



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES Y BIOTECNOLOGÍA

**“Análisis de superposición espacial en la distribución del Murciélago de Cola Libre
(*Tadarida brasiliensis*, Geoffroy, 1824) y los parques eólicos en la IV región del norte
de Chile”**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los
requisitos para optar al Título de
Bióloga con Mención en Medio Ambiente

Jael Cuzmar Valenzuela

Directora: Annia Rodríguez-San Pedro

Co-Director: Fabio A. Labra Rodríguez

Patrocinante: Ramiro O. Bustamante Araya

Julio, 2023

Santiago - Chile



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES Y BIOTECNOLOGÍA

Informe de Aprobación de Seminario de Título

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile, que el Seminario de Título, presentado por

Jael Cuzmar Valenzuela

“Análisis de superposición espacial en la distribución del Murciélago de Cola Libre (*Tadarida brasiliensis*, Geoffroy, 1824) y los parques eólicos en la IV región del norte de Chile”

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de

Bióloga con Mención en Medio Ambiente.

Director Seminario de Título:

Dra. Annia Rodríguez-San Pedro _____

Comisión Revisora y Evaluadora:

Presidente Comisión:

Dr. Rodrigo Vásquez Salfate _____

Evaluador:

Dr. Pablo Sabat Kirkwood _____

Santiago de Chile, julio de 2023

BIOGRAFÍA



Desde pequeña experimenté un particular interés por la naturaleza. Contemplando afanosamente cualquiera de sus componentes que se presentara en mi experiencia de conocer el mundo, extrayendo inspiración y saber.

Diría que uno de los primeros hitos en la conformación de mi vocación fue el interés que despertó mi profesora de ciencias naturales en la enseñanza básica. Desde ese momento se transformó en mi materia favorita, marcando el inicio de un largo camino a recorrer.

Nací y crecí en Santiago, una gran ciudad que no ofrece mucha naturaleza a sus habitantes. Siempre tuve gran curiosidad por conocer los bosques, pero no pude visitar uno hasta el final de mi adolescencia e inicios de mi carrera universitaria, cuando pude viajar a explorar la belleza del sur. Me maravillé, y confirmé que deseaba pasar gran parte de mi tiempo allí, donde todo ocurre, donde la vida silvestre habita.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a todo aquel que comparta admiración por los murciélagos, y entregue esfuerzos y voluntades a su estudio y conservación.

AGRADECIMIENTOS

Biología Ambiental hizo posible ejercer mi vocación en su más puro y coherente sentido, transformar mi pasión y amor por lo que posee vida, en mi profesión, por ello, siempre estaré agradecida a la Universidad de Chile y sus excelentes académicos, por innovar en esta carrera profesional y permitirles a los amantes de la naturaleza hacer de ello una forma de vivir.

Estoy inmensamente agradecida a Ramiro, por acogerme en su laboratorio cálida y desinteresadamente en un momento adverso de mi formación académica, sin duda fue crucial para el desarrollo de este trabajo. Así mismo, a cada integrante del laboratorio, mis queridos compañeros y colegas, que siempre tuvieron una palabra o gesto de apoyo y afecto cuando lo necesité, renovando mis fuerzas y ánimos para continuar.

Gracias a Annia por recibirme tan abiertamente como alumna, y mantenerse firme durante todo el proceso, agradezco los conocimientos y oportunidades que me brindó. A Fabio también, por sus perspicaces comentarios e ideas, y acompañarme en el proceso de aprender los métodos empleados.

Por último, debo agradecer a mis padres por inculcar desde temprana edad lo virtuoso de cultivar el saber en mi desarrollo como persona, por apoyarme y hacerme sentir capaz de cualquier desafío en la vida, por más cuesta arriba que parezca. A mi madre por levantarse temprano en los días de evaluaciones para que pudiera dormir unos minutos más, por esperarme con comida preparada con todo su amor en días agotadores. A mi padre por maravillarse en conversaciones donde le comentaba lo que estaba aprendiendo. A mi tía por estar siempre presente en todo su significado. A mis hermosas amistades, mi familia elegida, por comprender mis largas ausencias en el ámbito social, y recibirme con los brazos abiertos en mis regresos. Gracias a todos por celebrar conmigo este logro.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN	5
Objetivos.....	11
MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
Sitio de estudio.....	12
Datos de presencias de <i>Tadarida brasiliensis</i>	13
Variables climáticas	16
Modelo de distribución potencial y análisis de idoneidad de hábitat	19
Datos de parques eólicos.....	22
Análisis de superposición espacial.....	23
Manipulación de cartografías.....	23
RESULTADOS	24
DISCUSIÓN.....	29
CONCLUSIONES	38
BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXO	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tamaño muestral y resultados del rendimiento del modelo de distribución potencial. Se muestran los valores promedio obtenidos de las tres partidas de validación cruzada del modelo: el número de datos utilizados para los conjuntos de entrenamiento y validación; la estadística “AUC” para ambos grupos \pm su error estándar; y el valor umbral “Maximum test sensitivity plus specificity Cloglog threshold” (SSSm_{máx.}) \pm su error estándar.....24

Tabla 2: Importancia relativa de las variables climáticas del modelo. Se presentan en porcentajes la permutación de las variables climáticas utilizadas en el modelo de distribución potencial: temperatura (T), precipitación (PP) y viento (V); en sus valores mínimos (mín.), promedios, y máximos (máx.). Los valores corresponden a promedios de las tres validaciones cruzadas. Se señala con asterisco (*) los valores de relevancia.27

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1: Presencia de *T. brasiliensis* en la IV región de Chile (Coquimbo). Los puntos rojos muestran las ubicaciones de presencia de la especie en estudio, utilizadas en la construcción del modelo de distribución potencial; en verde las regiones de Chile; mientras que en café la división comunal de la IV región. La representación se encuentra en coordenadas geográficas.....13
- Figura 2: Frecuencia de presencias de *Tadarida brasiliensis* utilizadas en el modelo de distribución potencial. Las barras grises representan la frecuencia de datos de presencia de la especie en los días del año (números señalados en la circunferencia), donde 0 indica el inicio del año en enero y final de diciembre en sentido horario.....18
- Figura 3: Modelo de distribución potencial de *Tadarida brasiliensis*. Se representa en gradiente de color la probabilidad de presencia de la especie; el valor de probabilidad 0 se muestra en color morado oscuro, valores medios cercanos a 0,5 en verde, y valor 1 en rojo oscuro. La barra al centro del gradiente indica el valor umbral “SSSmáx.” con el que posteriormente se categorizó binariamente el modelo. La representación se encuentra en coordenadas geográficas.....25
- Figura 4: Sobreposición espacial de aerogeneradores en los parques eólicos de la IV región con la distribución potencial de *T. brasiliensis* representada de forma binaria utilizando el umbral SSSmáx.=0,4. Se muestran los píxeles de hábitat idóneo para la especie en estudio en rojo, mientras que los no idóneos en verde. Los aerogeneradores de los parques eólicos en funcionamiento están representados por los puntos rosa (Aerogeneradores), y los aerogeneradores del parque en proceso de evaluación por los puntos amarillos (Aerogeneradores proyectados). Los mapas se encuentran en coordenadas geográficas.....26
- Figura 5: Frecuencia relativa de aerogeneradores coincidentes con hábitat idóneo y no idóneo de *T. brasiliensis*. Se presenta el porcentaje de aerogeneradores de parques eólicos construidos (panel

A) y proyectados (panel B) que se superponen a hábitat idóneo (barra color rojo) y hábitat no idóneo (barra color verde) de la especie. Los números sobre las barras indican el porcentaje que representa cada barra.28

RESUMEN

En Chile habitan 17 especies de murciélagos, todas nativas, una de ellas endémica en el territorio nacional. La actividad eólica se encuentra altamente desarrollada en el norte del país, coincidiendo territorialmente con el hábitat de la quiropterofauna. Sin embargo, existe muy poca información sobre los impactos que genera dicha actividad sobre los murciélagos a nivel nacional, y en particular sobre su ecología e interacción con el medio. Una de las especies más afectadas es *Tadarida brasiliensis*, murciélago de cola libre, siendo frecuentemente hallado en las bases de los aerogeneradores con señales de muerte por colisión directa o por barotrauma. Contar con una evaluación del grado de interferencia entre los aerogeneradores y la especie resulta entonces una tarea fundamental para armonizar el desarrollo de la energía eólica con la conservación de sus poblaciones. En este estudio se evaluó el impacto de los parques eólicos en la VI región del norte de Chile, una de las regiones con mayor actividad eólica en el país, sobre *T. brasiliensis*, mediante la identificación del grado de superposición espacial de los aerogeneradores con las zonas de mayor idoneidad de hábitat de la especie. Para modelar la distribución potencial de *T. brasiliensis* e identificar las zonas más idóneas se utilizó el software Maxent con información climática descargada desde la base datos WorldClim y datos de presencia de la especie recopilados principalmente desde los informes asociados a los parques eólicos en la región, disponibles en línea en los sistemas web nacionales de evaluación y fiscalización ambiental de Chile. Mientras que la distribución de los aerogeneradores de los parques eólicos se obtuvo de las ubicaciones informadas por los titulares de los proyectos a las autoridades ambientales, disponibles en la web. El área estimada como idónea para *T. brasiliensis* si bien coincide con lo descrito anteriormente en la literatura, no representa la distribución total de la especie, sino más bien, una sección de esta, asociada al área costera, puesto que dada su gran adaptabilidad a diversos ambientes es probable que se encuentre en gran parte de la región. Los resultados indican que el 89% de los aerogeneradores de los parques eólicos construidos y un 97% de los aerogeneradores de los parques

eólicos aprobados, pero aún no construidos, interfieren territorialmente con hábitat estimado como idóneo para la especie, resultando en una importante sobreposición entre el hábitat del murciélago y la actividad eólica. Se requiere mejorar la disponibilidad y representatividad ambiental de los datos de presencia para así obtener modelos de distribución potencial más completos.

ABSTRACT

In Chile there are 17 species of bats, all native, one of them endemic in the national territory. Wind activity is highly developed in the north of the country, territorially coinciding with the habitat of the chiroptero fauna. However, there is very little information on the impacts generated by this activity on bats at the national level, and in particular on their ecology and interaction with the environment. One of the most affected species is *Tadarida brasiliensis*, a Brazilian free-tailed bat, frequently found at the base of wind turbines with signs of death from direct collision or barotrauma. Having an assessment of the degree of interference between the wind turbines and the species is then a fundamental task to harmonize the development of wind energy with the conservation of their populations. This study evaluated the impact of wind farms in the VI region of northern Chile, one of the regions with the highest wind activity in the country, on *T. brasiliensis*, by identifying the degree of spatial overlap of the wind turbines with the areas of greater habitat suitability for the species. To model the potential distribution of *T. brasiliensis* and identify the most suitable areas, the Maxent software was used with climate information downloaded from the WorldClim database and data on the presence of the species collected mainly from reports associated with wind farms in the region. Available online in Chile's national environmental assessment and enforcement web systems. While the distribution of the wind turbines of the wind farms was obtained from the locations reported by the owners of the projects to the environmental authorities, available on the web. The area estimated as suitable for *T. brasiliensis*, although it coincides with what was previously described in the literature, does not represent the total distribution of the species, but rather, a section of it, associated with the coastal area, since given its great adaptability to diverse environments is likely to be found in much of the region. The results indicate that 89% of the wind turbines of the wind farms built and 97% of the wind turbines of the wind farms approved, but not yet built, territorially interfere with habitat estimated as suitable for the species, resulting in a significant overlap between the bat habitat and wind activity. It is

necessary to improve the availability and environmental representativeness of the presence data in order to obtain more complete potential distribution models.

INTRODUCCIÓN

Los murciélagos son el único grupo de mamíferos capaz de ejecutar vuelo activo, esta particularidad los constituye como un orden (Chiroptera) dentro de la clase Mammalia (Findley, 1993). Al igual que las aves, los murciélagos desarrollaron un vuelo que logra desplazamiento en base a la sustentación y propulsión, pero a que diferencia de ellas, se caracteriza por ser de baja velocidad y alta maniobrabilidad (Zachos, 2020). Dicho vuelo junto a otras características adaptativas desarrolladas en torno a este, configuran una biología y ecología muy singular, otorgándoles un rol de suma importancia en los ecosistemas, como por ejemplo ser excelentes controladores de plagas (Findley, 1993; Zachos, 2020).

