



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INCENDIO SOBRE LAS COMUNIDADES
FAUNÍSTICAS DEL CENTRO-SUR DE CHILE: AFECIONES SOBRE LA
RIQUEZA DE LAS ESPECIES**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL INDUSTRIAL

BEGOÑA PILAR GUEVARA IHL

PROFESOR GUÍA:

Andrés Weintraub Pohorille

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

Jaime Carrasco Barra

Rafael Epstein Numhauser

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por:

FONDEF

SANTIAGO DE CHILE

2022

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE: INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL**

– **POR: BEGOÑA PILAR GUEVARA IHL**

FECHA: 2022

PROFESOR GUÍA: ANDRÉS WEINTRAUB POHORILLE

**EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INCENDIO SOBRE LAS COMUNIDADES
FAUNÍSTICAS DEL CENTRO-SUR DE CHILE: AFECCIONES SOBRE LA
RIQUEZA DE LAS ESPECIES**

La mayoría de los incendios forestales tiene el potencial de dañar o matar fauna silvestre, siendo los incendios grandes e intensos más peligrosos para los animales. Esta investigación tiene como objetivo evaluar el riesgo de incendios forestales sobre las comunidades de vertebrados nativos de Chile y realizar estimaciones de las afecciones a la riqueza de las especies. Se elaboraron mapas de distribución probables de las especies mediante Modelos de Diversidad de Especie (MaxEnt y Ensamblados de pequeños modelos), a partir de una selección de variables ambientales para 236 especies faunísticas nativas entre la V Región de Valparaíso y la X Región de los Lagos, en Chile. Los mapas de distribución potencial de aves y mamíferos muestran un máximo de riqueza para ambos tipos de las especies en la zona central de Chile y las costas. Los mapas de distribución potencial de las especies fueron cruzados con mapas de cicatrices de incendios forestales ocurridos entre los años 2000 y 2018. Los resultados obtenidos muestran un promedio de hábitat incendiado para aves y mamíferos de 195 mil y 225 mil ha, respectivamente. Según el estado de conservación de las especies, se calculó el máximo hábitat incendiado medio, que corresponde en su mayoría aves, en estado de conservación preocupación menor (LC), según la IUCN. Las 5 especies en categoría vulnerable en Chile (Pardela gorgiblanca, Pudú, Pardela patirrosa, pingüino de Humboldt, albatros de frente blanca) fueron las que, en promedio, menor hábitat incendiado tuvieron para cada año de incendios.

Palabras claves: cambio climático, incendios forestales, modelos de distribución de las especies, cicatrices de incendios forestales, índice de riqueza de especie, MaxEnt.

ABSTRACT

Most wildfires have the potential to harm or kill wildlife, being large and intense fires more dangerous for animals. The objective of this study is to evaluate the risk of wildfires on native vertebrate communities in Chile and to estimate the effects on species richness. Species potential distribution maps were elaborated using Species Distribution Models (MaxEnt and Ensembles of small models), from a selection of ambient variables for 236 native species between the V Region de Valparaíso and the X Region de Los Lagos, in Chile. The maps of the potential distribution of birds and mammals show a maximum richness for both types of species in the central zone of Chile and the coasts. Species potential distribution maps were crossed with maps of forest fire scars that occurred between 2000 and 2018. The results show an average burned habitat for birds and mammals of 195000 and 225000 ha, respectively. The maximum average burned habitat that was calculated refers to birds, whose conservation status is LC, according to the IUCN. The 5 species in the vulnerable category in Chile were the ones that, on average, had the least average burned habitat for each year of wildfires.

Keywords: climate change, wildfires, species distribution models, wildfire scars, species richness index, MaxEnt.

A mi hermana Amparo
A mi Mutti

Agradecimientos

Gracias a mi familia por acompañarme y apoyarme todos estos años. Gracias a mi hermana Amparo, por creer en mí cuando ni yo misma lo hacía. Gracias a mis diferentes equipos de volleyball en los que participé todos estos años, a las chicas de Volley JGM, a mis amigas del volley playa. Gracias Anto, Romi, Cami, Heidi, Dani, Marete por todo el apañe en la arena. Gracias a mi amiga Panchi por estar siempre dispuesta a escucharme y aconsejarme. Gracias, César, por prestarme el computador estas últimas semanas, a la Javi por enseñarme acerca de veganismo y la Vale, por estar desde el primer día de universidad, por allá por el 2015, apoyándome y siendo mi cable a tierra. Gracias por todos los viajes, aventuras, risas, almuerzos y consejos. Gracias a la Sari, Ive y Vale por darme la oportunidad de ser su roomie, por compartir sus alegrías y sus penas conmigo, por confiar en mí. También agradecer a mis entrenadores Charlie, Cristián, Sebastián, Germán, Rodrigo y Camila por formarme como jugadora y como persona estos años universitarios. Gracias a Felipe y Camilo, por su eterna paciencia en la creación de esta tesis, por ayudarme con el código, por darme consejos, corregirme. Gracias al profe Andrés y a Jaime, por su paciencia, sabiduría y su humor.

Gracias a mi mamá, el apoyo más importante que he tenido hoy y siempre. Saber que puedo tocar tu puerta y estás ahí para escucharme ha sido reconfortante y jamás podré terminar de agradecerte todo lo que has hecho por mí. Gracias a mi papá por apoyarme y esperarme. Gracias a todas las personitas que se han cruzado en mi camino en Beauchef, que de alguna u otra manera aportaron un grano de arena en mi formación como persona y como futura profesional. A todas las mujeres que rasguñaron puertas en las ciencias y la ingeniería, abriendo camino a las nuevas generaciones.

También me agradezco a mí, por no haberme rendido, aun cuando no veía luz al final del camino. Estaré siempre agradecida y orgullosa de mí misma por nunca haber dejado de jugar volley, por seguir yendo a entrenar a pesar de todo y por no tirar la toalla. El volley me formó como persona y estaré siempre agradecida por eso. Y ahora que entrego la tesis podré jugar más y más volley y también doy las gracias por eso.

Gracias, Alicia por la revisión y correcciones.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.1.1. Incendios forestales en Chile y cambio climático	1
1.1.2. Incendios forestales y fauna silvestre	2
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
2. Metodología	4
2.1. Diagrama de flujo	4
2.2. Área de estudio	5
2.3. Datos de las especies	6
2.4. Variables ambientales	8
2.4.1. Variables Climáticas	9
2.4.2. Variables Antrópicas	10
2.4.3. Variables Topográficas	10
2.5. Modelos de Distribución de las especies	11
2.5.1. Ensamblajes de pequeños modelos	12
2.5.1.1. Elaboración de ESM	13
2.5.2. MaxEnt	14
2.5.2.1. MaxEnt y SDM	15
2.6. Cicatrices de incendios forestales en Chile	18
3. Resultados	20
3.1. Mapas de diversidad potencial de vertebrados	20
3.2. Hábitat quemado medio	21
3.2.1. Hábitat quemado medio por años	22
4. Discusión	24
5. Conclusión	26
Bibliografía	27
Anexos	31
Anexo A	31
Anexo B	33
Anexo C	34

Índice de Tablas

1.1.	Incendios forestales en Chile y superficie afectada entre años 2000 y 2018 (ha). (Fuente: CONAF 2022)	2
2.1.	Estado de conservación, clasificación y tipo de las especies con mayores a 50 registros de presencia en área de estudio.	7
2.2.	Estado de conservación y descripción según clasificación IUCN.	7
2.3.	Clasificación de las especies casi amenazadas, vulnerables y en peligro.	8
2.4.	Variables ambientales	11
.2.	Variables climáticas, topográficas y antrópicas: nombres y unidades.	31
.4.	Tipos de accidentes geográficos según clasificación SRTM.	33
.5.	Clasificación de las especies nativas en estado Preocupación Menor según IUCN.	34

Índice de Ilustraciones

2.1.	Metodología: Diagrama de flujo	5
2.2.	Área de estudio	6
2.3.	Diagrama para crear un ESM (Fuente: Breiner et al., 2017)	14
2.4.	Mapa de cicatrices de incendios forestales entre años 2000 a 2018 (Fuente: Landscape Fire Scars Data Base Chile)	19
3.1.	Mapa de diversidad potencial de aves	20
3.2.	Mapa de diversidad potencial de mamíferos.	20
3.3.	Diagrama de caja: Hábitat incendiado por grupo de las especies	21
3.4.	Diagrama de caja: Hábitat incendiado medio según estado de conservación de las especies.	22
3.5.	Hábitat incendiado medio anual por grupo de las especies.	23
3.6.	Hábitat incendiado medio por año según estado de conservación de las especies.	23

Capítulo 1

Introducción

1.1. Antecedentes

1.1.1. Incendios forestales en Chile y cambio climático

Los incendios forestales son un fenómeno natural, que ha estado presente en la mayoría de los ecosistemas terrestres (Gallegos et al., 2014). Se refiere a los fuegos no controlados de origen antrópico o natural, que ocurren en los ecosistemas terrestres y se propagan por la vegetación, pudiendo ser ésta de cualquier tipo: bosque, sabana, matorral, pastizal, humedal, turbera, entre otros (Pausas, 2012). Desde el punto de vista ecológico, los incendios de origen antrópico representan una perturbación, ya que se producen con mayor frecuencia e intensidad que los incendios de origen natural y pueden provocar una pérdida de individuos y biomasa de forma súbita o episódica (Arellano y Castillo-Guevara, 2014). En muchas regiones del mundo los incendios están siendo cada vez más frecuentes y severos. Las principales causas de estos patrones se asociarían tanto a cambios en el clima como en las prácticas de uso de la tierra (González et al., 2017).

El cambio climático ha provocado variaciones en la distribución de las especies en muchas partes del mundo. Se esperan impactos crecientes para el futuro, sin embargo, pocos estudios han apuntado a una comprensión general de la base regional para la vulnerabilidad de las especies (Thuiller et al., 2005). González, Lara, Urrutia y Bosnic (2017) señalan que "como en otras regiones, el cambio climático en Chile no es teórico y sus efectos comienzan a advertirse. El escenario proyectado para las próximas décadas es de disminución pronunciada de las precipitaciones y el aumento de la recurrencia de sequías, que redundaría en un incremento en la ocurrencia y el área afectada por incendios".

Este fenómeno está llevando a algunos bosques a un estado de estrés, reduciendo el contenido de agua de la vegetación y generando paisajes muy propensos a incendios donde podrían ocurrir incendios forestales de alta gravedad (Artés et al., 2019).

Una de las consecuencias del fuego es la liberación de espacio físico que provoca que se establezcan nuevas relaciones entre los organismos que sobreviven o que acceden al área perturbada (Lloret, 2004), ya sea por el aumento en la heterogeneidad ambiental o por la simplificación estructural del hábitat. Durante las últimas décadas en muchas regiones del mundo los incendios forestales se han convertido en una gran preocupación debido al significativo aumento en su ocurrencia y severidad (Westerling et al., 2006).

En Chile hay cerca de 35 millones de hectáreas de vegetación vulnerable a los incendios, entre praderas y matorrales (20 millones), bosque nativo (13 millones) y plantaciones (2,1

millones). De esta vegetación, una cifra superior a las 50 mil hectáreas se quema anualmente, en alrededor de 5.900 incendios forestales, siendo las regiones más afectadas, en términos de superficie y número de eventos, la Región de Valparaíso (28,5%), la Región del Bío Bío (38,5%) y la Región de la Araucanía (18,2%). Las pérdidas directas provocadas por los incendios son cercanas a los 50 millones de dólares, sin considerar los valores ambientales y sociales (Castillo et al., 2003). En Chile los incendios forestales suelen ocurrir en primavera y principalmente en verano, cuando existen altas temperaturas y las condiciones ambientales permiten que el fuego originado por el ser humano encuentre condiciones favorables para la propagación. Según señala CONAF (2022), "el período en el cual existe mayor probabilidad es entre los meses de octubre y abril". En la Tabla 1.1 se observa el número de incendios forestales en Chile, desde el año 2000 hasta el año 2018, junto a la superficie total afectada en hectáreas.

