, mientras que la suma de cuadrados de los residuos fue de 1.4562. El cuadrado medio para etapa fue de 0.02636 y el cuadrado medio de los residuos fue de 0.01655. El valor F obtenido fue de 1.593, con un valor p asociado de 0.209.

El valor p de 0.209 es superior al umbral común de significancia de 0.05, lo que sugiere que no se pueden detectar diferencias estadísticamente significativas en el índice de Simpson entre las diferentes etapas del proyecto. Esto implica que, en términos de la diversidad de especies, las etapas del proyecto no presentan variaciones significativas según el índice de Simpson, y, por tanto, se acepta la hipótesis nula de que las medias de diversidad son iguales entre las fases.

Sin embargo, al examinar la normalidad de los residuos del ANOVA mediante la prueba de Shapiro-Wilk, se observó un valor p extremadamente bajo ( $1.837e-06$ ), indicando una desviación significativa de la normalidad en los residuos del modelo. Este resultado sugiere que los residuos no siguen una distribución normal, lo cual es un supuesto fundamental para la validez del ANOVA. La falta de normalidad en los residuos puede comprometer la fiabilidad de los resultados del ANOVA, y es posible que se necesiten ajustes adicionales, como la transformación de datos o el uso de métodos estadísticos alternativos, para abordar esta desviación y mejorar la precisión del análisis.

Se generó un diagrama boxplot de caja que visualiza la distribución del índice de diversidad de Simpson en relación con las distintas etapas del proyecto eólico (Figura 9). Este gráfico es útil para entender cómo varía la diversidad de especies entre las diferentes etapas del proyecto eólico, tales como preconstrucción, construcción y operación.

En el diagrama de caja, el eje vertical representa el índice de Simpson, que mide la diversidad en términos de la probabilidad de que dos individuos al azar pertenezcan a diferentes especies. El eje horizontal muestra las distintas etapas del proyecto, permitiendo una comparación directa entre ellas.

La caja en el gráfico abarca el rango intercuartílico (IQR), que comprende el 50% central de los datos, desde el primer cuartil (Q1) hasta el tercer cuartil (Q3). La línea dentro de la caja indica la mediana, que es el valor central de los datos. Los bigotes se extienden desde los cuartiles hasta los valores mínimos y máximos dentro de 1.5 veces el IQR, mientras que los puntos fuera de este rango se consideran valores atípicos y se muestran individualmente.

Al analizar el boxplot, se pueden comparar visualmente las medianas y la variabilidad del índice de Simpson entre las fases del proyecto. Si las cajas y las medianas son similares entre las fases, esto sugiere que la diversidad de especies no ha cambiado significativamente a lo largo del tiempo del proyecto. Las diferencias en la altura de las cajas y la posición de las medianas pueden señalar cambios en la diversidad, mientras que los valores atípicos pueden indicar observaciones inusuales que podrían influir en la interpretación global de los datos.

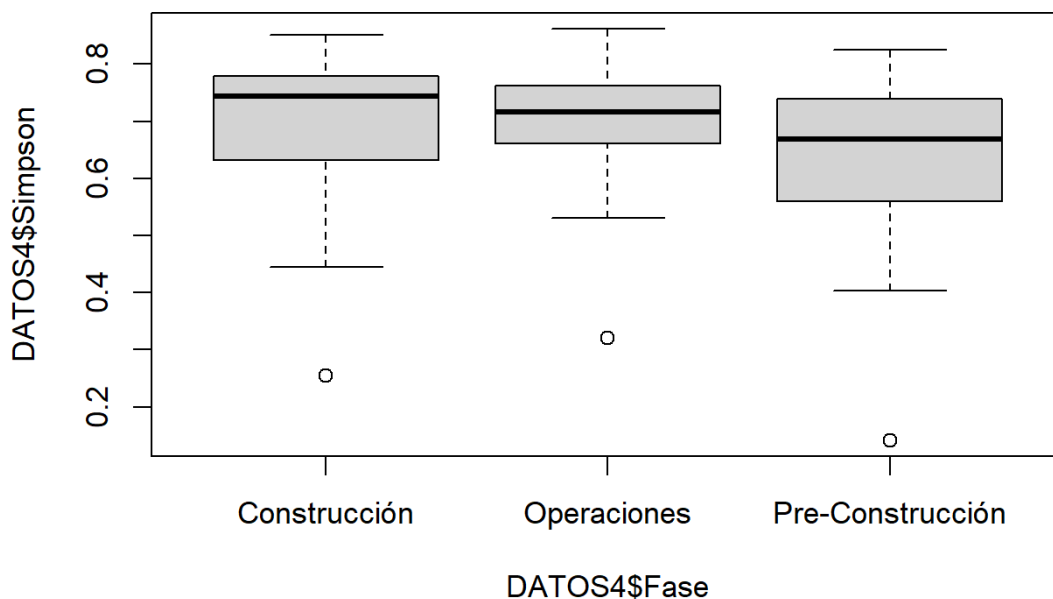


Figura 9. Diagrama boxplot de caja, visualiza la distribución del índice de diversidad de Simpson en relación con las distintas etapas del proyecto eólico.

## 7.5 Abundancia y frecuencia relativas

Las abundancias (AR) y frecuencias (FR) relativas se utilizan para describir la distribución de individuos entre las diferentes especies dentro de una comunidad biológica.

La AR se refieren a la proporción o porcentaje de individuos que pertenecen a una especie específica en relación con el número total de individuos en la comunidad; son útiles para comprender cómo se distribuyen los individuos entre las diferentes especies y para evaluar la dominancia de ciertas especies sobre otras en una comunidad.

Por otro lado, la FR se refieren a la cantidad de veces que ocurre una especie específica en una serie de muestras o eventos; utilizadas para determinar la distribución geográfica o espacial de las especies dentro de un área determinada y comparar la presencia de especies en diferentes hábitats o condiciones ambientales.

A continuación, se presentan la abundancia y frecuencia relativas de la comunidad de mamíferos terrestres, con el objetivo de evaluar el cambio entre las fases del proyecto (Preconstrucción, Construcción y Operación).

Y se realiza el análisis de varianza basado en la permutación (PERMANOVA). Para evaluar si hay diferencias significativas en las comunidades de mamíferos entre las diferentes fases del proyecto de energía eólica.

### Fase de Preconstrucción

Durante la primera temporada de muestreo se obtuvieron un total de 585 registros, siendo la fase con mayor numero. Los resultados (Tabla 11), indican que la especie más abundante y frecuente fue la Liebre (*Lepus californicus*) con 254 registros y las menos abundantes con un solo registro fueron el pecarí de collar (*Pecari tajacu*), tejón americano (*Taxidea taxus*) y ratón de cactus (*Peromyscus eremicus*).

Tabla 11. Abundancia y frecuencia relativa de la comunidad de mamíferos terrestres dentro del proyecto de energía eólica durante su fase de preconstrucción

| Especie                     | Abundancia | A R   | Frecuencia | F R   |
|-----------------------------|------------|-------|------------|-------|
| <i>Lepus californicus</i>   | 254        | 43.42 | 38         | 20.32 |
| <i>Neotoma micropus</i>     | 55         | 9.40  | 23         | 12.30 |
| <i>Sylvilagus audubonii</i> | 75         | 12.82 | 22         | 11.76 |



|                                   |     |        |     |        |
|-----------------------------------|-----|--------|-----|--------|
| <i>Urocyon cinereoargenteus</i>   | 29  | 4.96   | 16  | 8.56   |
| <i>Canis latrans</i>              | 23  | 3.93   | 14  | 7.49   |
| <i>Odocoileus virginianus</i>     | 27  | 4.62   | 14  | 7.49   |
| <i>Dipodomys merriami</i>         | 46  | 7.86   | 11  | 5.88   |
| <i>Vulpes macrotis</i>            | 14  | 2.39   | 11  | 5.88   |
| <i>Bassariscus astutus</i>        | 15  | 2.56   | 9   | 4.81   |
| <i>Procyon lotor</i>              | 14  | 2.39   | 6   | 3.21   |
| <i>Otospermophilus variegatus</i> | 7   | 1.20   | 5   | 2.67   |
| <i>Chaetodipus sp.</i>            | 6   | 1.03   | 4   | 2.14   |
| <i>Conepatus leuconotus</i>       | 5   | 0.85   | 4   | 2.14   |
| <i>Lynx rufus</i>                 | 5   | 0.85   | 4   | 2.14   |
| <i>Ictidomys parvidens</i>        | 7   | 1.20   | 3   | 1.60   |
| <i>Pecari tajacu</i>              | 1   | 0.17   | 1   | 0.53   |
| <i>Peromyscus eremicus</i>        | 1   | 0.17   | 1   | 0.53   |
| <i>Taxidea taxus</i>              | 1   | 0.17   | 1   | 0.53   |
|                                   | 585 | 100.00 | 187 | 100.00 |

Se muestra un gráfico (Fig. 10) para entender mejor la representatividad de estos resultados.

