



UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Escuela de Pregrado

Carrera de Geografía

Evaluación del cambio de distribución espacial de las especies arbóreas *Polylepis rugulosa*, *Pitavia punctata* y *Fitzroya cupressoides* entre los escenarios ambientales actuales y futuros con condiciones de cambio climático (año 2070) presentes en los países de Perú, Bolivia, Argentina y Chile.

Memoria para optar a título de Geógrafa

BEATRIZ SALGADO GONZÁLEZ

Profesor Guía: Pablo Sarricolea Espinoza

Profesor Co-guía: Patricio Pliscoff Varas

SANTIAGO – CHILE

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo quiero agradecer a todos los profesores que conocí en mis años en la universidad, que de alguna u otra manera dejaron aprendizajes valiosos en mí. Especial agradecimiento a mi profesor guía Pablo Sarricolea que desde un principio estuvo dispuesto en acompañarme y descubrir que camino quería seguir en el momento de realizar esta memoria y también a no abandonarme en el largo camino que lleve para poder terminarla. También quiero agradecer al profesor Patricio Pliscoff que me brindo siempre de su tiempo y ayuda desinteresada, la cual contribuyó a formar la columna vertebral de esta memoria.

Además, quiero agradecer a mis amigas a Gabi, Negra, Barba, Malva, Javi, Dani, Vale, también a Cristian, sin ustedes la U y mi vida no hubiera sido nada parecido a lo hermosa que ha sido hasta ahora. Gracias por el apoyo incondicional, consejos, largas tardes y noches de risas, conversaciones profundas y no tanto, discusiones de temas importantes y también banales, en las pircas, el huerto o el cuadrado. Un agradecimiento especial a mi querido Felipe que fue mi principal apoyo y compañero durante estos años. Los quiero mucho, son lo más valioso de mi paso por la FAU. También a mis amigos Valita, Valeria, Tamy, Kika, Vale, Josue y Daniel, a mi amiga de la vida Cony, gracias por confiar siempre en mis capacidades y fortalecernos juntas.

Y finalmente quiero agradecer a lo más importante en mi vida, mi familia. A mis padres, Teresa y Juan, que son mis raíces, no puedo tener más suerte en haber nacido de ustedes, y poder conocer el significado de apoyo, esfuerzo, bondad, aguante, dedicación y amor. A mi hermana Moni y hermanos Cesar y Juank, que son mi tallo y tronco, gracias a ustedes por siempre querer lo mejor para mí, también contribuir en mi crianza con tanta paciencia y cariño cuando eran aún muy jóvenes, y asimismo por demostrarme que la familia es incondicional sin importar la adversidad que se presente. Agradezco también a los que forman mi corteza, mi abuelita Nena y mis tíos, especialmente a Ely y Euge, que desde pequeña me inculcaron que estudiando tenía muchas más posibilidades de cumplir mis sueños. A mis sobrinas y sobrinos que son la alegría de todos ¡nuestras florcitas!, gracias por llenarnos de amor y locura. ¡Los amo con todo mi corazón!

Fragmento de "Inquietudes sentimentales" de Teresa Wilms Montt (1917)

"Naturaleza, si eres tan benévola para el que nace grande, ¿por qué no lo eres también para el que nace miserable?"

Nada me puedes esconder, Naturaleza; porque yo estoy en tí, como tú estás en mí: fundidas una en otra como el metal transformado en una sola pieza.

Eres mía, Natura, con todos los tesoros que encierran tus entrañas.

Mío, es el oro que brilla fascinando a los gnomos en el fondo de las minas; mía, la plata, que en complot contigo, prepara macabros planes para hacer que los hombres se destrocen; mío, es el brillante majestuoso en su sencillez; mía, tu sangre de lava que chorrea hirviendo en los volcanes; mías, tus flores y tus lagos divinos; mías, tus montañas y valles; mía eres tú, Naturaleza, porque mis pies han echado raíces hasta traspasar el globo y te he extraído la savia.

Mías, son también tus miserias, míos, tus infinitos dolores de madre; mía, la cuna de Momo y la guarida de la Muerte.

He crecido nutrida de tu savia hasta sentir que mi cabeza se erguía altanera y miraba al infinito, como al hermano menor del pensamiento".

RESUMEN

En esta memoria se modela y analiza los patrones de distribución espacial actuales y futuros con escenarios de cambio climático (año 2070) de las especies en Peligro de Extinción (EP) *Polylepis rugulosa*, *Pitavia punctata* y *Fitzroya cupressoides* y también se evalúa la condición de pérdida o de ganancia de estas especies en las áreas protegidas de Chile, Argentina, Perú y Bolivia. Para dicho propósito se utiliza el software Maxent, programa que modela distribución de especies según las siguientes entradas: la presencia de las especies y las variables ambientales, principalmente clima. Los resultados obtenidos evidencian que, si bien en las tres especies estudiadas aumentan las áreas potenciales totales de distribución en un futuro con escenario de cambio climático, en particular la distribución presenta superficies de pérdidas y de ganancias, las cuales repercuten en las áreas protegidas (AP) en donde las especies habitan actualmente. Estos resultados permiten proyectar futuros planes de conservación en donde se tendrá una noción de donde la especie podría habitar con las condiciones ambientales adecuadas.

Palabras Clave: Cambio climático, nicho ecológico, modelo de distribución de especies, áreas protegidas.

ABSTRACT

This report models and analyzes the current and future spatial distribution patterns under a climate change scenario (year 2070) of the Endangered species (EN) *Polylepis rugulosa*, *Pitavia punctata* and *Fitzroya cupressoides* and also evaluates the loss or gain condition of these species in the protected areas of each country. For this purpose the Maxent software is used, a program that molds the distribution of species according to two factors: the presence of the species and the environmental variable. The results obtained show that although in the three species studied the total area of distribution will increase in a future with a climate change scenario in particular the distribution presents profit and loss areas, which impact on the protected areas (PA) where the species currently live. These results allow us to project future conservation plans where we will have a notion of where the species could inhabit with the appropriate environmental conditions.

Key words: Climate change, ecological niche, Species distribution modelling, protected areas.

INDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN | 10 |
| 1.1 Introducción | 11 |
| 1.2 Planteamiento del problema | 12 |
| 1.3 Área de Estudio | 14 |
| 1.1. Área de estudio de <i>Polylepis rugulosa</i> (N.C Queñoa) | 16 |
| 1.1.1 <i>Características climáticas</i> | 17 |
| 1.1.2 <i>Características bioclimáticas</i> | 18 |
| 1.1.3 <i>Acciones relevantes de conservación</i> | 19 |
| 1.2. Área de estudio de <i>Pitavia punctata</i> (N.C Pítao) | 19 |
| 1.2.1 <i>Características climáticas</i> | 20 |
| 1.2.2 <i>Características bioclimáticas</i> | 21 |
| 1.2.3 <i>Acciones relevantes de conservación</i> | 22 |
| 1.3 Área de estudio de <i>Fitzroya cupressoides</i> (N.C Alerce) | 23 |
| 1.3.1 <i>Características climáticas</i> | 24 |
| 1.3.2 <i>Características bioclimáticas</i> | 25 |
| 1.3.3 <i>Acciones relevantes de conservación</i> | 26 |
| 1.4 Objetivos | 27 |
| 1.4.1 <i>Objetivo General</i> | 27 |
| 1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i> | 27 |
| CAPITULO 2: ESTADO DEL ASUNTO | 28 |
| 2.1. El clima está cambiando | 29 |
| 2.1.1. <i>El Clima</i> | 29 |
| 2.1.2. <i>Variables meteorológicas</i> | 29 |
| 2.2. Cambio climático | 31 |
| 2.3. El concepto de biodiversidad | 33 |
| 2.3.1. <i>Amenazas a la biodiversidad</i> | 34 |
| 2.3.2. <i>La extinción de las especies y la acción de la conservación</i> | 35 |
| 2.3.3. <i>El valor de las listas de especies extintas o en peligro</i> | 36 |
| 2.3.4. <i>Estado de conservación en Chile</i> | 39 |
| 2.4. Nicho ecológico | 42 |

| | |
|--|-----------|
| 2.4.1. El surgimiento del concepto de nicho ecológico..... | 42 |
| 2.4.2. El “nicho” según Johnson, Grinnell, Elton y Huitchinson | 42 |
| 2.4.3 Diagrama BAM (Biotic- Abiotic- Mobility): Del nicho a la geografía..... | 44 |
| 2.5. Modelo de distribución de especies..... | 46 |
| 2.5.1. Primeras aproximaciones | 46 |
| 2.5.2. Pasos a seguir para modelar | 47 |
| 2.5.3. Modelos con proyección de cambio climático | 50 |
| 2.5.4. Técnicas de modelación..... | 53 |
| 2.5.5. Limitaciones | 55 |
| 2.5.6 Modelo de distribución de especies vegetales, ejemplos | 56 |
| CAPÍTULO 3: MARCO METODOLOGICO | 58 |
| 3.1 Pasos metodológicos previos a la realización de los objetivos | 60 |
| 3.1.1. Elección de las especies a modelar..... | 60 |
| 3.1.2. Especies elegidas..... | 60 |
| 3.2 Pasos metodológicos para la caracterización de la distribución potencial actual y futura de las especies arbóreas <i>Polylepis rugulosa</i>, <i>Pitavia punctata</i> y <i>Fitzroya cupressoides</i> | 62 |
| 3.2.1. Corroboración de datos de presencia de las especies <i>Polylepis rugulosa</i> , <i>Pitavia punctata</i> y <i>Fitzroya cupressoides</i> | 62 |
| 3.2.2 Variables ambientales..... | 63 |
| 3.2.3 Elección y ejecución del modelo. | 66 |
| 3.2.3.1 Elección Modelo..... | 66 |
| 3.2.3.4 Evaluación del modelo..... | 69 |
| 3.2.3.5 Proyección del modelo..... | 71 |
| 3.3 Identificar las superficies de pérdidas y ganancias en la distribución potencial en las especies <i>Polylepis rugulosa</i>, <i>Pitavia punctata</i> y <i>Fitzroya cupressoides</i> frente al escenario de cambio climático..... | 72 |
| 3.3.1 Elección del Modelo climático | 72 |
| 3.3.2 Reclasificación raster de modelo de distribución de especies actual | 73 |
| 3.3.3 Raster de modelo de distribución de especies en futuro..... | 74 |
| 3.3.4. Representación MDE presentes y escenarios futuros..... | 74 |
| 3.3.5 Geoprocesos para los análisis..... | 75 |
| 3.4 Determinar la superficie de pérdida o ganancia de la distribución de las especies frente al escenario de cambio climático en áreas protegidas (AP). | 76 |
| 3.4.1 Creación de capas de pérdida y de ganancia | 76 |

| | |
|---|-----|
| CAPÍTULO 4: RESULTADOS | 77 |
| 4.1 Caracterización de la distribución potencial actual y de escenarios futuros con cambio climático (año 2070) de las especies arbóreas <i>Polylepis rugulosa</i>, <i>Pitavia punctata</i> y <i>Fitzroya cupressoides</i>, entre los territorios de Perú, Chile y Argentina | 78 |
| 4.1.1 <i>Polylepis rugulosa</i> | 78 |
| 4.1.2 <i>Pitavia punctata</i> | 80 |
| 4.1.3 <i>Fitzroya cupressoides</i> | 82 |
| 4.2 Identificación de las superficies de pérdidas y ganancias en la distribución potencial en las especies <i>Polylepis rugulosa</i>, <i>Pitavia punctata</i> y <i>Fitzroya cupressoides</i> frente al escenario de cambio climático. | 84 |
| 4.2.1 <i>Polylepis rugulosa</i> | 85 |
| 4.2.2 <i>Pitavia punctata</i> | 86 |
| 4.2.3 <i>Fitzroya cupressoides</i> | 87 |
| 4.3 Determinación de la superficie de pérdida o ganancia de la distribución de las especies frente al escenario de cambio climático en áreas protegidas (AP). | 89 |
| 4.3.1 <i>Polylepis rugulosa</i> | 89 |
| 4.3.2 <i>Pitavia punctata</i> | 91 |
| 4.3.3 <i>Fitzroya cupressoides</i> | 93 |
| CAPITULO 5: DISCUSIONES Y CONCLUSIONES | 96 |
| 5.1 DISCUSIÓN | 96 |
| 5.1.1 En general | 96 |
| 5.1.2. Según los resultados de los objetivos: | 97 |
| 5.2. CONCLUSIÓN..... | 99 |
| BIBLIOGRAFÍA | 100 |
| ANEXOS | 109 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura N° 1 Registro de las presencias arbóreas en territorio de Perú, Argentina y Chile | 15 |
| Figura N° 2 Fotografía <i>Polylepis rugulosa</i> | 16 |
| Figura N° 3 Registro de presencias de la especie <i>Polylepis rugulosa</i> | 17 |
| Figura N° 4: Fotografía <i>Pitavia punctata</i> | 19 |
| Figura N° 5: Registro de presencias de la especie <i>Pitavia punctata</i> | 20 |
| Figura N° 6: Fotografía <i>Fitzroya cupressoides</i> | 23 |
| Figura N° 7 Registro de presencias de la especie <i>Fitzroya cupressoides</i> | 24 |
| Figura n° 8: Estructura de las categorías | 37 |
| Figura n° 9 Diagrama BAM | 45 |
| Figura n° 10: Configuración del diagrama BAM | 46 |
| Figura n° 11: Esquema de flujo de trabajo para la realización y validación de modelos de distribución de especies..... | 48 |
| Figura N° 12 Esquema gráfico de los principales pasos metodológicos de la presente investigación. Fuente: Elaboración propia..... | 59 |
| Figura n° 13: Ejemplo gráfico AUC área bajo la curva | 70 |
| Figura n° 14: Gráfico de Análisis de omisión / comisión..... | 71 |
| Figura n° 15 Ejemplo reclasificación cuadrícula binaria con condiciones actuales. Fuente: Fuente: Elaboración propia | 73 |
| Figura n° 16 Ejemplo cuadrícula binaria para escenario futuro | 74 |
| Figura n° 17 Ejemplo resultado suma raster | 75 |
| Figura N° 18 Resultado binario del modelo de distribución de la especie <i>Polylepis rugulosa</i> | 79 |
| Figura N° 19 Resultado binario del modelo de distribución de la especie <i>Pitavia punctata</i> | 81 |
| Figura N° 20 Resultado binario del modelo de distribución de la especie <i>Fitzroya cupressoides</i> | 83 |
| Figura N° 21 Resultado suma raster del modelo actual y modelo con escenario futuro de la especie <i>Polylepis rugulosa</i> | 85 |
| Figura N° 22 Resultado suma raster del modelo actual y modelo con escenario futuro de la especie <i>Pitavia punctata</i> | 86 |
| Figura N° 23 Resultado suma raster del modelo actual y modelo con escenario futuro de la especie <i>Fitzroya cupressoides</i> | 88 |
| Figura N° 24 Superficie de ganancia, pérdida o permanencia de los modelos de la especie <i>Polylepis rugulosa</i> dentro de las Áreas Protegidas | 90 |
| Figura N° 25 Superficie de ganancia, pérdida o permanencia de los modelos de la especie <i>Pitavia punctata</i> dentro de las Áreas Protegidas..... | 92 |
| Figura N° 26 Superficie de ganancia, pérdida o permanencia de los modelos de la especie <i>Fitzroya cupressoides</i> dentro de las Áreas Protegidas | 94 |