Tabla 1.1: Incendios forestales en Chile y superficie afectada entre años 2000 y 2018 (ha). (Fuente: CONAF 2022)

Período	Número de incendios forestales	Superficie afectada total (ha)
2000 - 2001	5.376	10.920,52
2001 - 2002	6.701	90.069,21
2002 - 2003	7.572	41.987,71
2003 - 2004	6.430	50.687,16
2004 - 2005	6.653	65.300,23
2005 - 2006	5.396	19.322,21
2006 - 2007	5.143	43.384,10
2007 - 2008	6.975	42.036,61
2008 - 2009	6.157	64.222,52
2009 - 2010	4.069	58.364,12
2010 - 2011	4.952	47.035,46
2011 - 2012	5.509	90.279,37
2012 - 2013	5.651	17.109,39
2013 - 2014	6.335	105.992,24
2014 - 2015	8.048	128.589,41
2015 - 2016	6.784	42.096,71
2016 - 2017	5.274	570.197,39
2017 - 2018	6.081	39.554,00

1.1.2. Incendios forestales y fauna silvestre

La mayoría de los incendios tiene el potencial de dañar o matar fauna silvestre, siendo los incendios grandes e intensos más peligrosos para los animales. La fauna con movilidad limitada es más vulnerable a sufrir lesión o mortalidad por esta causa. Pero incluso mamíferos grandes son aniquilados por el fuego. Estos fenómenos afectan a los animales debido al efecto que tienen en sus hábitats. Los incendios con frecuencia provocan incremento, a corto plazo, de los alimentos para la vida silvestre, esto contribuye al aumento de la población de ciertas

especies. Estos crecimientos son moderados por la capacidad de los animales para prosperar en la estructura alterada, normalmente simplificada, del entorno posterior al incendio (Smith, 2000).

Según señalan Brennan, Engstrom y Palmer (1998), el fuego puede afectar la población de vida silvestre de manera directa, matando a individuos, o de manera indirecta, alterando su nicho ecológico. En general, los efectos indirectos, en la fauna, especialmente, respecto a la alteración de hábitat, son mucho más significativas que la mortalidad directa.

Los efectos del fuego, en las comunidades de animales, generalmente dependen del alcance del cambio en la estructura del hábitat y la composición de las especies causado por el fuego. La fauna está adaptada para sobrevivir al patrón de frecuencia, estación, tamaño, severidad y uniformidad de los incendios que caracterizó su hábitat en tiempos previos al asentamiento. Cuando la frecuencia de los incendios aumenta o disminuye sustancialmente o la gravedad de los incendios cambia con respecto a los patrones previos al asentamiento, el hábitat de muchas especies, disminuye (Smith, 2000).

Todas las especies presentes en un bosque responden al fuego dependiendo de una serie de factores relacionados con los incendios, incluyendo la severidad del área quemada, el tamaño y la forma del evento, la proximidad a los bosques no quemados, tipos de cobertura pre y post siniestro y el tiempo de duración del mismo (Kotliar, 2002).

Actualmente no existen estudios que describan cuantitativamente el impacto que tienen los incendios forestales en la modificación de los hábitats de las especies vertebradas nativas chilenas, por lo que esta tesis pretende cubrir esa brecha de investigación.

En el aspecto metodológico, esta tesis aporta herramientas de recolección de datos sometidos al proceso de validez y confiabilidad, ya que se aplicó un instrumento específico sobre las variables que determinan los Modelos de Distribución de las especies y su posterior cruce con mapas de cicatrices de incendios forestales. Esto va a servir de guía a otros investigadores, cuyos objetivos sean, por ejemplo, la protección de las especies nativas de Chile, considerando aspectos económicos, sociales, políticos o educativos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la afección de los incendios forestales a la riqueza de las especies de vertebrados nativos de Chile, entre las regiones de Valparaíso y de los Lagos.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Modelar Mapas de Distribución Probable para las especies de vertebrados nativos de Chile para el período de años 2000 a 2018, usando variables ambientales y la base de datos de las especies de GBIF.
2. Evaluar afecciones de incendios sobre Índices de Riqueza de las especies de vertebrados, a través del cruce de Mapas de Distribución Probable de las especies y Mapas de Cicatrices de Incendios Forestales de la base de datos Landscape Fire Scars Database for Chile.

Capítulo 2

Metodología

2.1. Diagrama de flujo

El siguiente diagrama de flujo detalla la metodología que se siguió para el trabajo de investigación. Tras una selección de variables antrópicas, climáticas y topográficas se elaboró una matriz con datos ambientales (Sección 2.4). Para obtener los datos de presencia de especies se recurrió a la página www.gbif.org, obteniendo registros para 472 especies (Sección 2.3). Con la información de los datos ambientales, datos de presencia de especies y datos geográficos (Sección 2.2) se corrieron los modelos de distribución de especies para las 236 especies nativas. El algoritmo MaxEnt se ejecutó en el software R para aquellas especies nativas, cuyas presencias superaban o igualaban los 50 registros (Sección 2.5.2). El algoritmo ensamble de pequeños modelos se utilizó para aquellas especies, que tenían menos de 50 registros de presencia. Tras correr los diferentes modelos se obtuvo un mapa de distribución probable de especies, para cada celda del área de estudio, obteniendo además el índice de riqueza de especie, que corresponde al número de especies diferentes viviendo en una zona. Por último, se evaluó el hábitat incendiado medio debido a los incendios forestales ocurridos entre los años 2000 a 2018, según el grupo de especie y según el estado de conservación de las especies de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), obteniendo una evaluación de la afección de los incendios (Sección 3).

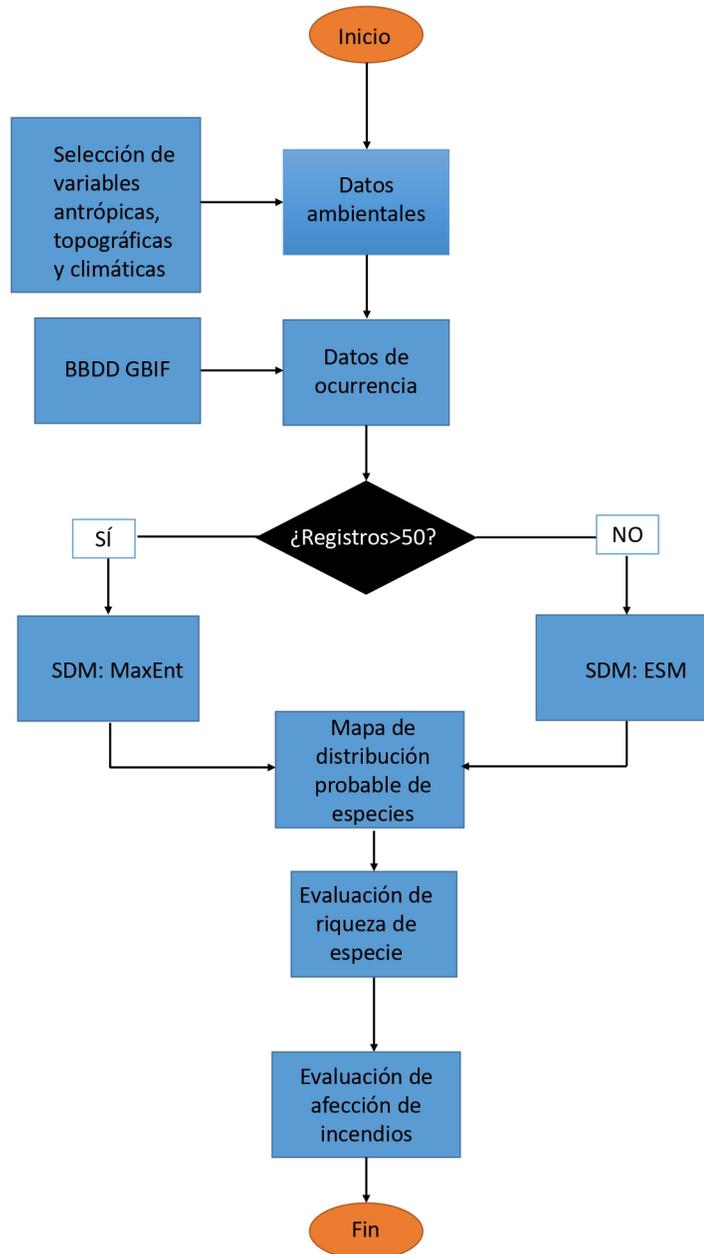


Figura 2.1: Metodología: Diagrama de flujo

2.2. Área de estudio

El área de estudio es: Región de Valparaíso, Región Metropolitana, Región de O'Higgins, Región del Maule, Región del Bío Bío, Región del Ñuble, Región de la Araucanía, Región de los Ríos y la Región de Los Lagos (Figura 2.2), abarcando desde los 32° 02' hasta los 44° 14' de latitud sur. Este territorio es el de mayor riqueza y endemismo de plantas vasculares de Chile (Bannister et al., 2012), además de contener el 45 % del bosque nativo, según el mapa nacional de cobertura de bosques nativos de Chile. Según los datos de CONAF (2022), La superficie del estudio es de 214.406,5 kilómetros cuadrados, que corresponde al 28 % de la superficie total del país. El área de estudio fue dividido en celdas de 5 kilómetros cuadrados, cada una identificada con un índice, obteniendo un total de 9274 celdas. .

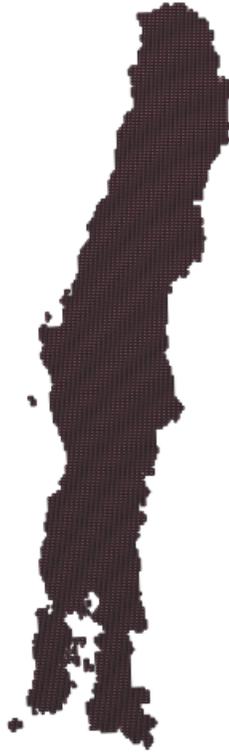


Figura 2.2: Área de estudio

2.3. Datos de las especies

El listado general de las 576 especies observadas en el área de estudio se obtuvo de la base de datos de *www.gbif.org*. La organización internacional GBIF, Global Diversity Information Facility o Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad, es una red de datos financiada por gobiernos de todo el mundo, destinada a proporcionar a cualquier persona, en cualquier lugar, acceso abierto y gratuito a datos sobre cualquier tipo de forma de vida que hay en la Tierra (GBIF, 2022). De estas 576 especies se seleccionaron aquellas que eran nativas, según los registros del Ministerio de Medio Ambiente, obteniendo un total de 236 especies y se clasificaron según estado de conservación, si eran endémicas y si correspondían a aves o mamíferos. Las especies nativas son aquellas que viven de forma natural en Chile, es decir, que se cree que se originaron o llegaron naturalmente al país, sin intervención humana.

La protección de la diversidad biológica es una tarea prioritaria a nivel mundial. Es necesario avanzar en las acciones tendientes a la preservación de aquellas especies que presentan elevados riesgos de extinción producto de acciones directa o indirectamente ligadas a la actividad humana. Una herramienta de amplio uso en este contexto es la clasificación de las especies de acuerdo a su grado de amenaza frente a la extinción, lo que permite priorizar los esfuerzos de conservación (Squeo et al., 2010). Para definir el estado de conservación se consultó la Lista Roja de las especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN). La IUCN es una red medioambiental creada en 1948 que agrupa más de 160 países. Es una herramienta para informar y catalizar acciones para la conservación de la biodiversidad y el cambio de políticas, fundamentales para proteger los

recursos naturales necesarios para sobrevivir (IUCN, 2022). En la tabla 2.3 se observa el estado de conservación, clasificación y tipo de aquellas especies nativas con más de 50 registros de presencia en el área de estudio.

Tabla 2.1: Estado de conservación, clasificación y tipo de las especies con mayores a 50 registros de presencia en área de estudio.