En el mundo hay más de 1400 especies de quirópteros, siendo el segundo orden de mamíferos más diverso del mundo (Sandoval et al., 2021). En Chile se han reportado 17 especies de murciélagos del suborden microquirópera, pertenecientes a 4 familias, todas nativas, con una especie endémica del territorio nacional (Rodríguez-San Pedro et al., 2016; Novaes et al., 2022; Rodríguez-San Pedro et al., 2022; Rodríguez-San Pedro et al., 2023). En Chile, se distribuyen desde Arica y Parinacota hasta la región de Magallanes, abarcando una amplia diversidad de ambientes y climas, con una diversidad que aumenta hacia latitudes septentrionales, concentrándose en el Desierto de Atacama (Sierra-Cisternas & Rodríguez-Serrano, 2015; Rodríguez-San Pedro et al., 2016). Si bien poseemos la menor diversidad de especies de murciélagos en Sudamérica (Iriarte, 2007; Díaz et al., 2011; Rodríguez-San Pedro et al., 2016) el territorio nacional no deja de ser importante para el grupo, puesto que representa límites de distribución austral para la mayoría de las especies presentes, como es el caso del murciélago de cola libre (*Tadarida brasiliensis*, Geoffroy, 1824) (L. Escobar et al., 2015; Rodríguez-San Pedro et al., 2016). Además, Chile al ser una isla biogeográfica podría ser de suma importancia en la diversidad filogenética de esta especie (L. Escobar et al., 2015). *T. brasiliensis* es una de las cinco especies de murciélagos molósidos presentes en el territorio nacional y de todos los murciélagos en Chile, es la especie con mayor abundancia (Muñoz et al.,

2011; L. Escobar et al., 2015), de fácil avistamiento en predios agrícolas, paisajes naturales, sitios altamente antrópicos como ciudades y zonas semiurbanas (Rodríguez-San Pedro et al., 2016). Es por esta buena adaptabilidad a los sitios humanos que se considera una especie sinantrópica (Muñoz et al., 2011; L. Escobar et al., 2015; Rodríguez-San Pedro et al., 2016). A nivel global, *T. brasiliensis* se distribuye desde el sur de Estados Unidos hasta el norte de la Patagonia con excepción de Nicaragua y la cuenca Amazónica, abarcando amplia diversidad climática, presentando así una de las distribuciones más amplias entre los mamíferos de América (L. Escobar et al., 2015; Rodríguez-San Pedro et al., 2016). En Chile se ha reportado desde Arica y Parinacota (18° S) hasta la ciudad de Coyhaique en la región de Aysén (45°S) (Rodríguez-San Pedro et al., 2016). Es una especie gregaria, llegando a formar colonias de millones de individuos (Kunz et al., 2011); migratoria, caracterizada por ser de vuelo alto (sobre los 60 m) y de dieta insectívora (SAG, 2015; Fernández et al., 2016; Rodríguez-San Pedro et al., 2016). Una hembra de *T. brasiliensis* en periodo de máxima lactancia es capaz de consumir hasta el 70% de su masa en insectos por noche, lo que, extrapolado a una colonia de 1 millón de individuos con hembras en maternidad, podrían consumir hasta 8,4 toneladas de insectos tan solo en una noche (Kunz et al., 2011). Este es un ejemplo de cómo los murciélagos cumplen roles fundamentales para el funcionamiento de los ecosistemas del planeta, participando en el control de poblaciones de artrópodos, como también lo hacen aquellos con dieta nectarívora en la polinización y aquellos frugívoros en la dispersión de semillas (Kunz et al., 2011; Rodríguez-San Pedro et al., 2016; Reyes, 2019; Galaz et al., 2020). La presencia de murciélagos además de ser crucial en su medio también representa un beneficio para los humanos, cuando esto ocurre, dichos roles son denominados servicios ecosistémicos (Reyes, 2019), que pueden incluso valorarse económicamente (ver Rodríguez-San Pedro et al., 2020) (Frick et al., 2020).

A pesar de la relevancia de los murciélagos en el ecosistema y a los beneficios que nos proporciona su presencia, en Chile es uno de los grupos de vertebrados menos investigados y contemplados en

planes de conservación (Abarca, 2016; Fernández et al., 2016; Rodríguez-San Pedro et al., 2016). Gran volumen de la literatura asociada a los murciélagos estudia aspectos zoonóticos (e.g., virus Rabia), epidemiológicos, ecofisiológicos, y biomecánicos, dejando importantes vacíos respecto al conocimiento de su ecología, como estado de conservación de sus poblaciones y distribución (Iriarte, 2007; Sierra-Cisternas & Rodríguez-Serrano, 2015; Rodríguez-San Pedro et al., 2016). Se debe conocer para lograr una adecuada conservación (Reyes, 2019) por lo que la falta de información sobre el grupo se traduce en una dificultad para lograr dicho objetivo. Si bien el estatus de conocimiento sobre los murciélagos de Chile y puntualmente para *T. brasiliensis* ha aumentado en el último tiempo, gran parte de los estudios se han centrado en la zona centro-sur, dejando las zonas más australes y septentrionales poco investigadas (Rodríguez-San Pedro et al., 2016).

La situación de crisis climática y ecológica en la que se encuentra nuestro planeta, ha dejado a muchas especies sometidas al aumento de riesgo de extinción (Pimm & Raven, 2000; Rozzi, 2019), donde los quirópteros se encuentran sometidos a amenazas que mantienen a sus poblaciones bajo dramáticos declives (Reyes, 2019). En este sentido, la actividad de generación eólica ha sido ampliamente identificada como una amenaza a la que se enfrentan los quirópteros (Kafash et al., 2021) siendo la primera causa de mortalidad en este grupo a nivel mundial (O'Shea et al., 2016). Es así como se han registrado tasas de 2 millones de murciélagos muertos en las últimas dos décadas en países de la Península Ibérica y tasas similares o incluso mayores en otros países europeos, Estados Unidos y Canadá (SECEMU, 2021). De este modo, la disminución de las poblaciones de murciélagos a largo plazo es inminente, por lo menos a escala local (L. Escobar et al., 2015).

La familia Molossidae es la más impactada por la actividad eólica en América Latina (Agudelo et al., 2021; García, 2018). Varios estudios en América del Norte han encontrado que *T. brasiliensis* es una de las especies con mayor mortalidad en parques eólicos (Kunz, Arnett, Cooper, et al., 2007; Piorkowski & O'Connell, 2010; Toye, 2023). En América Latina el estatus de conocimiento sobre

la mortalidad de fauna voladora en parques eólicos es considerablemente menor respecto a América del Norte y Europa (Agudelo et al., 2021), y se ha centrado mayormente en las aves, dejando de lado a la quiropterofauna hasta hace algunos años (García, 2018). Una reciente revisión de la información disponible de mortalidad de aves y quirópteros en parques eólicos de América Latina (10 referencias), encontró que *T. brasiliensis* es la especie con mayores descensos en este contexto, siendo reportada en los catastros de mortalidad de todos, excepto dos, de los parques eólicos que incluyó la revisión (Agudelo et al., 2021). A nivel país, en Chile el único reporte científico sobre colisión de murciélagos en parques eólicos es el trabajo realizado por L. Escobar y col. (2015), donde *T. brasiliensis* fue la única especie hallada durante el periodo de muestreo. El resto de información se encuentra contenida en literatura gris como los informes de colisiones de parques eólicos aquí empleados en la recopilación de presencias (véase más adelante).

La generación eólica produce energía eléctrica mediante el uso de molinos de viento que para estos efectos se denominan aerogeneradores. Su industria ofrece como producto una energía más “limpia” en costos ambientales respecto a otras como la termoeléctrica o nuclear (Mohtasham, 2015). Sin embargo, no está exenta de ejercer impactos ambientales. Se ha descrito que la mortalidad de murciélagos ocurre por dos vías: 1) por colisión directa del individuo con el aerogenerador cuando este se encuentra volando e impacta con la estructura, habitualmente con la sección de las aspas, provocando su muerte por los efectos del golpe como fracturas múltiples y hemorragias (Kunz, Arnett, Cooper, et al., 2007; Horn et al., 2008); 2) por barotrauma, esto es generado por una descompresión del cuerpo del animal causado por una diferencia de presión atmosférica que se genera entre un lado y otro del rotor por el movimiento de las aspas, lo que dada la gran diferencia de tamaño entre la estructura y el cuerpo del murciélago, provoca daño a nivel cardiovascular, sobre distensión y destrucción alveolar (e.g., edema, congestión, hemorragia y/o enfisema alveolar) visible a microscopía (L. Escobar et al., 2015; SAG, 2015). Las mortalidades no ocurren por igual en todas las especies (Kuvlesky et al., 2007). Lo anterior está estrechamente

relacionado con la morfología alar. Alas angostas y largas en comparación con aquellas más anchas y cortas, permiten vuelo alto y de baja maniobrabilidad, haciendo que la altura de tránsito del murciélago coincida con la sección de las aspas del aerogenerador aumentando el riesgo de interacción, además, implica que los individuos presenten menos habilidad para sortear los vórtices de viento generados por las aspas (SAG, 2015). Este tipo de morfología alar y vuelo habitualmente se relacionan a especies migratorias como lo es *T. brasiliensis* (L. Escobar et al., 2015; SAG, 2015). Esta es una de las razones por las que no es casualidad que esta especie presente una alta mortalidad en parques eólicos, registrada mediante el hallazgo de sus carcadas en las bases de los aerogeneradores tanto a nivel nacional como mundial (Kuvlesky et al., 2007; L. Escobar et al., 2015).

Las energías denominadas limpias y renovables como la eólica, son una buena alternativa a aquellas que dejan grandes costos ambientales, y es necesario fortalecer el recambio de la matriz energética hacia fuentes que no dependan de combustibles fósiles. Chile es uno de los países latinoamericanos con mayor crecimiento de esta industria (L. Escobar et al., 2015). Sin embargo, si bien dichas alternativas ostentan ser virtuosas de la cualidad “limpias” ambientalmente, deben respetar el medio que los rodea (SECEMU, 2021). En Chile se cuenta con una normativa legal que solicita la consideración de la quiropterofauna en la evaluación ambiental de los proyectos de parque eólicos (Art. 18, letra e.2 del D.S 40, 2013). Su incorporación efectiva y frecuente en la descripción de líneas de base ambiental de proyectos de energía eólica remonta al 2008 (M. Escobar et al., 2015), sin embargo, en la práctica lo que ocurre es que el grupo es escasa o insatisfactoriamente considerado en las Evaluaciones de Impacto Ambiental de estos proyectos y la existencia de informes de monitoreos de mortalidad durante la actividad de estos también es escasa tanto Chile, como en América Latina (L. Escobar et al., 2015). Como agravante, cuando son considerados y monitoreados habitualmente es bajo metodologías de dudosa efectividad (L. Escobar et al., 2015; M. Escobar et al., 2015) que no logra capturar con fidelidad la presencia del

grupo. Lo que se puede deber en parte a la particular falta de investigación sobre los efectos de los parques eólicos en la vida silvestre, teniéndose que los esfuerzos en la evaluación ambiental en Chile no se condicen con el rápido crecimiento de la actividad en cuestión (L. Escobar et al., 2015). Mientras coincida territorialmente el hábitat de los quirópteros y el desarrollo de la actividad eólica estos impactos ambientales ciertamente van a ocurrir. Para abordar esta problemática, es necesario mejorar el conocimiento sobre las distribuciones de los quirópteros, para así obtener una noción de cómo se sobrepone con la distribución de la actividad eólica, pudiendo inferir puntos de conflicto donde pudieren ocurrir los impactos ambientales. En la actualidad se dispone de softwares capaces de estimar distribuciones geográficas potenciales de especies con rendimientos satisfactorios, que contribuyen con conocimiento sobre la distribución de especies que de otro modo no habría sido posible, siendo utilizada con frecuencia en toma de decisiones y conservación (Phillips et al., 2006). Uno de los más utilizados por sus buenos resultados es Maxent (Phillips et al., 2006; Phillips & Dudík, 2008; Yackulic et al., 2013).

En este marco L. Escobar et al. (2015) realizaron un modelo de nicho ecológico de *T. brasiliensis*, para describir su patrón de distribución potencial, y confeccionaron un mapa de riqueza con las 11 especies descritas hasta entonces, para sobreponer los puntos representativos de los parques eólicos activos y proyectados para todo el territorio nacional. La presente investigación propone una versión de este esquema metodológico a escala local, ofreciendo un análisis más fino de la distribución potencial de una de las especies más impactadas por la industria de energía eólica, *T. brasiliensis*, acotada a la IV región del Norte de Chile, donde se concentra una de las mayores cantidades de parques eólicos en funcionamiento del norte chileno, después de la región de Antofagasta (SNIFA, 2023). Se evaluará el solapamiento de la distribución del murciélago con los parques eólicos existentes en la región, con el objetivo de poner a disposición de tomadores de decisiones mayores detalles sobre la distribución de la especie en el marco de fortalecimiento de energía eólica del país.

Objetivos

Objetivo general: Identificar la sobreposición de la distribución de los parques eólicos en la IV región de Chile con las zonas de mayor idoneidad de hábitat para las poblaciones de *Tadarida brasiliensis* que habitan dicha zona.

Objetivos específicos:

- Identificar la distribución de los parques eólicos aprobados para funcionar en la IV región de Chile.
- Modelar y describir los patrones de distribución potencial de *Tadarida brasiliensis* en la IV región de Chile.
- Evaluar en qué grado los aerogeneradores de los parques eólicos interfieren con las zonas de hábitat idóneo para la especie en el sitio estudiado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El estudio tuvo lugar en la IV región de Coquimbo en el norte de Chile, situada desde el paralelo 29° S al 32° S, con un área total de 40.580 km², ubicándose en una zona de transición entre el desierto hiperárido de Atacama y la zona mediterránea de Chile central. Presenta un clima húmedo y nuboso con temperaturas moderadas en el borde costero que se torna más estepario, árido y cálido, con menor nubosidad y precipitación a medida se avanza hacia el este, hasta llegar a la Cordillera de los Andes donde la precipitación vuelve a aumentar y la temperatura disminuye (Novoa & López, 2001; Montecinos et al., 2016). En términos generales está regido principalmente por un macrobioclima mediterráneo, caracterizado por poseer precipitaciones concentradas en la temporada de invierno, y temperaturas máximas en verano, un bioclima en su mayoría mediterráneo desértico-oceánico con una porción al sur regida por mediterráneo xérico-oceánico. En cuanto a las formaciones vegetales presentes en la región, domina el matorral desértico con zonas de matorral espinoso al norte en el valle central, y matorral y bosque esclerófilo hacia el sur (Luebert & Pliscoff, 2017).