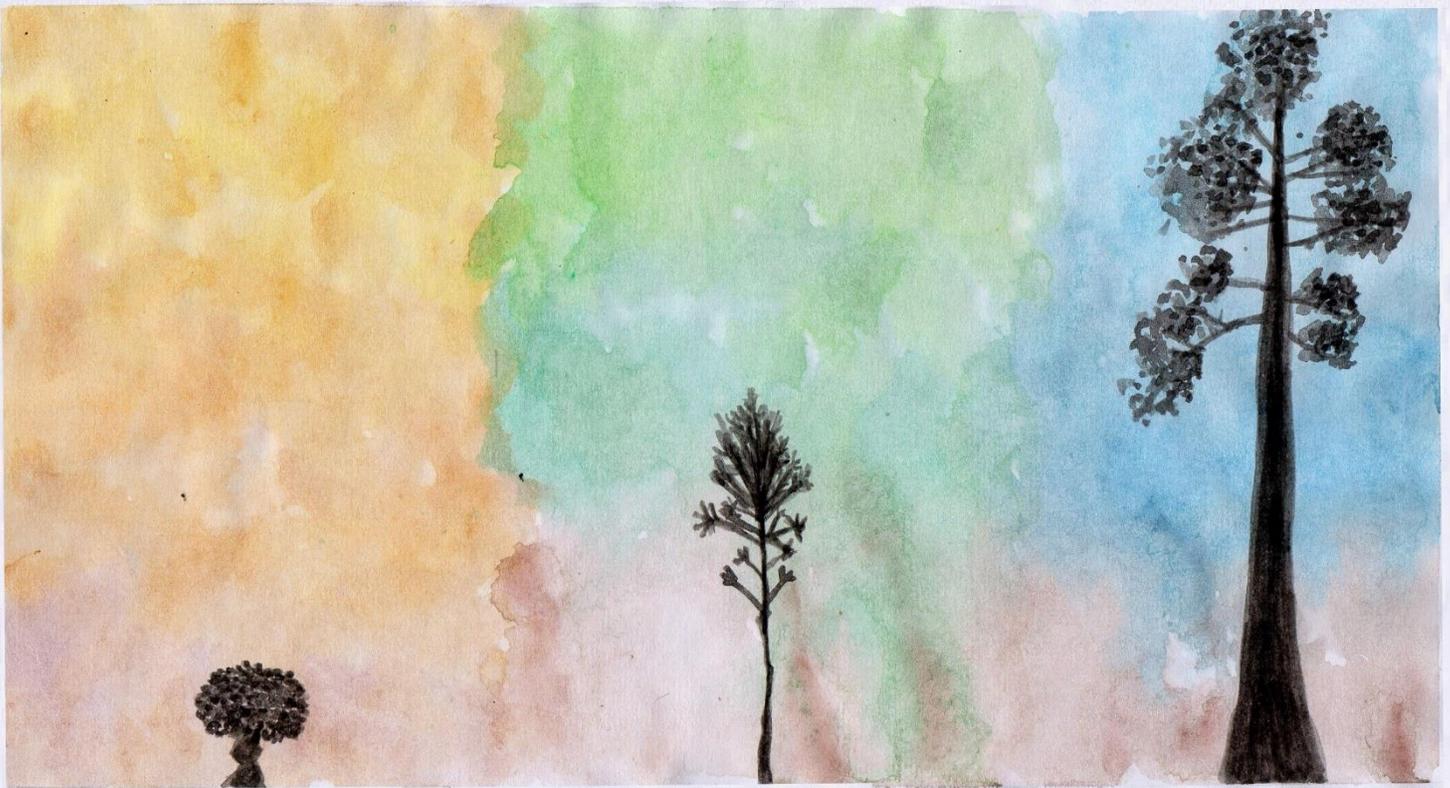
INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla N° 1 Código, nombre y detalle de las 19 variables bioclimáticas disponibles en la base de datos global de superficies climáticas Worldclim | 64 |
| Tabla N°2 Principales características de las configuraciones en la matriz de Maxent | 67 |
| Tabla N°3 Ejemplo de resultado de modelo Maxent y porcentaje de contribución de variables..... | 73 |
| Tabla N° 4 Superficie en km2 de pérdida, ganancia o permanencia por área protegida de la especie <i>Polylepis rugulosa</i> | 91 |
| Tabla N°5 Superficie en km ² de pérdida, ganancia o permanencia por área protegida de la especie <i>Pitavia punctata</i> | 93 |
| Tabla N°6 Superficie en km ² de pérdida, ganancia o permanencia por Área Protegida de la especie <i>Fitzroya cupressoides</i> | 95 |

INDICE DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico N° 1 Porcentaje de distribución potencial de la especie <i>Polylepis rugulosa</i> por país | 80 |
| Gráfico N° 2: Porcentaje de distribución potencial de la especie <i>Fitzroya cupressoides</i> por país | 84 |

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN



1.1 Introducción

Hoy en día se vive un proceso de pérdida de biodiversidad a nivel mundial siendo reconocido por ciertos autores como el sexto mayor evento de extinción masiva en la Tierra, teniendo como principales factores detrás de este proceso la modificación de hábitats, el cambio climático, la introducción de especies exóticas invasoras, la sobreexplotación y la contaminación. Los seres vivos presentan diferentes respuestas de adaptación ante cambios en las condiciones climáticas y ambientales. Cambios drásticos en su ambiente natural, pueden significar la extinción de ciertas especies, siendo así perjudiciales para la conservación y funcionamiento de los ecosistemas (Pérez Muñoz, 2014).

En consecuencia, en este estudio se han seleccionado tres especies arbóreas que se encuentran categorizadas por el Ministerio de Medio Ambiente como en peligro de extinción frente a las amenazas antes descritas. La primera es la especie *Polylepis rugulosa* o queñoa, árbol nativo de Chile, Perú y Bolivia que habita en la zona andina tropical; la segunda especie es la *Pitavia punctata* o pitao, árbol endémico de Chile que habita en la zona central de país bajo el clima mediterráneo; y la especie *Fitzroya cupressoides* o alerce, árbol nativo que habita en la zona sur de Chile y Argentina bajo el clima templado. Estas especies fueron seleccionadas para analizar y modelar los patrones de distribución espacial actuales y futuros con escenario de cambio climático (año 2070) y evaluar la condición de pérdida o de ganancia de estas especies en las áreas protegidas.

En el mundo de la cartografía, los modelos de distribución de especies (MDE) son mapas donde la propiedad representada es la idoneidad de cada lugar para que una especie pueda estar presente, en función de las variables empleadas para generar dicha representación (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2011). Para dicho propósito es que se utilizó el software Maxent “programa para modelar distribuciones de especies a partir de registros de solo presencia y variables ambientales” (Elith, y otros, 2011); con variables bioclimáticas para el presente y también para el futuro con cambio climático (año 2070). Para los datos del futuro se utilizaron los modelos climáticos globales BCC-CSM1 para las especies *Polylepis rugulosa* y para *Fitzroya cupressoides* y HADGEM-ES para la especie *Pitavia punctata*. El método principal utilizado fue una “suma raster” de ambos modelos por especie (presente + futuro) a través del cual se pudo obtener áreas de “perdida”, de “permanencia” y áreas de “ganancia” en la probabilidad de distribución.

De donde resulta que, en los tres casos el área de distribución presenta más superficies ganancia que pérdidas, no obstante, la probabilidad de distribución en algunos casos se ve modificada y desplazada a otros sectores, de los cuales se pueden desprender acciones futuras de conservación y protección.

Una de las principales dificultades de la presente memoria fue metodológica, ya que Maxent realiza la probabilidad de distribución según dos variables como ya se mencionó: las presencias de las especies y las variables bioclimáticas (actuales o futuras), en efecto no se considera el resultado del presente para realizar el modelo del futuro; en otras palabras son modelos independientes, por lo tanto no es que el actual modelo sufra cambios o las condiciones ambientales sufran precisamente esas modificaciones, sino que, es el resultado de condiciones ambientales diferentes. Frente a esto los análisis son un primer

acercamiento a una estrategia que permita la realización de planes de conservación, pero teniendo presente la limitante del modelo antes mencionado.

Hecha esta salvedad, en el presente estudio se muestran los resultados conforme al orden de los objetivos específicos, en una primera instancia el resultado de los modelos de distribución por especie presente y futuras por separado; luego se presenta el resultado de la suma raster entre el modelo del presente y el modelo del futuro; finalmente se analiza la distribución de las condiciones de pérdida, permanencia o ganancia según área protegida por especie. En todos los resultados se ordenan las especies según distribución norte a sur, primero *Polylepis rugulosa*, luego *Pitavia punctata* y finalmente *Fitzroya cupressoides*.

1.2 Planteamiento del problema

En el mundo existen muchos problemas que han aquejado a las sociedades desde tiempos inmemorables, tanto sociales, de los sistemas productivo-industrial, de las inercias sociales y tecnológicas, el crecimiento económico y de población o también de los valores y creencias (Oltra, 2011).

Desde la revolución industrial (Alvarado, 2010) se agrega otro aún más preocupante, se trata del cambio climático. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014) afirma que “Muchos de los cambios observados desde la década de 1950 no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios” y según Useros Fernández (2012), el cambio climático es una de las preocupaciones más importantes que afectan a la humanidad, por sus efectos medioambientales y, sobre todo, porque su principal determinante es el incremento de los gases de efecto invernadero resultantes de las actividades humanas. Más aun, Marchant Zambrano (2010) señala que existe también una contribución de tipo natural en este calentamiento, como puede ser la radiación solar y las emisiones volcánicas. El clima de la Tierra siempre ha estado evolucionando de manera natural, sin embargo, numerosas pruebas obtenidas en todo el planeta revelan que en las últimas décadas ha comenzado a evidenciarse un cambio sin precedentes, que podría ocasionar repercusiones graves sobre las personas, las economías y los ecosistemas (Alvarado, 2010), por lo tanto, se puede decir que sea de origen Antropogénico u natural el cambio climático está ocurriendo. El cambio climático es responsable del aumento del nivel del mar, de la disminución de las capas de nieve y hielo, así como del cambio de la tendencia en las precipitaciones afectando a los sistemas naturales vinculados al hielo, a los sistemas hidrológicos y a la calidad de las aguas, a los sistemas biológicos marinos y de agua dulce y a la productividad agrícola y forestal (Useros Fernández, 2012), además Alvarado (2010) considera crucial el aumento de la temperatura, ya que afecta además a muchos sistemas naturales. Incluso algunos científicos advierten que es posible que los ecosistemas se enfrenten a las temperaturas más altas que lo ocurrido naturalmente en los últimos 650 mil años, aumentando aún más la pérdida de biodiversidad a nivel mundial (IPCC, 2002).

En efecto, hoy Chile de acuerdo al artículo 4.8. de la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre Cambio Climático (1992), forma parte de los países especialmente vulnerables al cambio climático por cumplir con siete de las nueve características de

vulnerabilidad, de las cuales dos corresponden al contexto ecosistémico, una (c) que posee zonas áridas y semiáridas, zonas con cobertura forestal y zonas expuestas al deterioro forestal y (g) que posee zonas de ecosistemas frágiles, incluidos los ecosistemas montañosos (Ministerio del Medio Ambiente, 2014), eso quiere decir que es pertinente generar estudios que permitan de alguna manera mitigar o anteponerse a más pérdidas ecosistémicas.

El problema radica en que “Chile se caracteriza por poseer un alto nivel de endemismo y gran parte del territorio ha sido reconocido como zona crítica (“hotspot”) en materia de conservación de la biodiversidad (MMA, 2014), al respecto García & Ormazabal (2008) realizaron un estudio en el cual “cerca del 45% de 2la superficie original de bosques en Chile continental se ha perdido desde el siglo XVI, mientras que un 76% de los bosques remanentes se encontrarían en serio peligro de desaparecer”, los autores incluyen en los factores de pérdida histórica de superficies boscosas y de árboles nativos a la extracción para leña, carbón y madera, incendios forestales, el despeje de terrenos para agricultura, ganadería, instalación de viviendas, plantaciones forestales de pino insigne y eucalipto; la construcción de caminos y las plantaciones de frutales en laderas de cerros. A los factores de pérdida de biodiversidad históricos también es necesario considerar el factor del cambio climático como se ha mencionado anteriormente.

Frente a estas amenazas la Corporación Nacional Forestal (CONAF, 2013) categorizó las especies según su nivel de amenaza a peligro de extinción para lo cual se destacan como las más importantes a las especies “En Peligro”, dentro de esta categoría se encuentran siete especies de árboles nativos que han sido oficializados: alerce, belloto del sur, luma del norte, pitao, queñoa, queule y ruil. Y en el segundo nivel se ubican las especies clasificadas como “Vulnerable”, las cuales también enfrentan un alto riesgo de extinción, aunque no suficiente como para ser clasificadas En Peligro. Entre los árboles nativos de Chile considerados en este libro, alrededor de 10 especies han sido evaluadas de manera oficial o propuestas en la categoría Vulnerable, entre las cuales destacan: araucaria, belloto del norte, palma chilena, queñoa de altura y tamarugo. También existen otras que en algunas zonas se encuentran Amenazadas, pero en otras se encuentran clasificadas como “preocupación menor” como es el caso del Canelo. Para tales especies que se encuentran amenazadas el sistema que más ha contribuido a la conservación de los árboles nativos, y de los ecosistemas chilenos en general, ha sido el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) administrado por CONAF, y que constituye la red de parques nacionales, reservas nacionales o forestales y monumentos naturales destinados a la preservación y conservación de la biodiversidad de nuestro país.

Ya que el SNASPE funciona con áreas geográficas delimitadas es importante saber qué efectos podría producir el cambio climático en especies que se encuentren especialmente amenazadas por el factor climático y así comprobar si su hábitat continuará siendo protegida a largo plazo; y si permanece en la misma área geográfica o también si migra. Asimismo, existen modelos que permiten proyectar el hábitat potencial de especies actual y también a futuro, esta información se podría utilizar para generar anticipadamente un plan de conservación en donde se destinen fondos con proyección hacia el futuro.