	Cantidad de las especies
EC: Preocupación menor	215
EC: Vulnerable	5
EC: En peligro	1
EC: Casi amenazado	15
Nativas	236
Endémicas	10
Aves	219
Mamíferos	17

Los estados de conservación de las especies, de menor a mayor preocupación según el riesgo de extinción son Preocupación Menor (LC), Casi Amenazada (NT), Vulnerable (VU), En Peligro (EN), En Peligro Crítico (CR), Extinto en Estado Silvestre (EW) y Extinto (EX). Las categorías Vulnerable, En Peligro y En Peligro Crítico conforman el grupo Amenazados.

Tabla 2.2: Estado de conservación y descripción según clasificación IUCN.

Categoría	Descripción
Extinto (EX)	No queda ninguna duda razonable de que el último individuo existente ha muerto.
Extinto en estado silvestre (EW)	Sólo sobrevive en cultivo, en cautividad o como población naturalizadas completamente fuera de su distribución original.
En peligro crítico (CR)	Se está enfrentando a un riesgo de extinción extremadamente alto en estado de vida silvestre.
En peligro (EN)	Se está enfrentando a un riesgo de extinción muy alto en estado de vida silvestre.
Vulnerable (VU)	Se está enfrentando a un riesgo de extinción alto en estado de vida silvestre.
Casi amenazado (NT)	No satisface los criterios para clasificar como VU, EN, CR, pero está próximo a hacerlo.
Preocupación menor (LC)	No satisface los criterios para clasificar como VU, EN, CR, NT. Se incluyen en esta categoría taxones abundantes y de amplia distribución.
Datos insuficientes (DD)	No hay información suficiente para hacer una evaluación de su riesgo de extinción.
No evaluado (NE)	Todavía no ha sido clasificado en relación a estos criterios.

En la tabla 2.3 se observan las especies que se encuentran en las categorías Vulnerable, En peligro y Casi amenazado. Del total de 19 aves nativas, 13 se encuentran en estado Casi Amenazado, 4 en estado Vulnerable y 1 En Peligro. Los dos mamíferos presentes en esta tabla corresponden al monito del monte y al pudú. El monito del monte se encuentra en estado Casi Amenazado. El pudú es un mamífero endémico de Chile que se encuentra en estado Vulnerable. El resto de vertebrados nativos de Chile, corresponde mayoritariamente a aves que clasifican en Preocupación Menor, según la IUCN y se pueden observar en la tabla .5 en Anexos.

Tabla 2.3: Clasificación de las especies casi amenazadas, vulnerables y en peligro.

Nombre científico	Nombre común	Estado de conservación	Vertebrado
<i>Calidris canutus</i>	Playero Ártico	NT	Ave
<i>Charadrius nivosus</i>	Chorlo nevado	NT	Ave
<i>Dromiciops gliroides</i>	Monito del monte	NT	Mamífero
<i>Larosterna inca</i>	Charrán Inca	NT	Ave
<i>Laterallus jamaicensis</i>	Pidencito	NT	Ave
<i>Pelecanoides garnotii</i>	Potoyunco peruano	EN	Ave
<i>Pelecanus thagus</i>	Pelícano peruano	NT	Ave
<i>Phalacrocorax gaimardi</i>	Chuita	NT	Ave
<i>Phegornis mitchellii</i>	Chorlitejo cordillerano	NT	Ave
<i>Phoenicopterus chilensis</i>	Flamenco chileno	NT	Ave
<i>Procellaria aequinoctialis</i>	Pardela gorgiblanca	VU	Ave
<i>Pudu pudu</i>	Pudú	VU	Mamífero
<i>Puffinus creatopus</i>	Pardela patirrosa	VU	Ave
<i>Puffinus griseus</i>	Pardela sombría	NT	Ave
<i>Pygarrhichas albobularis</i>	Picolezna patagónico	NT	Ave
<i>Specularnas specularis</i>	Pato anteojillo	NT	Ave
<i>Spheniscus humboldti</i>	Pingüino de Humboldt	VU	Ave
<i>Spheniscus magellanicus</i>	Pingüino de Magallanes	NT	Ave
<i>Thalassarche salvini</i>	Albato de frente blanca	VU	Ave
<i>Thalasseus elegans</i>	Charrán elegante	NT	Ave
<i>Vultur gryphus</i>	Cóndor andino	NT	Ave

2.4. Variables ambientales

Las variables independientes a incluir en los SDM deben cumplir simultáneamente tres condiciones (Mateo et al., 2011):

1. Deben ser potencialmente explicativas, es decir, deben tener relación potencial con la

distribución de la especie.

2. Han de mostrar una variabilidad significativa en la zona de estudio.
3. Tienen que ser independientes entre sí, o al menos, no estar excesivamente correlacionadas.

El listado total de variables ambientales se puede observar en Anexos en la tabla .2. Para la construcción de la base de datos de variables ambientales se eligieron las siguientes debido a su importancia en los modelos de predicción de presencia de las especies y debido a que, según el coeficiente de correlación de Pearson, no están correlacionadas. Se dividieron las variables en tres grupos: Variables Climáticas, Variables Antrópicas y Variables Topográficas, sumando un total de 13 variables. En la tabla 2.4 se puede observar en detalle el nombre de cada variable ambiental, su descripción, la fuente y la unidad de medida.

2.4.1. Variables Climáticas

Las Variables Climáticas fueron obtenidas del Atlas de Riesgo Climático (ARClím) para Chile, desde el Explorador de Amenazas, expresadas en celdas de 5 kilómetros cuadrados, correspondientes a datos anuales para el período de años 1980 a 2010.

ARClím es una herramienta desarrollada por el Ministerio de Medio Ambiente de Chile en conjunto con el Centro de Investigación del Clima y la Resiliencia (CR2). El objetivo general de ARClím es desarrollar un conjunto de mapas de riesgos relacionados con el cambio climático para Chile empleando un marco conceptual común y una base de datos consistente. ARClím incluye diversos sectores con cobertura nacional y detalle comunal o puntual, convirtiéndose así en una herramienta importante para el diseño de políticas públicas y la implementación de medidas de adaptación.

El Explorador de Amenazas Climáticas es una herramienta de ARClím que permite visualizar y descargar índices climáticos sobre el territorio nacional para el período de referencia 1980 a 2010. Estos índices cuantifican la ocurrencia de ciertas condiciones meteorológicas potencialmente adversas en base a la distribución diaria de variables atmosféricas (Ministerio de Medio Ambiente, 2022)

1. La variable ola de calor corresponde al número de días que la temperatura máxima diaria supera los 28°C, durante tres o más días seguidos.
2. La variable temperatura media anual corresponde al promedio de las temperaturas medias anuales de cada año.
3. La variable días cálidos corresponden al promedio del número de días en el año en que la temperatura supera el umbral definido como el percentil 90 de la temperatura diaria.
4. Las variables duración de episodios cálidos corresponden al promedio del número de días con al menos seis días consecutivos, respectivamente, en que la temperatura máxima supera el percentil 90.
5. La variable días secos consecutivos corresponde al promedio del número máximo de días consecutivos en un año en que la precipitación diaria no supera 1 mm. Se puede acumular de años anteriores.

6. La variable precipitación acumulada anual corresponde a la cantidad de precipitación (lluvia y nieve) acumulada.
7. La variable humedad específica corresponde al promedio del valor medio de la humedad específica.

2.4.2. Variables Antrópicas

Las Variables Antrópicas corresponden a un total de cinco y refieren a aquellas variables demográficas, sociales y geográficas que generan cambios en el estado del sistema territorial (López, 2021).

1. La variable número total de caminos corresponde al número total de caminos presentes en la celda.
2. La variable distancia de camino corresponde a la distancia que existe entre el centro de la celda y el camino más cercano.
3. La variable distancia a ciudad corresponde a la distancia a la ciudad más cercana al centro de la celda. Esta variable tiene como fuente los datos de Área Urbana Consolidada 2011 (Ministerio de Vivienda y Urbanismo,
4. La variable total de personas corresponde al total de personas en la celda. Esta variable tiene como fuente los datos del CENSO realizado el año 2017.
5. La variable total de viviendas corresponde al número total de viviendas en cada celda. Esta variable tiene como fuente los datos del CENSO realizado el año 2017.

2.4.3. Variables Topográficas

Las variables topográficas permiten la descripción del relieve a partir de un conjunto de medidas que definen las características geométricas del terreno a diferentes escalas, proceso conocido como la parametrización del relieve o la descripción numérica de las formas topográficas (Cepeda et al., 2007).

1. La variable elevación promedio corresponde a la elevación promedio de la celda. Esta variable se obtuvo de la plataforma Earth Engine Data Catalog a partir de un archivo ráster¹ con resolución acorde al área de estudio.

¹ Un ráster consta de una matriz de celdas organizadas en filas y columnas. Cada celda contiene un valor que representa información. Los rústeres son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados (Estévez, 2019)

Tabla 2.4: Variables ambientales

Nombre variable	Descripción	Fuente	Unidad
dia_s28h	Número de días que la temperatura máxima diaria supera los 28°C, durante tres o más días seguidos	ARClim	-
tmean_anh	Promedio de las temperaturas medias anuales de cada año	ARClim	°C
dias_calh	Promedio del número de días en el año en que la temperatura supera el umbral definido como el percentil 90 de la temperatura diaria	ARClim	-
dur_ec6h	Promedio del número de días con al menos seis días consecutivos, respectivamente, en que la temperatura máxima supera el percentil 90	ARClim	-
dias_sech	Promedio del número máximo de días consecutivos en un año en que la precipitación diaria no supera 1 mm. Se puede acumular de años anteriores	ARClim	-
pp_histh	Cantidad de precipitación (lluvia y nieve) acumulada	ARClim	mm
hu_esph	% Promedio del valor medio de la humedad específica	ARClim	%
dciudad	Distancia a la ciudad más cercana al centro de la celda.	Área Urbana Consolidada 2011	m
call_con	Número total de caminos presentes en la celda	Ejes Viales (Ministerio de Bienes Nacionales)	-
distcam	Distancia que existe entre el centro de la celda y el camino más cercano	Ejes Viales (Ministerio de Bienes Nacionales)	m
total_pers	Total de personas en la celda	Censo 2017	-
tot_vivi	Total de viviendas en la celda	Censo 2017	-
dem	Elevación promedio	Google Earth Engine Catalog	m.s.n.m

2.5. Modelos de Distribución de las especies

Comprender las respuestas de las especies a las condiciones ambientales y cómo éstas se asocian con el medio ambiente dan forma a las distribuciones espaciales son objetivos de larga data en ecología y biogeografía (Mertes y Jetz, 2018). Con el surgimiento de nuevas y poderosas técnicas estadísticas y herramientas de Sistemas de Información Geográfica (GIS), el desarrollo de modelos predictivos de distribución de hábitat ha aumentado rápidamente

en ecología. Se ha elaborado una amplia gama de modelos para cubrir aspectos tan diversos como la biogeografía, la biología de la conservación, la investigación del cambio climático y la gestión de hábitats o especies (Guisan y Zimmermann, 2000).

Los Modelos de Distribución de las especies o Species Distribution Models (SDM) son representaciones cartográficas de la idoneidad de un espacio para la presencia de una especie en función de las variables empleadas para generar dicha representación (Mateo et al., 2011). Se utilizan para obtener conocimientos ecológicos y evolutivos y para predecir distribuciones en paisajes, lo que a veces requiere una extrapolación en el espacio y el tiempo (Elith y Leathwick, 2009).

Los SDM consisten en un proceso de clasificación (Guisan y Zimmermann, 2000), donde la variable dependiente puede ser binaria (presencia/ausencia) o cuantitativa (probabilidad de ocurrencia). Las variables independientes pueden ser cuantitativas (temperatura o elevación) o nominales (litología o uso del suelo) (Mateo et al., 2011). Respecto a la precisión del área de estudio para los SDM, no existe conceptualmente una sola escala natural en la cual los patrones ecológicos de presencia de las especies deban ser estudiados (Levin, 1992). Más bien, la escala adecuada la dictan los objetivos del estudio, el sistema y los datos disponibles (Elith y Leathwick, 2009). La extensión espacial y la escala del trabajo condicionan la selección de variables independientes a incluir en el modelamiento (Guisan y Zimmermann, 2000).