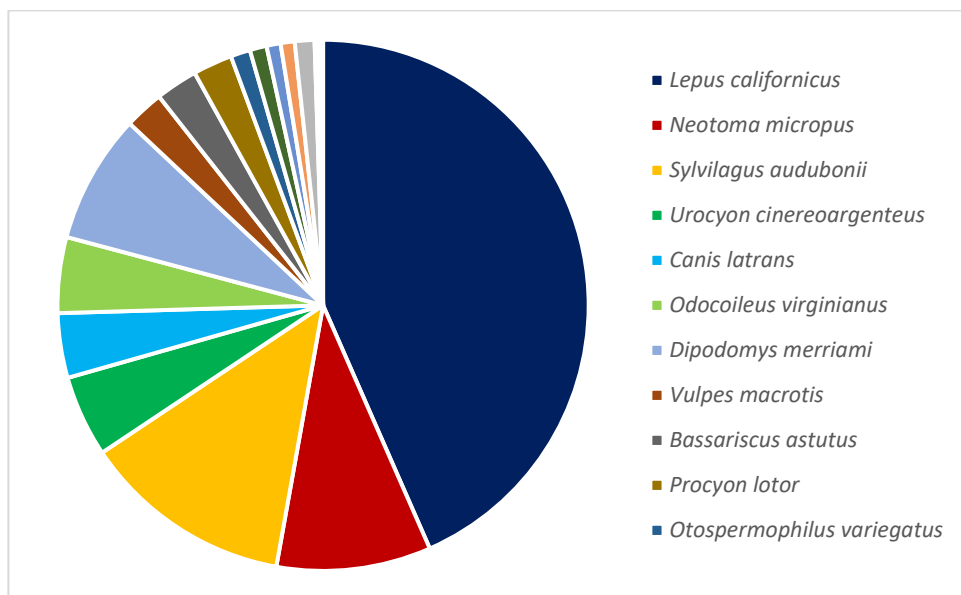


Figura 10. Gráfico de la abundancia y frecuencia relativa de la comunidad de mamíferos terrestres dentro del proyecto de energía eólica durante su fase de preconstrucción.

## Fase de Construcción

En la segunda temporada de muestreo se obtuvieron un total de 321 registros, siendo la segunda fase con mayor número. Los resultados (Tabla 12), indican que la especie más abundante y frecuente fue el conejo del desierto (*Sylvilagus audubonii*) con 113 registros y las menos abundantes con un solo registro fueron el lince (*Lynx rufus*) y zorro gris (*Urocyon cinereoargenteus*).

Tabla 12. Abundancia y frecuencia relativa de la comunidad de mamíferos terrestres dentro del proyecto de energía eólica durante su fase de construcción.

| Especie                         | Abundancia | A R    | Frecuencia | F R    |
|---------------------------------|------------|--------|------------|--------|
| <i>Sylvilagus audubonii</i>     | 113        | 35.20  | 28         | 17.95  |
| <i>Dipodomys merriami</i>       | 38         | 11.84  | 18         | 11.54  |
| <i>Lepus californicus</i>       | 34         | 10.59  | 20         | 12.82  |
| <i>Canis latrans</i>            | 21         | 6.54   | 12         | 7.69   |
| <i>Bassariscus astutus</i>      | 20         | 6.23   | 8          | 5.13   |
| <i>Peromyscus eremicus</i>      | 20         | 6.23   | 16         | 10.26  |
| <i>Neotoma micropus</i>         | 19         | 5.92   | 13         | 8.33   |
| <i>Odocoileus virginianus</i>   | 19         | 5.92   | 7          | 4.49   |
| <i>Ictidomys parvidens</i>      | 9          | 2.80   | 9          | 5.77   |
| <i>Vulpes macrotis</i>          | 9          | 2.80   | 8          | 5.13   |
| <i>Mephitis macroura</i>        | 6          | 1.87   | 5          | 3.21   |
| <i>Ursus americanus</i>         | 4          | 1.25   | 3          | 1.92   |
| <i>Procyon lotor</i>            | 3          | 0.93   | 3          | 1.92   |
| <i>Chaetodipus sp.</i>          | 2          | 0.62   | 2          | 1.28   |
| <i>Pecari tajacu</i>            | 2          | 0.62   | 2          | 1.28   |
| <i>Lynx rufus</i>               | 1          | 0.31   | 1          | 0.64   |
| <i>Urocyon cinereoargenteus</i> | 1          | 0.31   | 1          | 0.64   |
|                                 | 321        | 100.00 | 156        | 100.00 |

Se muestra un gráfico (Fig. 11) para entender mejor la representatividad de estos resultados.

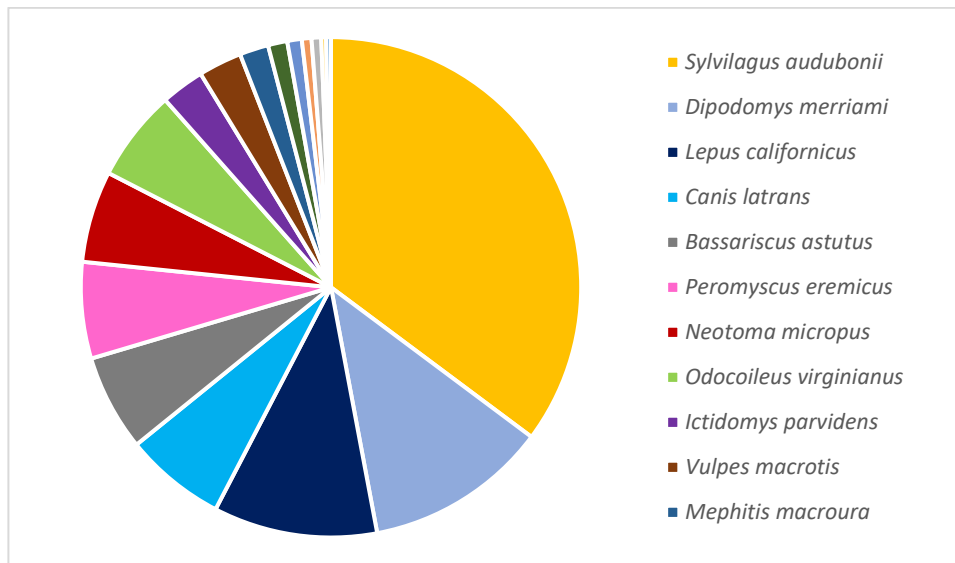


Figura 11. Gráfico de la abundancia y frecuencia relativa de la comunidad de mamíferos terrestres dentro del proyecto de energía eólica durante su fase de construcción.

### Fase de operación

La última temporada de muestreo se obtuvieron un total de 248 registros, siendo la fase con menor número, sin embargo, cabe recordar que el muestreo fue de solo un año. Los resultados (Tabla 13), indican que la especie más abundante y frecuente volvió a ser la liebre (*Lepus californicus*) con 80 registros y las menos abundantes con un solo registro fueron el tejón americano (*Taxidea taxus*) y la zorra del desierto (*Vulpes macrotis*), siendo una especie protegida por la NOM-059 de la SEMARNAT.

Tabla 13. Abundancia y frecuencia relativa de la comunidad de mamíferos terrestres dentro del proyecto de energía eólica durante su fase de operación.

| Especie                         | Abundancia | A R   | Frecuencia | F R   |
|---------------------------------|------------|-------|------------|-------|
| <i>Lepus californicus</i>       | 80         | 32.26 | 36         | 24.00 |
| <i>Sylvilagus audubonii</i>     | 58         | 23.39 | 34         | 22.67 |
| <i>Canis latrans</i>            | 24         | 9.68  | 19         | 12.67 |
| <i>Odocoileus virginianus</i>   | 24         | 9.68  | 11         | 7.33  |
| <i>Urocyon cinereoargenteus</i> | 16         | 6.45  | 13         | 8.67  |
| <i>Chaetodipus sp.</i>          | 8          | 3.23  | 3          | 2.00  |

|                                   |     |      |     |        |
|-----------------------------------|-----|------|-----|--------|
| <i>Neotoma micropus</i>           | 7   | 2.82 | 5   | 3.33   |
| <i>Conepatus leuconotus</i>       | 4   | 1.61 | 3   | 2.00   |
| <i>Bassariscus astutus</i>        | 3   | 1.21 | 3   | 2.00   |
| <i>Ictidomys parvidens</i>        | 3   | 1.21 | 3   | 2.00   |
| <i>Lynx rufus</i>                 | 3   | 1.21 | 2   | 1.33   |
| <i>Pecari tajacu</i>              | 3   | 1.21 | 3   | 2.00   |
| <i>Procyon lotor</i>              | 3   | 1.21 | 3   | 2.00   |
| <i>Dipodomys merriami</i>         | 2   | 0.81 | 2   | 1.33   |
| <i>Mephitis macroura</i>          | 2   | 0.81 | 2   | 1.33   |
| <i>Otospermophilus variegatus</i> | 2   | 0.81 | 2   | 1.33   |
| <i>Peromyscus eremicus</i>        | 2   | 0.81 | 2   | 1.33   |
| <i>Ursus americanus</i>           | 2   | 0.81 | 2   | 1.33   |
| <i>Taxidea taxus</i>              | 1   | 0.40 | 1   | 0.67   |
| <i>Vulpes macrotis</i>            | 1   | 0.40 | 1   | 0.67   |
|                                   | 248 | 100  | 150 | 100.00 |

Se muestra un gráfico (Fig. 12) para entender mejor la representatividad de estos resultados.