En este sentido las especies de interés son las que poseen suficientes presencias para generar un modelo más completo. Estas especies son el queñoa (*Polylepis rugulosa*), pitao (*Pitavia punctata*) y el alerce (*Fitzroya cupressoides*). Se seleccionaron dichas especies ya se encuentran en peligro de extinción según el Ministerio de Medio Ambiente (2018) y además que son representativas de diferentes climas, como lo es el Tropical, Mediterráneo y Templado respectivamente.

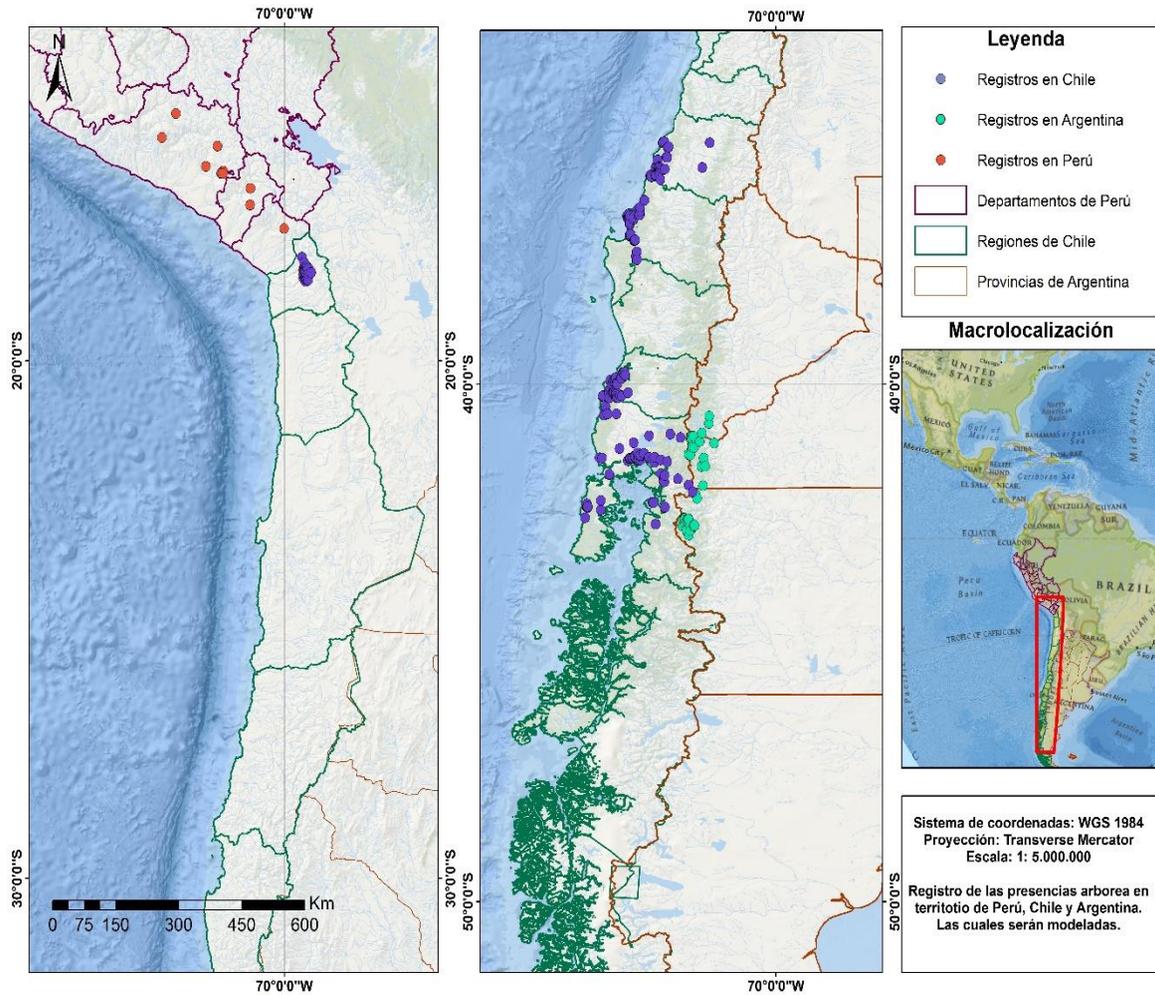
1.3 Área de Estudio

El área de estudio de esta memoria se basa principalmente en la distribución actual del registro de presencia de las especies estudiadas *Polylepis rugulosa* (Queñoa), *Pitavia punctata* (Pitao) y *Fitzroya cupressoides* (Alerce), las cuales se evidencia presencia en Chile, Argentina y Perú.

En específico el área de estudio según las divisiones administrativas, en Chile se encuentra comprendido en seis regiones, en Argentina en tres provincias y en Perú en tres departamentos. La especie *Polylepis rugulosa* en Chile se localizan por el norte a la región de Arica y Parinacota, y los tres departamentos de Perú, Arequipa, Moquegua, Tacna; en la zona central de Chile la especie *Pitavia punctata* en las regiones del Maule y Bio- Bio; y la especie *Fitzroya cupressoides* en las regiones de Los Ríos y Los Lagos, y en Argentina en las provincias de Neuquén, Río Negro y Chubut.

La elección de las especies estudiadas se basó específicamente en su nivel de amenaza o riesgo de extinción, en donde las tres se encuentran clasificadas bajo el estado de "En Peligro" (EN) según su estado de conservación, categorizadas por el Ministerio de Medio Ambiente (2018), y también se consideró la representatividad climática, con respecto a los climas presentes en Chile.

Figura N° 1 Registro de las presencias arbóreas en territorio de Perú, Argentina y Chile



A continuación, se presenta la descripción climática y bioclimática del área de estudio. En donde en las características bioclimáticas primero se describirá la clasificación macroclimática por especie, segundo la formación vegetal a la cual pertenecen y tercero en que pisos vegetacionales correspondería su actual distribución según Luebert & Pliscoff (2017). Entendiendo piso vegetacional según lo describen los autores como “espacios caracterizados por un conjunto de comunidades vegetales zonales con estructura y fisionomía uniformes, situados bajo condiciones mesoclimáticamente homogéneas que ocupan una posición determinada a lo largo del gradiente de elevación a una escala espacio temporal específica”.

1.1. Área de estudio de *Polylepis rugulosa* (N.C Queñoa).

La especie *Polylepis rugulosa* es un pequeño árbol, que alcanza un tamaño máximo de 4 metros de altura. Cuenta con una corteza de color marrón rojizo, con hojas compuestas brillantes. La fruta del árbol y las flores son generalmente imperceptibles, ya que están rodeadas por el follaje del árbol. Presenta ramas dobladas, entrecruzándose tallos y ramas, debido a las duras condiciones ambientales en que sobreviven, el hábito contorto está a menudo asociado al viento, frío o ambientes áridos (CONAF, 2013).

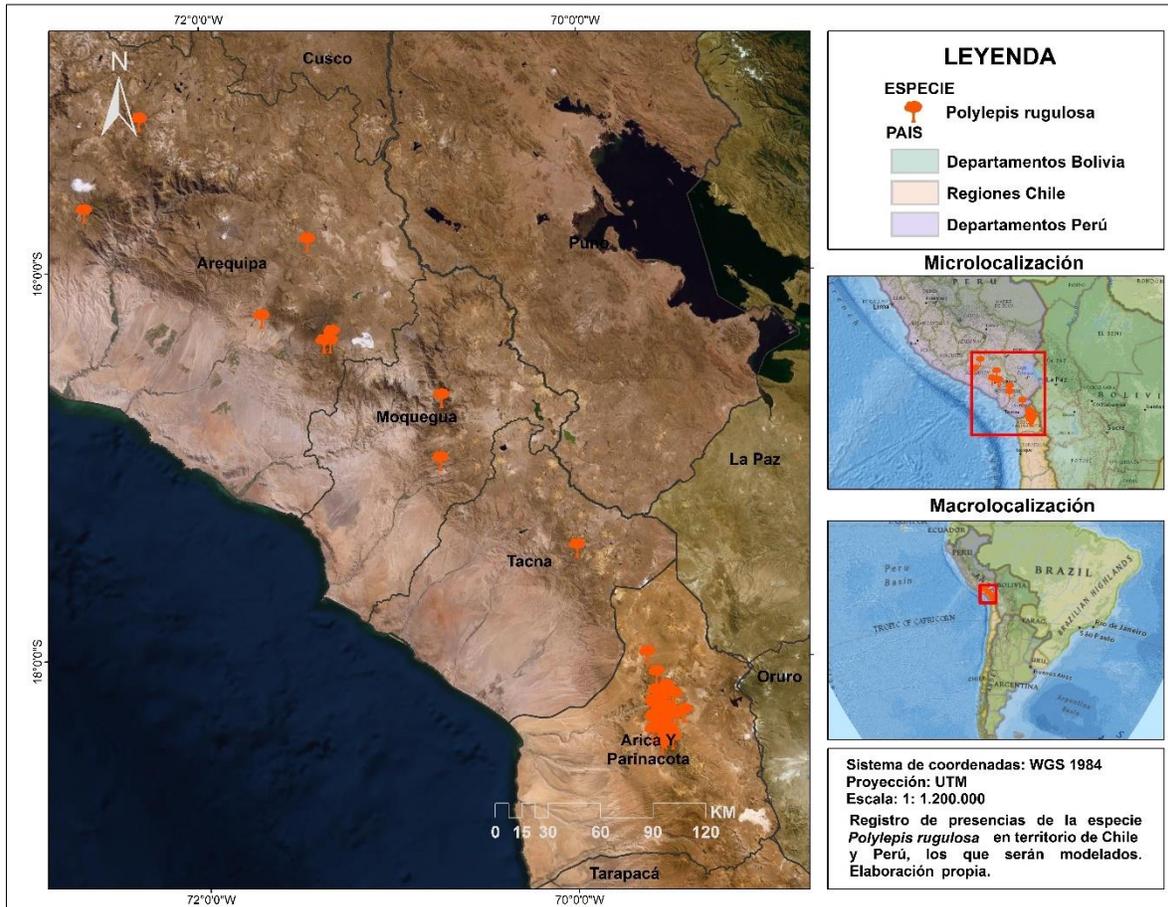
Figura N° 2 Fotografía *Polylepis rugulosa*



Fuente: Fotógrafo Alexander Yates, 2006

Esta especie cuenta con un registro de 39 puntos de presencias, las cuales habitan entre los departamentos de Perú de Arequipa, Moquegua y Tacna, habitando específicamente en la zona Andina (Ministerio del Ambiente del Perú, 2017), en Arequipa desde el río Cotahuasi por el norte al río Andamayo por el sur, entre los 3200 msnm y los 4200 msnm; en Moquegua desde el río Tambo al río Chujulay, entre los 3600 msnm y los 4300 msnm; y en Tacna entre el río Ticalate y el río Chacavira en los 3840 msnm aproximadamente (Instituto Geográfico Nacional del Perú, 2018; y Mendoza, 2012); y también en la zona del Norte Grande de Chile, específicamente en la región de Arica y Parinacota entre las unidades geomorfológicas de la precordillera andina y cordillera prealtiplánica (Albers, 2016), entre el río Lluta por el norte y el río Tignamar en el sur, entre los 3000 a 4600 metros sobre el nivel de mar (Dirección General de Aguas, s/f; y Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2018).

Figura N° 3 Registro de presencias de la especie *Polylepis rugulosa*



1.1.1 Características climáticas

El clima del Norte Grande se caracteriza por una extrema aridez la cual se explica por varios factores: Un hundimiento del aire seco en el dominio del Pacífico sureste casi permanente correspondiente al anticiclón (SEPA), la cual inhibe drásticamente el desarrollo de convección y precipitación, la superficie del agua relativamente fría asociada con la corriente de Humboldt, y además la barrera efecto de la cordillera los Andes impide la advección del aire húmedo de la cuenca del Amazonas, contribuye significativamente a la preservación de un entorno hiperárido en el inmediato, como también lo describen di Castri & Hajek (1976) para ese entonces la I Región, en la cual caracterizan desde la costa hasta los primeros contrafuertes cordilleranos, el clima netamente desértico con precipitaciones casi nulas y en todo caso muy irregulares, correspondientes a los Climas desérticos costeros y desérticos interior (Inzunza, 2000).

Mientras que donde se encuentran localizadas las presencias de la especie *Polylepis rugulosa* ocurren los episodios de lluvia, específicamente en las altas montañas áridas, durante la época de verano, característica relacionada en su mayoría al movimiento

extratropical noreste de frentes fríos que producen precipitaciones y nevadas (Schulz, Boisier, & Aceituno, 2011). Estas dan como característica general lo tropical en esta zona de la región la que según Inzunza (2000) serían categorizados como climas desérticos marginal de altura y clima de estepa de altura. En donde el clima de estepa de altura correspondería en específico dado que ésta se presenta por sobre los 3.000 msnm (a diferencia de la primera 2.000 msnm), la cual se caracteriza por las grandes amplitudes térmicas diarias y anuales por el efecto continental, de altura y también de precipitaciones las cuales alcanzan hasta los 300mm al año.

1.1.2 Características bioclimáticas

Según la clasificación macrobioclimática identificada para Chile por Amigo & Ramírez, (1998) la especie *Polylepis rugulosa* se encuentra en la zona del Macroclima Tropical el cual se caracteriza por encontrarse en la zona norte de Chile, desde el extremo norte hasta los 31 °S por los altos Andes y descendiendo en forma diagonal hacia el norte hasta los 23°S en la costa. Reune los bioclimas tropical pluviestacional, xerico, desertico e hiperdesertico, y la variante bioclimatica antitropical.

Por consiguiente en la caracterización de formaciones vegetales de Ellenberg & Mueller-Dombois (1967) en Luebert & Pliscoff (2017) la especie *Polylepis rugulosa* se indentifica principalmente bajo la formacion de “matorral bajo de altitud”, la que es definida como:

Formacion dominada por arbustos bajos y plantas en cojín, se extienden a lo largo de toda la cordillera de los Andes por sobre el limite altitudinal de la vegetacion arborea, o su equivalente en áreas sin vegetacion zonal arborea. En estas situaciones su presencia es posible debido a la correlacion entre el aumento de la altitud y la precipitación...En su amplia extension latitudinal, desde el macrobioclima tropical al antoboreal, sus especies dominantes y composicion floristica muestran una fuerte variacion. (p.215)

En cuanto a los pisos vegetacionales de Luebert & Pliscoff (2017), la especie se encuentra entre los pisos de a) Matorral bajo desértico tropical andino de *Fabiana rumulosa- Displostephium meyenii*; Matorral bajo tropical andino de *Parastrephia lepidophylla- P. quadrangularis* y el Matorral bajo tropical andino de *Parastrephia lucida- Azorella compacta* (de oeste a este respectivamente), los cuales se describen brevemente a continuación.