Los datos de solo presencia consisten en registros que describen ocurrencias conocidas de las especies, pero que carecen de información sobre ausencias conocidas (Elith y Leathwick, 2009). Los factores ambientales tienen un efecto sobre la distribución de las especies, ya sea de una forma directa o indirecta (Guisan y Zimmermann, 2000).

Se trabaja con dos Modelos de Distribución de las especies, según la cantidad de registros de presencia para cada especie. Para especies con pocos registros, es decir, con menos de 50 datos de presencia, se utiliza el SDM Ensamblados de Pequeños Modelos descrito en la sección 2.5.1. Para especies con más registros de presencia, se utiliza el algoritmo MaxEnt descrito en la sección 2.5.2

2.5.1. Ensamblados de pequeños modelos

La predisposición a presentar elevados riesgos de extinción se ha vinculado con el fenómeno ecológico de la rareza a través de mecanismos naturales (Williamson, 1989), pero también con la interacción que existe entre las especies y los impactos sobre el territorio por parte del hombre (Ian et al., 2000). La capacidad de los SDM tradicionales para predecir especies raras o submuestreadas se ha visto fuertemente limitada por la cantidad de ocurrencias disponibles, con aumentos en la precisión de la predicción con un mayor tamaño de muestra (Guisan et al., 2007). Se consideran como especies raras a aquellas que tienen distribuciones restringidas, poblaciones poco abundantes o combinaciones de ambos factores (Ceballos, 2001). Las especies se consideran submuestreadas si solo se dispone de un bajo número de ocurrencias, aunque se sabe que las especies son más comunes (Breiner et al., 2015).

Las especies raras son las que más necesitan modelos predictivos de distribución, pero también las más difíciles de modelar (Lomba et al., 2010). Un problema importante con el modelamiento de las especies raras es que frecuentemente hay una gran cantidad de variables ambientales explicativas en relación con pocas ocurrencias, lo que puede conducir al sobreajuste del modelo (Breiner et al., 2015). El sobreajuste conduce a una capacidad de generalización reducida del modelo y, por lo tanto, restringe la aplicabilidad del modelo a nuevos datos (Vaughan y Oremorod, 2005).

Los ensamblados de pequeños modelos o Ensembles of Small Models (ESM) representan una

poderosa estrategia aplicable con varias técnicas estándar de SDM. Según Breiner (2015), la fortaleza de los ESM es su alto rendimiento con tamaños de muestra pequeños, una característica de los datos para especies raras y amenazadas, o para especies escurridizas que son difíciles de detectar.

Los ESM pueden producir predicciones más precisas que los SDM tradicionales y reducir el sobreajuste del modelo para especies raras (Breiner et al., 2015). La idea básica detrás de los ESM es modelar una distribución de las especies basada en modelos pequeños y simples, por ejemplo, todos los modelos bivariados posibles (es decir, modelos que contienen solo dos predictores a la vez de un conjunto más grande de predictores), y luego combinar todos los modelos bivariados posibles modelos en un conjunto (Lomba et al., 2010).

2.5.1.1. Elaboración de ESM

Para elaborar los ensambles de pequeños modelos se siguen los siguientes pasos. Primero, se calibran muchos modelos con pequeños subconjuntos de predictores, en este caso modelos bivariados (biva). Luego, cada uno de estos pequeños modelos se evalúa de acuerdo con un índice de evaluación del modelo (EI) calculado con validación cruzada. La validación cruzada es una técnica para evaluar modelos de Machine Learning mediante el entrenamiento de varios modelos en subconjuntos de los datos de entrada disponibles y evaluarlos con el subconjunto complementario de los datos.

Para producir el ESM final, todos los modelos pequeños se promedian en un conjunto ponderado por el modelo específico (Breiner et al., 2015). En este ejemplo se observan los siguientes predictores ambientales utilizados para modelar.

Las ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.3 corresponden a 3 ecuaciones de modelos bivariados simples, donde T_{media} corresponde a temperatura promedio, P_{media} corresponde a precipitación promedio y Var_topo corresponde a una variable topográfica.

$$biva_1 = T_{media} + P_{media} \quad (2.1)$$

$$biva_2 = T_{media} + Var_topo \quad (2.2)$$

$$biva_3 = P_{promedio} + Var_topo \quad (2.3)$$

La ecuación que integra las ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.3 y las n que correspondan, para calcular el promedio de modelos pequeños ponderados por una puntuación de un índice de evaluación (EI) es:

$$ESM = \frac{\sum_{i=1}^n (biva_i * EI)}{\sum_{i=1}^n EI} \quad (2.4)$$

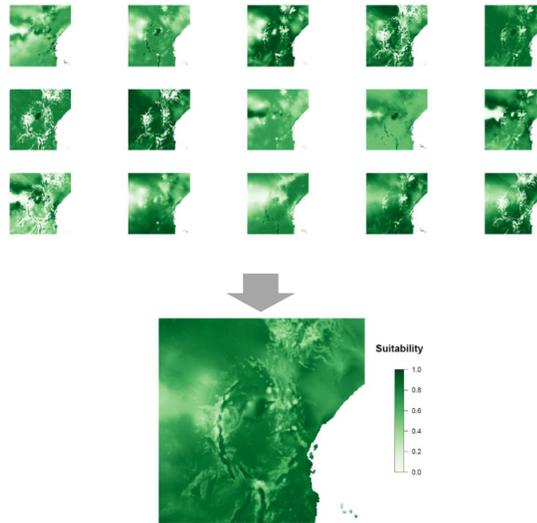


Figura 2.3: Diagrama para crear un ESM (Fuente: Breiner et al., 2017)

En la figura 2.3 se observan mapas de modelos bivariados simples que luego se ponderan por una puntuación de un índice de evaluación (EI), obteniendo como resultado un modelo y mapa final de distribución potencial de las especies. Se utiliza el método ESM para elaborar los mapas de probabilidad de presencia para aquellas especies, con datos de presencia menores a 50 registros.

2.5.2. MaxEnt

Maximum Entropy (MaxEnt) es un algoritmo diseñado por Steven J. Phillips, Miroslav Dudík, y Robert E. Schapire el año 2004. Fue creado a través de una asociación público - privada, entre el Centro para la Biodiversidad y Conservación del Museo de Historia Natural de Estados Unidos (AMNH, por sus siglas en inglés) y AT&T Research, una de las más grandes compañías estadounidenses de telecomunicaciones (Phillips et al., 2022).

MaxEnt sirve para modelar distribuciones de las especies a partir de registros de presencia de las mismas (Elith et al., 2011). La herramienta utiliza puntos de ocurrencia conocidos (datos de presencia) y variables explicativas (factores ambientales) en forma de campos, rásteres o características de distancia para proporcionar una estimación de la presencia en un área de estudio.

Este algoritmo de Machine Learning aplica el principio de máxima entropía o "maxent" publicado por Jaynes en 1957 (Kesavan, 2009), para ajustar el modelo de manera que la distribución estimada de las especies se desvíe de una distribución uniforme tan mínimamente como sea necesario para explicar las observaciones. Esto, dado que la distribución discreta con mayor entropía es la distribución uniforme. Al maximizar la entropía se logran realizar menos suposiciones implícitas injustificadas. Bajo ciertas suposiciones acerca de los datos de entrada y esfuerzos, respecto al muestreo biológico, los resultados pueden interpretarse como predicciones de probabilidad de presencia o predicciones de abundancia local.

MaxEnt utiliza las observaciones de las especies y el conjunto de condiciones ambientales para identificar la distribución que se ajusta a todo lo conocido sobre la distribución del

hábitat sin hacer ninguna postulación sobre lo que no se ha observado ya. También predice la distribución del hábitat en términos de probabilidad de idoneidad para la distribución de las especies de acuerdo con un conjunto de restricciones que representan la información incompleta sobre la distribución objetivo (Bargain et al., 2017).

2.5.2.1. MaxEnt y SDM

Para utilizar MaxEnt en el modelamiento de distribuciones de las especies se tiene:

$$f_k(x), k = 1, \dots, K \quad (2.5)$$

un conjunto de funciones que describen la temperatura, las precipitaciones, la humedad, entre otras variables ambientales. Se desea conocer la distribución de probabilidad que mejor describa cada f_k , según lo observado en K . La distribución esperada de estas funciones es:

$$E[f_k(X)] = \sum_x p(x) \cdot f_k(x) = \mu_k \quad (2.6)$$

Si se conoce un conjunto de ocurrencias de las especies $S = (x_j)$ para todas las especies j de un conjunto N de ocurrencias, entonces la distribución particular de la especie k es:

$$\hat{\mu}_k = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N f_k(x_j) \quad (2.7)$$

El principio de máxima entropía o MaxEnt es la siguiente función de maximización:

$$\max_{p(x)} H(X) = - \sum_x p(x) \cdot \log_2 p(x), s.a. \quad (2.8)$$

$$\sum_x p(x) \cdot f_k(x) = \hat{\mu}_k, k = 1, \dots, K \quad (2.9)$$

$$\sum_x p(x) = 1 \quad (2.10)$$

$$p(x) \geq 0, \forall x \quad (2.11)$$

El lagrangiano de esta función de maximización está dado por:

$$L(p, \vec{\lambda}) = - \sum_x p(x) \cdot \log p(x) + \lambda_0 (1 - \sum_x p(x)) + \sum_{k=1}^K \lambda_k \cdot (\mu_k - \sum_x p(x) \cdot f_k(x)) \quad (2.12)$$

Por lo tanto, se tienen las tres siguientes condiciones óptimas:

$$\nabla L(p, \vec{\lambda}) = 0 \longrightarrow \quad (2.13)$$

$$\nabla_{p(x)} L(p(x), \vec{\lambda}) = -1 - \log p(x) - \lambda_0 - \sum_{k=1}^K \lambda_k \cdot f_k(x) = 0 \quad (2.14)$$

$$\nabla_{\lambda_0} L(p(x), \vec{\lambda}) = 1 - \sum_{k=1}^K p(x) = 0 \quad (2.15)$$

$$\nabla_{\lambda_k} L(p(x), \vec{\lambda}) = \mu_k - \sum_{k=1}^K p(x) \cdot f_k(x) = 0, k = 1, \dots, K \quad (2.16)$$

De la primera restricción 2.14 se tiene:

$$p(x) = \frac{1}{Z} \exp\left(-\sum_{k=1}^K \lambda_k \cdot f_k(x)\right), \quad (2.17)$$

donde

$$Z = \exp(1 + \lambda_0) \quad (2.18)$$

De la segunda restricción 2.15 se tiene:

$$\sum_x p(x) = \sum_x \frac{1}{Z} \exp\left(-\sum_{k=1}^K \lambda_k \cdot f_k(x)\right) = 1, \quad (2.19)$$

con

$$Z = \sum_x \exp\left(-\sum_{k=1}^K \lambda_k \cdot f_k(x)\right) \quad (2.20)$$

Por lo tanto, el resultado de Maxent está dado por la la distribución de Gibbs:

$$p(x) = \frac{\exp\left(-\sum_{k=1}^K \lambda_k \cdot f_k(x)\right)}{\sum_x \exp\left(-\sum_{k=1}^K \lambda_k \cdot f_k(x)\right)} \implies \quad (2.21)$$

$$p(x) = p(x|\lambda) = \frac{1}{Z(\lambda)} \cdot \sum_x \exp(\lambda^T \cdot f(x)) \quad (2.22)$$

La solución del Estimador de Máxima Verosimilitud es:

$$\max_{\lambda} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(p(x^i|\lambda)) \quad (2.23)$$

La función de Máxima Verosimilitud es:

$$l(\lambda) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(p(x^i|\lambda)) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln \frac{1}{Z(\lambda)} \exp(\lambda^T \cdot f(x^i)) \quad (2.24)$$

$$\nabla l(\lambda) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(x^i) - E[f(X)] \quad (2.25)$$

El término fijo proviene de las observaciones de presencia y corresponde a

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(x^i) \quad (2.26)$$

El término libre proviene del muestreo de celdas sin presencia.

$$E[f(X)] \quad (2.27)$$

Para computar el término libre se requiere de interferencia en el modelo y debe ser reali-

zando una vez por cada paso de gradiente. El principio de máxima entropía para modelos de distribución de las especies sostiene que se deben elegir modelos que sean lo más similares posible a las expectativas previas y que, al mismo tiempo, sean consistentes con los datos (Carrasco, 2022).