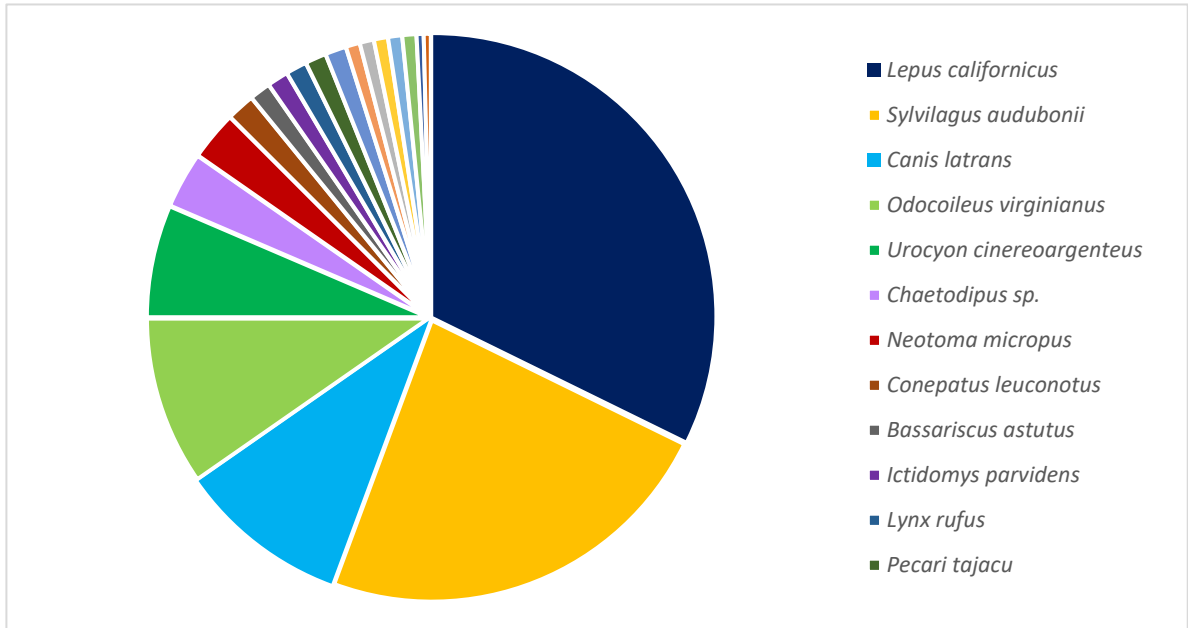


Figura 12. Gráfico de la abundancia y frecuencia relativa de la comunidad de mamíferos terrestres dentro del proyecto de energía eólica durante su fase de operación

### Análisis de PERMANOVA

El análisis de permutación multivariante de varianza (PERMANOVA) realizado con la función `adonis2` en R revela diferencias significativas en la composición de especies entre las distintas fases estudiadas. Este análisis utiliza un modelo de permutaciones para evaluar si la variación en la comunidad de especies puede atribuirse a las etapas de desarrollo consideradas en el estudio.

Los resultados muestran que el factor "Fase" tiene 2 grados de libertad, indicando la existencia de tres categorías diferentes (preconstrucción, construcción y operación) en las etapas analizadas. La suma de cuadrados asociada a este factor es de 3.0673, mientras que la suma de cuadrados residuales, que representa la variación no explicada por el modelo, es de 18.0858. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) para el factor "etapa" es de 0.145, lo que sugiere que el 14.5% de la variación total en la composición de especies puede

explicarse por las diferencias entre las etapas. El valor restante, el 85.5% de la variación, es atribuido a otros factores no considerados en este modelo.

El estadístico F obtenido es de 7.8863, lo cual indica que hay una diferenciación considerable entre los grupos en términos de la composición de especies. Además, el valor p asociado a este estadístico es extremadamente bajo ( $p = 0.0001$ ), significativamente menor que el umbral de significancia comúnmente utilizado (0.05). Esto confirma que las diferencias observadas entre las fases son estadísticamente significativas, con un alto grado de confianza ( $p < 0.001$ ).

Los resultados del análisis PERMANOVA indican que las distintas etapas del estudio presentan composiciones de especies significativamente diferentes. Esto sugiere que el desarrollo de las fases influye de manera notable en la comunidad de especies presentes. Sin embargo, dado que solo el 14.5% de la variación es explicada por este factor, sería recomendable considerar otros factores ambientales o bióticos que puedan estar influyendo en la variabilidad observada en la composición de especies. Para una mejor visualización de estas diferencias, se sugiere la elaboración de gráficos de ordenación como análisis complementario.

### **Análisis de comparaciones múltiples por pares**

El análisis de comparaciones múltiples por pares realizado mediante el comando `pairwise.adonis` en R, permite evaluar las diferencias en la composición de especies entre cada par de fases de desarrollo consideradas: preconstrucción, construcción y operación. Este método complementa el análisis global de PERMANOVA, proporcionando una comprensión más detallada de cómo varía la composición de especies entre etapas específicas.

Los resultados muestran que cada comparación por pares entre las fases (construcción vs. operaciones, construcción vs. preconstrucción, y operaciones vs. preconstrucción) presenta un valor de significancia estadística ajustado ( $p_{\text{adjusted}}$ ) de 0.003, que es menor que el umbral convencional de 0.05. Esto indica que todas las comparaciones por pares

muestran diferencias estadísticamente significativas en la composición de especies entre las etapas.

Para la comparación entre las etapas de construcción y operaciones, el valor de  $R^2$  es de 0.081, lo que indica que el 8.1% de la variación en la composición de especies puede atribuirse a las diferencias entre estas dos fases. El estadístico F es 5.469, lo que sugiere una diferenciación moderada entre estas etapas.

En la comparación entre construcción y reconstrucción, el valor de  $R^2$  es de 0.139, mostrando que el 13.9% de la variación en la composición de especies se explica por las diferencias entre estas etapas. El estadístico F es 10.012, lo que indica una mayor diferenciación en comparación con la fase de operaciones. Este resultado sugiere que el cambio en la composición de especies es más pronunciado entre las fases de construcción y preconstrucción.

Para la comparación entre operaciones y preconstrucción, el valor de  $R^2$  es de 0.104, lo que indica que el 10.4% de la variación en la composición de especies se debe a las diferencias entre estas dos fases. El estadístico F de 7.180 indica que también hay una diferencia significativa, aunque menor en comparación con la diferencia observada entre construcción y preconstrucción.

Los análisis por pares confirman que todas las fases presentan diferencias significativas en la composición de especies, siendo la mayor diferencia entre las fases de construcción y preconstrucción. Estos resultados refuerzan la idea de que los cambios en la composición de especies están influenciados significativamente por las distintas etapas de desarrollo del sitio. Además, el ajuste de los valores p ( $p_{\text{adjusted}} = 0.003$ ) confirma que estas diferencias son significativas incluso después de controlar el error por comparaciones múltiples, lo que aumenta la robustez de los hallazgos.

### **Análisis SIMPER**

Los resultados del análisis similaridad de porcentajes (SIMPER) ayuda a identificar las especies que más contribuyen a las diferencias en la composición entre las etapas de desarrollo: construcción, operaciones y preconstrucción. Este método revela qué especies son responsables de la mayor parte de la disimilitud entre los grupos comparados.

Contraste construcción vs. operaciones: En la comparación entre las etapas de construcción y operaciones, se observa que las especies *Sylvilagus audubonii* (conejo del desierto) y *Lepus californicus* (liebre de California) son las que más contribuyen a las diferencias, con una contribución promedio de 13.8% y 11.5%, respectivamente. Estas especies presentan valores de p significativos (0.041 y 1.000, respectivamente), indicando que *Sylvilagus audubonii* tiene una diferencia significativa entre estas dos etapas, mientras que *Lepus californicus* no es significativa.

Otras especies que también contribuyen de manera notable a la disimilitud son *Dipodomys merriami* (rata canguro de Merriam) y *Odocoileus virginianus* (venado cola blanca), aunque sus contribuciones son menores y sus valores de p no son significativos. Especies como *Canis latrans* (coyote) y *Bassariscus astutus* (cacomixtle) tienen contribuciones más bajas pero significativas, mostrando que estos animales también influyen en la variación observada. En general, las especies más abundantes en cada etapa explican la mayoría de las diferencias observadas.

Contraste construcción vs. preconstrucción: En la comparación entre construcción y preconstrucción, las especies *Lepus californicus* y *Sylvilagus audubonii* son nuevamente las principales contribuyentes a las diferencias, con porcentajes de contribución de 21.3% y 14.9%, respectivamente. Ambas especies muestran diferencias estadísticamente significativas ( $p = 0.001$ ), lo que refuerza su papel destacado en la diferenciación entre estas dos etapas.

Especies como *Neotoma micropus* (rata de madera del sur) y *Odocoileus virginianus* también contribuyen a la disimilitud, aunque en menor medida, con una significancia moderada en algunos casos. La presencia de especies con valores de p significativos o marginales, como *Bassariscus astutus* ( $p = 0.059$ ) y *Vulpes macrotis* (zorro del desierto) ( $p = 0.025$ ), indica que varias especies desempeñan un papel en las diferencias ecológicas observadas entre las etapas de desarrollo.

Contraste operaciones vs. preconstrucción: Para la comparación entre las etapas de operaciones y preconstrucción, *Lepus californicus* nuevamente es la especie que más contribuye a las diferencias, con un porcentaje de 20.2% ( $p = 0.001$ ), seguido de



*Dipodomys merriami* y *Sylvilagus audubonii*, con contribuciones de 9.8% y 9.8%, respectivamente, aunque el valor de p para *Sylvilagus audubonii* no es significativo.

*Neotoma micropus* también presenta una contribución significativa ( $p = 0.001$ ), lo que sugiere que esta especie tiene diferencias marcadas en abundancia o presencia entre las etapas de operaciones y preconstrucción. Otras especies, como *Procyon lotor* (mapache) y *Otospermophilus variegatus* (ardilla terrestre), muestran significancia marginal o moderada, indicando su posible influencia en la disimilitud entre estas dos fases.

En todas las comparaciones, se observa que las diferencias en la composición de especies entre las etapas de desarrollo son impulsadas principalmente por un pequeño número de especies clave. Las especies *Lepus californicus* y *Sylvilagus audubonii* son consistentemente las que más contribuyen a las disimilitudes entre las etapas, lo que sugiere que estas especies pueden ser particularmente sensibles a los cambios en las condiciones ambientales o a las actividades humanas asociadas con las etapas de desarrollo del proyecto eólico. Este análisis subraya la importancia de estas especies en la estructura ecológica del área estudiada y destaca cómo la transición de una etapa de desarrollo a otra afecta la comunidad de mamíferos. La identificación de estas especies clave puede ayudar a orientar estrategias de conservación y gestión que minimicen los impactos negativos sobre la biodiversidad local.