Matorral bajo desértico tropical andino de *Fabiana ramulosa- Displostephium meyenii*: Este piso se encuentra en laderas de vertientes occidental de la precordillera de las regiones de Arica y Parinacota y de Tarapacá, entre los 3000 y 4100 m, pisos bioclimáticos orotropicalarido superior a seco hiperoceánico. En la zona norte de este piso de vegetación es posible observar pequeños bosquetes de *Polylepis rugulosa*.

Matorral bajo tropical andino de *Parastrephia lepidophylla- P. quadrangularis*: Este piso de vegetación se encuentra en el altiplano de las regiones de Arica y Parinacota

y de Tarapacá, entre 3.900 y 4.700m, pisos bioclimáticos orotropical superior y criotropical inferior seco y subhúmedo hiperoceánico.

Matorral bajo tropical andino de *Parastrephia lucida*- *Azorella compacta*: Este piso se ubica preferentemente en taludes pedregosos o rocosos de la cordillera andina de las regiones de Arica y Parinacota, y de Tarapacá, entre 4.300 y 4.600 m. se encuentra en los pisos bioclimáticos orotropical superior y criotropical inferior subhúmedo inferior hiperoceánico. Aparentemente las zonas degradadas tienden a mostrar un aumento de la abundancia de la especie *Pycnophyllum bryoides* y una disminución de otras especies.

1.1.3 Acciones relevantes de conservación

Las queñoas cuentan con un Plan Nacional de Conservación a partir del año 2008 elaborado por CONAF con la colaboración de académicos, e investigadores, y cuyo propósito principal es el de “desarrollar acciones que propicien la investigación científica, la generación de políticas públicas, un marco legal y la sensibilización de la población con el fin de recuperar y conservar la queñoa y su ecosistema” (CONAF, 2013). También se proponen desafíos para su conservación, primero Fortalecer las herramientas normativas para asegurar la protección y conservación de la especie, segundo creación de nuevas áreas de protección oficial para resguardar la representatividad de la especie, tercero desarrollar programas de Educación Ambiental y generar materiales de difusión, orientados a mejorar el conocimiento de la especie por parte de la comunidad en general, y cuarto Identificar y fomentar el uso de recursos alternativos para ser usados como combustible.

1.2. Área de estudio de *Pitavia punctata* (N.C Pitao)

El pitao o canelillo es un árbol siempreverde, relativamente pequeño, de hasta unos 15 m de altura, cuyo tronco generalmente es grisáceo opaco y puede crecer hasta unos 50 cm de diámetro en su base. Sus hojas son simples, pueden llegar a ser grandes (hasta unos 25 cm de largo por 8 de ancho) en sectores sombríos o protegidos, mientras que las ramas expuestas al sol o al viento presenta hojas de menor tamaño (CONAF, 2018).

Esta especie cuenta con 112 presencias, las cuales habitan entre la parte sur de la Zona Central costera de Chile (BCN, 2018), específicamente en las regiones del Maule y Biobío, entre el río Maule por el norte y el río Carapangue en el sur, entre los 0 a 800 metros sobre el nivel de mar aproximadamente (DGA, 2018). Y sobre las

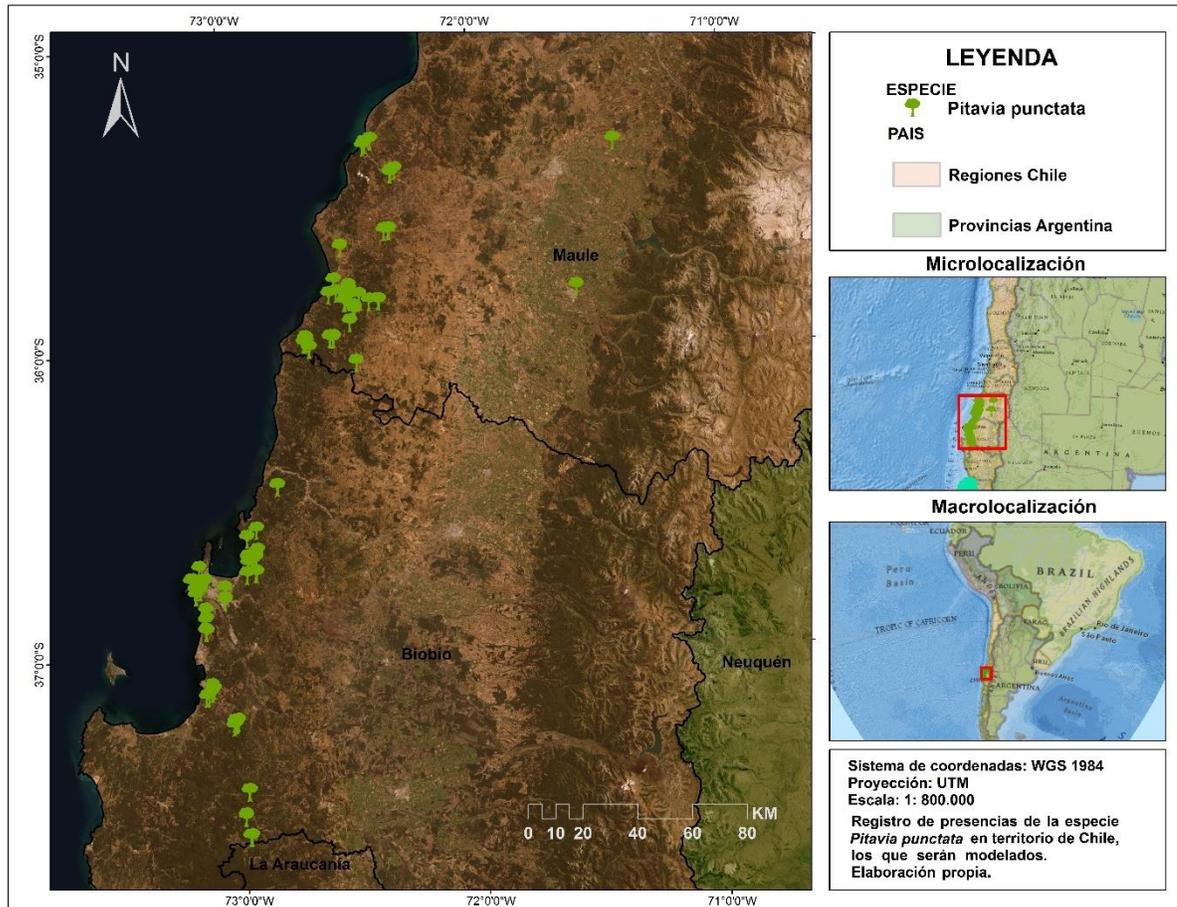
Figura N° 4: Fotografía *Pitavia punctata*



Fuente: Diego Alarcón, Chilebosque.

unidades geomorfológicas de terrazas marinas, cordillera de la costa, llano central fluvio-glacio- volcánico y en llanos de sedimentación aluvial o fluvial (Albers, 2016).

Figura N° 5: Registro de presencias de la especie *Pitavia punctata*



1.2.1 Características climáticas

El clima que caracteriza el área de distribución de la especie *Pitavia punctata* es el mediterráneo, el cual se localiza entre los 27° y los 38° S, se caracteriza por ser templado a causa de la influencia marítima, con cuatro estaciones muy marcadas, inviernos fríos y húmedos y veranos cálidos y secos (Figueroa, Suarez, Andreu, Ruiz, & Vidal-Abarca, 2009). En específico, a la región del Maule Izunza (2000) lo clasifica como clima templado mediterráneo la cual se caracteriza por tener de 6 (norte) a 4 (sur) meses de estación seca con extremas superiores a 30 °C. Y en este caso como la especie se distribuye en la zona costera, corresponde la sub división climática de clima mediterráneo templado costero. También Izunza (2000) caracteriza a la región del Biobío como la transición del clima templado seco al clima templado lluvioso, la especie se distribuye también en la zona centro sur costera de la región, la cual se categoriza como clima templado costero húmedo

caracterizándose por precipitaciones que fluctúan entre 1200 mm y 2000 mm.

Según la clasificación climática actualizada de Koppen-Geiger para Chile continental, realizada por Sarricolea, Herrera, & Meseguer (2016), la especie *Pitavia punctata* se encontraría bajo el predominio del Clima mediterráneo de lluvia invernal e influencia costera y Clima mediterráneo de lluvia invernal.

1.2.2 Características bioclimáticas

También, según la clasificación macrobioclimática identificada para Chile por Amigo & Ramírez, (1998) afirma que la especie *Pitavia punctata* se encuentra bajo el Macroclima Mediterraneo, el cual distribuye fundamentalmente en la zona central de Chile, pero ocupa la franja costera desde los 23 °S y penetra hacia el interior aproximadamente a la latitud del paralelo 25, donde asume una forma diagonal que alcanza las cumbres de los Andes a los 31°S extendiéndose por todo el ancho del territorio nacional hasta los 37° S.

Por consiguiente La especie *Pitavia punctata* según la identificación de formaciones vegetales de Ellenberg & Mueller-Dombois (1967) en Luebert & Pliscoff (2017) se distribuye principalmente bajo la formación de “Bosque esclerófilo” el cual es caracterizado como:

La formación de mayor extensión en la zona mediterránea de Chile central, donde se han llevado a cabo numerosos estudios que hacen de ella una vegetación relativamente bien conocida y existen varias revisiones generales. Se encuentra en las partes bajas de la costa y el interior bajo condiciones semiaridas a húmedas. Las especies dominantes son árboles de hojas duras. Las zonas costeras más húmedas, están fuertemente influenciadas por la presencia de elementos lauri-esclerófilos como *Cryptocarya alba* y *Peumus boldus*, mientras que en las zonas interiores, más secas, tienden a ser más dominantes *Quillaja saponaria*, *Lithraea caustica* y *Kageneckia oblonga*. (p.137).

También se encuentra localizado en la zona de la formación de “Bosque caducifolio” descrito como por Ellenberg & Mueller-Dombois (1967) en Luebert & Pliscoff (2017):

Formación es dominante en las zonas bajas y montañosas de la transición mediterránea templada de Chile y en la cordillera de los Andes en toda la zona centro-sur de Chile, donde la estacionalidad del clima determina que las especies dominantes pierdan las hojas en invierno. Las especies características corresponden al género *Nothofagus*. Las comunidades de *Nothofagus* de hojas grandes contactan hacia el norte con los bosques esclerófilos, y poseen muchos elementos de esos bosques, mientras que las áreas más australes limitan con bosques laurifolios y siempreverdes p.148

En cuanto a los pisos vegetacionales de Pliscoff (2014), la población de *Pitavia punctata* se encuentra sobre los pisos vegetacionales de: Bosque esclerófilo mediterráneo costero de

Lithraea caustica- *Azara integrifolia*, Bosque caducifolio mediterráneo costero de *Nothofagus glauca*- *Persea lingue*, y en menor medida sobre el Bosque caducifolio mediterráneo costero de *Nothofagus obliqua*- *Gomortega keule*.

Bosque esclerófilo mediterráneo costero de *Lithraea caustica*- *Azara integrifolia*: Este piso se distribuye en laderas occidentales bajas de la cordillera de la Costa de las regiones de O'Higgins, del Maule y norte de Biobío, entre 0 a 600 m de altitud, bajo la influencia de los pisos bioclimáticos mediterráneos subhúmedo y húmedo inferior hiperoceánico y oceánico. Piso de vegetación boscosa esclerófila que en su dinámica ha sido muy degradado. La estrata arbórea está dominada por *Lithraea caustica*, *Cryptocarya alba* y *Azara integrifolia*, mostrando un carácter oceánico, con presencias de elementos del bosque caducifolio maulino.

Bosque caducifolio mediterráneo costero de *Nothofagus glauca*- *Persea lingue*: Piso ubicado en laderas occidentales de la cordillera de la Costa en la región del Maule y norte del Biobío entre 100 y 600m, bajo la influencia del piso bioclimático mesomediterráneo subhúmedo superior y húmedo inferior hiperoceánico.

Bosque caducifolio dominado por *Nothofagus glauca*, *Nothofagus obliqua*, *Gevuina avellana* y *Persea Lingue*: También se encuentra Interpenetrado y a veces completamente sustituido por elementos esclerófilos, en un paisaje fuertemente fragmentado, donde las plantaciones de *Pinus radiata* son dominantes.

Bosque caducifolio mediterráneo costero de *Nothofagus obliqua*- *Gomortega keule*: Este piso se encuentra ubicado en laderas de la vertiente occidental de la cordillera de la Costa de la región del Biobío, entre 10 y 600m, bajo la influencia del piso bioclimático, mesomediterráneo húmedo hiperoceánico. En la dinámica se presenta una importante proporción de superficie que ha sido fragmentada y reemplazada por plantaciones de *Pinus radiata*.

1.2.3 Acciones relevantes de conservación

El pitao cuenta con un Plan Nacional para la Conservación, basado en un taller realizado en Concepción en 2002, y publicado en 2005, fue desarrollado por la Corporación Nacional Forestal, con participación de diversas instituciones públicas y privadas. El principal fin es "Conservar la diversidad biológica del pitao mediante el desarrollo de acciones destinadas a su recuperación, tanto en terrenos fiscales como privados". También se definen desafíos para su conservación, primero se requiere aumentar el conocimiento específico y científico sobre las necesidades y amenazas de la especie para aumentar la eficiencia de los programas de conservación, segundo aumentar la prospección para determinar nuevos sitios de su presencia en todo su rango de distribución es esencial para lograr conocer y proteger efectivamente a las poblaciones remanentes del pitao, y tercero debe desarrollarse un programa sistemático de educación ambiental y trabajo en escuelas para concientizar a las comunidades asociadas al hábitat de la especie sobre la importancia de su conservación. (CONAF, 2013).

1.3 Área de estudio de *Fitzroya cupressoides* (N.C Alerce)

El alerce es una conífera endémica de los bosques templados sudamericanos, es un árbol siempreverde, que alcanza una altura de hasta 45 m., posee una copa estrecha de hábito piramidal y un tronco recto cuyo diámetro puede superar los 4 m. En los árboles jóvenes y aislados, las ramas llegan hasta el suelo y a medida que alcanzan mayor desarrollo, presentan un fuste libre de ramas. El follaje es irregular, con ramas gruesas, angulosas, abiertas y hasta tortuosas, con una estructura columnar de la copa, adaptada para que la nieve escurra y no se acumule (Chilebosque, 2016).