Los pasos para entrenar MaxEnt usando el Método de Gradiente son los siguientes:

1. Se comienza con valores aleatorios para

$$\lambda = \lambda_0,$$

la primera iteración con

$$k = 0,$$

y

$$E[f(X)] = \frac{1}{|D|} \sum_{x \in D} f(x),$$

el término fijo que proviene de las observaciones de presencia, con

$$D = (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

una muestra de puntos independientes, idénticamente distribuidos de una distribución de probabilidad

$$p(x|\theta).$$

2. Se construye

$$D' = (y_1, y_2, \dots, y_m)$$

una muestra de celdas sin presencia.

3. Se aproxima

$$E[f(X)]'_k \approx \frac{1}{D'} \sum_{y \in D'} f(y) \quad (2.28)$$

4. Se calcula

$$g_k = E[f(X)] - E[f(X)]'_k$$

.

5. Se actualiza

$$\lambda_k + 1 = \lambda_k - \eta \cdot g_k,$$

donde

$$\eta$$

es la tasa de aprendizaje o el tamaño del paso.

6. Se detiene el entrenamiento si

$$\|g_k\| < \epsilon$$

. Si no, se continua al paso 2:

$$k = k + 1$$

Ventajas de MaxEnt

1. Requiere sólo datos de presencia de especie.
2. Puede usar variables predictoras continuas y categóricas.

3. Puede incluir interacciones entre variables predictoras.
4. Incluye un protocolo de regularización para proteger contra el sobreajuste².
5. Puede hacer frente a datos escasos, muestreados irregularmente y errores de ubicación menores (Kramer-Schadt et al., 2013).

Para las especies descritas en 2.3 con más de 50 registros se utiliza el método MaxEnt, considerando las variables ambientales descritas en 2.4.

2.6. Cicatrices de incendios forestales en Chile

Las cicatrices de incendios forestales, así como el régimen de fuego en Chile han sido descritos principalmente por la Base de Datos pública mantenida por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), como también por el algoritmo de mapeo de áreas quemadas MODIS (Miranda et al., 2022, de la Barrera et al., 2018). Por otro lado, Google Earth Engine es una plataforma basada en la nube que facilita el acceso a recursos informáticos de alto rendimiento para procesar conjuntos de datos geoespaciales muy grandes (Gorelick et al., 2017). Al aprovechar esta plataforma de análisis de Big Data junto con la información disponible de CONAF nace la Base de Datos de Cicatrices de Incendios para Chile o Landscape Fire Scars Database for Chile, que reconstruye el área de la cicatriz del incendio, el perímetro y la gravedad de cada incendio. Esta base de datos y el script Google Earth Engine son públicas en <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.941127> y <https://code.earthengine.google.com/>, de manera que se tiene acceso a un producto de alta resolución (aproximadamente 30 metros) de área quemada y gravedad del fuego. Esta base de datos registra más de 8000 siniestros entre los años 1984 y 2018, entregando la imagen de mosaico Landsat de eventos previos y posteriores al incendio, incluidos los índices NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) y NBR (Índice Normalizado de Área Quemada) (Miranda et al., 2022).

Para esta investigación se utiliza la información disponible de los incendios forestales ocurridos en el área de estudio entre los años 2000 y 2018. Se considera que si una cicatriz toca una celda de estudio, entonces afecta la distribución potencial de la especie y la riqueza de ésta. El mapa de cicatrices de incendios forestales que se observa en la figura 2.4 muestra a lo largo de todo el área de estudio los lugares donde ocurrieron incendios forestales entre los años 2000 y 2018, según la base de datos Landscape Fire Scars Data Base Chile.

² El overfitting o sobreajuste corresponde al sobreentrenamiento del modelo. El algoritmo sólo considera como válido los datos idénticos a los del conjunto de entrenamiento.

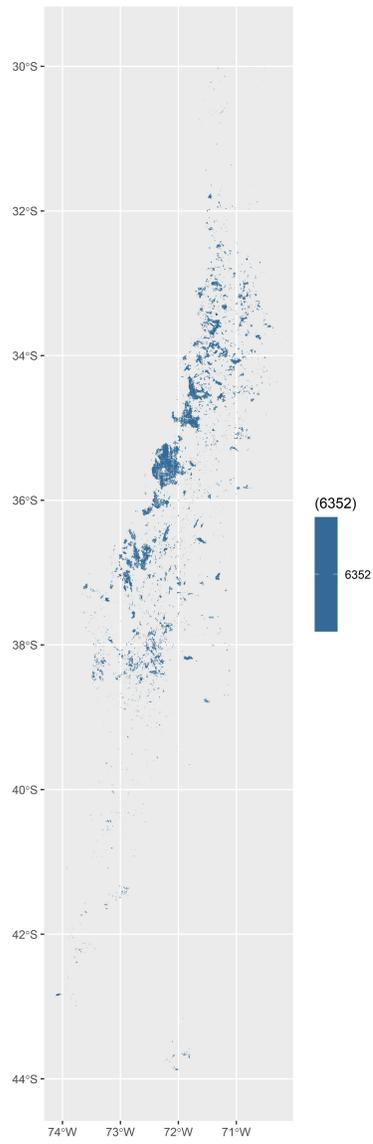


Figura 2.4: Mapa de cicatrices de incendios forestales entre años 2000 a 2018
(Fuente: Landscape Fire Scars Data Base Chile)

Capítulo 3

Resultados

3.1. Mapas de diversidad potencial de vertebrados

Siguiendo la metodología presentada en el capítulo anterior se obtuvieron los mapas de diversidad potenciales de aves y mamíferos. Las figuras 3.1 y 3.2 presentan la diversidad potencial de aves y mamíferos para aquellas especies nativas que registraban más de 50 presencias en cada celda de estudio. La riqueza de las especies para las aves toma valores de 0 a 150 especies. La riqueza de las especies para los mamíferos toma valores de 0 a 12 mostrando un color más claro a medida que aumenta el número.

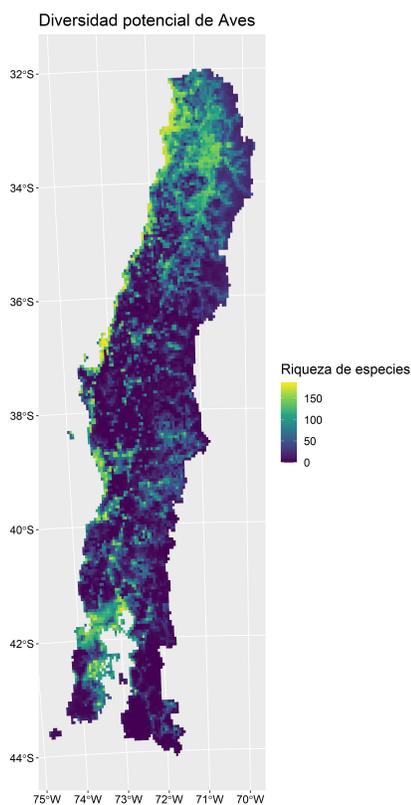


Figura 3.1: Mapa de diversidad potencial de aves

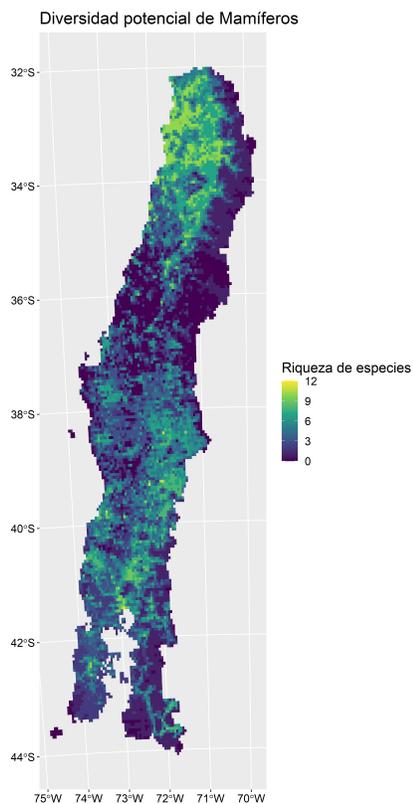


Figura 3.2: Mapa de diversidad potencial de mamíferos.

3.2. Hábitat quemado medio

El hábitat quemado medio corresponde al área total en kilómetros cuadrados, de las celdas quemadas, donde las especies están potencialmente presentes según los modelos descritos en 2.5. Para esta investigación el área o superficie afectada por un incendio forestal resultando en una cicatriz de incendio forestal, corresponde a la superficie incluida al interior del perímetro de un incendio independiente del grado o nivel del daño en el ecosistema afectado.

Se observa en la figura 3.3 los diagramas de cajas para aves y mamíferos. La mediana o segundo cuartil corresponde, en el caso de las aves, a 195000 ha. El valor mínimo y máximo corresponden a 0 y 5700 kilómetros cuadrados incendiados, respectivamente. Los datos se concentran en la parte inferior de la distribución. El segundo cuartil, para el caso de los mamíferos, es de 2250 kilómetros cuadrados. El valor mínimo es de 0 kilómetros cuadrados incendiados; el valor máximo, 5300.

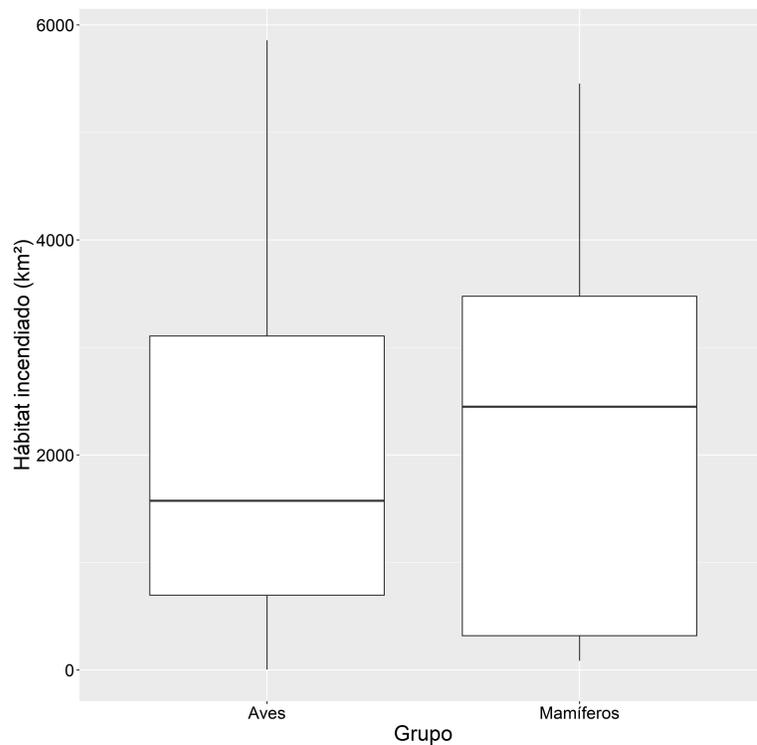


Figura 3.3: Diagrama de caja: Hábitat incendiado por grupo de las especies

En la figura 3.4 se observa el diagrama de caja para el hábitat incendiado de las especies vertebradas, según su estado de conservación: en peligro, preocupación menor, casi amenazado y vulnerable.