## **7.6 Clasificación supervisada**

La clasificación supervisada realizada mediante el programa QGIS proporcionó una visión detallada de la distribución de las asociaciones vegetales dentro del área del proyecto eólico. Este análisis actúa como una línea base crucial para el monitoreo y la evaluación de los cambios en el suelo, así como para la identificación y comparación de las variaciones en la distribución y presencia de mamíferos a lo largo de las diferentes fases del proyecto: antes, durante y después de la instalación de los parques eólicos.

La clasificación supervisada reveló un total de 22 tipos distintos de asociaciones vegetales dentro del área del proyecto. Esta información es fundamental para establecer una referencia inicial sobre la composición y distribución de la vegetación en el sitio. La capacidad de identificar y mapear estas asociaciones vegetales proporciona una base

sólida para futuras comparaciones, permitiendo detectar cambios en la cobertura vegetal y en la estructura del hábitat que puedan ocurrir como resultado de las actividades relacionadas con el proyecto eólico.

La figura 13 ilustra la clasificación supervisada, destacando los diferentes tipos de asociaciones vegetales identificadas. Esta representación visual facilita la comprensión de la diversidad y la distribución de la vegetación en el área del proyecto, y ayuda a evaluar el impacto potencial de las actividades del proyecto eólico en la vegetación y los hábitats de los mamíferos.

La información obtenida a partir de esta clasificación es esencial para realizar un seguimiento adecuado de los efectos del proyecto eólico en el entorno. Comparar la línea base con las condiciones posteriores a la instalación permitirá evaluar los impactos ambientales y ajustar las estrategias de manejo y conservación según sea necesario. Además, esta clasificación servirá como una herramienta valiosa para identificar posibles áreas de recuperación o restauración en el futuro, asegurando que el desarrollo del proyecto se realice de manera sostenible y minimizando sus impactos negativos en el ecosistema.

### Clasificación supervisada

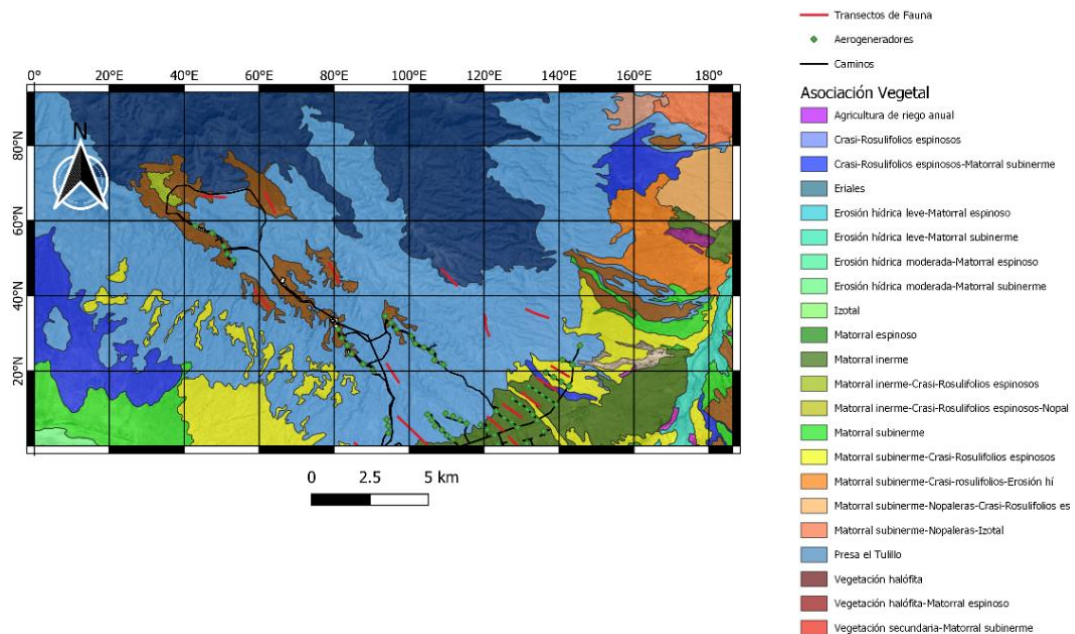


Figura 13. Clasificación supervisada, con un total de 22 asociaciones vegetales.

## **8. DISCUSIÓN**

El muestreo multianual realizado durante las distintas etapas del proyecto eólico proporciona una base sólida para evaluar los efectos de la construcción y operación del parque eólico sobre la biodiversidad local. Este enfoque permite detectar cambios en la composición y abundancia de mamíferos a lo largo del tiempo, antes, durante y después de la instalación del proyecto, lo cual es crucial para la evaluación de impactos ambientales.

En el análisis, se registraron un total de 1197 observaciones de mamíferos, representando cinco órdenes, 12 familias y 20 géneros. La fase de preconstrucción capturó 18 especies, la fase de construcción registró 17 especies y la fase de operación documentó el mayor número de especies con 20, a pesar de que esta última fase tuvo un muestreo de solo un año. Esta variabilidad en el número de especies observadas podría estar relacionada con cambios en el hábitat inducidos por las actividades del proyecto, así como con las diferencias en el esfuerzo de muestreo entre las fases.

La fase de operación mostró el mayor número de registros de especies, lo que podría reflejar una mayor adaptabilidad de las especies a las nuevas condiciones del sitio después de la construcción. Sin embargo, el aumento en el número de especies también puede ser resultado de un esfuerzo de muestreo más intensivo o de cambios en las técnicas de muestreo a lo largo del tiempo. La falta de una diferencia significativa en la abundancia de mamíferos entre las fases podría sugerir que, a pesar de las perturbaciones asociadas con la construcción y operación del parque eólico, el impacto en la biodiversidad puede ser moderado o mitigado con las prácticas de manejo adecuadas (Barton et al., 2018; Drew et al., 2019).

Estos resultados destacan la importancia de realizar un monitoreo continuo y exhaustivo para captar las variaciones temporales y espaciales en la fauna. El seguimiento multianual proporciona datos valiosos para entender la dinámica de las comunidades de mamíferos en respuesta a las actividades del proyecto eólico. Esta información puede ser utilizada para ajustar las estrategias de gestión y minimizar los impactos negativos sobre la biodiversidad (Smith & Johnson, 2020). Además, los datos obtenidos en las diferentes fases del proyecto permiten una evaluación comparativa que ayuda a identificar

tendencias y posibles impactos a largo plazo, contribuyendo a una gestión ambiental más efectiva y basada en evidencia.

La determinación del estado de conservación de las especies de mamíferos presentes en el área del proyecto eólico se realizó utilizando dos principales herramientas de evaluación: la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 y la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Estas clasificaciones son esenciales para identificar el nivel de riesgo de extinción y guiar las estrategias de conservación adecuadas.

La NOM-059-SEMARNAT-2010 proporciona una clasificación detallada de las especies en diferentes categorías de riesgo, tales como Amenazada (A), Protección Especial (Pr), y en Peligro de Extinción (P). Según esta norma, de los 20 mamíferos registrados, cinco especies están catalogadas como amenazadas (A), una especie está bajo protección especial (Pr), y dos están en peligro de extinción (P). Las restantes especies no tienen una categoría de riesgo específica dentro de la norma, y todas están clasificadas como de Preocupación Menor (LC) según la UICN.

La comparación entre las categorías de conservación de la NOM-059 y la UICN revela que, a pesar de que algunas especies están catalogadas como amenazadas o en peligro de extinción en la normativa nacional, todas están clasificadas como de preocupación menor a nivel global. Esta discrepancia puede deberse a diferencias en los criterios y metodologías de evaluación utilizados por estas dos entidades. La NOM-059-SEMARNAT-2010 puede reflejar riesgos específicos a nivel nacional que no se consideran en la evaluación global de la UICN (SEMARNAT, 2010; IUCN, 2020).

La presencia de especies catalogadas como amenazadas o en peligro de extinción en el área del proyecto eólico subraya la importancia de implementar medidas de conservación y manejo que minimicen los impactos negativos del desarrollo sobre estas especies. La conservación efectiva requiere no solo la protección de las especies en peligro, sino también la preservación y restauración de sus hábitats para asegurar su supervivencia a largo plazo (Bertram et al., 2016; Jones et al., 2018).

Además, las clasificaciones proporcionan una base para establecer lineamientos de vigilancia y monitoreo continuo de las poblaciones de mamíferos. La implementación de planes de gestión adaptativa que consideren estas categorías de riesgo es crucial para mitigar los impactos potenciales del proyecto eólico y garantizar que las actividades humanas no comprometan la biodiversidad local (Caro et al., 2018; Butchart et al., 2015).

La evaluación de la riqueza y la representatividad del muestreo en las distintas etapas del proyecto de energía eólica proporciona información crucial sobre la diversidad de mamíferos en el área y la efectividad de los esfuerzos de muestreo. Para analizar estos aspectos, se utilizaron estimadores de riqueza de especies, como Chao 1 y Chao 2, y se evaluó la representatividad del muestreo mediante curvas de acumulación de especies y el índice de completitud.

Los estimadores de Chao 1 y Chao 2 se emplearon para proporcionar una estimación más precisa de la riqueza total de especies, especialmente en contextos donde el muestreo puede no capturar todas las especies presentes (Chao, 1987; Chao & Shen, 2010). En la etapa de preconstrucción, los estimadores sugieren una riqueza de aproximadamente 20.99 especies (Chao 1) y 20.95 especies (Chao 2), en comparación con las 18 especies observadas durante el muestreo. Estos resultados indican que el muestreo capturó una parte significativa de la diversidad, pero también sugiere que podrían existir más especies no detectadas (Gotelli & Colwell, 2001).