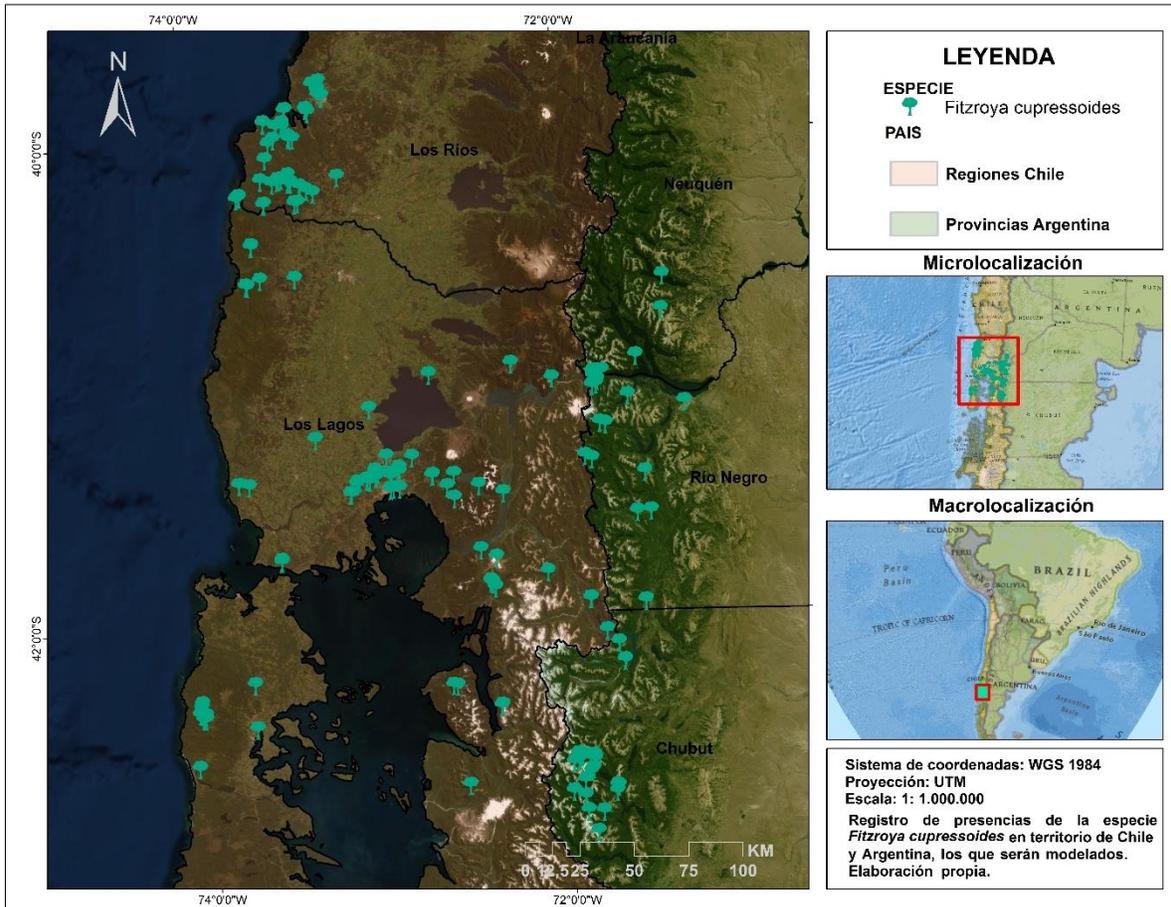
Esta especie cuenta con 199 presencias entre Chile y Argentina (la que posee mayores presencias de las tres especies). En Chile habitan en la Zona Sur (BCN, 2018) específicamente en las regiones de Los Ríos y Los Lagos. En la región de los Ríos se encuentra específicamente en la unidad geomorfológica de la cordillera de la costa, entre el río Cruces al sur y el río Huelleshue y al norte, entre los 100 a 800 msnm; mientras que en la región de los Lagos incluyendo la isla grande de Chiloé, se encuentra en las unidades geomorfológicas de la cordillera de la costa, llano central con morrenas y conos, valles, lagos y morrenas glaciares, cordillera volcánica activa y cordillera andina (Albers, 2016), acotándose entre el río Coihueco por el norte y el río Blanco en el sur, y en la Isla de Chiloé entre los ríos Butalcura por el sur y el río Cipresal por el norte, entre los 100 a 1500 msnm. En Argentina las presencias de esta especie se encuentran en la zona este de la región patagónica, específicamente en las provincias de Neuquén, Río Negro y Chubut, entre los ríos Calefú por el norte y río Grande o Futaleufú por el sur (Instituto Geográfico Nacional de la Republica de Argentina, 2018), sobre la unidad geomorfológica de la cordillera andina, entre 750 y 1250 msnm.

Figura N° 6: Fotografía *Fitzroya cupressoides*



Fuente: Darian Stark, Chileflora

Figura N° 7 Registro de presencias de la especie *Fitzroya cupressoides*



1.3.1 Características climáticas

En la zona sur el clima está fuertemente relacionado con forzantes externos como El Niño *Southern Oscillation* (ENSO), la Oscilación Antártica y la Oscilación Decádica del Pacífico (Prieto, Solari, Crouchet, & Larroucau, 2012), se caracteriza por un rango de temperaturas moderadas y una elevada precipitación anual, las cuales disminuye rápidamente al este de las cumbres de la cordillera de los andes. En época invernal sobre los 800 msnm gran parte de la precipitación cae en forma de nieve tanto en la cordillera de los Andes como la cordillera de la Costa y también son frecuentes los vientos de alta intensidad asociados con las tempestades ciclónicas, mientras que en verano se producen fuertes vientos cálidos y secos, ya que se localiza un centro de alta presión sobre el sur de Argentina (Veblen & Schlegel, 1982). Según Inzunza (2000) el clima es templado lluvioso, el cual presenta un régimen de precipitaciones a lo largo de todo el año son periodos secos largos, sin embargo, por el relieve presentan significativas variaciones de precipitaciones, abundantes en el lado occidental de la cordillera de la Costa y de los Andes.

Según la clasificación climática actualizada de Koppen-Geiger para Chile continental, realizada por Sarricolea, Herrera, & Meseguer (2016), la especie *Fitzroya cupressoides* se

encontraría bajo el predominio del clima templado lluvioso, clima templado lluvioso e influencia costera y clima templado lluvioso con leve sequedad estival e influencia costera.

1.3.2 Características bioclimáticas

Según la clasificación macrobioclimática identificada para Chile por Amigo & Ramírez, (1998) la especie *Fitzroya cupressoides* se encuentra bajo el Macrobioclima Templado, el cual es la que ocupa mayor superficie de Chile continental, extendiéndose desde el límite con el macroclima mediterráneo hasta casi el extremo austral, excluyendo a la zona sudoccidental de Tierradel Fuego y la zona más austral de los archipiélagos magallánicos que corresponden al macroclima antiboreal. Dentro del macroclima templado de Chile se distinguen tres bioclimas: templado hiperoceánico, oceánico y xérico.

Por consiguiente, La especie *Fitzroya cupressoides* según la identificación de formaciones vegetales de Ellenberg & Mueller-Dombois (1967) en Luebert & Pliscoff (2017) se identifica principalmente bajo la formación de "Laurifolio" el cual es caracterizado como:

Formación dominada por plantas arbóreas siempreverdes de hoja ancha (laurifolia), que se distribuye principalmente en las áreas hiperhúmedas meso y termotempladas de Chile centro-sur. La importancia de las especies laurifolias decrece hacia el sur y hacia las partes más elevadas de la cordillera por el descenso de temperaturas, mientras que hacia el norte el clima es muy seco, por lo tanto esta ausente en el sotavento de la cordillera de la Costa. En estos bosques crece un conjunto diversificado de arbustos y plantas epífitas tanto vasculares como no vasculares. (p.180).

También bajo la formación de Bosque resinoso de coníferas:

En la cual son dominantes las coníferas *Araucaria araucana*, *Fitzroya cupressoides* y *Pilgerodendron uviferum*, las que forman unidades de vegetación tanto en la cordillera de la Costa como en la de los Andes. Los bosques de *Araucaria araucana* son los más septentrionales, luego se ubican los bosques de *Fitzroya cupressoides*, florísticamente relacionado con los bosques siempreverdes, bajo condiciones de precipitación relativamente más alta, y aun más al sur se hacen dominantes los bosques de *Pilgerodendron*.(p.167)

Y además bajo la formación de Bosques siempreverdes Esta formación incluye la vegetación dominada por especies de *Nothofagus* siempreverdes.

En cuanto a los pisos vegetacionales de Pliscoff (2014), la población de *Fitzroya cupressoides* se encuentra mayormente sobre los pisos vegetacionales de Bosque laurifolio templado costero de *Weinmannia trichosperma*- *Laureliopsis philippiana*, Bosque laurifolio templado interior de *Nothofagus dombeyi*- *Eucryphia cordifolia*, Bosque resinoso templado costero de *Fitzroya cupressoides*, y Bosque siempreverde templado interior de *Nothofagus nítida*- *Podocarpus nubiense*.

Bosque laurifolio templado costero de *Weinmannia trichosperma*- *Laureliopsis philippiana*: Este piso se ubica en laderas bajas y medias de la vertiente occidental de la cordillera de la Costa de las regiones de Los Ríos y de Los Lagos, entre 0 y 700m en la cordillera Pelada y 0 a 400 m en la cordillera de Piuchué, en los pisos bioclimáticos mesotemplado y supratemplado inferior hiperhúmedo hiperoceánico. En algunas zonas este tipo de bosque no ha recibido perturbaciones masivas por milenios, lo que ha permitido alcanzar un nivel de estabilidad que favorece el control interno del sistema sobre los flujos de energía y la composición de especies.

Bosque laurifolio templado interior de *Nothofagus dombeyi*- *Eucryphia cordifolia*: Este piso se encuentra en lomajes y laderas medias de la vertiente oriental de la cordillera de la Costa, algunas zonas de la depresión intermedia y laderas occidentales bajas de la cordillera de los Andes de las regiones de La Araucanía, de Los Ríos y de Los Lagos, desde 0 a 900 m, en los pisos bioclimáticos supratemplado inferior y mesotemplado hiperhúmedo hiperoceánico.

Bosque resinoso templado costero de *Fitzroya cupressoides*: Piso ubicado en las cumbres de la cordillera costera de las regiones de Los Ríos y de Los Lagos, entre los 300 a 950 m. Corresponde a un complejo de comunidades vegetales ubicadas en las altas cumbres de las cordilleras Peladas, Sarao, Piuchué. Destaca la presencia de los bosques de *Fitzroya cupressoides*, pero también es posible identificar comunidades boscosas de *Pilgerodendron uviferum*, de *Nothofagus nítida* y *Nothofagus beltooides*. Ha estado sometido a fuerte explotación, de modo que en algunos sectores es posible observar grandes extensiones de bosques quemados en pie.

Bosque siempreverde templado interior de *Nothofagus nítida*- *Podocarpus nubigenus*: Se encuentra lugares planos inundados de ñadis y laderas de las regiones de Los Lagos y de Aysén, entre los 0 y 700 m, asociado a los pisos bioclimáticos mesotemplado y supratemplado inferior hiperhúmedo y ultrahiperhúmedo hiperoceánico. En algunos sectores de la zona interior del archipiélago de Chiloé el bosque está dominado por *Eucryphia cordifolia* y *Laureliopsis philippiana*, mientras que en la depresión intermedia de los alrededores de Puerto Montt existen algunos bosquetes de *Fitzroya cupressoides*.

1.3.3 Acciones relevantes de conservación

Chile declaró a *Fitzroya cupressoides* como Monumento Natural en 1976 y Chile y Argentina tienen ahora prohibida la tala de esta especie. Un total de 2.309 ha de bosques de *Fitzroya* se han puesto bajo protección en el Parque Nacional Alerce costero en 2010 en donde la especie encuentra su distribución más septentrional y también desde el año 1982 bajo protección en el Parque Nacional Alerce Andino (Chilebosque, 2016).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Modelar y evaluar el cambio de la distribución espacial de las especies arbóreas *Polylepis rugulosa*, *Pitavia punctata* y *Fitzroya cupressoides* entre escenarios ambientales actuales y futuros con condiciones de cambio climático (año 2070) presentes en los territorios Perú, Bolivia, Argentina y Chile.

1.4.2 Objetivos Específicos

- I. Caracterizar la distribución potencial actual y de escenarios futuros con cambio climático (año 2070) de las especies arbóreas *Polylepis rugulosa*, *Pitavia punctata* y *Fitzroya cupressoides*, entre los territorios de Perú, Bolivia, Chile y Argentina.
- II. Identificar las superficies de pérdidas y ganancias en la distribución potencial en las especies *Polylepis rugulosa*, *Pitavia punctata* y *Fitzroya cupressoides* frente al escenario de cambio climático.
- III. Determinar la superficie de pérdida o ganancia de la distribución de las especies frente al escenario de cambio climático en áreas protegidas (AP).



CAPITULO 2: ESTADO DEL ASUNTO

Pitavia punctata

2.1. El clima está cambiando

2.1.1. El Clima

Se entiende por clima las condiciones meteorológicas normales correspondientes a un lugar y período de tiempo determinados. El clima puede explicarse mediante descripciones estadísticas de las tendencias y la variabilidad principales de elementos pertinentes conocidos como variables meteorológicas, como la temperatura, la precipitación, la presión atmosférica, la humedad y los vientos, o mediante combinaciones de elementos, tales como tipos y fenómenos meteorológicos, que son característicos de un lugar o región, o del mundo en su conjunto, durante cualquier período de tiempo (Organización Meteorológica Mundial, 2011).

2.1.2. Variables meteorológicas

I. Precipitaciones

Zubieta y Saavedra (2009) mencionan que la precipitación es uno de los aspectos más importantes del cambio climático y que requiere investigación completa en el tiempo de distribución de la lluvia y sus cambios históricos “La lluvia es la más importante variable climático, ya que da lugar a fenómenos opuestos como sequías e inundaciones. Numerosos estudios de la variabilidad de precipitaciones han sido llevados a cabo en todo el mundo usando procedimientos estadísticos”.

La lluvia tiene una de las mayores variabilidades espacio–temporales. En áreas planas, con estaciones uniformemente distribuidas, se pueden utilizar métodos simples de interpolación para estimar la distribución de estas (Hutchinson, 1995), sin embargo, en las áreas montañosas la distribución espacial de las lluvias debido al terreno escarpado e irregular se presenta con grandes variaciones, y de este modo presencia de mecanismos convectivos y sombras pluviométricas. También otras variantes aparte de la pendiente es la proximidad a cuerpos de agua, temperatura, continentalidad térmica o pluviométrica, determinan la distribución de la lluvia pluviométrica (Velázquez, Martínez, & Maciel, 2012).

En Chile un estudio de Quintana (2004), muestra que la evolución de la precipitación desde el 30°S hacia el sur, esta además condicionada por una fuerte variabilidad en la escala de tiempo decadal, la cual se vincula a cambios en esa misma escala en la Oscilación del Sur (y de la frecuencia de eventos El Niño y La Niña) así como en las condiciones atmosféricas y oceánicas en toda la cuenca del Pacífico (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2006). Para poder medir a lo largo y variante condiciones de Chile el “coeficiente de variación es el mejor y más usado parámetro en cuanto evalúa y compara la variabilidad de los montos pluviométricos, ya sea de una misma estación meteorológica o de varias” (Martín-Vide, 1999), la cual permite evaluar la mayor o menor relevancia de la presencia de años anómalos con respecto a lo normal que presente la serie, por lo cual mientras más alto sea el valor de dicha alteración, más se separaran los datos de la media de la serie (Martin-

Vide, 2003), al mismo tiempo más heterogéneo representando mayor variabilidad, como ya se ha mencionado anteriormente, mientras que valores menores indican homogeneidad (Figueroa, 2014).