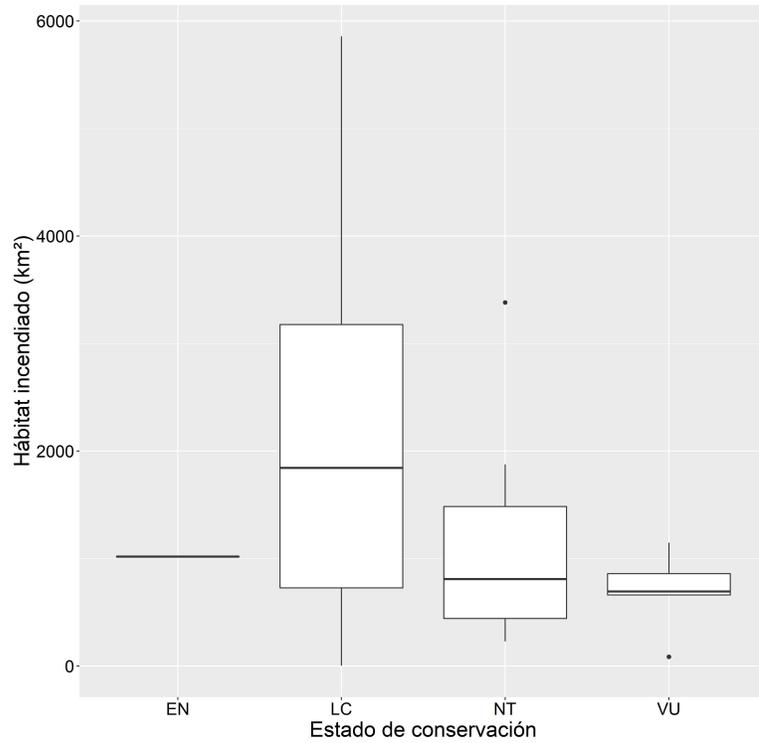


Figura 3.4: Diagrama de caja: Hábitat incendiado medio según estado de conservación de las especies.

3.2.1. Hábitat quemado medio por años

En la figura 3.5 se observa el hábitat incendiado medio por cada año, según el tipo de especie. En rojo se observan los diagramas de caja para las aves, para cada año. Por otro lado, en azul se observa anualmente el hábitat incendiado medio para los mamíferos. 530 y 800 En la figura 3.6 se observa el hábitat incendiado medio en kilómetros cuadrados para las especies, según su estado de conservación: en peligro, preocupación menor, casi amenazado y vulnerable.

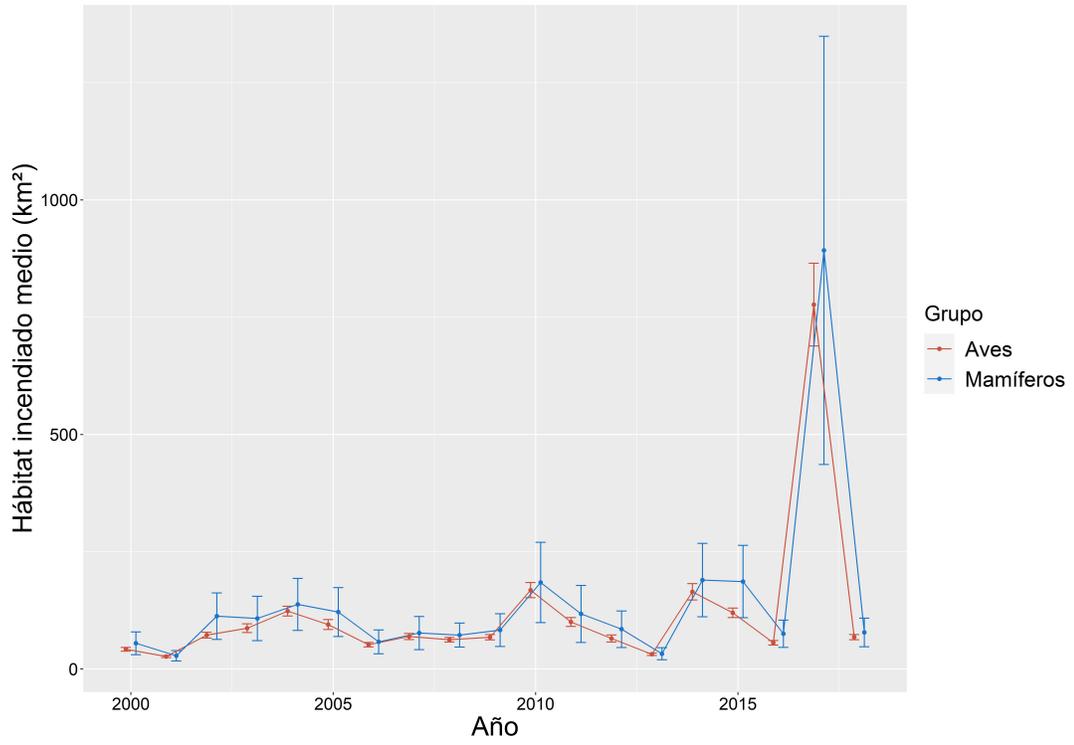


Figura 3.5: Hábitat incendiado medio anual por grupo de las especies.

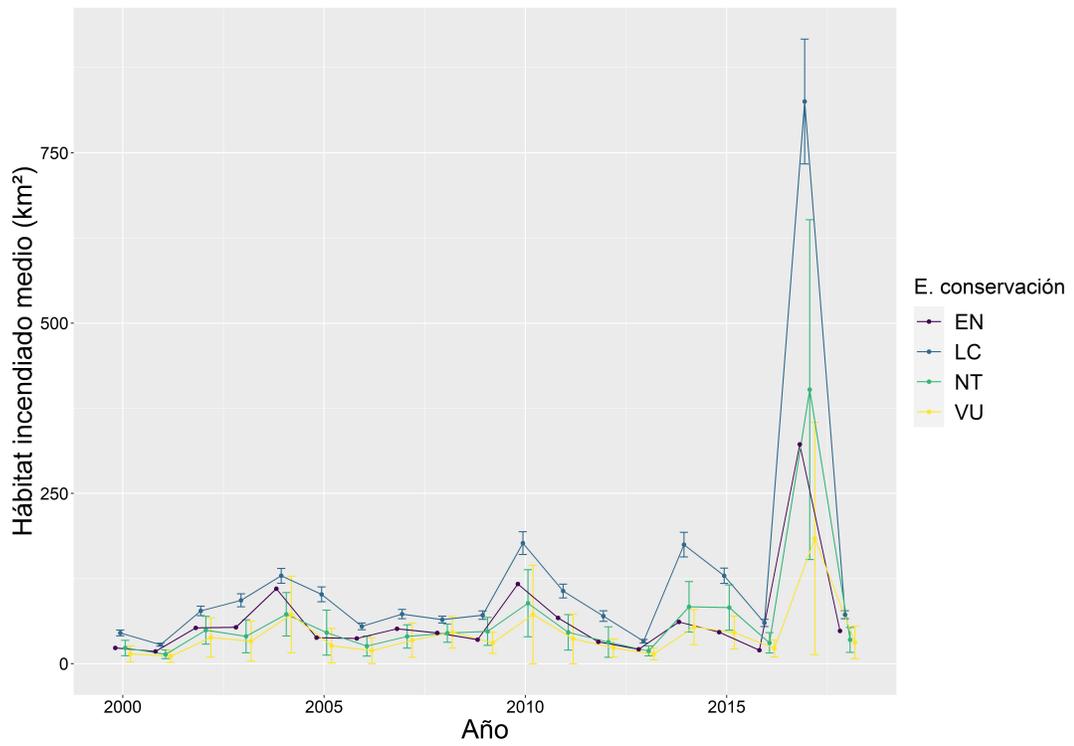


Figura 3.6: Hábitat incendiado medio por año según estado de conservación de las especies.

Capítulo 4

Discusión

La mayoría de las observaciones de las especies, tanto de aves como de mamíferos, son realizadas en aquellos lugares donde existen más ciudades, zonas urbanas, calles o caminos, por lo que se espera que haya una mayor cantidad de registro de presencia de las especies observadas en estas zonas. Por otro lado, resulta más fácil observar aves que mamíferos pequeños, como roedores o zorros, debido a que estos últimos son más escurridizos y evitan las zonas urbanas. El área geográfica donde una especie animal aparece es normalmente una fracción del área que potencialmente podría ocupar.

La reducción del área de distribución actual respecto al área de distribución potencial se debe a un conjunto complejo de causas, tanto naturales como antropogénicas (MITECO, 2022). En los mapas de distribución potencial de las especies, tanto de aves como de mamíferos, se tiene que la mayor riqueza de las especies ocurre en las costas y en la zona central de Chile. Se observa una mayor riqueza de las especies para aves, llegando a un total de 150 especies por celda, que de mamíferos, tal como se observa en las figuras 3.1 y 3.2.

En el diagrama de caja de la figura 3.4 se observa que no existen datos para las especies en estado de conservación En Peligro. Esto se debe a que sólo una de las 236 especies nativas, el potoyunco peruano, se encuentra en esta categoría. Al comparar los diagramas de caja para las especies en estado de Preocupación Menor, Vulnerable y Casi amenazado se observa que el mayor hábitat incendiado afectó a las especies en estado de Preocupación Menor, que corresponden en su mayoría a aves. Destacan los valores de outliers, o valores atípicos, para las especies Casi Amenazado y Vulnerable, donde en la primera categoría se obtiene un hábitat medio incendiado de 330000 ha; en la segunda, 8000 ha.

Los incendios forestales como perturbaciones naturales de los ecosistemas son parte de la formación, fragmentación y pérdida de hábitat de las especies. Los incendios de origen antrópico han aumentado considerablemente los últimos años. En Chile, más del 99,7% de los incendios forestales son provocados por las personas (CONAF, 2022). Durante el verano del año 2017 hubo una tormenta de fuego en Chile, que afectó principalmente a la zona centro sur del país. La superficie total afectada por los incendios forestales desde el 1 de enero al 10 de febrero de 2017 sumaron 518174 ha. Este incendio fue el más catastrófico en la historia de la protección de la naturaleza en Chile (CONAF, 2017). Uno de los grupos más afectados por los incendios son los mamíferos, ya que, en función de sus requerimientos ecológicos y sus características biológicas, presentan mayor o menor resistencia durante y después de un incendio (Aponte et al., 2021). Esto se condice con lo observado en la figura 3.5, donde el mayor hábitat quemado medio corresponde al año 2017, afectando principalmente a los mamíferos. Se triplicó la media de hábitat incendiado, tanto para aves como mamíferos,

comparando el año 2017 con los años anteriores.

En la figura 3.6 se observa que el valor máximo del hábitat incendiado medio corresponde a aquellas especies clasificadas como Preocupación Menor (LC), según los criterios de la IUCN. En segundo lugar, se verían más afectadas las especies que clasifican como Casi Amenazadas (NT), seguidas de las especies Vulnerables. Por último, se observa en morado el diagrama de caja para las especies catalogadas como especie en peligro, según la clasificación de IUCN. Las especies que son clasificadas como vulnerables, en peligro o casi amenazadas, suman un total de 20 especies, de un total de 236, tal como se observa en la tabla 2.1. Las 5 especies en categoría vulnerable en Chile (Pardela gorgiblanca, Pudú, Pardela patirrosa, pingüino de Humboldt, albatros de frente blanca) fueron las que, en promedio, menor hábitat incendiado medio tuvieron en los años estudiados.

Dentro del área de estudio se consideran 236 especies nativas de Chile, 20 de las cuales poseen una clasificación Casi Amenazada, En Peligro o Vulnerable, la mayoría de las cuales corresponde a aves. La distribución potencial de las especies refleja diferentes niveles de riqueza para aves y mamíferos.

La riqueza máxima de aves corresponde a 150, mientras que para animales es de 12. Ambos grupos de las especies poseen una mayor riqueza en la zona norte del área de estudio correspondiente a la región de Valparaíso, región Metropolitana y región de Ohiggins, y las costas del país.