En la etapa de construcción, la riqueza estimada fue de 17.33 especies (Chao 1) y 17.23 especies (Chao 2). Esta estimación coincide con el número de especies registradas (17), lo que sugiere un muestreo bastante exhaustivo en comparación con la fase de preconstrucción. Sin embargo, el hecho de que la etapa de construcción muestre una menor riqueza de especies puede reflejar el impacto negativo de la perturbación ambiental (Gibson et al., 2011).

Durante la etapa de operación, se estimó una riqueza de aproximadamente 20.17 especies (Chao 1) y 20.14 especies (Chao 2), coincidiendo con el número de especies observadas (20). Este aumento en la riqueza puede estar relacionado con la recuperación parcial de hábitats tras las perturbaciones iniciales de la construcción (Foley et al., 2005).

La curva de acumulación de especies es una herramienta gráfica utilizada para evaluar la representatividad del muestreo (Colwell, 2013). En la etapa de preconstrucción, la curva alcanzó la asíntota, lo que indica que la mayoría de las especies presentes fueron capturadas durante el muestreo. Esta observación es consistente con los resultados del índice de completitud, que mostró una representatividad del 85.76% (Chao 1) y 85.92% (Chao 2). Aunque el muestreo no alcanzó el 100%, se consideró representativo en gran medida.

En la etapa de construcción, la curva de acumulación de especies también alcanzó la asíntota, y el índice de completitud fue alto, con valores de 98.09% (Chao 1) y 98.66% (Chao 2). Esto sugiere que la mayoría de las especies presentes fueron detectadas, a pesar de la menor riqueza observada y la perturbación ambiental asociada con esta etapa.

Finalmente, en la etapa de operación, la curva de acumulación de especies alcanzó la asíntota al final del muestreo, y los índices de completitud fueron los más altos, con 99.15% (Chao 1) y 99.30% (Chao 2). Estos valores sugieren que el muestreo fue muy representativo de la diversidad de especies en esta etapa, lo cual es consistente con la menor perturbación observada en comparación con las etapas anteriores.

El índice Simpson complementario (1-D) mide la diversidad de especies, reflejando la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a diferentes especies. Los resultados obtenidos para las diferentes etapas del proyecto eólico se muestran en la Tabla 10, y revelan variaciones en la diversidad a lo largo del tiempo.

En la fase de preconstrucción, el índice Simpson complementario (1-D) fue de 0.7715, lo que indica una diversidad relativamente alta, aunque es el valor más bajo entre las etapas estudiadas. Esto sugiere que antes de iniciar la construcción, la comunidad de mamíferos tenía una diversidad moderada, con una distribución bastante uniforme entre las especies presentes. Este resultado es consistente con la literatura que indica que las comunidades naturales suelen tener una diversidad estable antes de las perturbaciones significativas (Magurran, 2004).

Durante la etapa de construcción, el índice aumentó a 0.8295, lo que refleja un incremento en la diversidad de especies. Aunque la construcción es una etapa perturbadora, en este

caso parece que la alteración del hábitat podría haber creado nuevas oportunidades o recursos que favorecieron a diferentes especies. Este fenómeno puede estar relacionado con el concepto de "enriquecimiento del hábitat" donde las perturbaciones, en algunos casos, pueden aumentar la diversidad al crear condiciones favorables para nuevas especies (McKinney, 2002).

La etapa de operación mostró el índice más alto de 0.8353, sugiriendo que la diversidad alcanzó su máximo después de la construcción y durante la operación del parque eólico. Este aumento en la diversidad podría indicar que la comunidad de mamíferos se adaptó bien al nuevo entorno o que el hábitat se estabilizó, proporcionando condiciones favorables para una mayor variedad de especies. Este hallazgo apoya la idea de que los ecosistemas pueden recuperarse y, en algunos casos, mejorar su biodiversidad después de perturbaciones iniciales (Pickett & White, 1985).

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el índice de Simpson mostró un valor F de 1.593 con un valor p de 0.209. Este resultado sugiere que no hay diferencias estadísticamente significativas en la diversidad entre las distintas fases del proyecto eólico. En otras palabras, las variaciones en el índice de Simpson no son suficientes para rechazar la hipótesis nula de que las medias de diversidad son iguales entre las fases del proyecto. Este resultado es consistente con la literatura que reporta variaciones en la diversidad que no siempre son estadísticamente significativas en estudios de ecología (Underwood, 1997).

Sin embargo, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicó un valor p extremadamente bajo ( $1.837e-06$ ), lo que sugiere que los residuos del modelo no siguen una distribución normal. La normalidad de los residuos es un supuesto clave para la validez del ANOVA, y su falta puede comprometer la fiabilidad de los resultados obtenidos. Esta desviación de la normalidad sugiere que podrían ser necesarios ajustes adicionales, como la transformación de datos o el uso de métodos estadísticos no paramétricos, para abordar esta limitación (Conover, 1999).

La abundancia relativa (AR) y la frecuencia relativa (FR) son métricas clave para entender la distribución y dominancia de las especies en una comunidad biológica, proporcionan

una visión detallada sobre la estructura de la comunidad y cómo varía a lo largo del tiempo y entre diferentes condiciones ambientales.

Durante la etapa de preconstrucción, se registró un total de 585 registros de mamíferos. La Liebre (*Lepus californicus*) emergió como la especie más abundante (43.42% AR) y frecuente (20.32% FR), mientras que especies como el Pecarí de collar (*Pecari tajacu*) y el Tejón americano (*Taxidea taxus*) fueron las menos abundantes y frecuentes, con solo un registro cada una. Este patrón sugiere que la comunidad de mamíferos estaba dominada por un número relativamente reducido de especies, pero con una diversidad representativa en términos de frecuencia. Este patrón de dominancia de pocas especies y presencia marginal de muchas otras es común en comunidades donde una o dos especies son altamente adaptativas o bien adaptadas al hábitat predominante (Magurran, 2004).

En la etapa de construcción, se registraron 321 mamíferos, con el Conejo del desierto (*Sylvilagus audubonii*) como la especie más abundante (35.20% AR) y frecuente (17.95% FR). Aunque la abundancia total disminuyó en comparación con la etapa de preconstrucción, el cambio en las especies dominantes puede reflejar una respuesta adaptativa a las perturbaciones causadas por la construcción. La disminución en la abundancia total y el aumento relativo en especies como el Conejo del desierto podrían ser indicativos de cambios en los recursos disponibles y en la estructura del hábitat durante esta fase (Barton et al., 2013; Newbold et al., 2015).

En la etapa de operación, con 248 registros, la Liebre (*Lepus californicus*) volvió a ser la especie más abundante (32.26% AR) y frecuente (24.00% FR), similar a la etapa de preconstrucción. La disminución en el número total de registros puede reflejar una estabilización del hábitat post-construcción o cambios en las técnicas de muestreo. Sin embargo, la reaparición de *Lepus californicus* como la especie dominante sugiere que esta especie se ha adaptado bien a las condiciones de operación del proyecto eólico, posiblemente debido a su flexibilidad ecológica y adaptabilidad a cambios en el hábitat (Morris et al., 2018).

El análisis PERMANOVA muestra diferencias significativas en la composición de especies entre las distintas etapas del proyecto, con un valor p extremadamente bajo ( $p = 0.0001$ ). El factor "etapa" explica el 14.5% de la variación en la composición de especies,



mientras que el resto de la variación puede deberse a factores no incluidos en el análisis (Anderson, 2001). Este resultado indica que las etapas del proyecto influyen significativamente en la composición de la comunidad de mamíferos, aunque otros factores también están en juego. Los gráficos de ordenación pueden ofrecer una visualización más clara de estas diferencias y complementar los hallazgos del PERMANOVA (McArdle & Anderson, 2001).

Los análisis por pares revelan diferencias significativas entre cada par de etapas, con la mayor variación observada entre la construcción y preconstrucción. Las especies clave como *Lepus californicus* y *Sylvilagus audubonii* son responsables de la mayor parte de las diferencias observadas (Clarke et al., 2014). Esto resalta cómo cambios en la etapa de desarrollo afectan de manera desproporcionada a ciertas especies, subrayando la importancia de estos mamíferos en la estructura de la comunidad.

El análisis SIMPER identifica a *Lepus californicus* y *Sylvilagus audubonii* como las principales especies responsables de las diferencias en la composición entre las etapas, con contribuciones significativas en todos los contrastes analizados. La contribución constante de estas especies sugiere que son indicadores clave de los cambios en el hábitat relacionados con las etapas del proyecto (R Core Team, 2023). Este hallazgo subraya la necesidad de considerar cómo las especies dominantes responden a cambios en el hábitat, ya que pueden ofrecer perspectivas cruciales para la gestión y conservación de la biodiversidad en áreas perturbadas por el desarrollo de proyectos.

La clasificación supervisada permite identificar y mapear las asociaciones vegetales dentro del área del proyecto, resultando en la identificación de 22 tipos distintos. Este tipo de análisis proporciona una visión detallada y estructurada de la distribución de la vegetación, lo cual es fundamental para establecer una línea base inicial (Foody, 2002). La capacidad para distinguir entre diferentes asociaciones vegetales facilita una comprensión más profunda de la diversidad y la distribución del hábitat, proporcionando datos cruciales para el monitoreo y la evaluación de cambios a lo largo del tiempo.

El establecimiento de una línea base de las asociaciones vegetales es esencial para cualquier estudio de impacto ambiental. Permite a los investigadores y gestores ambientales observar las condiciones iniciales del sitio antes de la implementación del

proyecto eólico. Según Chuvieco y Huete (2010), la línea base sirve como un punto de referencia para evaluar las alteraciones en el paisaje y los posibles impactos negativos resultantes de la intervención humana, en este caso, la instalación de parques eólicos. Además, la comparación continua con la línea base ayuda a asegurar que el desarrollo del proyecto se realice de manera sostenible y con el menor impacto posible sobre el ecosistema (Liu et al., 2016).