II. Temperatura

La Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1992) define la temperatura como una entidad física que caracterizan el promedio de movimiento aleatorio de las moléculas en un cuerpo físico. La temperatura se caracteriza por el comportamiento por el cual dos cuerpos en contacto térmico tienden a una temperatura uniforme. Por lo tanto, la temperatura representa el estado termodinámico de un cuerpo, y su valor es determinado por la dirección del flujo neto de calor entre dos cuerpos.

Por otro lado técnicamente, la temperatura es una variable que está íntimamente asociada a la altitud o altura sobre el nivel del mar. “El manual de Meteorología y Fenómenos Meteorológicos del IMTA (1998), establece que el gradiente térmico vertical en la tropósfera es de 6° C por cada 1 000 m de altura” (Velásquez, Martínez y Maciel, 2012). Sin embargo, la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA, 2006), considera que el factor que más influye en las diferencias térmicas es el relieve, mediante la disminución altitudinal y al impedir el acceso del aire marino hacia las cuencas y la depresión central.

Para fines meteorológicos, la medición más utilizada es la temperatura del aire medida a diferentes alturas, también otras utilizadas son las mediciones de la temperatura a nivel de superficie, por ejemplo, el suelo, el pasto y la mínima temperatura del agua del mar (WMO, 2012).

III. Presión Atmosférica

“El aire que nos rodea, aunque no lo notemos, pesa y, por tanto, ejerce una fuerza sobre todos los cuerpos debida a la acción de la gravedad. Esta fuerza por unidad de superficie es la denominada presión atmosférica, cuya unidad de medida en el Sistema Internacional es el Pascal (1 Pascal = 1N/m²)” (Instituto mexicano de Tecnología de Agua, 2009). La presión atmosférica depende de muchas variables, sobre todo de la altitud, cuanto más arriba en la atmósfera nos encontremos, la cantidad de aire por encima nuestro será menor, lo que hará que también sea menor la presión que éste ejerza sobre un cuerpo ubicado allí. (Fundación Española Ciencia y Tecnología FECYT, 2004), aunque también hay diferencias de presión entre unas zonas y otras de la troposfera, las cuales se denominan zonas de altas presiones y bajas presiones. Los Centros de baja presión en superficie tienden a ubicarse al este del eje de la vaguada troposfera media mientras que los centros de alta presión en superficie tienden a ubicarse al este del eje de la dorsal en troposfera media (Garreaud, s/f). El instrumento generalmente utilizado para medir la presión atmosférica es el barómetro de mercurio (Instituto mexicano de Tecnología de Agua, 2009).

IV. Viento

El viento trata del movimiento de aire desde una zona hasta otra, existen diversas causas que pueden provocar la existencia del viento, pero normalmente se origina cuando entre dos puntos se establece una cierta diferencia de presión o de temperatura. En el primer caso, cuando entre dos zonas la presión del aire es distinta (FECYT, 2004), El aire se desplaza de las áreas de más presión a las de menos formándose de esta forma los vientos. (Sarochar, 2014). Se mide su dirección y velocidad, grados geométricos y km/h, m/s o millas/h (nudos, 1nudo (kt) = 1.852 km/h) (Instituto mexicano de Tecnología de Agua, 2009).

V. Humedad

Técnicamente la humedad es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire, la cual no es un valor constante, ya que depende de diversos factores, como por ejemplo si ha llovido recientemente, si se está cerca del mar, si hay vegetación, etc. La humedad atmosférica y con frecuencia también su registro continuo es un parámetro importante en la mayoría de los ámbitos de las actividades meteorológicas; pero para la medición de la humedad en la superficie o cerca de ella existen varios métodos utilizados para expresar las diferentes magnitudes (Castro, 2008), según el Instituto mexicano de Tecnología de Agua (2009) son estos tres:

- Humedad absoluta: masa de vapor de agua, en gramos, contenida en 1m³ de aire seco.
- Humedad específica: masa de vapor de agua, en gramos, contenida en 1 kg de aire.
- Razón de mezcla: masa de vapor de agua, en gramos, que hay en 1 kg de aire seco

Pero la más utilizada es la Humedad relativa, el cual es cuánto vapor de agua existe expresado como porcentaje de la cantidad máxima que puede contener el aire saturado a una determinada temperatura (Sarochar, 2014), quiere decir multiplicado por 100, es decir se expresa en porcentaje de qué tan saturado está. (Instituto mexicano de Tecnología de Agua, 2009).

2.2. Cambio climático

En el mundo existen muchos problemas los cuales han aquejado a las sociedades desde tiempos inmemorables ya sean sociales, de sistemas productivo-industrial, de las inercias sociales y tecnológicas, el crecimiento económico, crecimiento de población o también de los valores y creencias (Oltra, 2011).

Desde la revolución industrial (Alvarado, 2010) se agrega otro aún más preocupante, se trata del cambio climático. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014) afirma que “Muchos de los cambios climáticos observados desde la década de 1950 no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios, y lo define como la “Importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado, este se puede deber a procesos naturales

internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras”. Ahora bien, la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992) realiza una distinción ya que lo define como al cambio del “clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”, en donde se distingue cambio climático y variabilidad climática, puesto que en la primera la alteración a la composición atmosférica es atribuida a las actividades humanas y en la segunda es atribuida a causas naturales, así mismo Marchant Zambrano (2010) señala que existe también una contribución de tipo natural en este calentamiento, como puede ser la radiación solar y las emisiones volcánicas, ya que el clima de la Tierra siempre ha estado evolucionando de manera natural, sin embargo numerosas pruebas revelan que en las últimas décadas ha comenzado a evidenciarse un cambio sin precedentes, Useros Fernández (2012), menciona que su principal determinante es el incremento de los gases de efecto invernadero resultantes de las actividades humanas.

I. Efecto invernadero natural

Efecto invernadero natural: “El término "efecto de invernadero" se refiere al papel que desempeña una capa de gases que retiene el calor del Sol en la atmósfera de la Tierra, haciendo que la temperatura interior sea más alta que la exterior. Este fenómeno se produce debido a que la energía generada por el sol llega a la tierra en forma de frecuencia alta, rebotando al exterior en forma de frecuencia baja. Es decir, solo una parte de la energía solar emitida desde la tierra atraviesa la capa de gases de invernadero la otra parte se queda dentro de la tierra haciendo que esta tenga una temperatura media promedio adecuada para el desarrollo del medioambiente, los gases en la atmósfera que absorben la radiación infrarroja procedente de la Tierra o radiación saliente son los Gases de Efecto Invernadero (GEI), son el dióxido de carbono, el vapor de agua, el óxido nitroso, el metano y el ozono (Benavides & León, 2007), los cuales naturalmente provienen del vulcanismo, la vegetación y los océanos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009). Sin el efecto invernadero la temperatura promedio en la superficie sería aproximadamente de 18°C bajo cero y la vida en el planeta no sería posible (Colque & Sánchez, 2007).

II. Efecto invernadero forzado

El problema radica en el incremento de emisiones de GEI y de halocarbonos. El agotamiento de la capa de ozono debido a su destrucción por el incremento en las emisiones de halocarbonos desde 1970, ha representado un forzamiento radiativo negativo del sistema climático (el cual tiende a enfriarla), ya que, el ozono es un GEI. Por otro lado, el incremento de los GEI ha producido un forzamiento positivo (el cual tiende a calentar la troposfera (capa de la atmósfera desde la superficie hasta cerca de 16km de altura). Se estima que el efecto neto promedio a nivel global de las actividades humanas desde 1750 ha sido un calentamiento con un forzamiento radiativo de 1,6 W/m² (Benavides & León, 2007) tales actividades humanas pueden

ser la generación de electricidad, el consumo de combustibles fósiles, la producción del cemento para la construcción, los sistemas industriales, la deforestación de los bosques, así como la producción de los alimentos y de otros tantos bienes y servicios que consumimos a diario, generan una gran cantidad de gases de efecto invernadero. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México, 2009).

Los efectos de las emisiones, así como de otros factores antropógenos, se han detectado en todo el sistema climático y es sumamente probable que hayan sido la causa dominante del calentamiento observado a partir de la segunda mitad del siglo XX (IPCC, 2014). Se estima que dependiendo de la magnitud del incremento en la concentración de gases de efecto invernadero la temperatura podría sufrir incrementos que oscilan entre 1,5 y 4,5°C (Abdón & Meza, 2008) contribuyendo así al cambio climático.

Además, según Alvarado (2010) y Useros (2012), el cambio climático podría ocasionar repercusiones graves sobre las personas, las economías, los ecosistemas; considerando que también es responsable del aumento del nivel del mar, de la disminución de las capas de nieve y hielo, del cambio de la tendencia en las precipitaciones afectando a los sistemas hidrológicos, a la calidad de las aguas, a la productividad agrícola y forestal, a los sistemas biológicos marinos y de agua dulce. Y como afirma el Intergovernmental Panel on Climate Change (ahora IPCC, 2014) Una gran parte de las especies afrontan un riesgo creciente de extinción debido a esto durante el siglo XXI y después, especialmente porque el cambio climático interactúa con otros factores de estrés. La mayoría de las especies vegetales no pueden desplazar sus rangos de distribución geográfica de forma natural con la suficiente rapidez para acompañarlos a las tasas del cambio climático actuales y las altas tasas proyectadas en la mayoría de los paisajes.

En efecto, hoy Chile de acuerdo al artículo 4.8. de la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre Cambio Climático (1992), forma parte de los países especialmente vulnerables al cambio climático por cumplir con siete de las nueve características de vulnerabilidad, de las cuales dos corresponden al contexto ecosistémico, una (c) que posee zonas áridas y semiáridas, zonas con cobertura forestal y zonas expuestas al deterioro forestal y (g) que posee zonas de ecosistemas frágiles, incluidos los ecosistemas montañosos (Ministerio del Medio Ambiente, 2014), eso quiere decir que es pertinente generar estudios que permitan de alguna manera mitigar o anteponerse a más pérdidas ecosistémicas.

2.3. El concepto de biodiversidad

La palabra biodiversidad fue utilizada originalmente en el debate político (Ghilarov, 1996), pero luego los científicos rápidamente la adoptaron para encontrar tanto justificaciones dentro de sus disciplinas, como para guiar fondos a éstas (Bermúdez & Longhi, 2012). Así es que a principios de los 80, Lovejoy (1980) empleó el término diversidad biológica (en su versión larga) para describir lo que presumiblemente era la riqueza de especies, mientras que Norse y McManus (1980) lo usaron para describir un concepto que incluía tanto la

diversidad ecológica como el componente genético. En 1986, fueron Norse, Rosenbaum, Wilcove, & Wilcox, quienes propusieron el término de biodiversidad para referirse a tres niveles de expresión: el genético (intraespecífico), el de especies (número de especies) y ecológico (de comunidades). La integración de estos niveles en el concepto de biodiversidad fue rápidamente aceptada, llegando a ser conocida como la trilogía de la biodiversidad (Solbrig, 1991).

En la actualidad encontramos diversas definiciones de la diversidad biológica. Quizá la más difundida en el ámbito político y los medios de comunicación sea la expresada en el año 1992 por la Convenio sobre Diversidad Biológica (Organización de las Naciones Unidas) en donde se define como: la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros sistemas acuáticos, y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas (Dorado, 2010). También Jiménez-Sierra, Torres-Orozco, & Corcuera (2010) la definen como a la variedad de seres vivos sobre la Tierra y los patrones naturales que la conforman. Comprende además la gama de ecosistemas de especies y de sus poblaciones, así como las diferencias genéticas entre los individuos que las construyen. La diversidad genética confiere a los organismos pequeñas distinciones que determinan una sobrevivencia y reproducción diferencial, las cuales permiten la evolución de las especies a través de los procesos de selección natural (Jiménez-Sierra, Torres-Orozco, & Corcuera, 2010). En Chile la Ley de Bases del Medio Ambiente (Titulo I, artículo 2°) define la diversidad biológica como la “variabilidad entre los organismos vivos, que forman parte de todos los ecosistemas terrestres y acuáticos. Incluye la diversidad dentro de una misma especie y entre ecosistemas” (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2003).

2.3.1. Amenazas a la biodiversidad

Se calcula que la tasa de extinción es actualmente entre 100 y 1.000 veces superior a la natural, lo que supone entre 18.000 y 55.000 especies extinguidas cada año. Es la llamada Sexta Extinción, similar a la que hizo desaparecer los dinosaurios, pero esta vez no se trata de un cataclismo cósmico, sino de la acción depredadora y destructiva del ser humano. (SEO/BirdLife & World Wild Fund for Nature, 2010). En la mayoría de los informes coinciden en señalar cinco amenazas o mecanismos fundamentales que están provocando esta situación: la destrucción y degradación de los hábitats, las especies invasoras, la sobreexplotación de las especies, la contaminación y el cambio climático. El cambio climático y la expansión de las especies invasoras se categorizan como dos de las amenazas más importantes para la biodiversidad. Las especies exóticas sustituyen y compiten con las autóctonas, desequilibrando así los ecosistemas y, el cambio climático está provocando alteraciones bruscas en la distribución y abundancia de las especies y los hábitats, conduciendo a muchos de los que ya estaban amenazados por otras causas al borde mismo de la extinción. (SEO/BirdLife & World Wild Fund for Nature, 2010).

Chile, especialmente su zona central, se encuentra dentro de las áreas de alta vulnerabilidad frente a los cambios climáticos. Ello, como consecuencia de ser el borde del

desierto considerado el más árido del mundo, el de Atacama. Las precipitaciones han venido descendiendo durante todo el siglo XX, lo que ha producido una reducción de entre un 20 y 30 por ciento en los montos anuales de lluvia. Adicionalmente, se aprecia un cambio tanto en la estacionalidad como en la intensidad de las precipitaciones. Aunque estos cambios son aún leves, podrían intensificarse en el futuro, creando importantes problemas de conservación del suelo y de ecosistemas importantes. Además de los cambios sufridos por la precipitación, se ha producido un aumento de las temperaturas mínimas y una reducción de las máximas, modificando con ello los regímenes térmicos del verano y del invierno. (Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), 2008).