Según el último diagnóstico de desertificación en Chile desarrollado por CONAF en 2016, la región de Coquimbo presenta el nivel más crítico de sequía grave del país con cerca de 3,9 millones de hectáreas (ha) afectadas, así mismo ocupa el primer lugar en grado de desertificación del país producido principalmente por el cambio en el uso de suelo, dejando el 92% del territorio en niveles de desertificación que van de moderados a graves, afectando 2,96 millones de ha, con predominio de nivel de desertificación grave (Emanuelli et al., 2016).

Datos de presencias de *Tadarida brasiliensis*

Se recolectaron 192 datos de presencias de *T. brasiliensis* en la IV región (figura 1).

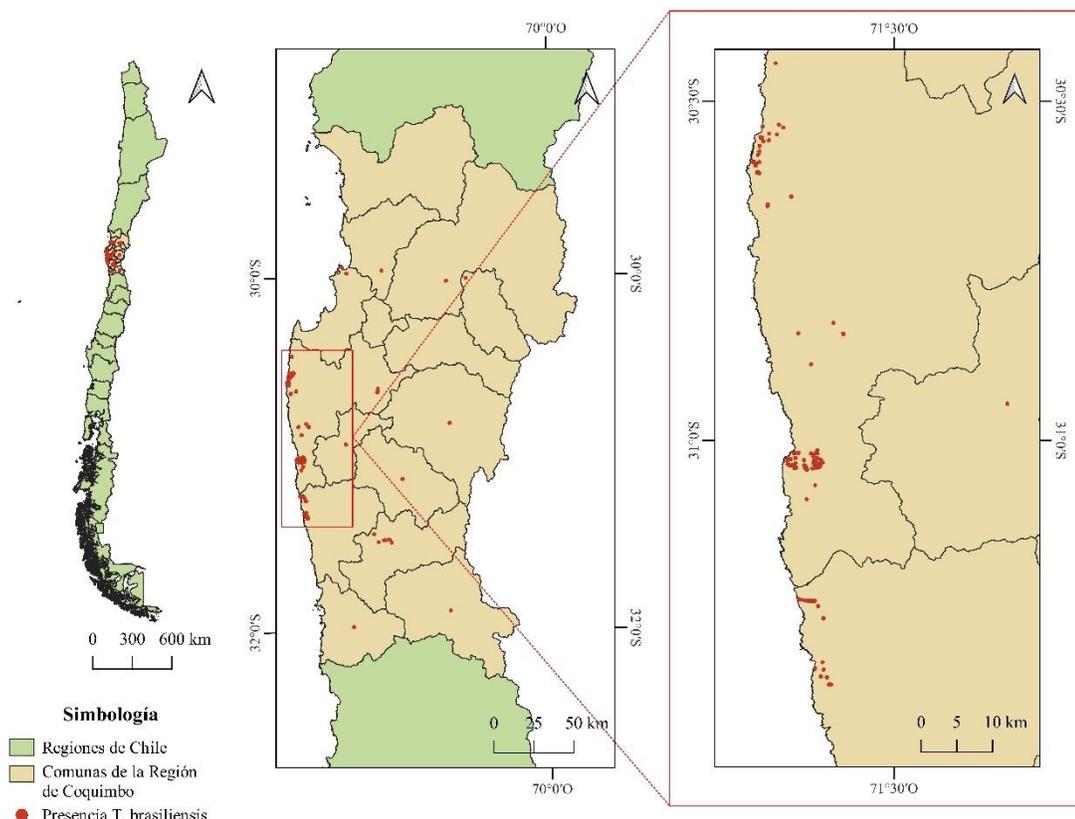


Figura 1: Presencia de *T. brasiliensis* en la IV región de Chile (Coquimbo). Los puntos rojos muestran las ubicaciones de presencia de la especie en estudio, utilizadas en la construcción del modelo de distribución potencial; en verde las regiones de Chile; mientras que en café la división comunal de la IV región. La representación se encuentra en coordenadas geográficas.

El mayor volumen de datos se obtuvo principalmente de la revisión de 243 informes de Seguimiento Ambiental de Mortalidad de Quiroptero fauna disponibles para consulta en la página web del Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental (SNIFA) (<https://snifa.sma.gob.cl/>) (ver anexo). También, se revisó el expediente electrónico de cada uno de los parques en la región registrados en el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA): 15 parques

en categoría de aprobados y 1 en proceso de calificación, disponible para consulta pública en la página web del servicio (<https://www.sea.gob.cl/>). Este expediente contiene toda la documentación asociada al proceso de evaluación ambiental. La revisión contempló el o los capítulos relativos al componente ambiental de fauna de informes de Estudios y Declaraciones de Impacto Ambiental (EIA's y DIA's) y sus adendas cuando fue necesario, además de todos los proyectos asociados a los parques, es decir, ampliaciones y/o modificaciones presentadas al sistema. En suma, ambas recopilaciones significaron 160 datos de presencia para la especie.

A lo anterior, se incorporó una base de datos con 23 registros de presencia generada por la investigadora Annia Rodríguez-San Pedro a partir de levantamientos en terreno, Global Biodiversity Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/es/>), iNaturalist (<https://www.inaturalist.org/>) y revisión de literatura.

Adicionalmente, se buscó enriquecer el conjunto de registros de la zona del valle central y cordillerana, a fin de que el conjunto de datos de presencia logre capturar de manera más representativa la variabilidad climática de la región, considerando que el grueso de los registros obtenidos inicialmente se concentró en la costa. Para ello, en primer lugar, se hizo una última revisión de las bases de datos online anteriormente mencionadas (en diciembre de 2022), GBIF e iNaturalist verificando los detalles del registro para detectar malas identificaciones o inconsistencias en la calidad de los datos, obteniendo así 4 ubicaciones de presencia para la especie. En segundo lugar, se obtuvieron registros de presencia desde la base de datos comunales del Instituto de Salud Pública (ISP), que reporta individuos entregados por la ciudadanía bajo sospecha de ser portadores de virus de Rabia. Para cada uno de estos registros se obtuvo el centroide de cada comuna para así asociarles una ubicación coordinada, para lo que se usó la herramienta vectorial de geometría “Centroides”, del software QGIS versión 3.28.0. Esta aproximación ha sido utilizada anteriormente en modelos de distribución potencial obtenidos con el software Maxent ante la falta de información de mejor resolución (Collins et al., 2017; Park & Davis, 2017; Cheng et al., 2021;

Barker & MacIsaac, 2022). Si bien su uso puede introducir un desajuste en la frecuencia de los valores de las variables explicativas, dado por la discrepancia entre los valores de dichas variables en el punto real, pero desconocido, y el centroide aproximado, esto ocurre en menor grado cuando la unidad espacial administrativa utilizada es pequeña y la heterogeneidad espacial de las variables explicativas es baja (Cheng et al., 2021). En este caso, la unidad administrativa comunal corresponde a la subdivisión político-administrativa más pequeña utilizada en Chile, conforme lo indica el Artículo 118 y subsiguientes de la Constitución Política. Por otra parte, cabe señalar que, en el caso del área de estudio, las comunas estudiadas se encuentran contenidas en una región regida por el mismo clima semiárido, por lo que, a grandes rasgos, se podría considerar baja heterogeneidad ambiental al interior de cada comuna. Cheng y colaboradores (2021) encontraron una relación positiva entre el tamaño de la unidad espacial administrativa y la heterogeneidad que esta presenta, lo que respaldaría desde otra perspectiva el uso de esta aproximación. Lo anterior significó un aporte de 5 datos para comunas de las que no había información disponible.

Un punto importante es que, el software utilizado en este estudio para modelar la distribución potencial de la especie es Maxent (ver más adelante), el cual realiza las estimaciones utilizando información presentada en celdas, también llamadas píxeles, que conforman una cuadrilla, lo que se conoce como formato ráster (Phillips et al., 2006), es por ello que en las revisiones no se consideró la abundancia de presencias para el mismo sitio, es decir, bastó con una de ellas por coordenada o comuna (esto último en el caso de los datos del ISP), para considerar a la especie presente en la ubicación.

Por otro lado, se registró la fecha en que se registraron los datos de presencia recopilados para analizar su distribución temporal, lo que se detalla más adelante en la subsección “Variables climáticas”.

Para todos los grupos de datos se consideró como ventana temporal desde el año 2000 en adelante, tomando en cuenta el cambio climático y crisis ecológica que ha desertificado al país, con mayor

efecto en la zona norte, y específicamente en la región de Coquimbo en las últimas décadas (Emanuelli et al., 2016; Pizarro et al., 2022).

Variables climáticas

La selección de las variables ambientales debe realizarse considerando que estas deben influir en la distribución real de la especie objetivo en la escala a tratar (Phillips et al., 2006). Para este caso, se utilizaron variables climáticas de temperatura, precipitación y velocidad del viento. Estudios en diversos ecosistemas, incluidos semiáridos como lo es la IV región de Chile, han utilizado variables climáticas de temperatura y precipitación en modelos de distribución espacial de murciélagos, y han encontrado que son las variables más determinantes en su distribución, ya sea de forma conjunta, o independiente (Yom-Tov & Kadmon, 1998; McCain, 2007; Razgour et al., 2011; Scherrer et al., 2019; Kafash et al., 2021). Por su parte, luego de una revisión de trabajos sobre esta temática, se determinó que la velocidad del viento no fue previamente utilizada como variable en modelos de distribución espacial, sin embargo, estudios que modelan la actividad de murciélagos si la han contemplado y por ello se decidió incluirla como variable en este estudio. Por ejemplo, Noer et al. (2012) estudiaron el rango de actividad nocturna y la selección de hábitat de dos especies de molósid, o Farnsworth et al. (2021) en el marco de la problemática de mortalidad de quirópteros en aerogeneradores obtuvieron mapas espaciales de densidades de actividad.

La precipitación al ser un factor limitante en la producción primaria es determinante en la distribución de las especies. Los murciélagos insectívoros como *T. brasiliensis* son particularmente sensibles a la precipitación y temperatura, debido a que altas cantidades de precipitación y bajas temperaturas incrementan su estrés termorregulador (Erickson & West, 2002; McCain, 2007), es así que ciertos umbrales de temperatura desencadenan hibernación o migración en algunas especies de quirópteros (Yom-Tov & Kadmon, 1998; Erickson & West, 2002). Si bien en un ecosistema semiárido difícilmente se presenten altas precipitaciones, esta variable sigue siendo de importancia

puesto que los murciélagos requieren de recursos hídricos para consumo (Lisón & Calvo, 2011; Herkt et al., 2016; Kafash et al., 2021). También existe un efecto mediado por la disponibilidad de alimento, ya que muchos insectos requieren de una temperatura mínima y un rango determinado de velocidad de viento para poder mantener su actividad y vuelo, haciendo que la oferta de alimento disminuya con la temperatura (Erickson & West, 2002; McCain, 2007; Razgour et al., 2011; Noer et al., 2012). Por su parte, se ha especulado que los murciélagos podrían utilizar corrientes de viento para facilitar su viaje a sitios que favorecen el forrajeo (McCracken et al., 2008).

Se debe procurar evitar variables que varíen su efecto sobre la especie objetivo a lo largo de la región a modelar, de lo contrario representarán variables predictoras indirectas que influirán sobre el modelo, como ocurre con la variación de las condiciones climáticas en las distintas estaciones del año (Phillips & Dudík, 2008). Para definir la pertinencia del uso de los datos climáticos anuales, o de alguna estación en particular, se evaluó si las presencias de la especie de estudio se encuentran distribuidas de forma homogénea a lo largo del ciclo anual o agrupadas estacionalmente mediante un análisis estadístico circular, utilizando el paquete “Circular” en el software R, versión 3.6.1. Esto permitió identificar que las presencias se encontraron agrupadas principalmente en dos temporadas; desde el día 260 aprox., es decir, mediados de septiembre, al día 350 aprox., lo que corresponde a diciembre; y desde finales de enero (día 20 del año aprox.) a finales de abril (día 110 aprox.). Lo que se traduce a las estaciones de primavera y verano, respectivamente (figura 2), por lo que se utilizó los datos climáticos de estas estaciones en particular.

Distribución temporal de presencias de *Tadarida brasiliensis*

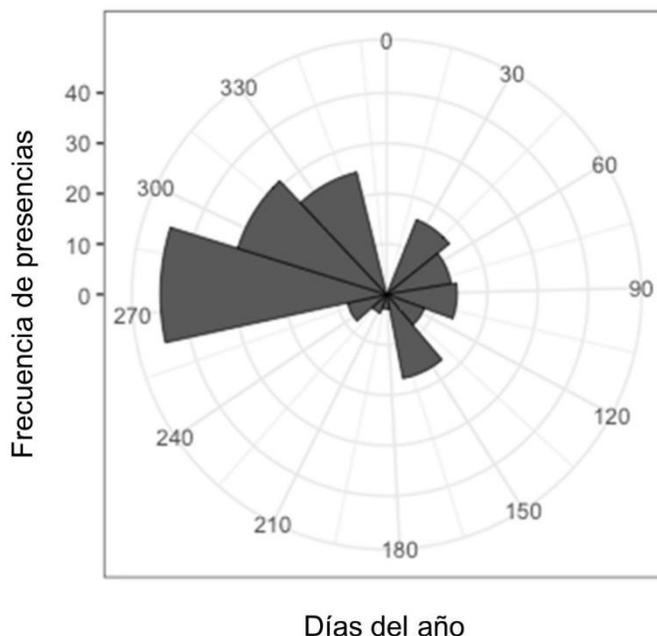


Figura 2: Frecuencia de presencias de *Tadarida brasiliensis* utilizadas en el modelo de distribución potencial. Las barras grises representan la frecuencia de datos de presencia de la especie en los días del año (números señalados en la circunferencia), donde 0 indica el inicio del año en enero y final de diciembre en sentido horario.