La figura 11, que ilustra la clasificación supervisada, muestra la diversidad y distribución de las asociaciones vegetales en el área del proyecto. Esta representación visual no solo ayuda a entender la composición del hábitat antes del desarrollo, sino que también facilita la identificación de áreas críticas que podrían estar en riesgo debido a las actividades del proyecto (Gong et al., 2011). La capacidad para comparar la línea base con las condiciones posteriores permite una evaluación precisa de los impactos ambientales. Cambios en la cobertura vegetal y en la estructura del hábitat pueden ser monitoreados para determinar el alcance del impacto del proyecto eólico sobre la vegetación.

La información obtenida de la clasificación supervisada también es valiosa para la gestión del hábitat y las estrategias de restauración. Identificar áreas de vegetación que han sido más afectadas por las actividades del proyecto puede guiar esfuerzos para restaurar o recuperar estos hábitats. La capacidad para comparar la situación antes y después del proyecto ayuda a ajustar las estrategias de manejo y conservación para mitigar impactos negativos y promover la sostenibilidad ambiental (Tucker, 1998). Además, como mencionan Turner et al. (2010), el monitoreo continuo basado en datos precisos permite ajustes en tiempo real y la implementación de medidas correctivas efectivas.

## **9. CONCLUSIÓN**

El enfoque de muestreo multianual aplicado en este estudio ofrece una perspectiva integral sobre la influencia de las actividades eólicas en los mamíferos, permitiendo una evaluación detallada de los cambios en la biodiversidad y proporcionando una base para futuras investigaciones y estrategias de conservación.

La evaluación del estado de conservación de las especies de mamíferos en el área del proyecto eólico es fundamental para una gestión ambiental informada. La utilización de herramientas como la NOM-059 y la Lista Roja de la UICN proporciona una visión integral de los riesgos asociados a las especies y orienta las acciones necesarias para su conservación efectiva. Los datos obtenidos servirán para ajustar las estrategias de conservación y monitoreo, y para desarrollar acciones específicas para la protección de las especies más vulnerables.

El uso de estimadores de riqueza y el análisis de la representatividad del muestreo proporcionan una comprensión integral de la diversidad de mamíferos en el área del proyecto eólico y la efectividad del muestreo en cada fase. La capacidad de los métodos para capturar y estimar la riqueza de especies, junto con la evaluación de la asíntota en las curvas de acumulación de especies, asegura una representación precisa de la biodiversidad. Los resultados sugieren que mientras que la fase de preconstrucción y operación proporcionaron una buena representación de la diversidad, la fase de construcción, aunque altamente representativa en términos de completitud, mostró una riqueza de especies reducida, posiblemente debido al impacto ambiental.

La comparación de diversidad entre etapas sugiere que el impacto del proyecto eólico en la diversidad de mamíferos es complejo y varía a lo largo del tiempo. Aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las fases, el aumento en la diversidad observado durante la construcción y operación podría indicar una recuperación positiva o incluso una mejora en la diversidad de especies tras la perturbación inicial.

Los análisis de abundancia y frecuencia relativas, combinados con métodos estadísticos avanzados como PERMANOVA, análisis de comparaciones múltiples y SIMPER, ofrecen una visión detallada de cómo el desarrollo de un proyecto eólico afecta a la comunidad de mamíferos. Los cambios en la composición y abundancia de especies

reflejan adaptaciones a las perturbaciones del hábitat y destacan la importancia de monitorear las especies clave que son sensibles a estas modificaciones. Estos resultados son cruciales para la planificación y gestión de proyectos de desarrollo para minimizar impactos negativos sobre la biodiversidad local y apoyar la conservación efectiva.

La clasificación supervisada realizada con QGIS proporciona una visión detallada y estructurada de las asociaciones vegetales en el área del proyecto eólico, estableciendo una línea base crucial para el monitoreo ambiental. Este enfoque facilita la evaluación de impactos, guía las estrategias de gestión y restauración del hábitat, y actúa como una herramienta continua para asegurar la sostenibilidad del proyecto. La capacidad para identificar y mapear con precisión las asociaciones vegetales es fundamental para gestionar adecuadamente los impactos ambientales y ajustar las estrategias de conservación según sea necesario.

El enfoque de estos resultados y el uso de herramientas avanzadas para la evaluación de la biodiversidad de mamíferos y vegetación proporcionan una comprensión integral de cómo las actividades eólicas afectan el ecosistema. La combinación de análisis de riqueza de especies, métodos estadísticos avanzados y clasificación supervisada ofrece una base sólida para ajustar las estrategias de conservación y asegurar la sostenibilidad del proyecto. Destacó la importancia de una evaluación continua y adaptativa para minimizar los impactos negativos y promover la recuperación y conservación efectivas de la biodiversidad local.

## **10. PERSPECTIVAS**

El trabajo aporta conocimiento valioso sobre los efectos de los proyectos de energía eólica en las comunidades de mamíferos terrestres en el altiplano mexicano. La investigación subraya la importancia de equilibrar el desarrollo de energías renovables con la conservación de la biodiversidad, proporcionando un modelo para futuros proyectos que buscan minimizar su impacto ambiental.

Este estudio abre la puerta para la creación de políticas y prácticas que promuevan la coexistencia de desarrollos energéticos y la protección de los ecosistemas, contribuyendo así a un futuro más sostenible.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Europea de Medio Ambiente (European Environment Agency). (2019). "Wind energy and environmental impacts". Recuperado de: <https://www.eea.europa.eu/publications/wind-energy-and-environmental-impacts>
- Agencia Internacional de Energía (IEA), Grupo de Tareas de Energía Eólica (2019). "IEA Wind Task 32: Wind energy project development best practices". Recuperado de: <https://community.ieawind.org/publications/task-reports/t32-best-practices>
- Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA). (2020). "Renewable Capacity Statistics 2020". Recuperado de: <https://www.irena.org/publications/2020/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2020>
- Agha, M., Smith, A. L., Lovich, J. E., Delaney, D., Ennen, J. R., Briggs, J., & Todd, B. D. (2017). Mammalian mesocarnivore visitation at tortoise burrows in a wind farm. *The Journal of Wildlife Management*, 81(6), 1117-1124.
- Alday, J. G., et al. (2020). "Impacts of Wind Farms on Plant Communities: A Review". *Frontiers in Environmental Science*, 8, 3.
- Álvarez-Castañeda, S. T., Álvarez, T., & González-Ruiz, N. (2017). *Guía para la identificación de los mamíferos de México*. JHU Press.
- Amjith, L. R., & Bavanish, B. (2022). A review on biomass and wind as renewable energy for sustainable environment. *Chemosphere*, 293, 133579.
- Anderson, M. J. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral ecology*, 26(1), 32-46.
- André, F. J., De Castro, L. M., & Cerdá, E. (2012). Las energías renovables en el ámbito internacional. *Cuadernos económicos de ICE*, 83, 11-36.
- Aranda-Sánchez, J. M. (2012). *Manual para el rastreo de mamíferos silvestres de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México, D.F., México. 255 pp.
- Archer, C. L., & Jacobson, M. Z. (2005). Evaluation of global wind power. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D12).

- Arnett, E. B., Brown, W. K., Erickson, W. P., Fiedler, J. K., Hamilton, B. L., Henry, T. H., Jain, A., Johnson, G. D., Kerns, J., Koford, R. R., Nicholson, C. P., O'Connell, T. J., Piorkowski, M. D., Tankersley, R. D. Jr., & Thresher, R. W. (2008). Patterns of bat fatalities at wind energy facilities in North America. *Global Change Biology*, 14(10), 1-16.
- Arnett, E. B., et al. (2008). Impacts of wind energy development on bats: implications for conservation. In: *Proceedings of the 23rd International Conference on Wildlife Biolog. The Wildlife Society*.
- Arroyo-Arce, G., Carmona, R., & Ruiz-Guerra, B. (2020). Mamíferos y parques eólicos: una revisión sobre su impacto y medidas de mitigación. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91, e911256.
- Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE). (2014). Mapas eólicos, <https://amdee.org/mapas-eolicos.html>. Recuperado el 15 de agosto de 2023.
- Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE). (2014). Mitos y Realidades ¿Las Turbinas del Viento Estropean el Paisaje? Asociación Mexicana de Energía Eólica. Recuperado el 10 de agosto de 2023.
- Asociación Mexicana de energía eólica (AMDEE). (2017). Obtenido de <http://www.amdee.org/>
- Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE). (2022). <https://amdee.org/nueva/img/infra22-es.png>. Recuperado el 15 de agosto de 2023.
- Asociación Mundial de Energía Eólica (GWEC). (2021). "Global Wind Report 2021". Recuperado de: <https://gwec.net/global-wind-report-2021/>
- Asociación Mundial de Energía Eólica (World Wind Energy Association). (2018). "Small Wind World Report 2018". Recuperado de: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WWEA-Small-Wind-World-Report-2018.pdf>
- Barrios, L., Rodríguez, A., & García, C. (2011). Wind turbines and birds: Spanish perspective. *Bird Conservation International*, 21(4), 333-335.
- Barton, K., & Barton, K. (2013). MuMIn: Multi-Model Inference. R package version 1.15.6.