2.3.2. La extinción de las especies y la acción de la conservación

Extinción significa en biología la desaparición de una especie o de un grupo taxonómico superior tal como una familia, un orden, etc. Con ello queda truncada una línea filogenética, es decir, un proceso evolutivo (Baena & Halffter, 2008). La extinción de las especies parece ser la constante inevitable durante todas las eras geológicas, desde que se inició la vida en el planeta. La ocurrencia de este fenómeno se define como la desaparición total de los individuos que conforman una población o linaje, por unidad de tiempo; con una escala impacto que varía desde puntual, (cuando ocurre en un área en particular) a masiva, (cuando cubre varias zonas geográficas del planeta al mismo tiempo) (Castellanos, 2006).

La extinción se presenta cuando una región o todo el planeta experimenta cambios o alteraciones ambientales drásticas frente a los cuales los organismos residentes no son capaces de responder adaptativamente; entre estos cambios se deben mencionar: aumento o disminución de la temperatura global, cambios en el régimen de la pluviosidad, procesos orogénicos como el desplazamiento de las placas y la fragmentación de hábitats, competencia entre las poblaciones por los recursos del ambiente y la llegada de nuevos organismos ante un sistema ecológico totalmente nuevo. Estas extinciones de ocurrencia ordinaria permiten que la selección natural opere y las especies con mejores condiciones físicas, genéticas y de adaptación ecológica, sobrevivan y dejen descendencia, mientras las especies menos favorecidas desaparecen. (Castellanos, 2006).

Sin embargo, en la actualidad lo que preocupa a los biólogos y a la sociedad en general no es en sí la extinción de especies sino el ritmo al cual está ocurriendo, por lo menos cuatro veces superior al existente antes del desarrollo de la sociedad industrial (May & Lawton, 1995), esto está ocurriendo en un lapso de tiempo muy corto y a una velocidad muy acelerada, generando la pérdida permanente de especies. Uno de los aspectos más importantes asociados a la extinción de las especies es la pérdida del hábitat en el cual se pueden mantener sus poblaciones (McNeely, Miller, Reid, & Mittermeier, 1990)

De ahí que, las causas y combinación de factores que llevan a una población a extinguirse: I] tamaños poblacionales pequeños; II] alta variación ambiental o demográfica, y III] tasas de crecimiento poblacional cercanas a cero (o negativas, caso en el cual la extinción está

garantizada en tiempos cortos). Pero el juego de estos factores son los que llevan a una población a extinguirse ya que, por ejemplo, una población puede ser pequeña y sin embargo no extinguirse (Baena & Halffter, 2008). Al mismo tiempo también las actividades humanas que desencadenan la extinción son: la deforestación, la expansión de la frontera agrícola, la conversión de sabanas en tierras de pastoreo, la destrucción de los arrecifes de coral, y la construcción de caminos y represas de agua (Castellanos, 2006).

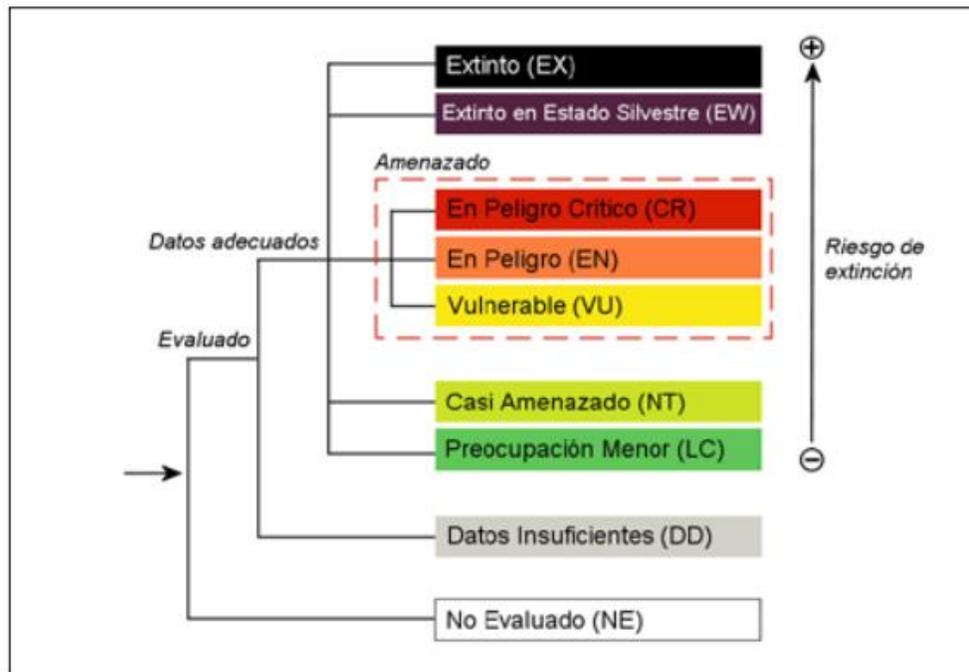
2.3.3. El valor de las listas de especies extintas o en peligro

Se ha propuesto utilizar las llamadas “listas rojas” de especies en peligro, compiladas principalmente por la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) como herramienta para calcular las tasas de extinción (Butchart, y otros, 2004). La primera edición de las Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1 fue publicada en 2001, tras su adopción formal por el Consejo de la UICN en febrero de 2000. Desde entonces ha sido usada como el estándar para las evaluaciones globales de la Lista Roja publicadas en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN. (International Union for Conservation of Nature (IUCN), 2012).

La evaluación de las especies en La Lista Roja de la UICN se genera mediante los conocimientos de especialistas del mundo a lo largo de un proceso de revisión paritaria. Las contribuciones están realizadas por los miembros de la Comisión para la Supervivencia de las Especies de la UICN, las organizaciones colaboradoras y otros expertos. Las herramientas de gestión de la información, llamadas colectivamente Servicio de Información de las Especies (SIS), se han desarrollado para recoger, gestionar, procesar y publicar los datos de La Lista Roja de la UICN. (International Union for Conservation of Nature, 2008).

La extinción es un proceso estocástico. En una categoría de mayor amenaza es de esperar que se extingan un mayor número de taxones, que en una categoría de menor amenaza (en ausencia de actividades efectivas de conservación). Sin embargo, la persistencia de algún taxón de alto riesgo no significa necesariamente que su evaluación inicial fuera incorrecta. Todos los taxones clasificados como En Peligro Crítico cumplen los requisitos de En Peligro y Vulnerable, y todos aquellos clasificados como En Peligro cumplen igualmente los requisitos de Vulnerable. En conjunto, los taxones que se encuentran en estas tres categorías se describen como ‘amenazados’ como se aprecia en la Figura n° 8 (Figura n° 8: Estructura de las categorías (International Union for Conservation of Nature (IUCN), 2012). En estas listas internacionales, se encuentran incluidas unas 1.100 especies chilenas.

Figura n° 8: Estructura de las categorías



Fuente (International Union for Conservation of Nature (IUCN), 2012)

2.3.3.1. Las categorías

Básicamente las categorías de los estados de conservación constan de:

- i. Extinto (EX): Cuando de un taxón no queda ninguna duda razonable de que el último individuo existente ha muerto.
- ii. Extinto en estado silvestre (EW): Cuando sólo sobrevive en cultivo, en cautividad o como población (o poblaciones) naturalizadas completamente fuera de su distribución original.
- iii. En peligro crítico (CR): Cuando la mejor evidencia disponible indica que cumple cualquiera de los criterios “A” a “E” para En Peligro Crítico (véase Tabla n° 1) y, por consiguiente, se considera que se está enfrentando a un riesgo de extinción extremadamente alto en estado de vida silvestre.
- iv. En peligro (EN): Cuando la mejor evidencia disponible indica que cumple cualquiera de los criterios “A” (reducción) a “E” para En Peligro (véase Tabla n° 1) y, por consiguiente, se considera que se está enfrentando a un riesgo de extinción muy alto en estado de vida silvestre.
- v. Vulnerable (VU) Cuando la mejor evidencia disponible indica que cumple cualquiera de los criterios “A” a “E” para Vulnerable (véase Tabla n° 1) y, por consiguiente, se

considera que se está enfrentando a un riesgo de extinción alto en estado de vida silvestre.

- vi. Casi Amenazado (NT) Cuando ha sido evaluado según los criterios y no satisface, actualmente, los criterios para En Peligro Crítico, En Peligro o Vulnerable, pero está próximo a satisfacer los criterios
- vii. Preocupación menor (LC) Cuando, habiendo sido evaluado, no cumple ninguno de los criterios que definen las categorías de En Peligro Crítico, En Peligro, Vulnerable o Casi Amenazado.
- viii. Datos insuficientes (DD) Cuando no hay información adecuada para hacer una evaluación, directa o indirecta.
- ix. No evaluado (NE) Cuando todavía no ha sido clasificado en relación con estos criterios.

Tabla n ° 1: Características de los criterios para las categorías de conservación.

| | |
|----------|---|
| A | Extensión de presencia estimada menor a 100 km ² |
| B | Extensión de presencia estimada menor a 100 km ² o 10 km ² |
| C | Extensión de presencia estimada menor a 100 km ² |
| D | Se estima que el tamaño de la población es menor de 50 individuos maduros |
| E | El análisis cuantitativo muestra que la probabilidad de extinción en estado de vida silvestre es de, al menos, un 50% dentro de 10 años o tres generaciones |

Fuente: Elaboración propia en base a las categorías y criterios de la lista roja DE LA UICN (2012)

2.3.4. Estado de conservación en Chile

Sobre el estado de conservación, no es sino hasta 1971, cuando el botánico Carlos Muñoz Pizarro publica el libro “Chile: Plantas en Extinción”, donde entrega el primer listado de especies chilenas amenazadas (Squeo, y otros, 2010). Por parte del Estado de Chile los esfuerzos comienzan hacia el 1985, con el apoyo de especialistas, para generar listas de especies de plantas y animales con altos a moderados riesgos de extinción en el corto plazo producto de actividades antrópicas. Las siete categorías de amenazas utilizadas para la fauna coinciden con las empleadas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) en 1982; para la flora hubo coincidencia en solo cinco de las categorías utilizadas. En el año 1994, la Ley 19300 de Bases del Medio Ambiente estableció seis categorías de estados de conservación. El Reglamento para la Clasificación de Especies Silvestres, promulgado el 2005, definió estas seis categorías haciendo una combinación entre lo propuesto por la UICN en 2001 y 1982. La generación de este sistema híbrido que no era comparable con el utilizado ampliamente en el mundo, éste restringió severamente la posibilidad de clasificar a las especies con amenaza inferior al nivel de Vulnerable (Squeo, y otros, 2010).

Actualmente según el Decreto 29 “Reglamento para la clasificación de especie silvestres según estado de conservación” promulgado en Julio del 2011, la clasificación se adecua a lo establecido en el artículo 37 de la ley N° 19.300: las categorías de conservación que serán utilizadas para la clasificación de plantas, algas, hongos y animales silvestres son las recomendadas por la UICN y corresponden a: Extinta, Extinta en Estado Silvestre, En Peligro Crítico, En Peligro, Vulnerable, Casi Amenazada, Preocupación Menor y Datos insuficientes (Ministerio del Medio Ambiente, 2012).

2.3.4.1. Áreas protegidas

I. En Perú

El Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado - SERNANP, es un Organismo Público Técnico Especializado adscrito al Ministerio del Ambiente, a través del Decreto Legislativo 1013 del 14 de mayo de 2008, y es el encargado de dirigir y establecer los criterios técnicos y administrativos para la conservación de las Áreas Naturales Protegidas de Perú, y de cautelar el mantenimiento de la diversidad biológica. El SERNANP es el ente rector del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado – SINANPE, y en su calidad de autoridad técnico-normativa realiza su trabajo en coordinación con gobiernos regionales, locales y propietarios de predios reconocidos como áreas de conservación privada (Geoidep, 2019). El primer Parque Nacional de Perú fue establecido en 1961 mediante Ley del Congreso de la República. Desde esa fecha se han establecido 63 áreas protegidas de nivel nacional, 4 de nivel regional o departamental y 16 áreas de conservación privadas que en su conjunto conforman el SINANPE. El SINANPE cubre cerca de 20 millones de hectáreas que equivalen casi al 15 por ciento del territorio nacional (Solano, 2009)

II. En Bolivia

El Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) de Bolivia fue establecido en 1992, mediante la Ley de Medio Ambiente N° 1333, como el conjunto de las áreas protegidas de diferentes categorías que, a través de su protección y manejo, contribuyen al logro de los objetivos de conservación. Esto luego del resultado de intensos procesos de construcción, negociación y aprendizaje entre Estado, comunidades campesinas, pueblos indígenas, gobiernos municipales y otros actores locales, cooperantes externos y de la sociedad civil ambientalista (SERNAP, 2007). Las AP se comprenden de 123 áreas (22 de carácter nacional, 23 de carácter departamental y 78 áreas municipales), que representan aproximadamente el 20% del territorio nacional, divididas en 5 categorías, las cuales definen las formas y grados de usos de los recursos naturales en las áreas protegidas, y son : a) Parque ; b) Santuario ; c) Monumento Natural, están orientadas a la protección estricta y preservación de las riquezas, mientras que d) Reserva de Vida Silvestre; e) Área natural de manejo integrado , permiten un manejo sostenible, de los recursos naturales bajo ciertas condiciones normativas y técnicas (Morales B, 1996).

La mayor parte de las áreas protegidas nacionales se encuentran habitadas por comunidades indígenas, y 44 tierras comunitarias están relacionadas con su gestión. El desarrollo de las áreas protegidas de Bolivia son un gran aporte al reconocimiento de los derechos de los pueblos indígenas y originarios de preservar su identidad cultural, conocimientos y tradiciones, instituciones propias y espacios territoriales (Wildlife Conservation Society, 2020).

III. En Argentina

El sistema nacional de áreas protegidas de Argentina se encuentra regulado por la Ley Orgánica de Parques Nacionales, Reservas Nacionales y Monumentos Naturales N° 22351 desde el año 1980. Actualmente en Argentina existen 492 áreas protegidas registradas que integran el Sistema de Federal de Áreas Protegidas, representan el 12,80% del territorio nacional continental. Las áreas que integran el SIFAP fueron inscriptas por la autoridad competente –nacional o provincial–. Incluyen 57 de jurisdicción nacional bajo la Administración de Parques Nacionales, 432 reconocidas por las provincias y sometidas a algún tipo de gestión provincial, municipal, universitaria, privada o de gestión mixta, con respaldo normativo provincial o municipal de creación, y tres áreas marinas protegidas Namuncurá-Banco Burwood, Banco Burwood II y Yaganes, creadas en el marco del Sistema Nacional de Áreas Marinas Protegidas (SNAMP) establecido por Ley N.º 27037 (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2018).