Se obtuvo la información climática como cuadrículas ráster desde la base de datos WorldClim, versión 2.1 que considera como línea de base actual el rango temporal de 1970 – 2000, con una resolución espacial 30 segundos de arco, equivalentes a 1 km² en el Ecuador (Fick & Hijmans, 2017), para temperatura, precipitación, y velocidad del viento, relativos a las temporadas de primavera y verano. Con ello, se confeccionaron 9 capas de información climática, 3 para cada variable; cada una respectiva a sus valores mínimos, promedios, y máximos, acotando la información a la IV región utilizando un archivo vectorial Shapefile que contenía los límites administrativos de la región, para luego exportar las capas resultantes en formato de grilla “.ascii” permitiendo su uso en el software de modelamiento Maxent; lo anterior fue procesado en el software R, Versión 3.6.1, con la librería “raster” (R Core Team, 2021; Hijmans, 2022).

Modelo de distribución potencial y análisis de idoneidad de hábitat

Se construyó un modelo de distribución potencial para la especie *Tadarida brasiliensis* en la IV región de Chile, a partir de los datos de presencia y variables climáticas descritas anteriormente, utilizando el software Maxent versión 3.4.4 (Phillips et al., 2006). Este programa utiliza un algoritmo que converge a la distribución de máxima entropía, es decir, probabilidad óptima, obteniendo modelos robustos con alta precisión predictiva, capaces de estimar con buenos rendimientos la probabilidad de presencia de la especie, a partir de conjuntos de datos con 5 presencias (Elith et al., 2006; Hernandez et al., 2006; Phillips et al., 2006; Phillips & Dudík, 2008). Sin embargo para obtener predicciones sólidas se ha recomendado utilizar conjuntos de al menos 30 presencias (Wisz et al., 2008).

El modelo se obtuvo bajo los valores predeterminados por su configuración (Phillips & Dudík, 2008). De los 192 datos de presencia, el programa filtró 71 datos únicos por celda del ráster con los que se construyó el modelo. Este modelo se ajustó utilizando 3 validaciones cruzadas. Esto permite asignar todos los puntos de presencia de manera aleatoria a los conjuntos de calibración o entrenamiento. Lo anterior permitió que el modelo se estimara con 47 datos de entrenamiento y 24 de validación en promedio (tabla 1).

Para evaluar el desempeño del modelo se utilizó el área bajo la curva característica de funcionamiento del receptor o "Receiver Operating Characteristic Curve" (ROC). Esta medida (AUC, sigla proveniente del inglés "Area Under the Curve"), permite evaluar el rendimiento del modelo, y es ampliamente utilizada en la modelación de distribución potencial de especies (Yackulic et al., 2013). El valor AUC indica la capacidad del modelo para discriminar correctamente sitios donde la especie se encuentra presente respecto de ubicaciones aleatorias. Toma valores entre 0 y 1, con 1 como valor teórico indicador de discriminación ideal, es decir, perfectamente precisa, mientras que, si su valor es 0,5, indica que el rendimiento de la discriminación predictiva no es mejor que el azar, o en otras palabras, que una suposición aleatoria,

de este modo, todo valor bajo 0,5 indica una discriminación peor que una dada por el azar, lo que puede darse cuando el modelo se ajusta a los datos, pero predice mal (Elith et al., 2006; Phillips et al., 2006).

Los modelos de Maxent proporcionan dos métricas que dan cuenta de la importancia de las variables utilizadas en el modelo: la contribución porcentual e importancia de permutación. La contribución porcentual se estima durante el entrenamiento del modelo a partir de las variables que lo ajustan. El programa estima características desde las variables ambientales que se le entregan y los datos de presencia, con las que realiza la discriminación de probabilidades resultantes del modelo. En cada paso del algoritmo se incrementa la ganancia de precisión del modelo modificando el coeficiente de una característica a la vez, esta ganancia es atribuida a la variable respectiva de la que emerge la característica, lo que al finalizar la construcción del modelo se plasma en un porcentaje. En otras palabras la contribución refleja cuanto participan las variables en la discriminación de la distribución potencial modelada. De este modo, la contribución de las variables son dependientes del recorrido que realiza el programa para obtener el modelo más óptimo. Por su parte, la importancia de permutación se calcula desde el modelo final. Se obtiene permutando de manera aleatoria los coeficientes de una variable a la vez, entre los puntos de presencia del conjunto de entrenamiento de presencia y de fondo, y se mide la caída del valor AUC de entrenamiento, lo que al normalizarlo se traduce a porcentajes. La variable mostrará porcentajes importantes cuando el valor AUC decaiga en mayor medida. Es así que esta métrica depende del resultado final del modelo y no de su recorrido (Phillips, 2017).

Es importante tener en cuenta que el modelo resultante es altamente dependiente de los valores de entrada que el usuario le proporciona, por lo que, aquí se informa importancias de las variables climáticas relativas al modelo que se presenta, y no permiten realizar conclusiones causales en función de las características ecofisiológicas, como por ejemplo aproximarse a través de estos resultados al nicho climático de la especie estudiada (Kearney & Porter, 2009; Monahan, 2009).

Por ello, para efectos de esta investigación se considera de relevancia la importancia de permutación, la cual refleja la influencia de las variables en el modelo obtenido.

La distribución potencial entregada por el modelo puede interpretarse como una distribución de índices relativos de idoneidad de hábitat para la especie, representada en un espacio geográfico (Elith et al., 2006; Phillips et al., 2006). De este modo, una vez obtenido el modelo, para categorizarlo binariamente en píxeles que representan hábitat idóneo o no idóneo para la especie de estudio, se utilizó como umbral el valor de probabilidad que maximiza la suma de sensibilidad y especificidad en el subconjunto de prueba o validación, usando la escala Cloglog, el cuál en inglés corresponde a “Maximum test sensitivity plus specificity Cloglog” (SSSmáx). Este criterio ha sido utilizado para este propósito recientemente en modelos de distribución (e.g Sreekumar & Nameer, 2022), y como indica su nombre, maximiza la especificidad y sensibilidad, es decir, la precisión de la predicción, respecto del uso tradicional del valor 0,5 (Freeman & Moisen, 2008), resultando en un método que optimiza la discriminación de presencias y ausencias, en lugar de presencias y un punto elegido al azar, además, su valor no se ve afectado con predicciones que utilizan pseudoausencias como las que entrega Maxent (Liu et al., 2013). La escala Cloglog es la transformación para la distribución de probabilidad de presencia entregada por Maxent, implementada como opción predeterminada desde la versión 3.4.0 en adelante como alternativa a la transformación logística que ofrecían por defecto las versiones anteriores, mostrando mejores resultados (Phillips et al., 2017). Dicha categorización se hizo usando la herramienta de reclasificación de ráster del software QGIS versión 3.28.0. El valor umbral SSSmáx. empleado fue de 0,4, resultando dos intervalos de probabilidad de presencia de la especie. El primero contempló $[0 < x \leq 0.4 \rightarrow 0]$ indicando ausencia de la especie, o celdas de hábitat no idóneo; mientras que el segundo abarcó $[0.4 < x \leq 1 \rightarrow 1]$ para categorizar celdas de presencia de la especie, o hábitat idóneo.

Una vez obtenido el mapa binario de hábitat idóneo y no idóneo para *T. brasiliensis*, se hizo

conteo de los píxeles del ráster que abarcó cada categoría en el entorno de cómputo R (R Core Team, 2021), utilizando la librería Terra (Hijmans, 2023), lo que posteriormente se tradujo a valores porcentuales.

Datos de parques eólicos

Debido que el elemento que ejerce mortalidad directa sobre los quirópteros en los parques eólicos son los aerogeneradores, se recopiló la ubicación coordinada de estos en los parques registrados en la IV región. Para tal efecto se revisaron los expedientes electrónicos de los 16 parques ingresados al SEA, tanto aprobados como en calificación, haciendo revisión de los documentos contenidos bajo el protocolo descrito en el apartado anterior “Datos de Presencia de *Tadarida brasiliensis*”, salvo que en este caso se examinó los capítulos relativos a la planificación y construcción del proyecto. Hubo casos en los que esta información no estuvo disponible en dicho expediente, y se encontró en la revisión de informes de Seguimiento Ambiental de Mortalidad de Quiropteroфаuna (ver anexo). Doce de los quince parques aprobados presentaron disponible las ubicaciones de sus aerogeneradores, por ello tres parques eólicos no pudieron ser considerados en este estudio. Se contabilizó 764 de 834 ubicaciones de aerogeneradores conocidas, sin embargo, al visualizar los puntos espacialmente en el territorio chileno 2 puntos se encontraron en el mar, lo que pudo deberse a un mal registro del par coordinado o un error de tipeo, de este modo, se contó con 762 datos para este elemento. Por su parte, el parque en proceso de calificación informó 38 aerogeneradores proyectados con ubicación coordinada disponible, sin embargo, de igual manera que para los parques aprobados, 2 datos se encontraron en el mar, por lo que se trabajó con 36 datos.

Análisis de superposición espacial

Para determinar la superposición de los aerogeneradores con el área de distribución potencial de *T. brasiliensis*, se confeccionó un archivo de capa vectorial con la información de las ubicaciones coordenadas de los aerogeneradores presentes en los parques eólicos, lo que junto al mapa binario de la distribución modelada en formato ráster, permitió realizar una consulta de tipo vectorial, utilizando el software estadístico R versión 4.2.2, con la librería Terra (Hijmans et al., 2023), para determinar el grado de interferencia entre estos dos elementos. La información resultante se condensó en gráficos confeccionados en el software R.

Manipulación de cartografías

Para ediciones posteriores de las cartografías se utilizó el software QGIS versión 3.28.0. Las capas con la información de límites políticos de Chile se obtuvieron en formato “shapefile” desde la mapoteca de la página web de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (https://www.bcn.cl/siit/mapas_vectoriales/index.html).

RESULTADOS

El modelo promedio para *T. brasiliensis* de las tres partidas de validación cruzada obtuvo un valor AUC $0,95 \pm 0,0014$ para el conjunto de datos de entrenamiento y de $0,94 \pm 0,0079$ para validación. El umbral SSSmáx. del modelo fue de 0,4 (tabla 1).

Tabla 1: Tamaño muestral y resultados del rendimiento del modelo de distribución potencial. Se muestran los valores promedio obtenidos de las tres partidas de validación cruzada del modelo: el número de datos utilizados para los conjuntos de entrenamiento y validación; la estadística “AUC” para ambos grupos \pm su error estándar; y el valor umbral “Maximum test sensitivity plus specificity Cloglog threshold” (SSSmáx.) \pm su error estándar.

Conjunto de datos	N	Estadística AUC	Umbral SSSmáx.
<i>Entrenamiento</i>	47	$0,95 \pm 0,0014$	0,4
<i>Validación</i>	24	$0,94 \pm 0,0079$	

La distribución potencial para *T. brasiliensis* muestra una marcada agrupación de las mayores probabilidades de presencia de la especie en la costa de la región (valores cercanos a 1), que disminuyen conforme se avanza hacia la cordillera de Los Andes, exceptuando la zona media de la región hacia el valle central, donde vuelve a mostrar probabilidades cercanas a 0,5 y algunos pixeles próximos a 1 (figura 3). De este modo, la distribución de hábitat idóneo para la especie mantiene el mismo patrón (figura 4). Por su parte, los aerogeneradores de los parques eólicos tanto construidos como en proceso de evaluación se encuentran notoriamente agrupados en la costa, coincidiendo casi en su totalidad con el hábitat idóneo modelado para *T. brasiliensis* (figura 4). De esta manera, se observa alta sobreposición espacial del hábitat idóneo con la actividad eólica, resultando en el área de impacto.

El área total de la IV región se tradujo a un ráster con 53.334 pixeles. De los cuales el modelo de idoneidad de hábitat determinó el 4,21% como hábitat idóneo, y el 95,79% como hábitat no idóneo (Figura 4).