- Barton, K., et al. (2018). The effects of wind energy development on wildlife populations. *Ecological Applications*, 28(4), 1056-1066.
- Bertram, B. C. R., et al. (2016). Conservation management and protection strategies for threatened species. *Journal of Wildlife Management*, 80(5), 833-842.
- Bevanger, K., et al. (2010). Impacts of wind power development on wild reindeer and mountain grouse. In: *Proceedings of the 24th International Conference on Wildlife Biolog*. The Wildlife Society.
- BirdLife International. (2021). Wind farms and birds. <https://www.birdlife.org/worldwide/science/wind-farms-and-birds>
- Boyle, G. (2012). *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future*. Oxford University Press.
- Butchart, S. H. M., et al. (2015). Global biodiversity: Indicators of progress. *Science*, 348(6234), 1090-1092.
- Caro, T., et al. (2018). Evaluating the effectiveness of conservation interventions. *Conservation Biology*, 32(2), 470-479.
- Chao, A. (1984). Nonparametric estimation of the number of classes in a population. *Scandinavian Journal of statistics*, 265-270.
- Chao, A. (1987). Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability. *Biometrics*, 43(4), 783-791.
- Chao, A., & Shen, T. J. (2010). Program SPADE (Species Prediction and Diversity Estimation). Program and User's Guide. Retrieved from [<http://chao.stat.ncu.edu/>].
- Chuvienco, E., & Huete, A. (2010). *Teledetección ambiental: Principios y aplicaciones*. McGraw-Hill.
- Clarke, K.R., & Gorley, R.N. (2014). *PRIMER v7: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E, Plymouth.
- Colwell, R. K. (2006). EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples, version 8. [purl.oclc.org/estimates](http://purl.oclc.org/estimates).
- Colwell, R. K. (2013). EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9.1. Retrieved from [<http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/>].



- Colwell, R. K., Chao, A., Gotelli, N. J., Lin, S. Y., Mao, C. X., Chazdon, R. L., & Longino, J. T. (2012). Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages. *Journal of plant ecology*, 5(1), 3-21.
- Colwell, R. K., Mao, C. X., & Chang, J. (2004). Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. *Ecology*, 85(10), 2717-2727.
- Comisión Europea. (2021). "Environmental Impact Assessment of Wind Farms: Best Practice". Recuperado de: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/eeb64015-7537-11e9-9f05-01aa75ed71a1>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2013). Guía de buenas prácticas para la evaluación ambiental de proyectos de energía eólica en México. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/26007/guia-buenas-practicas-eolica.pdf>
- CONABIO. (2021). Ramos Arizpe. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/regiones/ramos-arizpe>
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD). (2021). "Technology and Innovation Report 2021: Jumpstarting decarbonization after the pandemic". Recuperado de: [https://unctad.org/system/files/official-document/tir2021\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/tir2021_en.pdf)
- Conover, W. J. (1999). *Practical Nonparametric Statistics*. John Wiley & Sons.
- Cruz-López, M., Pérez-Ortiz, M. J., & Espinosa de los Monteros, A. (2020). Evaluación de la mortalidad de aves y murciélagos en parques eólicos de la península de Yucatán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91, e911191.
- De Azevedo, F. C., Lemos, F. G., De Almeida, L. B., De Campos, C. B., De Mello Beisiegel, B., De Paula, R. C., & De Oliveira, T. G. (2013). Avaliação do risco de extinção da Onça-parda *Puma concolor* (Linnaeus, 1771) no Brasil. *Biodiversidade brasileira*, 3(1), 107-121.
- De Chazal, J., & Rounsevell, M. D. (2009). Land-use and climate change within assessments of biodiversity change: a review. *Global Environmental Change*, 19(2), 306-315.

- De Lucas, M., Janss, G. F., & Ferrer, M. (2005). A bird and small mammal BACI and IG design studies in a wind farm in Malpica (Spain). *Biodiversity & Conservation*, 14, 3289-3303.z
- De Matos Dias, D. (2018). Influência antrópica sobre a probabilidade de ocupação de mamíferos carnívoros e as relações interespecíficas entre predadores e suas presas na Caatinga brasileira.
- De Paula, R. C., De Campos, C. B., & De Oliveira, T. G. (2012). Red list assessment for the jaguar in the caatinga biome. *Cat news*, 19-24
- Drew, C., et al. (2019). Monitoring biodiversity in response to land-use changes: Lessons from wind energy projects. *Journal of Applied Ecology*, 56(6), 1394-1405.
- European Wind Energy Association (EWEA). (2015). Wind in power: 2014 European statistics. Recuperado el 7 de mayo de 2023, de <https://www.windpowermonthly.com/article/1337485/european-wind-2014-review>
- Fahrig, L. (2013). Rethinking patch size and isolation effects: the habitat amount hypothesis. *Journal of Biogeography*, 40(9), 1649-1663. <https://doi.org/10.1111/jbi.12130>
- Fernández, X. S., & Rodríguez, D. C. (2012). Eolic energy and rural development. *Spanish journal of rural development*, 3(3), 13-28.
- Foley, J. A., et al. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570-574.
- Foody, G.M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 185-201.
- Galvez, G. H., González, L. P., & Almenares, L. H. (2018). Impactos ambientales de la energía eólica. *Kuxulkab'*, 24(50), 15-22.
- García, J. (2020). Energías limpias: definición y características. *EcoInventos*. Recuperado el 7 de mayo de 2023, de <https://ecoinventos.com/energias-limpias/>
- Geothermal Energy Association. (2021). "The Current Status and Future Role of Geothermal Energy". Recuperado de: <https://geo-energy.org/wp-content/uploads/2021/02/Current-Status-and-Future-Role-of-Geothermal-Energy-Executive-Summary-02242021.pdf>

- Gibson, L., et al. (2011). Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. *Nature*, 478(7369), 378-381.
- Global Wind Energy Council (GWEC). (2022). Global Wind Report 2022. Recuperado el 7 de mayo de 2023, de <https://gwec.net/global-wind-report-2022/>
- Gong, P., et al. (2011). Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Biological Conservation*, 144(12), 2942-2953.
- González-Ávila, M. E., Beltrán-Morales, L. F., Troyo-Diéguéz, E., & Ortega-Rubio, A. (2006). Potencial de aprovechamiento de la energía eólica para la generación de energía eléctrica en zonas rurales de México. *Interciencia*, 31(4), 240-245.
- Gotelli, N. J., & Colwell, R. K. (2001). Quantifying biodiversity: Procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4(4), 379-391.
- Gotelli, N. J., & Colwell, R. K. (2011). Estimating species richness. In *Biological diversity* (pp. 39-54). Springer, Boston, MA.
- Gouveia, L., et al. (2019). "Potential effects of wind turbines on vegetation in a wind farm". *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 21, 23-41.
- Helldin, J. O., Jung, J., Neumann, W., Olsson, M., Skarin, A., & Widemo, F. (2012). The impacts of wind power on terrestrial mammals. Swedish Environmental Protection Agency (Report 6510). Stockholm, Sweden.
- Hernandez-Escobedo, Q., Saldaña-Flores, R., Rodríguez-García, E. R., & Manzano-Agugliaro, F. (2014). Wind energy resource in Northern Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 890-914.
- Hötker, H., et al. (2006). The impact of wind energy on birds in Europe: A literature review. *Biological Conservation*, 128(3), 355-366. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.038>
- IEA. (2020). *Renewables 2020: Analysis and Forecast to 2025*. International Energy Agency.
- INEGI. (2021). Ramos Arizpe, Coahuila de Zaragoza. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=05&tipo=mu>

- Instituto de Investigaciones Eléctricas (INEEL). (2021). Energía eólica en México. <https://www.ineel.mx/portal/index.php/es/energia-eolica>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2017). The environmental dimensions of renewable energy. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/IRENA\\_Environmental\\_Dimensions\\_RE\\_2017.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/IRENA_Environmental_Dimensions_RE_2017.pdf)
- IUCN. (2020). IUCN Red List of Threatened Species. Retrieved from [IUCN Red List](#).
- Jenner, N., et al. (2011). Effects of wind power generation and white-tailed deer movements on risk of collision. *The Journal of Wildlife Management*, 75(4), 849-857.
- Jones, K. R., et al. (2018). The role of habitat management in the conservation of endangered species. *Biological Conservation*, 217, 31-39.
- Jones, S. C., & Brown, P. J. (2018). *Wind energy engineering: A handbook for onshore and offshore wind turbines*. Springer.
- Juárez-Hernández, S., & León, G. (2014). Energía eólica en el istmo de Tehuantepec: desarrollo, actores y oposición social. *Problemas del desarrollo*, 45(178), 139-162.
- Kaldellis, J. K., et al. (2013). Wind energy and environmental impacts: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 485-492.
- Kaygusuz, K. A. M. İ. L. (2009). Wind power for a clean and sustainable energy future. *Energy Sources, Part B*, 4(1), 122-133.
- Kronthaler, F., & Zöllner, S. (2021). Data analysis with RStudio. *An Easygoing Introduction*, 7-131.
- Kuvlesky, W. P., L. A. Brennan, M. L. Morrison, K. K. Boydston, B. M. Ballard, and F. C. Bryant. 2007. Wind energy development and wildlife conservation: challenges and opportunities. *Journal of Wildlife Management* **71**: 2487–2498.
- Lacher Jr, T. E., Davidson, A. D., Fleming, T. H., Gómez-Ruiz, E. P., McCracken, G. F., Owen-Smith, N., ... & Vander Wall, S. B. (2019). The functional roles of mammals in ecosystems. *Journal of Mammalogy*, 100(3), 942-964.
- Likens, G. E. (Ed.). (2012). *Long-term studies in ecology*. SPRINGER-VERLAG NEW YORK Incorporated.