No se pudo diferenciar entre severidad de los diferentes incendios ocurridos durante los años 2000 a 2018, dado que la información disponible de la base de datos Landscape Fire Scars Database for Chile no lo permite, ya que una cicatriz engloba todos los tipos de severidades.

Existen mapas de diversidad potencial de las especies que utilicen variables de métricas de paisaje o cubiertas de suelo para predecir la presencia de aves y mamíferos. Estas variables son, por ejemplo, índice de cohesión de parches, bosque nativo, praderas, plantaciones, entropía marginal, entre otros. La razón por la cual estas variables no se incluyeron en la metodología para correr los modelos es porque, de haber sido incluidas, las especies habrían tenido una distribución potencial diferente, dado que se habría considerado un cambio en su hábitat. Por otro lado, en esta investigación se trabajó con cicatrices superpuestas de incendios forestales ocurridos entre los años 2000 a 2018. Queda propuesto evaluar la afección de los incendios forestales sobre las comunidades faunísticas de Chile, considerando las variables de paisaje o cubiertas de suelo para predecir la distribución potencial de aves y mamíferos y evaluar para cada año la afección potencial de cada incendio.

La utilización de modelos de distribución de nicho o de las especies, los algoritmos de Machine Learning y la información satelital, son elementos importantes para lograr cuidar nuestra biodiversidad a lo largo del territorio. Es necesario seguir invirtiendo en investigación para cuidar y respetar a todas las especies, de la mejor manera posible.

Capítulo 5

Conclusión

Este trabajo de investigación, financiado parcialmente por FONDEF, tuvo como objetivo general evaluar la afección de los incendios forestales a la riqueza de las especies de vertebrados nativos de Chile, entre las regiones de Valparaíso y de los Lagos.

Primero, se elaboró una base de datos con trece variables ambientales (climáticas, topográficas y antrópicas) no correlacionadas. Se trabajó con una base de datos de ocurrencia de 236 especies nativas, presentes en el área de estudio. A través de los Modelos de Distribución de las especies (SDM) se obtuvieron dos mapas de diversidad potencial de aves y mamíferos. Estos mapas, que además muestran la riqueza de las especies, fueron cruzados con mapas de cicatrices de incendios forestales, obteniendo como resultados gráficos de evaluación de afección a las especies, según su estado de conservación, su clasificación de especie, y el año de ocurrencia del incendio.

Los resultados obtenidos muestran una media de hábitat incendiado para aves y mamíferos de 195 mil y 225 mil ha, respectivamente. Según el estado de conservación, el máximo hábitat incendiado medio corresponde en su mayoría a aves en estado de conservación Preocupación Menor, según la IUCN. Se observa un mayor hábitat medio incendiado para todas las especies en el año 2017. Las 5 especies en categoría vulnerable en Chile (*Procellaria aequinoctialis*, Pudu Pudu, *Puffinus creatopus*, *Spheniscus humboldti*, *Thalassarche salvini*) fueron las que, en promedio para cada año, menor hábitat incendiado medio tuvieron.

Al finalizar este trabajo de investigación se observa el cumplimiento de los objetivos específicos, tras la elaboración de modelos de distribución de las especies y la evaluación de las afecciones de los incendios forestales tras el cruce de mapas de cicatrices de incendios forestales y los mapas de distribución potencial de aves y mamíferos en el área de estudio.

Respecto a las limitaciones de la investigación destaca que no se pudo diferenciar entre severidad de los incendios, porque una cicatriz engloba todos los tipos de severidades. Para trabajos futuros queda propuesto: considerar otras variables ambientales no correlacionadas en los modelos de distribución de las especies, utilizar diferentes algoritmos de Machine Learning para predecir la distribución potencial u replicar la metodología en otro área de estudio, analizando esta vez el impacto anual de cada incendio forestal en determinadas especies.

numbers

Bibliografía

Aponte, M., Peñaranda, E., y Gutiérrez, S. (2021). Impacto de incendios forestales en mamíferos del bosque seco chiquitano.

Arellano, L., y Castillo-Guevara, C. (2014). Efecto de los incendios forestales no controlados en el ensamble de escarabajos coprófagos (coleoptera: Scarabaeidae) en un bosque templado del centro de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(3), 854-865. doi: <https://doi.org/10.7550/rmb.41756>

Artés, T., Oom, D., y de Rigo, D. (2019). A global wildfire dataset for the analysis of fire regimes and fire behaviour. *Sci Data*, 296. doi: <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0312-2>

Bannister, J., Vidal, O., Teneb, E., y Sandoval, V. (2012). Latitudinal patterns and regionalization of plant diversity along a 4270-km gradient in continental Chile. *Austral Ecology*, 37(4), 500-509. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2011.02312.x>

Bargain, A., Marchese, F., Savini, A., Taviani, M., y Fabri, M. (2017). Santa Maria di Leuca province (Mediterranean sea): Identification of suitable mounds for cold-water coral settlement using geomorphometric proxies and MaxEnt methods. *Frontiers in Marine Science*, 4. doi: [10.3389/fmars.2017.00338](https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00338)

Breiner, F., Guisan, A., Bergamini, A., y Nobis, M. (2015). Overcoming limitations of modelling rare species by using ensembles of small models. *Methods in Ecology and Evolution*, 6(10), 1210-1218. doi: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12403>

Brennan, L., Engstrom, R., y Palmer, W. (1998). Whither wildlife without fire?

Carrasco, J. (2022). Maximum entropy models.

Castillo, M., Pedernera, P., y Peña, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA*, 19(3 y 4).

Ceballos, C. (2001). Especies raras, el conocimiento de la diversidad biológica y la conservación. *Biodiversitas*, 38, 9-13.

Cepeda, J., Restrepo, A., y Villamil, X. (2007). Relaciones entre la geomorfometría y las propiedades físicas de los suelos de la zona central del humedal La Florida. *Revista de Topografía AZIMUT*, 1, 86-107.

CONAF. (2017). Análisis de la afectación y severidad de los incendios forestales ocurridos en enero y febrero de 2017 sobre los usos de suelo y los ecosistemas naturales presentes entre las regiones de Coquimbo y los ríos de Chile.

- Cruz, G., Villaseñor, L., J. and López, y Martínez, E., E. Ortiz. (2014). Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de especies en maxent.
- de la Barrera, F., Barraza, F., Philomène, F., Ruiz, V., y Quense, J. (2018). Megafires in Chile 2017: Monitoring multiscale environmental impacts of burned ecosystems. *Science of The Total Environment*, 637-638, 1526-1536. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.119>
- de Medio Ambiente, M. (2020). Atlas de riesgos climáticos: Explorador de amenazas climáticas [Manual de software informático].
- de Vivienda y Urbanismo, M. (2021). *Área urbana de las ciudades chilenas 1993 - 2020*.
- Elith, J., y Leathwick, J. (2009). Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40(1), 677-697. doi: [10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159](https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159)
- Elith, J., Phillips, S., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y., y Yates, C. (2011). A statistical explanation of maxent for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43-57. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- Estévez, R. (2019). Cómo calcular pendientes y orientaciones del terreno en qgis.
- Gallegos, A., González, G., Cabrera, G., Orozco, R., y Marcelli, E., C. and Hernández. (s.f.). Efecto de la recurrencia de incendios forestales en la diversidad arbórea.
- GBIF. (2022). *¿qué es gbif?*
- González, M., Lara, A., Urrutia, R., y Bosnich, J. (2017). Cambio climático y su impacto potencial en la ocurrencia de incendios forestales en la zona centro-sur de Chile (33° - 42° S). *Revista Chilena de Geografía*, 32, 215-219. doi: [10.4067/S0717-92002011000300002](https://doi.org/10.4067/S0717-92002011000300002)
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., y Moore, R. (2017). Google earth engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27. (Big Remotely Sensed Data: tools, applications and experiences) doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Guisan, A., y Zimmermann, N. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2), 147-186. doi: [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00354-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9)
- Ian, P., Owens, F., y Bennett, P. (2000). Ecological basis of extinction risk in birds: Habitat loss versus human persecution and introduced predators. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(22), 12144-12148. doi: [10.1073/pnas.200223397](https://doi.org/10.1073/pnas.200223397)
- IUCN. (2022). Background history.
- Kesavan, H. K. (2009). Jaynes' maximum entropy principle. En *Encyclopedia of optimization* (p. 1779-1782). Boston, MA: Springer US. doi: [10.1007/978-0-387-74759-0_312](https://doi.org/10.1007/978-0-387-74759-0_312)

- Kotliar, S., Hejl, R., Hutto, V., Saab, C., Melcher, F., y Mcfadzen, M. (2002). Effects of fire and post-fire salvage logging on avian communities in conifer-dominated forests of the western united states. *Studies in Avian Biology*.
- Kramer-Schadt, S., Niedballa, J., Pilgrim, J., Schröder, B., Lindenborn, J., Reinfelder, V., ... Wilting, A. (2013). The importance of correcting for sampling bias in maxent species distribution models. *Diversity and Distributions*, 19(11), 1366-1379. doi: <https://doi.org/10.1111/ddi.12096>
- Levin, S. (1992). The problem of pattern and scale in ecology: The robert h. macarthur award lecture. *Ecology*, 73(6), 1943-1967. doi: <https://doi.org/10.2307/1941447>
- Lloret, F. (2004). Régimen de incendios y regeneración. En *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (1.ª ed., pp. 101–126).
- Lomba, A., Pellissier, L., Randin, C., Vicente, J., Moreira, F., y Honrado, G. A., J. (2010). Overcoming the rare species modelling paradox: A novel hierarchical framework applied to an iberian endemic plant. *Biological Conservation*, 143(11), 2647-2657. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.07.007>
- López, K. (2021). Determinación de la presión antrópica mediante indicadores socioambientales en la cuenca quebrada la mesa, piñas – ecuador.
- Mateo, R., Felícisimo, A., y Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista chilena de historia natural*, 84, 217 - 240.
- Mertes, K., y Jetz, W. (2018). Disentangling scale dependencies in species environmental niches and distributions. *Ecography*, 41(10), 1604-1615. doi: <https://doi.org/10.1111/ecog.02871>
- Miranda, A., Mentler, R., Moletto-Lobos, I., Alfaro, G., Aliaga, L., Balbontín, D., ... Urrutia, V. (2022). The landscape fire scars database: mapping historical burned area and fire severity in chile. *Earth System Science Data*, 14(8), 3599–3613. doi: 10.5194/essd-14-3599-2022
- MITECO. (2007). Evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad en españa. , 27,28.
- Pausas, J. (2012). *Incendios forestales. una visión desde la ecología* (C. S. de Investigaciones Científicas (España) Libros de la Catarata, Ed.).
- Phillips, S., Dudík, M., y Shapire, R. (s.f.). *Maxent software for modeling species niches and distributions*.
- Smith, J. (2000). Wildland fire in ecosystems: effects of fire on fauna. doi: <https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-42-V1>
- Thuiller, W., Lavorel, S., Araújo, M., Sykes, M., y Prentice, I. (2005). Climate change threats to plant diversity in europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 8245-50. doi: 10.1073/pnas.0409902102

Anexos

Anexo A

Tabla .2: Variables climáticas, topográficas y antrópicas: nombres y unidades.

Nombre variable	Unidad
ola25_h	días
ola28_h	días
ola30_h	días
gdia_15	°C
gdia_20	°C
gdia_25	°C
gdia_30	°C
dia_s25h	días
dia_s28h	días
dia_s30h	días
dia_s34h	días
htdia_h	°C
tmean_h	°C
dias_calh	días
dur_ec3h	días
dur_ec6h	días
dias_sech	días
dias_humh	días
fec_sech	días
ev_poth	mm
pp_histh	mm
ven_zmh	m/s
ven_mmh	m/s
ven_maxdh	m/s
ven_medh	m/s
hu_rmedh	%

Nombre variable	Unidad
hu_rminh	%
hu_esph	g/kg
insmax_h	W/m^2
insmed_h	W/m^2
call_lar	m
call_con	entero
cam_tip	Tipo
dciudad	m
denpob_ha	personas/hectárea
total_pers	personas
tot_vivi	entero
vivi_ha	casas/hectáreas
rutas_distancia	m
rutas_numero	entero
dist_ferr	m
denpob	personas/hectárea
lat	o ' ,
lon	o ' ,
dem	m
exp	-
slope	o
TWI	-
acc_geo	Tipo. Ver Tabla .4

Anexo B

Tabla .4: Tipos de accidentes geográficos según clasificación SRTM.