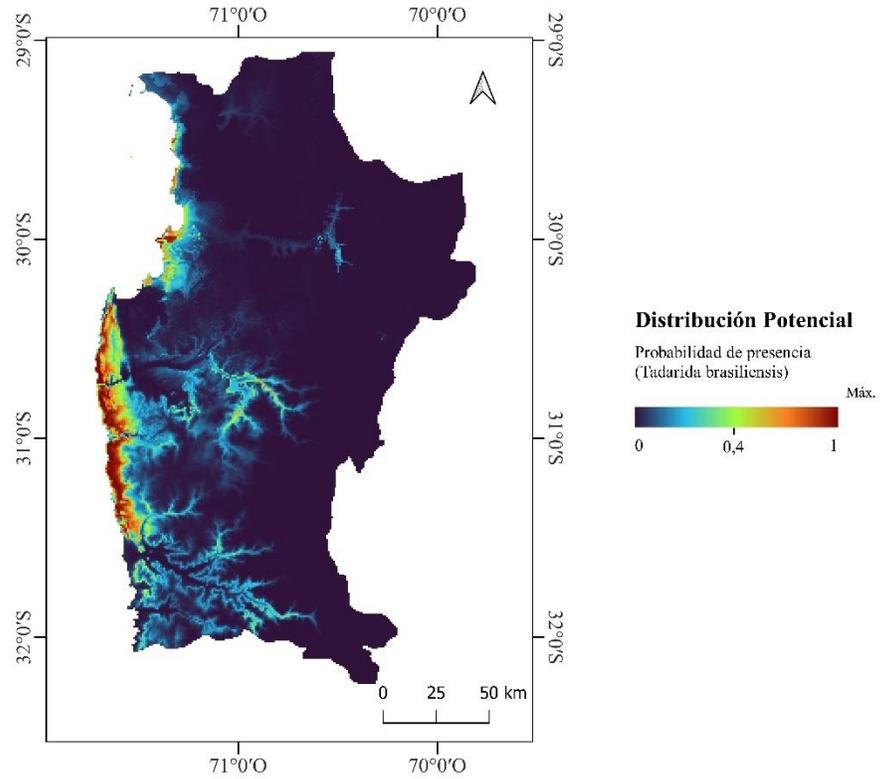


Figura 3: Modelo de distribución potencial de *Tadarida brasiliensis*. Se representa en gradiente de color la probabilidad de presencia de la especie; el valor de probabilidad 0 se muestra en color morado oscuro, valores medios cercanos a 0,5 en verde, y valor 1 en rojo oscuro. La barra al centro del gradiente indica el valor umbral “SSSmáx.” con el que posteriormente se categorizó binariamente el modelo. La representación se encuentra en coordenadas geográficas.

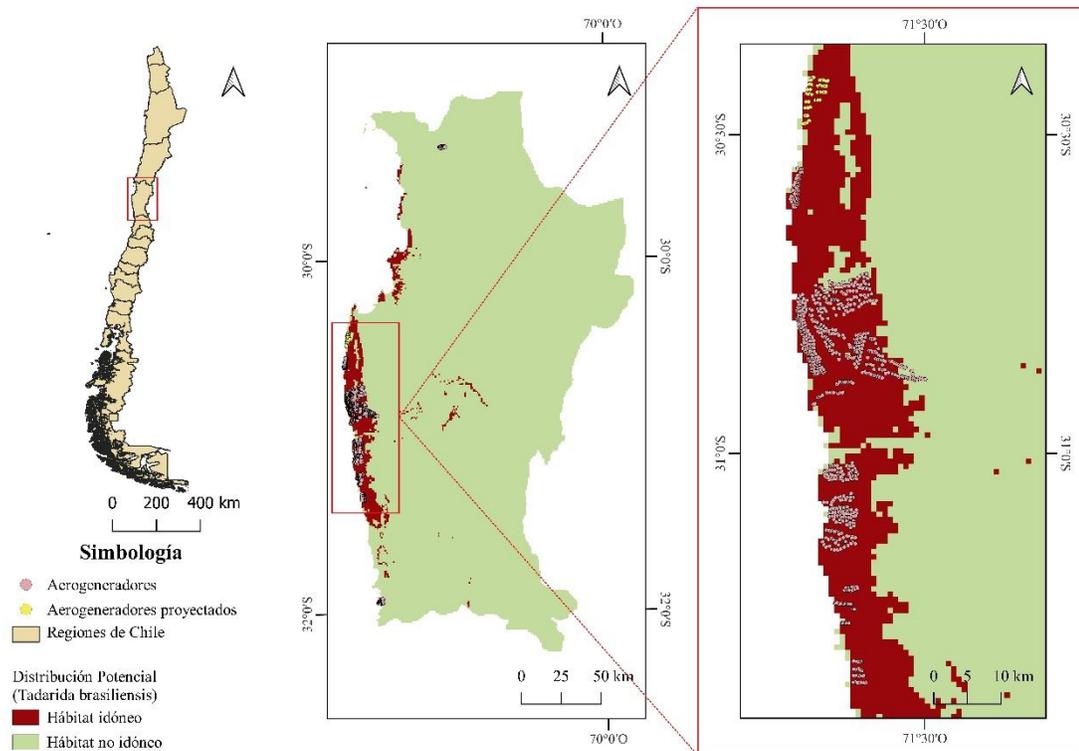


Figura 4: Sobreposición espacial de aerogeneradores en los parques eólicos de la IV región con la distribución potencial de *T. brasiliensis* representada de forma binaria utilizando el umbral $SSS_{m\acute{a}x.}=0,4$. Se muestran los píxeles de hábitat idóneo para la especie en estudio en rojo, mientras que los no idóneos en verde. Los aerogeneradores de los parques eólicos en funcionamiento están representados por los puntos rosa (Aerogeneradores), y los aerogeneradores del parque en proceso de evaluación por los puntos amarillos (Aerogeneradores proyectados). Los mapas se encuentran en coordenadas geográficas.

Las variables con mayor importancia en el modelo de distribución potencial para *T. brasiliensis* son aquellas con mayor porcentaje de importancia de permutación, que en orden decreciente son: temperatura máxima, viento medio, precipitación máxima y por último, precipitación media (tabla 2).

Tabla 2: Importancia relativa de las variables climáticas del modelo. Se presentan en porcentajes la permutación de las variables climáticas utilizadas en el modelo de distribución potencial: temperatura (T), precipitación (PP) y viento (V); en sus valores mínimos (mín.), promedios, y máximos (máx.). Los valores corresponden a promedios de las tres validaciones cruzadas. Se señala con asterisco (*) los valores de relevancia.

Variable	Importancia de permutación [%]
T máx.	43,7*
V medio	19,8*
PP máxima	16,5*
PP media	14,2*
T mín.	0,8
PP mínima	1,6
T media	0,8
V máx.	2,4
V mín.	0,3

Al realizar un conteo de la distribución de aerogeneradores en el hábitat modelado, se obtuvo que el 89% (680 aerogeneradores) de aquellos construidos se superponen a pixeles de hábitat idóneo, y tan solo el 11% (82 aerogeneradores) se encuentran ubicados en hábitat estimado como no idóneo (figura 5A). El patrón para los aerogeneradores de parques proyectados es el mismo, siendo el 97% (35 aerogeneradores) coincidente con sitios de hábitat idóneo, y un 3% (1 aerogenerador) ubicados en sitios no idóneos (figura 5B).

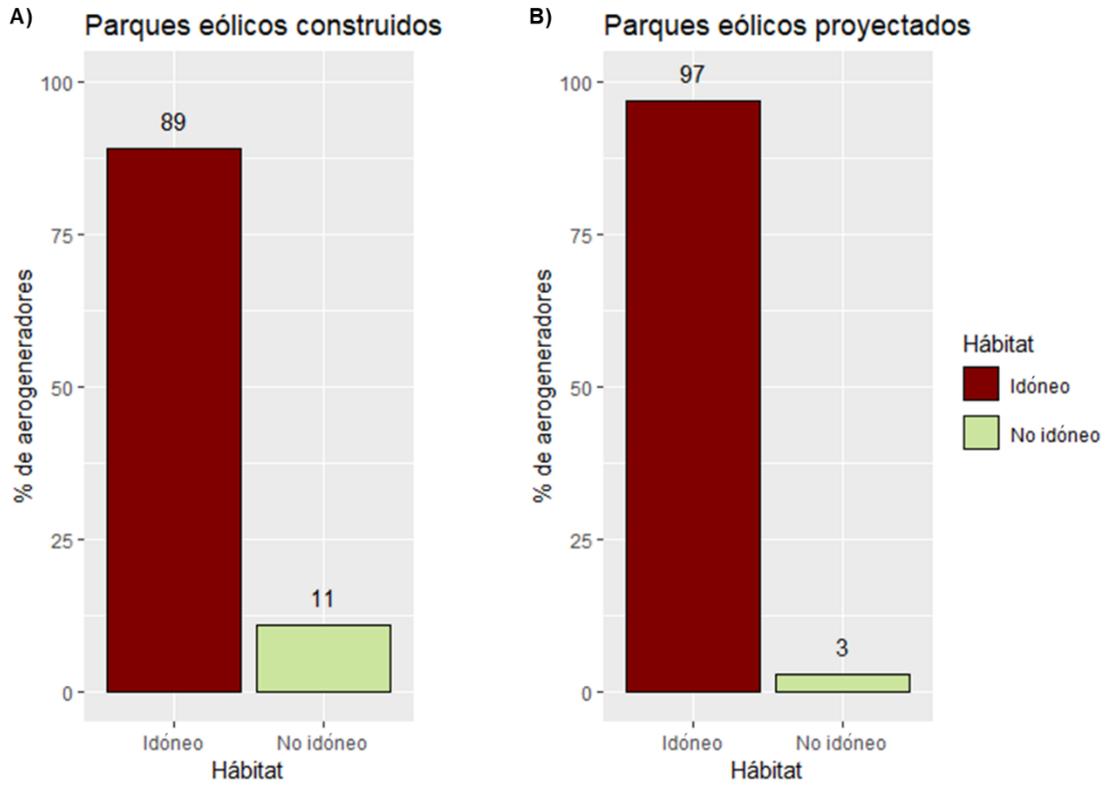


Figura 5: Frecuencia relativa de aerogeneradores coincidentes con hábitat idóneo y no idóneo de *T. brasiliensis*. Se presenta el porcentaje de aerogeneradores de parques eólicos construidos (panel A) y proyectados (panel B) que se superponen a hábitat idóneo (barra color rojo) y hábitat no idóneo (barra color verde) de la especie. Los números sobre las barras indican el porcentaje que representa cada barra.

DISCUSIÓN

El presente trabajo tuvo como objetivo general identificar el grado de impacto de la superposición espacial entre los parques eólicos de la IV región de Coquimbo, norte de Chile, con las zonas de mayor idoneidad de hábitat de una de las especies de murciélago más afectada por esta actividad en América, *Tadarida brasiliensis* (Agudelo et al., 2021; Kunz, Arnett, Cooper, et al., 2007). El modelo obtenido para la especie, en términos generales, muestra los mayores índices relativos de idoneidad de hábitat en la costa de la región, donde se sitúa la mayor parte de la actividad eólica, resultando en una casi completa sobreposición geográfica entre estos dos elementos.

Como ya se ha mencionado anteriormente, los modelos obtenidos con el software Maxent, si bien estiman modelos con buena precisión, son altamente dependientes de los datos de entrada que el investigador le proporciona. Mientras mayor sea el número de presencias y éstas logren ser más representativas de la heterogeneidad del área de estudio, el modelo estimará con mejor fidelidad la realidad (Elith et al., 2006; Hernandez et al., 2006; Phillips et al., 2006; Phillips & Dudík, 2008; Wisz et al., 2008; Yackulic et al., 2013). Las presencias recopiladas resultaron agruparse notoriamente en la costa de la región en estudio, debido a que gran parte de ellas se obtuvieron de la revisión de informes de parques eólicos, lo que probablemente influyó en una baja predicción de presencia del modelo en los sitios submuestreados. Además, los modelos estimados con Maxent no logran contemplar elementos del ambiente que son determinantes en las distribuciones reales de las especies, como lo son las interacciones ecológicas, la capacidad de sortear barreras geográficas que determinen su capacidad de dispersión, y/o modificación antrópica que presente el hábitat (Elith et al., 2006; Phillips et al., 2006; Phillips & Dudík, 2008). Por lo anterior, la distribución potencial aquí presentada, debe interpretarse con prudencia, pues se trata de una sección de la distribución de la especie en la IV región, focalizada en la zona de conflicto con la actividad eólica. Así mismo, el porcentaje obtenido de pixeles de hábitat idóneo para la región de Coquimbo (4,21%) es meramente informativo de estos resultados en particular y no pretenden ni

permiten concluir que dicho porcentaje representa la distribución de mayor probabilidad en la IV región más cercana a la realidad. En otras palabras, estos resultados son dependientes de los datos de presencia utilizados, los que no lograron ser una muestra representativa de los distintos ambientes que alberga la región. Por esta misma razón, es que las variables más importantes del presente modelo de distribución no son símiles de una aproximación al nicho climático de *T. brasiliensis*, si no que, su relevancia es exclusivamente atinente al modelo en cuestión. Sin embargo, para el propósito de analizar el impacto de la energía eólica en las poblaciones de *T. brasiliensis* en la IV región de Chile los resultados obtenidos son de suma importancia, pues informa con antecedentes concretos sobre la marcada superposición espacial de los aerogeneradores de los parques eólicos construidos y proyectados con el hábitat donde podría habitar con alta probabilidad la especie, lo que no había sido reportado con evidencia concreta anteriormente.

Es habitual encontrar que se dispone de un tamaño pequeño de datos de presencia para murciélagos en diversos ambientes principalmente debido a sus hábitos nocturnos y escurridizos, y la difícil identificación del grupo (Razgour et al., 2011; Scherrer et al., 2019). Lo mismo ocurre para el murciélago de cola libre, en la región de estudio se dispone de una baja cantidad de datos públicos de fácil acceso, que para este caso se obtuvo de la base de datos web GBIF (aprox. 4 ubicaciones de presencias). Puesto que se busca tener la mayor cantidad posible de ubicaciones conocidas para la especie a estudiar, en estos casos habitualmente se hacen levantamientos de datos en terreno, sin embargo, puede resultar muy costoso en términos de recursos monetarios y temporales que con frecuencia son difíciles de disponer. En este trabajo se buscó una alternativa sin costo monetario, innovando en cuanto a la recopilación y uso de datos desde los informes disponibles en las plataformas web de las entidades estatales chilenas SEA y SNIFA que, a pesar de ser públicos, implican una dificultosa recaudación a causa de la poca rigurosidad y estandarización con la que es presentada la información. A menudo las ubicaciones coordinadas

de las especies de quirópteros se informan en tablas con distintos formatos, en distintos apéndices, secciones o anexos relativos a los informes, bajo títulos de informes de aves, en otros casos reduciendo la información a solo la presencia de la especie como catastro de riqueza, o mucho peor, especies mal identificadas o simplemente no informadas.