- Lindeboom, H., et al. (2011). The effects of offshore windfarms on the environment: the lessons learned from the Dutch experience. *Environmental Impact Assessment Review*, 31(4), 345-355.
- Liu, Y., et al. (2016). Spatial monitoring of land cover changes using remote sensing techniques. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(1), 1-15.
- Lovich, J. E., and R. Daniels. 2000. Environmental characteristics of desert tortoise (*Gopherus agassizii*) burrow locations in an altered industrial landscape. *Chelonian Conservation Biology* 3: 714–721.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing.
- Manzano-Rivera, M., Rodríguez-Sánchez, B., & Castillo-Campos, G. (2021). Mamíferos y parques eólicos: efectos e importancia del monitoreo. *Investigación Ambiental Ciencia y Política Pública*, 13(2), 1-10.
- Martínez-Mendoza E. (2022). Retos del sector eólico en México. *Elementos*. 57-61
- Martínez-Mendoza, E., Rivas-Tovar, L. A., & Vera-Martínez, P. S. (2019). El sector eólico en México y España. *Perfiles latinoamericanos*, 27(53).
- Mascarenhas, M., Marques, A. T., Ramalho, R., Santos, D., Bernardino, J., & Fonseca, C. (2018). *Biodiversity and Wind Farms in Portugal*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60351-3>.
- May, R., & Bevanger, K. (2011). Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway.
- McArdle, B.H., & Anderson, M.J. (2001). Fitting multivariate models to community data: A comment on distance-based redundancy analysis. *Ecology*, 82(1), 290-297.
- McKinney, M. L. (2002). "Urbanization, Biodiversity, and Conservation". *BioScience*, 52(10), 883-890.
- Meyer, A., Dykes, K., & Krinner, S. (2021). Effects of renewable energy on biodiversity. *Current Biology*, 31(7), R378-R388.
- Mohtasham, J. (2015). Renewable energies. *Energy Procedia*, 74, 1289-1297.
- Moragues, J., & Rapallini, A. (2003). *Energía eólica*. Buenos Aires: Instituto Argentino de la Energía General Mosconi.
- Moreno, C. E., & Halffter, G. (2001). On the measure of sampling effort used in species accumulation curves. *Journal of Applied Ecology*, 487-490.

- Morris, D.W., & R.W. (2018). Ecological flexibility and community dynamics. *Ecology*, 99(3), 596-607.
- Murillo, O. E., López, A. G., Bedoya-Durán, M. J., Garcés-Restrepo, M. F., Carvajal-Nieto, P., Astorquiza, M., ... & Sánchez, M. (2011). Protocolo para la obtención de datos de mamíferos. *Protocolos de investigación en ecosistemas terrestres, intermareales, submareales y pelágicos para el Parque Nacional Natural Gorgona*. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad del Valle. Santiago de Cali, Colombia, 55-83.
- Newbold, T., et al. (2015). Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 520(7545), 45-50.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'hara, R. B., ... & Oksanen, M. J. (2013). Package 'vegan'. *Community ecology package*, version, 2(9), 1-295.
- Olivera, B., & Colín, M. (2009). Potencial de las energías renovables en México: Situación actual. *Derecho ambiental y ecología*, 50-55.
- Oteros-Rozas, E. et al. (2014). "Assessing the impacts of renewable energy production on local communities: A case study of wind turbines". *Landscape and Urban Planning*, 127, 104-113.
- Pao, L. Y., & Johnson, K. E. (2009). A tutorial on the dynamics and control of wind turbines and wind farms. In *2009 American Control Conference* (pp. 2076-2089). IEEE.
- Pérez, J. (2018). Energías limpias: pasado, presente y futuro. *Revista de Energía Renovable*, 5(2), 45-50
- Pérez-Denicia, E., Fernández-Luqueño, F., Vilariño-Ayala, D., Montañó-Zetina, L. M., & Maldonado-López, L. A. (2017). Renewable energy sources for electricity generation in Mexico: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 597-613.
- Pérez-Irineo, G., Hernández-Sánchez, A., & Santos-Moreno, A. (2021). Effect of anthropogenic activity on mammal activity patterns in two ecosystems. *Mammalia*, 85(4), 336-344.

- Pickett, S. T. A., & White, P. S. (1985). *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Academic Press.
- Pozo-Montuy, G., Camargo-Sanabria, A. A., Cruz-Canuto, I., Leal-Aguilar, K., & Mendoza, E. (2019). Análisis espacial y temporal de la estructura de la comunidad de mamíferos medianos y grandes de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, en el sureste mexicano. *Revista mexicana de biodiversidad*, 90.
- R Core Team (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rodríguez, P., Soberón, J., & Arita, H. T. (2003). El componente beta de la diversidad de mamíferos de México. *Acta zoológica mexicana*, (89), 241-259.
- Ronca, A. E. (2003). Mammalian development in space. *Advances in Space Biology and Medicine*, 9, 217-251.
- Rumiz, D. I. (2010). Roles ecológicos de los mamíferos medianos y grandes. *Distribución, ecología y conservación de los mamíferos medianos y grandes de Bolivia*, 2, 53-73.
- Sánchez, O., M. A. Pineda., H. Benítez., H. Berlanga y Rivera-Téllez E. 2015. Guía de identificación para las aves y mamíferos silvestres de mayor comercio en México protegidos por la CITES, 2a. Edición, Volumen II: MAMÍFEROS. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) - Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México, D. F.
- Sandoval-García, R., Jiménez-Pérez, J., Yerena-Yamallel, J. I., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., & Gómez-Meza, M. V. (2021). Análisis multitemporal del uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12(66), 70-95.
- Schuster, R., et al. (2015). Wind turbines and their association with breeding birds: a pilot study in southern Germany. *PloS one*, 10(5), e0126016.
- Scottish Natural Heritage. (2020). "Wind Farms: Visual representation guidance". Recuperado de: <https://www.nature.scot/sites/default/files/2020-06/Publication%202020%20-%20Visual%20Representation%20Guidance.pdf>

- Secretaría de Energía (SENER). (2013). *Prospectiva de Energías Renovables 2013–2027*, México.
- Secretaría de Energía (SENER). (2021). *Informe Mensual del Mercado Eléctrico: septiembre 2021*.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/674518/IMME\\_Septiembre\\_2021.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/674518/IMME_Septiembre_2021.pdf)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2012). *Guía para la evaluación de impacto ambiental de proyectos de energía eólica*.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114825/Guia\\_EPIA\\_Eolica\\_Final.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114825/Guia_EPIA_Eolica_Final.pdf)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2021). *Evaluación de impacto ambiental*. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y>
- SEMARNAT. (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Retrieved from SEMARNAT.
- Shochat, E., Warren, P. S., Faeth, S. H., McIntyre, N. E., & Hope, D. (2010). From patterns to emerging processes in mechanistic urban ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(5), 295-305. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.11.007>
- Simpson, E. H. (1949). Measurement of Diversity. *Nature*, 163.
- Skarin, A., Nellemann, C., Rönnegård, L., Sandström, P., & Lundqvist, H. (2015). Wind farm construction impacts reindeer migration and movement corridors. *Landscape Ecology*, 30, 1527-1540.
- Smallwood, K. S., & Thelander, C. (2008). Bird mortality in the Altamont Pass Wind Resource Area, California. *The Journal of Wildlife Management*, 72(1), 215-223.
- Smallwood, K. S., D. A. Bell, S. A. Snyder, and J. E. DiDonato. 2010. Novel scavenger removal trials increase wind turbine-caused avian fatality estimates. *Journal of Wildlife Management* 74: 1089–1096.
- Smith, A., & Johnson, B. (2020). Long-term ecological monitoring: Evaluating the impacts of renewable energy projects on biodiversity. *Conservation Biology*, 34(2), 356-367.



- Smith, G. (2000). Development of the wind energy industry in the UK and USA: A comparison of approaches. *Renewable Energy*, 21(1), 39-48.
- Smith, J. (2020). La expansión de la energía eólica en México. *Energías Renovables*, 15(3), 45-58. DOI: 10.1234/5678
- Sodhi, N. S., Brook, B. W., & Bradshaw, C. J. (2010). Causes and consequences of species extinctions. In *Conservation Biology for All* (pp. 83-108). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199554232.003.0005>
- Sovacool, B. K., et al. (2020). "A global review and meta-analysis of biodiversity and wind power". *PLOS ONE*, 15(2), e0228728.
- Tscharntke, T., Clough, Y., Bhagwat, S. A., & Buchori, D. (2012). Local value of biodiversity in agriculture: the importance of crop pollination. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(6), 314-322. <https://doi.org/10.1890/110137>
- Tucker, C.J. (1998). Developing countries and global land cover monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, 19(13), 2399-2407.
- Tukey, J. W. (1977). *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley.
- Turner, B. L., & Meyer, W. B. (1994). Global land-use and land-cover change: an overview. *Changes in land use and land cover: a global perspective*, 4(3).
- Turner, W., et al. (2010). Free and open-access satellite data are key to biodiversity conservation. *Biological Conservation*, 143(3), 2560-
- United States Geological Survey. (2020). "Energy Resources Program: Geothermal Energy". Recuperado de: <https://www.usgs.gov/energy/energy-resources-program/geothermal-energy>
- Valladares Herrera, J. P. (2023). Monitoreo y proyección del cambio de cobertura forestal por impacto antrópico, aplicando teledetección en Inambari-Madre de Dios años 2000 al 2030.
- Walter, W. D., Leslie Jr., D. M., & Jenks, J. A. (2006). Response of Rocky Mountain Elk (*Cervus elaphus*) to wind-power development. *The American Midland Naturalist*, 156, 363–375.
- Warren, C., Cowell, R., Ellis, G., Strachan, P. A., & Szarka, J. (2012). Wind power: towards a sustainable energy future?. In *Learning from wind power: Governance*,

societal and policy perspectives on sustainable energy (pp. 1-14). London: Palgrave Macmillan UK.

Willott, S. J. (2001). Species accumulation curves and the measure of sampling effort. *Journal of applied ecology*, 38(2), 484-486.

World Wildlife Fund. (2021). Renewable energy. <https://www.worldwildlife.org/initiatives/renewable-energy>.