Valor	Descripción
11	Pico/Cresta (cálido)
12	Pico/Cresta
13	Pico/Cresta (frío)
14	Montaña/División
15	Acantilado
21	Pendiente superior (cálida)
22	Pendiente superior
23	Pendiente superior (fría)
24	Pendiente superior (plana)
31	Pendiente inferior (cálida)
32	Pendiente inferior
33	Pendiente inferior (fría)
34	Pendiente inferior (planta)
41	Valle
42	Valle (angosto)

Anexo C

Tabla .5: Clasificación de las especies nativas en estado Preocupación Menor según IUCN.

Nombre científico	Nombre común	Vertebrado
<i>Abrothrix longipilis</i>	Ratón de pelo largo	Mamífero
<i>Abrothrix olivaceus</i>	Ratón oliváceo	Mamífero
<i>Accipiter bicolor</i>	Azor bicolor	Ave
<i>Agelasticus thilius</i>	Trile	Ave
<i>Agriornis lividus</i>	Gaucho grande	Ave
<i>Agriornis montanus</i>	Gaucho serrano	Ave
<i>Anairetes parulus</i>	Cachudito piquinegro	Ave
<i>Anas bahamensis</i>	Pato gargantilla	Ave
<i>Anas cyanoptera</i>	Pato colorado	Ave
<i>Anas flavirostris</i>	Pato jergón chico	Ave
<i>Anas georgica</i>	Pato jergón grande	Ave
<i>Anas platalea</i>	Pato pico cuchara	Ave
<i>Anas sibilatrix</i>	Pato real	Ave
<i>Anas versicolor</i>	Pato capuchino	Ave
<i>Anthus correndera</i>	Bailarín chico	Ave
<i>Anthus hellmayri</i>	Cachirla pálida	Ave
<i>Aphrastura spinicauda</i>	Rayadito común	Ave
<i>Aphriza virgata</i>	Playero de las rompientes	Ave
<i>Ardea alba</i>	Garza blanca	Ave
<i>Ardea cocoi</i>	Garza mora	Ave
<i>Arenaria interpres</i>	Vuelvepiedras rojizo	Ave
<i>Asio flammeus</i>	Lechuza campestre	Ave
<i>Asthenes anthoides</i>	Canastero austral	Ave
<i>Asthenes humicola</i>	Canastero colinegro	Ave
<i>Asthenes modesta</i>	Canastero pálido	Ave
<i>Asthenes pyrrholeuca</i>	Canastero coludo	Ave
<i>Athene cunicularia</i>	Pequén	Ave
<i>Bubo virginianus</i>	Yacurú	Ave
<i>Bubulcus ibis</i>	Garza bueyera	Ave
<i>Buteo albigula</i>	Aguilucho chico	Ave
<i>Buteo polyosoma</i>	Aguilucho común	Ave
<i>Buteo ventralis</i>	Peuco negro	Ave
<i>Calidris alba</i>	Playerito blanco	Ave
<i>Calidris bairdii</i>	Playero de Baird	Ave
<i>Callipepla californica</i>	Codorniz de California	Ave
<i>Campephilus magellanicus</i>	Carpintero negro	Ave

<i>Caracara plancus</i>	Carancho	Ave
<i>Cathartes aura</i>	Buitre pavo	Ave
<i>Charadrius collaris</i>	Chorlo de collar	Ave
<i>Charadrius falklandicus</i>	Chorlo de doble collar	Ave
<i>Charadrius modestus</i>	Chorlo chileno	Ave
<i>Chloephaga hybrida</i>	Caranca	Ave
<i>Chloephaga melanoptera</i>	Cauquén	Ave
<i>Chloephaga picta</i>	Cauquén común	Ave
<i>Chloephaga poliocephala</i>	Cauquén cabeza gris	Ave
<i>Chroicocephalus maculipennis</i>	Gaviota capuchina	Ave
<i>Chroicocephalus serranus</i>	Gaviota andina	Ave
<i>Cinclodes fuscus</i>	Remolinera	Ave
<i>Cinclodes nigrofumosus</i>	Churrete costero	Ave
<i>Cinclodes oustaleti</i>	Churrete chico	Ave
<i>Cinclodes patagonicus</i>	Churrete común	Ave
<i>Circus cinereus</i>	Aguilucho ceniciento	Ave
<i>Cistothorus platensis</i>	Cucarachero sabanero	Ave
<i>Colaptes pitius</i>	Pitigüe	Ave
<i>Colorhamphus parvirostris</i>	Peutrén	Ave
<i>Columba livia</i>	Paloma bravia	Ave
<i>Columbina picui</i>	Torcacita	Ave
<i>Coragyps atratus</i>	Zopilote común	Ave
<i>Coscoroba coscoroba</i>	Cisne coscoroba	Ave
<i>Curaeus curaeus</i>	Tordo	Ave
<i>Cyanoliseus patagonus</i>	Loro barranquero	Ave
<i>Cygnus melancoryphus</i>	Cisne cuellinegro	Ave
<i>Diuca diuca</i>	Diuca	Ave
<i>Dryobates lignarius</i>	Carpinterito	Ave
<i>Egretta thula</i>	Garceta nívosa	Ave
<i>Elaenia albiceps</i>	Fíoío crestiblanco	Ave
<i>Elaenia chilensis</i>	Fíoío chileno	Ave
<i>Elanus leucurus</i>	Elanio maromero	Ave
<i>Enicognathus ferrugineus</i>	Cotorra austral	Ave
<i>Enicognathus leptorhynchus</i>	Choroy	Ave
<i>Eugralla paradoxa</i>	Churrín grande	Ave
<i>Falco femoralis</i>	Halcón aleta	Ave
<i>Falco peregrinus</i>	Halcón peregrino	Ave
<i>Falco sparverius</i>	Cernícalo americano	Ave
<i>Fulica armillata</i>	Focha de ligas	Ave
<i>Fulica leucoptera</i>	Tagua chica	Ave

<i>Fulica ruffrons</i>	Tagua de frente roja	Ave
<i>Gallinago paraguaiiae</i>	Aguatero	Ave
<i>Gallinula melanops</i>	Tagüita	Ave
<i>Geositta cunicularia</i>	Minero común	Ave
<i>Geositta isabellina</i>	Minero grande	Ave
<i>Geositta rufipennis</i>	Minero rojizo	Ave
<i>Geoxus valdivianus</i>	Ratón topo valdiviano	Mamífero
<i>Geranoaetus melanoleucus</i>	Águila mora	Ave
<i>Glaucidium nana</i>	Chuncho	Ave
<i>Haematopus ater</i>	Pilpilén negro	Ave
<i>Haematopus leucopodus</i>	Ostrero austral	Ave
<i>Haematopus palliatus</i>	Ostrero común	Ave
<i>Heteronetta atricapilla</i>	Pato cabeza negra	Ave
<i>Himantopus mexicanus</i>	Cigüeñela de cuello negro	Ave
<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina común	Ave
<i>Hymenops perspicillatus</i>	Pico de plata	Ave
<i>Irenomys tarsalis</i>	Rata arbórea	Mamífero
<i>Ixobrychus involucris</i>	Mirasol chico	Ave
<i>Larus dominicanus</i>	Gaviota cocinera	Ave
<i>Leptasthenura aegithaloides</i>	Tijeral colinegro	Ave
<i>Lessonia rufa</i>	Negríto austral	Ave
<i>Leucocarbo atriceps</i>	Cormorán imperial	Ave
<i>Leucocarbo bougainvillii</i>	Cormorán guanay	Ave
<i>Leucophaeus modestus</i>	Gaviota gris	Ave
<i>Leucophaeus pipixcan</i>	Gaviota de franklin	Ave
<i>Leucophaeus scoresbii</i>	Gaviota austral	Ave
<i>Limosa haemastica</i>	Aguja café	Ave
<i>Lophonetta specularioides</i>	Pato juarjual	Ave
<i>Loxodontomys micropus</i>	Pericote austral	Mamífero
<i>Lycalopex culpaeus</i>	Zorro culpeo	Mamífero
<i>Lycalopex gymnocercus</i>	Zorro pampeano	Mamífero
<i>Macronectes giganteus</i>	Petrel gigante común	Ave
<i>Macronectes halli</i>	Petrel gigante subantártico	Ave
<i>Megaceryle torquata</i>	Martín pescador	Ave
<i>Melanodera xanthogramma</i>	Yal andino	Ave
<i>Merganetta armata</i>	Pato torrentero	Ave
<i>Metriopelia melanoptera</i>	Tórtola cordillerana	Ave

<i>Milvago chimango</i>	Chiuque	Ave
<i>Mimus thenca</i>	Tenca	Ave
<i>Mimus triurus</i>	Tenca de alas blancas	Ave
<i>Molothrus bonariensis</i>	Tordo común	Ave
<i>Molothrus rufoaxillaris</i>	Tordo chillón	Ave
<i>Muscisaxicola albilora</i>	Dormilona cejiblanca	Ave
<i>Muscisaxicola cinereus</i>	Dormilona cenicienta	Ave
<i>Muscisaxicola flavinucha</i>	Dormilona fraile	Ave
<i>Muscisaxicola frontalis</i>	Dormilona frentinegra	Ave
<i>Muscisaxicola maclovianus</i>	Dormilona carinegra	Ave
<i>Muscisaxicola maculirostris</i>	Dormilona chica	Ave
<i>Muscisaxicola rufivertex</i>	Dormilona nuquirroja	Ave
<i>Myiopsitta monachus</i>	Cotorra argentina	Ave
<i>Myocastor coypus</i>	Coipo	Mamífero
<i>Netta peposaca</i>	Pato picazo	Ave
<i>Nothoprocta perdicaria</i>	Perdiz chilena	Ave
<i>Notiochelidon cyanoleuca</i>	Golondrina azul y blanca	Ave
<i>Numenius phaeopus</i>	Zarapito trinador	Ave
<i>Nycticorax nycticorax</i>	Martinete común	Ave
<i>Nycticryphes semicollaris</i>	Aguatero	Ave
<i>Oceanites oceanicus</i>	Paiño de Wilson	Ave
<i>Ochetorhynchus melanurus</i>	Chiricoca	Ave
<i>Octodon degus</i>	Degú	Mamífero
<i>Oligoryzomys longicaudatus</i>	Ratón cola larga	Mamífero
<i>Oreotrochilus leucopleurus</i>	Colibrí cordillerano	Ave
<i>Oxyura ferruginea</i>	Malvasía rojiza	Ave
<i>Oxyura vittata</i>	Pato rana	Ave
<i>Parabuteo unicinctus</i>	Gavilán mixto	Ave
<i>Pardirallus sanguinolentus</i>	Cotuta	Ave
<i>Passer domesticus</i>	Gorrión común	Ave
<i>Patagioenas araucana</i>	Paloma araucana	Ave
<i>Patagona gigas</i>	Picaflor gigante	Ave
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	Cuervo de mar	Ave
<i>Phalacrocorax magellanicus</i>	Cormorán cuello negro	Ave
<i>Phalaropus tricolor</i>	Falaropo tricolor	Ave
<i>Phalcooboenus megalopterus</i>	Caracara andino	Ave
<i>Phleocryptes melanops</i>	Junquero	Ave
<i>Phrygilus alaudinus</i>	Platero	Ave
<i>Phrygilus fruticeti</i>	Yal negro	Ave