Dado que, el grueso de los datos utilizados fue obtenido de los informes de monitoreos de colisiones de quiroptero fauna solicitados por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) a los titulares de proyectos eólicos, una parte importante de los registros de presencias corresponden a ubicaciones de individuos muertos, por lo que se podría pensar que el modelo presentado representa la mortalidad de la especie. Lo cual, no es así debido a que también se incluyen registros obtenidos por métodos acústicos y registros visuales de murciélagos vivos. Por otro lado, se consideró que los individuos registrados muertos en los parques eólicos fallecieron a causa directa del aerogenerador donde fue encontrado, de manera que la causa de su muerte es totalmente antrópica y accidental. De lo que emerge el supuesto de que el murciélago se encontraba realizando sus actividades cotidianas al momento de fallecer, que para efectos prácticos es una presencia de la especie en dicho punto del planeta. Además, el uso de datos de mortalidad en parques eólicos ha sido recomendado para esta aplicación ante la falta de recursos económicos para la investigación biológica en América Latina (L. Escobar et al., 2015).

La investigación sobre murciélagos en el área de ecología y distribución es escasa en comparación a otros grupos de fauna, como por ejemplo las aves (Scherrer et al., 2019), también afectadas por la actividad eólica. En Chile el escenario mantiene el mismo patrón, probablemente por la impopularidad del grupo causado por su vinculación a supersticiones y miedo de las personas (Rodríguez-SanPedro et al., 2014; Reyes, 2019), sin embargo, gracias a su inclusión en los estudios de impacto ambiental, el desarrollo y acceso a métodos de detección acústica (Rodríguez-San Pedro et al., 2016) y la consecuente mejora de métodos de identificación de especies, el estatus de conocimiento ha mejorado en los últimos años. A pesar de ello, aún se carece de bases de datos y

conocimiento que permitan describir satisfactoriamente sus patrones de distribución. Por ejemplo, *T. brasiliensis* es una especie migratoria en otros países de América (e.g Estados Unidos y México) (Russell et al., 2005), donde se ha descrito que los murciélagos que mueren con mayor frecuencia en parques eólicos en Estados Unidos son aquellos que migran largas distancias (Kunz, Arnett, Erickson, et al., 2007b). En Chile se desconoce si sus poblaciones son residentes o presentan algún patrón migratorio (Rodríguez-San Pedro et al., 2016), lo que es de suma importancia al momento de diseñar estrategias de conservación. Si poblaciones de la especie migraran entre regiones de Chile o incluso a otros países, las políticas de protección debieran cruzar los límites político-administrativos, de lo contrario, individuos o poblaciones que lograron sortear exitosamente el viaje entre distintos sitios, corren el riesgo de fallecer en turbinas eólicas que interfieran con sus rutas de vuelo, ya sea en el territorio nacional como fuera de este. La modelización predictiva es particularmente pertinente para establecer objetivos de conservación (Razgour et al., 2011), es apremiante mejorar los catastros de ubicaciones conocidas de especies de murciélagos, para comprender y describir de mejor manera su uso del hábitat, y así poder diseñar políticas y estrategias de conservación de manera más efectiva. El modelo de distribución potencial aquí presentado podría ser un buen insumo para planificar muestreos de levantamiento de datos en terreno. Es posible que aquellos pixeles a los que el modelo asignó probabilidades sobre 0,4 sean sitios en los que la especie pueda ser encontrada.

Respecto al área predicha por el modelo, a grandes rasgos, coincide con la fracción costera descrita anteriormente para la especie estimada por L. Escobar et al. (2015) y con el área potencial informada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN en inglés) (Rodríguez-San Pedro et al., 2016). A lo largo del territorio nacional es una de las especies de quirópteros más ampliamente distribuida, ocupando hábitat que van desde desierto a bosque húmedo montano bajo tropical y subtropical, en un gran rango altitudinal, desde el nivel del mar hasta los 3.000 msnm (Williams et al., 1973; Mann, 1978; Eger, 2008; Rodríguez-San Pedro &

Allendes, 2016). En América posee una de las distribuciones más extensas de mamíferos, lo que da indicios de la tolerancia de la especie a una amplia diversidad climas, su plasticidad ecológica y buena adaptabilidad a ambientes antropizados (L. Escobar et al., 2015). Esto en conjunto hace que sea muy probable encontrar a la especie a lo largo de toda la IV región, incluso en altas zonas de la Cordillera de los Andes. Una base de datos de presencias más completa a lo largo de la región permitiría la estimación de un modelo de distribución potencial más cercano a la distribución real de la especie. Sin embargo, siempre se debe tener en cuenta que cuando se obtienen distribuciones a través de métodos que estiman índices relativos de idoneidad que utilizan sólo datos de ocurrencias como el aquí empleado, no son una alternativa que reemplace la necesidad de recopilar información de campo sobre distribuciones, demografía abundancia e interacción de las especies (Elith et al., 2006), es más, deben ser considerados una guía que oriente la búsqueda de información en terreno.

La recopilación inicial de presencias para este estudio contempló todas las especies de murciélagos reportadas en los informes, y se decidió trabajar con *T. brasiliensis* porque reunió una cantidad considerablemente mayor de datos, lo que da indicios que el patrón latinoamericano de mortalidad de esta especie podría repetirse en Chile, pudiendo ser la más afectada por mortalidad en parques eólicos. Que esta especie sea una de las más afectadas por la actividad eólica estaría configurado por algunas características de su ecología e historia de vida. Es una de las especies más abundantes en el hemisferio occidental (Russell et al., 2005) y en Chile (Muñoz et al., 2011). Como especie migratoria de vuelo alto, se ha registrado que alcanza alturas entre 1.330 a 1.500 m sobre el suelo (Williams et al., 1973), es un cazador aéreo que captura su presa durante el vuelo (Hubel et al., 2012), alimentándose hasta los 862 m (McCracken et al., 2008) recorriendo en cada evento de forrajeo entre 50 a 100 km (Hubel et al., 2012; McCracken et al., 2008). Un aerogenerador puede tener diferentes medidas según su modelo alcanzado alturas totales mayores a 180 m (Starbuck et al., 2022), así cuando *T. brasiliensis* transita y se alimenta,

coincide su uso del espacio aéreo con el área de impacto de los aerogeneradores. Los murciélagos detectan su entorno mediante la ecolocalización, la que para muchos se vuelve ineficaz a distancias mayores a 10 m (Fenton, 2004); *T. brasiliensis* es el animal más rápido en vuelo horizontal pudiendo desplazarse a una velocidad máxima de 160 km/h (McCracken et al., 2016). De este modo, durante el vuelo, los individuos que circulen en las proximidades de aerogeneradores podrían calcular erróneamente la velocidad del rotor o no detectarlo a tiempo para evitar accidentarse. Este esquema de impacto ha sido identificado anteriormente por otros autores para la especie en cuestión (L. Escobar et al., 2015), y para el general de la quiropteroфаuna insectívora afectada por la actividad eólica (Horn et al., 2008; Kunz, Arnett, Erickson, et al., 2007a). Los murciélagos se accidentan colisionando con las aspas de los aerogeneradores o con el monopolo, estructura donde se inserta la turbina y las aspas (Horn et al., 2008), o bien sufren barotrauma. Además de interactuar con los aerogeneradores durante el tránsito y forrajeo de manera más bien aleatoria, los murciélagos podrían verse atraídos por ciertos elementos de las estructuras; se ha encontrado a murciélagos en conducta exploratoria alrededor de las aspas de los aerogeneradores tanto en movimiento como quietas (Horn et al., 2008), sin embargo, aún no hay claridad sobre los motivos. Se ha descrito que podrían confundir el monopolo con árboles y acercarse a ellos para utilizarlos como sitios de descanso, también podrían ser atraídos por emisiones de ultrasonido desde las turbinas, o bien las señales luminosas para la aviación y calor de las turbinas podrían atraer insectos, y mediante ellos, atraer a los murciélagos (Horn et al., 2008; Kunz, Arnett, Erickson, et al., 2007b). Además de lo anterior, el movimiento de las aspas genera vórtices de viento que generan succión de los individuos próximos, lo que aumentaría la probabilidad con la que estos se accidenten (Kunz, Arnett, Erickson, et al., 2007b).

El impacto de la actividad eólica para los quirópteros no solo ocurre mediante la generación de alta mortalidad en sus poblaciones por colisión y barotrauma, también los afecta a través del desplazamiento y fragmentación de hábitat (Toye, 2023). Es posible que este grupo de fauna sea

especialmente sensible a estos impactos (Scherrer et al., 2019), las alteraciones en el paisaje pueden afectar las conductas de búsqueda de alimento, reproductivas y migratorias (Kunz, Arnett, Cooper, et al., 2007). Estos impactos son ejercidos además por otras áreas productivas en la actualidad, como lo son, el cambio en el uso de suelo para fines agrícolas y expansiones urbanas, entre otros (Razgour et al., 2011). Además, son sensibles a la pérdida de elementos paisajísticos causados por la remoción de arbustos y arboladas, y al consecuente decaimiento poblacional de artrópodos, también generado por el uso de pesticidas; esto último a su vez genera la muerte de los murciélagos insectívoros por envenenamiento por bioacumulación (Razgour et al., 2011; Toye, 2023). Por otro lado, se enfrentan a otras amenazas como las enfermedades y cambio climático en todo el mundo (Kafash et al., 2021). Todos impactos que en su conjunto podrían estar operando de manera sinérgica.

Actualmente, *T. brasiliensis* en Chile se encuentra en categoría de Preocupación Menor (LC en inglés) según el decimotercer proceso de Reglamento de Clasificación de Especies (RCE) llevado a cabo en 2017, según los criterios de clasificación emitidos por la IUCN para las categorías de amenazas, manteniendo la misma categoría a nivel internacional según la IUCN (2015) (Ministerio del Medio Ambiente, 2023). Sin embargo, considerando el desesperanzador panorama de amenazas que introducen importantes niveles de mortalidad a sus poblaciones, sumado a la proyección en ascenso de la actividad de energía eólica en el país se hace urgente mejorar las estrategias de conservación para la especie. El Programa de Asistencia para la Gestión del Sector de Energía (ESMAP) del Banco Mundial, en asociación con el Departamento de Energía Eólica de la Universidad Técnica de Dinamarca (DTU Wind Energy) y el Grupo del Banco Mundial, estimó el potencial eólico y velocidad del viento para todo el mundo, mostrando alta potencia eólica en la costa de la región de Coquimbo (ESMAP, 2023), por lo que podría seguir siendo un sitio objetivo para futuros proyectos eólicos.

La construcción de parques eólicos pueden alterar la disponibilidad de alimento, sitios de descanso

y nidificación, aumentar la depredación, e incluso modificar la estructura genética y viabilidad de las poblaciones afectadas (Kunz, Arnett, Cooper, et al., 2007; National Research Council, 2007). Los descensos poblacionales de murciélagos en el grado en que los parques eólicos son capaces de generar podrían conducir a extinciones locales considerando que la esperanza de vida de los murciélagos es longeva y presentan tasas reproductivas lentas, haciendo que su recuperación poblacional también lo sea, por lo que son particularmente sensibles a perturbaciones como las aquí mencionadas (Voigt & Kingston, 2016).

En términos biocéntricos, cada ser vivo en la biosfera posee un valor intrínseco, tal y como cualquier *Homo sapiens*, por lo que la humanidad debe considerarlos moralmente (Norton, 1991; Gudynas, 2014;; Rozzi, 2019)), respetando su derecho a existir (Riechmann, 2003; Gudynas, 2014), el cual, debiera ser reconocido por la sociedad como tal sin necesidad de relevar un valor instrumental o provecho para la humanidad que los roles ecosistémicos de cada una de ellas puedan representar (Gudynas, 2014; Rozzi, 2019). Sin embargo, para que la sociedad moderna occidental les considere como piezas fundamentales del medio, esta utilidad antropocéntrica significa un incentivo de magnitud para que especies se tornen objeto reconocido de preservación y foco de esfuerzos de conservación pese al contexto de crisis ecológica y climática planetaria en la que nos encontramos y al estado de consenso que hay respecto a ello (Gudynas, 2014). Los murciélagos son potenciales especies paraguas y tienen un rol muy importante en el mantenimiento de los ecosistemas (Scherrer et al., 2019), brindando importantes servicios ecosistémicos (Kunz et al., 2011), lo que a menudo es ignorado por las personas (Reyes, 2019). Sin duda, su pérdida en los ecosistemas podrá traer consecuencias devastadoras para los ecosistemas, de ahí la importancia de conservar sus poblaciones a nivel global y nacional.

Se ha descrito que el horario de actividad de la mayoría de las especies de molósid, familia a la que pertenece *T. brasiliensis* se encuentra concentrado en las primeras horas de la noche, lo que probablemente está mediado por el horario de actividad de sus presas (García, 2018). Por otro

lado, la mayoría de las muertes ocurren a bajas velocidades de viento alrededor de 6 m/s, condiciones en que la producción de energía es mínima (Kunz, Arnett, Cooper, et al., 2007), de este modo, elevar el umbral de activación de los aerogeneradores por sobre esta velocidad en dicha ventana temporal sería una manera efectiva de disminuir el riesgo de mortalidad de estas especies (García, 2018). Esta medida podría disminuir en un 60% las muertes, con menos de 1% de merma en la producción energética (Lemaître et al. 2017; SECEMU, 2021).

La investigación futura debiera evaluar y cuantificar el efecto de los parques eólicos en los murciélagos, tanto en el uso del hábitat como en su actividad, ecología y demografía. Poniendo a disposición de los tomadores de decisiones información que les permita demandar mayor responsabilidad a los titulares de proyectos eólicos para con los murciélagos, y en el mejor de los casos, propiciar la confección e instauración de mejores cánones legislativos ambientales que aseguren practicas adecuadas para la conservación de este grupo de fauna.

CONCLUSIONES

Este estudio permitió comprobar con evidencia concreta que existe una coincidencia territorial considerable entre la industria eólica de la IV región de Coquimbo y el hábitat de *T. brasiliensis*, uno de los murciélagos más afectados por esta actividad y que además se encuentra sometido a múltiples impactos que a su vez podrían estar interactuando entre sí. La extinción de las funciones ecosistémicas que provee la especie es inminente tomando en cuenta la importante mortalidad a la que se encuentran sujetas sus poblaciones en la actualidad. Tomar acciones que mitiguen y conserven sus poblaciones es apremiante tanto para la especie evaluada en este trabajo, como para las demás que componen la diversidad de quiropteroфаuna chilena. Sin duda estos fascinantes animales son piezas fundamentales del funcionamiento de los ecosistemas y sin ellos perderemos los servicios ecosistémicos que nos brindan tanto los murciélagos como los ecosistemas de los que son parte.

BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, J. A. (2016). *Comparación de tres métodos de muestreo de murciélagos (orden: Chiroptera) en la zona mediterránea de Chile central* [Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/150789>
- Agudelo, M. S., Mabee, T. J., Palmer, R., & Anderson, R. (2021). Post-construction bird and bat fatality monitoring studies at wind energy projects in Latin America: A summary and review. *Heliyon*, 7(6), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07251>
- Barker, J. R., & MacIsaac, H. J. (2022). Species distribution models: Administrative boundary centroid occurrences require careful interpretation. *Ecological Modelling*, 472, 110107. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110107>
- BCN. (2023). *Mapas vectoriales: Mapoteca*. https://www.bcn.cl/siit/mapas_vectoriales/index_html
- Cheng, Y., Tjaden, N. B., Jaeschke, A., Thomas, S. M., & Beierkuhnlein, C. (2021). Using centroids of spatial units in ecological niche modelling: Effects on model performance in the context of environmental data grain size. *Global Ecology and Biogeography*, 30(3), 611–621. <https://doi.org/10.1111/geb.13240>
- Collins, S. D., Abbott, J. C., & McIntyre, N. E. (2017). Quantifying the degree of bias from using county-scale data in species distribution modeling: Can increasing sample size or using county-averaged environmental data reduce distributional overprediction? *Ecology and Evolution*, 7(15), 6012–6022. <https://doi.org/10.1002/ece3.3115>
- Constitución Política de Chile [Const]. Art. 118. 21 de octubre de 1980 (Chile).
- Díaz, M. M., Aguirre, L. F., & Barquez, R. M. (2011). *Clave de identificación de los murciélagos del cono Sur de Sudamérica* (C. de E. en B. T. y Aplicada (ed.)). <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/115357>
- Decreto Supremo 40 de 2013 [D.S]. Aprueba Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. 12 de agosto de 2013.
- Elith, J., H. Graham, C., P. Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., J. Hijmans, R., Huettmann, F., R. Leathwick, J., Lehmann, A., Li, J., G. Lohmann, L., A. Loiselle, B., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., McC. M. Overton, J., Townsend Peterson, A., ... E. Zimmermann, N. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129–151. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- Emanuelli, P., Araneda, F., & Duarte, E. (2016). *Diagnóstico de la desertificación en Chile y sus efectos en el desarrollo sustentable*.
- Erickson, J. L., & West, S. D. (2002). The influence of regional climate and nightly weather conditions on activity patterns of insectivorous bats. *Acta Chiropterologica*, 4(1), 17–24. <https://doi.org/10.3161/001.004.0103>
- Escobar, L., Juarez, C., Medina-Vogel, G., & Gonzalez, C. M. (2015). First report on bat mortalities on wind farms in Chile. *Gayana (Concepción)*, 79(1), 11–17. <https://doi.org/10.4067/s0717-65382015000100003>
- Escobar, M., Vidal, N., de la Fuente, D., & Abarca, J. A. (2015). Incorporación de los murciélagos en la evaluación ambiental de parques eólicos y líneas de transmisión eléctrica en Chile: ¿mito o realidad? *Gestión Ambiental*, 29, 11–22.
- ESMAP. (2023). *Global Wind Atlas*. <https://globalwindatlas.info/es/area/Chile/Coquimbo>
- Farnsworth, A., Horton, K., Heist, K., Bridge, E., Diehl, R., Frick, W., & Stepanian, P. (2021). *The role of regional-scale weather variables in predicting bat mortality and bat acoustic activity: Potential for use in the development of smart curtailment algorithms*. Retrieved from <https://awwi.org/resources/wwrf-regional-scale-weather-variables-in-predicting-bat->

- mortality-and-acoustic-activity/
- Fenton, M.B. (2004). *Bat natural history and echolocation*. In: Brigham, R.M., Kalko, E.K.V., & Jones, G., et al. (1st ed.). *Bat echolocation research: tools, techniques and analysis*. Austin, TX: Bat Conservation International.
- Fernández, I., Yáñez, J., Allendes, J. L., Ossa, G., & Rodríguez-San Pedro, A. (2016). Murciélagos de Chile: lineamientos para su estudio. *Gestión Ambiental*, 32(12), 5–18. https://www.researchgate.net/publication/313853974_Murcielagos_de_Chile_Lineamientos_para_su_Estudio
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Freeman, E. A., & Moisen, G. G. (2008). A comparison of the performance of threshold criteria for binary classification in terms of predicted prevalence and kappa. *Ecological Modelling*, 217(1–2), 48–58. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.05.015>
- Frick, W. F., Kingston, T., & Flanders, J. (2020). A review of the major threats and challenges to global bat conservation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1469(1), 5–25. <https://doi.org/10.1111/nyas.14045>
- Galaz, J., Yáñez, J., & Fernández, I. (2020). *Los Murciélagos de Chile* (CEA Ediciones (ed.); 2nd ed.).
- García, M. (2018). *Instituto politécnico nacional*. Instituto Politécnico Nacional.
- Global Core Biodata Resource. (2022). *GBIF: Global Biodiversity Information Facility*. <https://www.gbif.org/es/>
- Gudynas, E. (2014). *Derechos de la naturaleza: ética biocéntrica y políticas ambientales* (1st ed.). PDTG. Red GE Globalización con Equidad. CoopeAcción y CLAES. <https://doi.org/10.2307/j.ctv1rcf17d.7>
- Herkt, K. M. B., Barnikel, G., Skidmore, A. K., & Fahr, J. (2016). A high-resolution model of bat diversity and endemism for continental Africa. *Ecological Modelling*, 320(2016), 9–28. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.09.009>
- Hernandez, P. A., Graham, C. H., Master, L. L., & Albert, D. L. (2006). The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*, 29(5), 773–785. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2006.04700.x>
- Hijmans, R. J., Bivand, R., Pebesma, E., & Sumner, M. D. (2023). *Terra: Spatial Data Analysis* (1.7-29). 22-04-2023. <https://cran.r-project.org/web/packages/terra/index.html>
- Horn, J. W., Arnett, E. B., & Kunz, T. H. (2008). Behavioral responses of bats to operating wind turbines. *Journal of Wildlife Management*, 72(1), 123–132. <https://doi.org/10.2193/2006-465>
- Hubel, T. Y., Hristov, N. I., Swartz, S. M., & Breuer, K. S. (2012). Changes in kinematics and aerodynamics over a range of speeds in *Tadarida brasiliensis*, the Brazilian free-tailed bat. *Journal of the Royal Society Interface*, 9(71), 1120–1130. <https://doi.org/10.1098/rsif.2011.0838>
- iNaturalist. (2023). *iNaturalist*. <https://www.inaturalist.org/>
- Iriarte, A.A. (2007). *Mamíferos de Chile*. Santiago: Lynx Edicions. p. 93.
- Kafash, A., Ashrafi, S., & Yousefi, M. (2021). Biogeography of bats in Iran: Mapping and disentangling environmental and historical drivers of bat richness. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 59(7), 1546–1556. <https://doi.org/10.1111/jzs.12520>
- Kearney, M., & Porter, W. (2009). Mechanistic niche modelling: Combining physiological and spatial data to predict species' ranges. *Ecology Letters*, 12(4), 334–350. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01277.x>
- Kunz, T. H., Arnett, E. B., Cooper, B. M., Erickson, W. P., Larkin, R. P., Mabee, T., Morrison, M. L., Strickland, M. D., & Szewzak, J. M. (2007). Assessing Impacts of Wind-Energy

- Development on Nocturnally Active Birds and Bats: A Guidance Document. *Journal of Wildlife Management*, 71(8), 2449–2486. <https://doi.org/10.2193/2007-270>
- Kunz, T. H., Arnett, E. B., Erickson, W. P., Hoar, A. R., Johnson, G. D., Larkin, R. P., Strickland, D., Thresher, R. W., & Tuttle, M. D. (2007a). Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *Front Ecol Environ*, 5(6), 315–324.
- Kunz, T. H., Arnett, E. B., Erickson, W. P., Hoar, A. R., Johnson, G. D., Larkin, R. P., Strickland, M. D., Thresher, R. W., & Tuttle, M. D. (2007b). Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *The Ecological Society of America*, 5(6), 315–324. [https://doi.org/https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[315:EIOWED\]2.0.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[315:EIOWED]2.0.CO;2)
- Kunz, T. H., Braun de Torrez, E., Bauer, D., Lobova, T., & Fleming, T. H. (2011). Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1223(1), 1–38. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06004.x>
- Kuvlesky, W. P., Brennan, L. A., Morrison, M. L., Boydston, K. K., Ballard, B. M., & Bryant, F. C. (2007). Wind Energy development and wildlife conservation: challenges and opportunities. *Journal of Wildlife Management*, 71(8), 2487–2498. <https://doi.org/10.2193/2007-248>
- Lemaître, J., MacGregor, K., Tessier, N., Simard, A., Desmeules, J., Poussart, C., ... & Dery, S. (2017). Bat mortality caused by wind turbines: review of impacts and mitigation measures. *Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs*. Quebec, Canada. DOI, 10.
- Lisón, F., & Calvo, J. F. (2011). The significance of water infrastructures for the conservation of bats in a semiarid Mediterranean landscape. *Animal Conservation*, 14(5), 533–541. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2011.00460.x>
- Liu, C., White, M., & Newell, G. (2013). Selecting thresholds for the prediction of species occurrence with presence-only data. *Journal of Biogeography*, 40(4), 778–789. <https://doi.org/10.1111/jbi.12058>
- Luebert, F., & Plissock, P. (2017). *Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile* (2nd ed.). Editorial Universitaria S.A.
- Mann Fischer, G. (1978). *Los pequeños mamíferos de Chile: marsupiales, quirópteros, edentados y roedores*. p. 342.
- McCain, C. M. (2007). Could temperature and water availability drive elevational species richness patterns? A global case study for bats. *Global Ecology and Biogeography*, 16(0), 1–13. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822x.2006.00263.x>
- McCracken, G. F., Gillam, E. H., Westbrook, J. K., Lee, Y. F., Jensen, M. L., & Balsley, B. B. (2008). Brazilian free-tailed bats (*Tadarida brasiliensis*: Molossidae, Chiroptera) at high altitude: Links to migratory insect populations. *Integrative and Comparative Biology*, 48(1), 107–118. <https://doi.org/10.1093/icb/icn033>
- McCracken, G. F., Safi, K., Kunz, T. H., Dechmann, D. K. N., Swartz, S. M., & Wikelski, M. (2016). Airplane tracking documents the fastest flight speeds recorded for bats. *Royal Society Open Science*, 3(11), 1–10. <https://doi.org/10.1098/rsos.160398>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2023). *Inventario nacional de especies de Chile*. http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/ficha_independ.aspx?EspecieId=4455&Version=1
- Mohtasham, J. (2015). Review Article-Renewable Energies. *Energy Procedia*, 74, 1289–1297. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.774>
- Monahan, W. B. (2009). A mechanistic niche model for measuring species' distributional responses to seasonal temperature gradients. *PLoS ONE*, 4(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007921>
- Montecinos, S., Gutiérrez, J. R., López-Cortés, F., & López, D. (2016). Climatic characteristics of the semi-arid Coquimbo Region in Chile. *Journal of Arid Environments*, 126, 7–11.

- <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.09.018>
- Muñoz, P., Fredes, F., Raffo, E., González-Acuña, D., Muñoz, L., & Cid, C. (2011). New report of parasite-fauna of the free-tailed bat (*Tadarida brasiliensis*, Geoffroy, 1824) in Chile. *Veterinary Research Communications*, 35(1), 61–66. <https://doi.org/10.1007/s11259-010-9449-3>
- National Research Council. (2007). Environmental Impacts of Wind-Energy Projects. In *Environmental Impacts of Wind-Energy Projects*. <https://doi.org/10.17226/11935>
- Noer, C. L., Dabelsteen, T., Bohmann, K., & Monadjem, A. (2012). Molossid bats in an African agro-ecosystem select sugarcane fields as foraging habitat. *African Zoology*, 47(1), 1–11. <https://doi.org/10.3377/004.047.0120>
- Norton, B. G. (1991). *Toward Unity Among Environmentalists* (1st ed.). Oxford University Press.
- Novaes, R. L. M., Rodríguez-San Pedro, A., Saldarriaga-Córdoba, M. M., Aguilera-Acuña, O., Wilson, D. E., & Moratelli, R. (2022). Systematic review of *Myotis* (Chiroptera, Vespertilionidae) from Chile based on molecular, morphological, and bioacoustic data. *Zootaxa*, 5188(5), 430–452.
- Novoa, J. E., & López, D. (2001). IV Región: el escenario geográfico físico. In *Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo* (pp. 13–28).
- O’Shea, T. J., Cryan, P. M., Hayman, D. T. S., Plowright, R. K., & Streicker, D. G. (2016). Multiple mortality events in bats: A global review. *Mammal Review*, 46(3), 175–190. <https://doi.org/10.1111/mam.12064>
- Park, D. S., & Davis, C. C. (2017). Implications and alternatives of assigning climate data to geographical centroids. *Journal of Biogeography*, 44(10), 2188–2198. <https://doi.org/10.1111/jbi.13029>
- Phillips, S. J. (2017). *A Brief Tutorial on Maxent*. AT&T Research. http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography*, 40(7), 887–893. <https://doi.org/10.1111/ecog.03049>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3–4), 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161–175. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>
- Pimm, S. L., & Raven, P. (2000). Extinction by numbers. In Macmillan Magazines Ltd. (Ed.), *Nature* (Vol. 403, pp. 843–845).
- Piorkowski, M. D., & O’Connell, T. J. (2010). Spatial pattern of summer bat mortality from collisions with wind turbines in mixed-grass prairie. *American Midland Naturalist*, 164(2), 260–269. <https://doi.org/10.1674/0003-0031-164.2.260>
- Pizarro, R., García-Chevesich, P. A., McCray, J. E., Sharp, J. O., Valdés-Pineda, R., Sangüesa, C., Jaque-Becerra, D., Álvarez, P., Norambuena, S., Ibáñez, A., Vallejos, C., & Mendoza, R. (2022). Climate change and overuse: water resource challenges during economic growth in Coquimbo, Chile. *Sustainability (Switzerland)*, 14(6), 1–10. <https://doi.org/10.3390/su14063440>
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Retrieved from <https://www.R-project.org/>
- Razgour, O., Hanmer, J., & Jones, G. (2011). Using multi-scale modelling to predict habitat suitability for species of conservation concern: The grey long-eared bat as a case study.

- Biological Conservation*, 144(12), 2922–2930. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.08.010>
- Reyes, J. C. (2019). *De mitos a verdades: Una cartilla de divulgación científica acerca de la importancia ecológica de los murciélagos. Tesis de maestría*. Universidad Nacional de Colombia.
- Riechmann, J. (2003). ARTÍCULOS Y SECCIONES ESPECIALES: Tres principios básicos de justicia ambiental. *RIFP*, 21, 103–120.
- Rodríguez-San Pedro, A., Allendes, J. L., & Ossa, G. (2016). Lista actualizada de los murciélagos de Chile con comentarios sobre taxonomía, ecología, y distribución. *Biodiversity and Natural History*, 2, 16–39.
- Rodríguez-San Pedro, A., Allendes, J. L., Beltrán, C. A., Chaperon, P. N., Saldarriaga-Córdoba, M. M., Silva, A. X., & Grez, A. A. (2020). Quantifying ecological and economic value of pest control services provided by bats in a vineyard landscape of central Chile. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 302, 107063. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107063>
- Rodríguez-San Pedro, A., Ugarte-Núñez, J. A., Beltrán, C., & Allendes, J. L. (2022). First record of the Peale's free-tailed bat *Nyctinomops aurispinosus* (Peale, 1848) (Chiroptera, Molossidae) from Chile revealed by acoustic surveys, with notes on ecology and distribution. *Mammalia*, 86(4), 321–327. <https://doi.org/10.1515/mammalia-2021-0123>
- Rodríguez-San Pedro Annia, Pacheco, J., Clemente, B., Luis, A. J., & Ugarte-Núñez, J. (2023). *Eumops perotis* (Schinz, 1821) (Chiroptera, Molossidae): a new genus and species for Chile revealed by acoustic surveys. *Mammalia*, 87(3), 283–287. <https://doi.org/https://doi.org/10.1515/mammalia-2022-0136>
- Rodríguez-San Pedro, A., Allendes, J. L., Carrasco-Lagos, P., & Moreno, R. A. (2014). *Murciélagos de la Región Metropolitana* (1st ed.). Seremi del Medio Ambiente Región Metropolitana de Santiago. Universidad Santo Tomás y Programa para la Conservación de los Murciélagos de Chile (PCMCh).
- Rozzi, R. (2019). Áreas Protegidas y Ética Biocultural. In C. Cerda, E. Silva-Rodríguez, & C. Briceño (Eds.), *Naturaleza en sociedad: una mirada a la dimensión humana de la conservación de la biodiversidad* (1st ed., p. 51). Ocholibros.
- Russell, A. L., Medellín, R. A., & Mccracken, G. F. (2005). Genetic variation and migration in the Mexican free-tailed bat (*Tadarida brasiliensis mexicana*). *Molecular Ecology*, 14(7), 2207–2222. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02552.x>
- SAG. (2015). *Guía para la evaluación del impacto ambiental de proyectos eólicos y de líneas de transmisión eléctrica en aves silvestres y murciélagos*.
- Sandoval S., M., Díaz, M. M., Ferro, I., & Barquez, M. R. (2021). Patrones biogeográficos de los murciélagos de Argentina: riqueza de especies y congruencia distribucional. *Mastozoología Neotropical*, 28(1), 1–20. <https://doi.org/https://doi.org/10.31687/saremMN.21.28.1.0.12>
- Scherrer, D., Christe, P., & Guisan, A. (2019). Modelling bat distributions and diversity in a mountain landscape using focal predictors in ensemble of small models. *Diversity and Distributions*, 25(5), 770–782. <https://doi.org/10.1111/ddi.12893>
- SEA. (2021). *SEA: Servicio de Evaluación Ambiental*. <https://www.sea.gob.cl/>
- SECEMU. (2021). Mortalidad masiva de murciélagos en parques eólicos de España. *Bat Research & Conservation*, 14(1), 54–57. <https://doi.org/10.14709/BarbJ.14.1.2021.07>
- Sierra-Cisternas, C., & Rodríguez-Serrano, E. (2015). Los quirópteros de Chile: avances en el conocimiento, aportes para la conservación y proyecciones futuras. *Gayana (Concepción)*, 79(1), 57–67. <https://doi.org/10.4067/s0717-65382015000100007>
- SNIFA. (2023). *Unidades Fiscalizables*. <https://snifa.sma.gob.cl/Estadisticas/Resultado/5>
- SNIFA. (2021). *SNIFA: Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental*. <https://snifa.sma.gob.cl/>
- Sreekumar, E. R., & Nameer, P. O. (2022). A MaxEnt modelling approach to understand the

- climate change effects on the distributional range of White-bellied Sholokili Sholicola albiventris (Blanford, 1868) in the Western Ghats, India. *Ecological Informatics*, 70(November 2021), 101702. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101702>
- Starbuck, C. A., Dickson, B. G., & Chambers, C. L. (2022). Informing wind energy development: Land cover and topography predict occupancy for Arizona bats. *PLoS ONE*, 17(6), 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268573>
- Toye, S. (2023). *Sex ratios of Brazilian Free-Tailed Bat (Tadarida brasiliensis) fatalities at wind energy in California and Texas*. Texas Christian University.
- Voigt, C. C., & Kingston, T. (2016). *Bats in the Anthropocene Conservation of Bats in a Changing World*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25220-9>
- Williams, T. C., Ireland, L. C., & Williams, J. M. (1973). High altitude flights of the Free-Tailed Bat, *Tadarida brasiliensis*, observed with radar. *Journal of Mammology*, 54(4), 807–821.
- Wisz, M. S., Hijmans, R. J., Li, J., Peterson, A. T., Graham, C. H., Guisan, A., Elith, J., Dudík, M., Ferrier, S., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Lohmann, L., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J. M. C., ... Zimmermann, N. E. (2008). Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*, 14(5), 763–773. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2008.00482.x>
- Yackulic, C. B., Chandler, R., Zipkin, E. F., Royle, J. A., Nichols, J. D., Campbell Grant, E. H., & Veran, S. (2013). Presence-only modelling using MAXENT: When can we trust the inferences? *Methods in Ecology and Evolution*, 4(3), 236–243. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.12004>
- Yom-Tov, Y., & Kadmon, R. (1998). Analysis of the distribution of insectivorous bats in Israel. *Diversity and Distributions*, 4(2), 63–70. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.1998.00012.x>
- Zachos, F. E. (2020). D. E. Wilson and R. A. Mittermeier (chief editors): Handbook of the Mammals of the World. Vol. 9. Bats. *Mammalian Biology*, 9(3), 335. <https://doi.org/10.1007/s42991-020-00026-w>

ANEXO

Tabla 1: Enlaces web de informes de seguimiento ambiental de mortalidad de murciélagos. Se presentan los enlaces web de los informes revisados para obtener las presencias de *T. brasiliensis* y parte de las ubicaciones de aerogeneradores de los parques eólicos de la IV región.

N°	Enlaces de informes de seguimiento ambiental de mortalidad de quiroptero fauna
1	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/27475
2	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/109869
3	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/109867
4	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/109861
5	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/109858
6	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/99469
7	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/96414
8	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/95139
9	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/95138
10	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/95137
11	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/95134
12	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/66291
13	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/66289
14	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/54255
15	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/53483
16	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/43900
17	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/38203
18	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/27730
19	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/22806
20	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/66646
21	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/59501
22	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/54756
23	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/48679
24	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/46036
25	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/42522
26	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/39078
27	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/33962
28	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/32286
29	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/29271
30	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/27049
31	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/24435
32	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/24434
33	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/24433
34	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/13470
35	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/8112

36	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/103421
37	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/92476
38	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/83145
39	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/43184
40	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/42287
41	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/41477
42	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/40696
43	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/39834
44	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/38969
45	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/37944
46	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/34144
47	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/34138
48	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/33433
49	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/32683
50	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/32085
51	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/30771
52	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/30215
53	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/29138
54	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/28338
55	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/27616
56	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/26903
57	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/25917
58	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/86420
59	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/85259
60	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/84027
61	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/82931
62	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/81838
63	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/80821
64	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/79676
65	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/78574
66	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/77632
67	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/76465
68	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/75497
69	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/74158
70	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/73201
71	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/72336
72	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/71263
73	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/70281
74	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/69209
75	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/68266
76	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/67220
77	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/65689

78	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/51079
79	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/49388
80	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/47725
81	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/47071
82	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/46031
83	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/45333
84	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/44227
85	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/110009
86	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/107826
87	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/106688
88	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/105400
89	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/104378
90	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/104377
91	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/101878
92	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/100275
93	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/99238
94	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/98099
95	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/95956
96	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/94668
97	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/93447
98	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/92490
99	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/91678
100	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/90418
101	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/89341
102	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/88353
103	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/87304
104	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/38968
105	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/37941
106	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/34143
107	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/34137
108	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/33429
109	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/32677
110	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/32081
111	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/30760
112	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/30212
113	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/29135
114	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/28335
115	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/27615
116	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/26900
117	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/25908
118	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/68265
119	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/67219

120	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/65688
121	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/65021
122	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/64258
123	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/63033
124	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/62038
125	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/61186
126	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/60137
127	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/59059
128	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/58069
129	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/57052
130	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/56309
131	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/54779
132	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/54160
133	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/52977
134	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/52110
135	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/51077
136	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/50254
137	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/49389
138	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/47726
139	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/47072
140	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/46032
141	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/45334
142	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/44226
143	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/43183
144	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/42286
145	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/41474
146	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/40697
147	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/40695
148	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/39833
149	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/110009
150	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/107826
151	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/106688
152	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/105400
153	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/104378
154	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/104377
155	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/101877
156	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/100274
157	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/99237
158	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/98098
159	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/97133
160	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/95955
161	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/94667

162	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/93446
163	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/92489
164	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/91677
165	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/90422
166	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/90421
167	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/89340
168	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/88352
169	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/87303
170	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/86421
171	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/85258
172	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/84026
173	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/84025
174	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/82930
175	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/81837
176	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/80820
177	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/79675
178	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/78573
179	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/77631
180	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/76464
181	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/75495
182	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/74157
183	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/73200
184	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/72335
185	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/71262
186	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/69208
187	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/70278
188	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/64017
189	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/64016
190	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/64015
191	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/64014
192	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/64008
193	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/64002
194	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/63999
195	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/63997
196	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/63995
197	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/63994
198	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/63989
199	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/63986
200	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/52234
201	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/51735
202	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/45849
203	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/40592

204	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/40591
205	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/29836
206	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/28564
207	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/27141
208	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/26403
209	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/26402
210	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/24424
211	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/11687
212	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/11057
213	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/8030
214	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/103951
215	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/95335
216	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/87600
217	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/86650
218	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/85900
219	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/83988
220	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/83986
221	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/82003
222	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/82002
223	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/82001
224	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/79879
225	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/79878
226	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/79877
227	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/75556
228	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/75555
229	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/75554
230	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/75553
231	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/75552
232	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/71730
233	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/69223
234	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/69222
235	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/67142
236	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/66216
237	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/66215
238	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/38879
239	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/28615
240	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/26326
241	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/22704
242	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/19051
243	https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/5460