IV. En Chile

La conservación de la biodiversidad depende tanto del marco regulatorio como político. Una de las modalidades más usadas a nivel mundial para proteger la biodiversidad ha sido la conservación in situ. De acuerdo con el Artículo 2º del Convenio de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica, por “conservación in situ”, se entiende la conservación de los ecosistemas y los hábitats naturales y el mantenimiento y recuperación de poblaciones viables de especies en sus entornos

naturales y, en el caso de las especies domesticadas y cultivadas, en los entornos en que hayan desarrollado sus propiedades específicas. Mundialmente la forma más común de conservación in situ ha sido el establecimiento de áreas protegidas. De este modo, las áreas protegidas contienen ecosistemas terrestres y/o marinos en donde se conserva por tiempo indefinido la diversidad biológica y otros recursos naturales, al igual que las características culturales asociadas a ellos. Geográficamente definidas y legalmente designadas, en las áreas protegidas se aplican diferentes grados de aislamiento a los ecosistemas y poblaciones que conservan (Ministerio de Medio Ambiente, 2011)

La historia de las áreas protegidas en Chile comienza en 1907, con la creación de la primera reserva forestal del país. Este hito ubica a Chile como país pionero en la creación de áreas protegidas en América Latina. En 1925 fue creado el primer parque nacional de turismo. Años más tarde, a partir de 1973, se fueron creando también santuarios de la naturaleza y desde 1982 monumentos naturales y reservas nacionales (Folchi, 2016). Estas áreas están protegidas por el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado, administrado por la Corporación Nacional Forestal, CONAF. El Sistema tiene en la actualidad 101 unidades, distribuidas en 36 Parques Nacionales, 49 Reservas Nacionales y 16 Monumentos Naturales. Estas unidades cubren una superficie aproximada de 14,5 millones de hectáreas, el 19,2% del territorio continental de Chile. En un principio la protección de estas áreas respondía a una intención agrícola y forestal, pero finalmente este propósito se ha cambiado al de conservar la diversidad biológica representativas de todos los ecosistemas del país (Corporación Nacional Forestal, 2018).

La Corporación Nacional Forestal describe las definiciones de cada categoría de área protegida del SNASPE según la Ley 18.362, y para Santuarios de la Naturaleza según la Ley 17.288 (Corporación Nacional Forestal, 2017):

- I. Parque Nacional: área generalmente extensa, donde existen diversos ambientes únicos o representativos de la diversidad ecológica natural del país, no alterados significativamente por la acción humana, capaces de auto perpetuarse, y en que las especies de flora y fauna o las formaciones geológicas son de especial interés educativo, científico o recreativo. Los objetivos de esta categoría de manejo son la preservación de muestras de ambientes naturales, de rasgos culturales y escénicos asociados a ellos; la continuidad de los procesos evolutivos y, en la medida compatible con lo anterior, la realización de actividades de educación, investigación o recreación.
- II. Reserva Nacional: área cuyos recursos naturales es necesario conservar y utilizar con especial cuidado, por la susceptibilidad de éstos a sufrir degradación o por su importancia relevante en el resguardo del bienestar de la comunidad. Son objetivos de esta categoría de manejo la conservación y protección del recurso suelo y de las especies amenazadas de fauna y flora silvestres, la mantención o mejoramiento de la producción hídrica, y el desarrollo y aplicación de tecnologías de aprovechamiento.
- III. Monumento Natural: área generalmente reducida, caracterizada por la presencia de especies nativas de flora y fauna o por la existencia de sitios geológicos relevantes desde el punto de vista escénico, cultural, educativo o científico. El objetivo de esta

categoría de manejo es la preservación de muestras de ambientes naturales y de rasgos culturales y escénicos asociados a ellos, y, en la medida compatible con esto, la realización de actividades de educación, investigación o recreación.

- IV. Santuario de la Naturaleza: son sitios terrestres o marinos que ofrezcan posibilidades especiales para estudios e investigaciones geológicas, paleontológicas, zoológicas, botánicas o de ecología, o que posean formaciones naturales, cuya conservación sea de interés para la ciencia o para el Estado”.

2.4. Nicho ecológico

2.4.1. El surgimiento del concepto de nicho ecológico

Los primeros acercamientos al concepto de nicho ecológico son desde la geobotánica, en la cual se sistematizó el conocimiento de la distribución de las especies vegetales y su relación con el clima (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a). Pero el concepto de nicho ecológico surgió en un principio del siglo XX desde la ecología, ampliando fuera del ámbito de la botánica la relación entre los seres vivos y los factores abióticos (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a), con Johnson, Grinnell y Elton en donde bosquejaron definiciones de nicho un tanto difusas como una generalización empírica a partir de la detección de consistencias o analogías en las distribuciones geográficas, las “formas de vida” y las relaciones tróficas de las especies, pero durante sus primeros cuarenta años el concepto fue confuso y vago debido a las diferentes interpretaciones y definiciones que se tenía sobre él (Eliosa, Nieto, & Navarro, 2010). Hasta que Hutchinson (1957), propuso la concepción de nicho más utilizada, en la cual se refiere a nicho como multidimensional, en donde se encuentran las condiciones ambientales (factores) en las cuales la especie puede sobrevivir décadas, esta definición es además clave en la conceptualización de los modelos de distribución de especies, ya que permite relacionar directamente el espacio geográfico con la noción de espacio multidimensional de n variables, donde una especie se encuentra habitando o potencialmente lo podría hacer (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a).

Y desde ahí la idea de nicho creció en un ámbito fuertemente teórico y fue mutando para encontrar la forma más conveniente de establecer esas relaciones con otros conceptos relevantes (Milesi & Lopez, 2005).

2.4.2. El “nicho” según Johnson, Grinnell, Elton y Huitchinson

En 1910, Roswell Johnson es el primero en utilizar el término “nicho” en el sentido de los lugares ocupados por una especie según su entorno (Pocheville, 2015), este entorno entendiéndolo como la unidad de distribución determinada primariamente por el suministro de alimento y por factores ambientales (Eliosa, Nieto, & Navarro, 2010). Además, toma

importancia a la teoría Darwiniana, en la cual las especies deben ocupar diferentes nichos en una misma región por la existencia de competencia (Pocheville, 2015).

Entre 1914 y 1920 Joseph Grinnell es el primero en utilizar el término “nicho” relacionado a el lugar que ocupa una especie en el ambiente, y también en insertar el concepto de nicho en un programa de investigación. Su importancia radica en que abordó la influencia del medio ambiente sobre la distribución de las poblaciones y su evolución, siguiendo las tradiciones de la biogeografía, la sistemática y la evolución Darwiniana (Pocheville, 2015). Según Grinnell el término nicho abarcaba todas las condiciones que permitían la existencia de una especie incluidos los factores abióticos , como la temperatura, humedad , precipitación (Pocheville, 2015), pero este concepto está basado en variables por las que las especies no compiten (Sillero, Barbosa, Martínez-Freiría, & Real, 2010) además define lo que sería aparentemente el microhábitat en cuyo seno cada especie es mantenida por limitaciones estructurales e instintivas (Milesi & Lopez, 2005; Eliosa, Nieto, & Navarro, 2010).

En 1927 Elton se refiere al nicho ecológico como el lugar de los animales dentro de su comunidad, su relación con el alimento y sus enemigos, y en cierta dimensión con otros factores (Eliosa, Nieto, & Navarro, 2010), haciendo hincapié en el papel funcional que cumple una especie en una comunidad, en especial su posición en la cadena alimentaria, en función de variables que pueden ser consumidas por las especies (Milesi & Lopez, 2005; Sillero, Barbosa, Martínez-Freiría, & Real, 2010).

En definitiva, la formalización del concepto de nicho ecológico, integrando las ideas precedentes y las propias de G. Evelyn Hutchinson en 1957 para referirse al conjunto de condiciones bióticas y abióticas en las cuales las especies pueden mantener estables sus poblaciones, haciendo una distinción entre nicho fundamental y nicho realizado (Eliosa, Nieto, & Navarro, 2010). Además, se refiere a nicho como un hipervolumen multidimensional, en donde se encuentran las condiciones ambientales factores en las cuales la especie puede sobrevivir; el nicho involucra a todos los recursos presentes del ambiente y como se relaciona con las adaptaciones de los organismos que lo habitan (Milesi & López, 2005; Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011).

El nicho fundamental mencionado por Hutchinson tiene que ver con el conjunto de condiciones abióticas (temperatura, humedad, pH y altitud), en las cuales las especies pueden mantener su existencia, que permitan que una población tenga tasas de crecimiento positivas en ausencia de competencia, depredación o enfermedades (Soberón & Miller, 2009; Eliosa, Nieto, & Navarro, 2010; Pocheville, 2015). También se puede distinguir a el nicho existente el cual es la porción del nicho fundamental que realmente existe en algún lugar de la región de estudio en el momento del análisis (Peterson T. , y otros, 2011). Y el nicho realizado trata de las condiciones bióticas que limitan su distribución en la naturaleza, es decir, las que dependen de la competencia, depredación, parasitismo (Eliosa, Nieto, & Navarro, 2010; Pocheville, 2015), es decir la porción del nicho fundamental donde la presencia de otras especies no excluye a la especie focal. Operacionalmente esta definición es muy complicada ya que las variables relacionadas con las interacciones bióticas

difícilmente pueden ser representadas como números, ya que son dinámicas (Soberón & Miller, Evolución de los nichos ecológicos, 2009).

El concepto de Hutchinson: la gama de estados ambientales que permite la existencia específica de una especie, fue complementado por los aportes de R. H. MacArthur y de R. Levins, aquel que estaba enfocado en los individuos y en cómo se distribuyen y utilizaban los recursos las distintas especies (Milesi & Lopez, 2005; Pocheville, 2015). Finalmente, la teoría del nicho ecológico dicta que cada especie utiliza una región del espacio medio ambiental que le es propia y característica, ya que, como resultado de la competencia, las especies desplazan evolutivamente sus nichos tomando posesión de algunos tipos particulares de recursos, en los que cada una tiene ventajas sobre sus competidores. Si dos especies superpusieran estrictamente sus nichos, una de ellas sería excluida por competencia. Se enfatiza así una relación biunívoca entre nicho y especie (Marone, 1988).

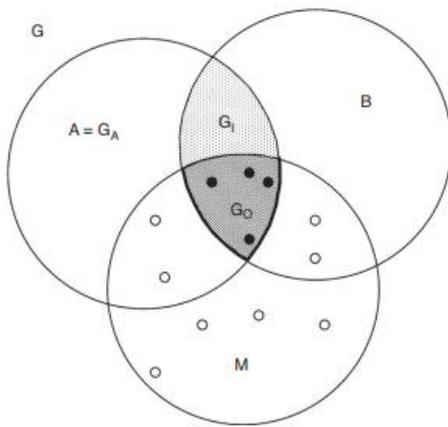
2.4.3 Diagrama BAM (Biotic- Abiotic- Mobility): Del nicho a la geografía

Un esquema heurístico útil para analizar la interacción entre Movimientos, ambientes bióticos y abióticos es el Diagrama BAM, en donde las regiones representan una vista estática de un modelo de multivariantes complicado, espacialmente explícito, pero su simplicidad es útil para discutir varios problemas conceptuales (Soberón & Nakamura, 2009).

El área de distribución de una especie es una expresión compleja por su ecología e historia evolutiva, ésta es determinada por diversos factores que operan con diferentes intensidades y a diferentes escalas. Son cuatro las clases de factores que determinan las áreas en las que se encuentran las especies (Pearson y Dawson 2003), pero en el diagrama BAM se representan tres y las combinaciones de estos. Estos factores se encuentran dentro de G, el cual representa a el espacio geográfico, en el cual se pueden considerar varias áreas de distribución diferentes, Los puntos rellenos representan observaciones de poblaciones «fuente», denotadas por G+ y que por ser observaciones dependen de la calidad del muestreo y los círculos abiertos son poblaciones «sumidero» (sin condiciones bióticas o abióticas apropiadas). Cualquier algoritmo correlativo trabaja sobre estos puntos, abiertos y llenos (Soberón, Peterson, & Osorio-Olvera, 2017). Los conceptos de A, B Y M se encuentran ilustrados en la Figura n° 9 en donde:

- A. Condiciones abióticas, scenopoéticas o no dinámicas (Soberón & Nakamura, 2009): son los que incluyen los aspectos del clima, el entorno físico, las

Figura n° 9 Diagrama BAM



Fuente: Soberón & Nakamura (2009). Niches and distributional areas: Concepts, methods, and assumptions.

condiciones edáficas, etc., que imponen límites fisiológicos a la capacidad de las especies para persistir en un área. Esencialmente es el conjunto de áreas que cumplen con las condiciones del nicho fundamental NF o sea es el Nicho existente (Peterson & Soberón, 2012).

B. Factores bióticos: Son el conjunto de interacciones con otras especies. Las cuales modifican la capacidad para mantener sus poblaciones en áreas determinadas. Estas interacciones pueden ser positivas (mutualistas como dispersores de semillas, polinizadores, etc) o negativas (competidores, depredadores, enfermedades).

C. Movilidad: Corresponde a las regiones que son accesibles a la dispersión

o colonización por la especie en un intervalo de tiempo relevante. (Soberón & Nakamura, 2009). Este factor es extremadamente útil para distinguir una distribución potencial de la especie.

Estos factores interactúan dinámicamente y con diferentes fortalezas a diferentes escalas para producir la entidad compleja y fluida que llamamos distribución geográfica de una especie, además es importante considerar la capacidad evolutiva (4 factor) de las poblaciones de la especie para adaptarse a las nuevas condiciones, este factor reservado a partir de análisis o supuestos (Soberón & Peterson, 2005).

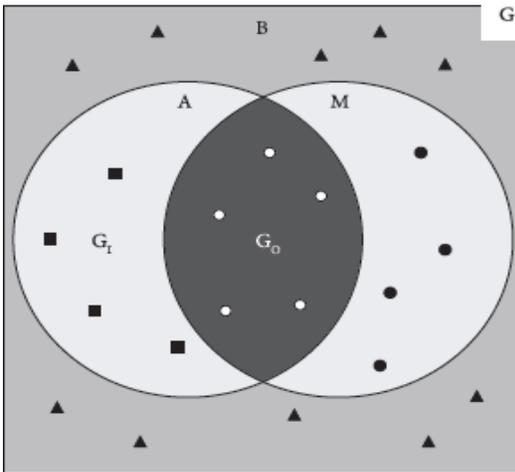
La zona denotada por G_1 es la que corresponde a las partes actualmente inaccesibles del área de distribución potencial, por lo tanto, inviables. Y el área G_0 , el área que cumple las condiciones del nicho realizado NR, representa el área realmente ocupada, es la intersección de favorabilidad biótica y abiótica, y de accesibilidad histórica. La especie puede ser observada/recolectada en esa región. Además el área común en A y M, representa el nicho mencionado de Grinnell; el espacio común de A y B, representa el nicho de Elton (NE); y toda el área de A es el nicho fundamental de Hutchinson (Sillero, Barbosa, Martínez-Freiría, & Real, 2010; Peterson & Soberón, 2012; Soberón, Peterson, & Osorio-Olvera (2017).

2.4.3.1 Factor a diferentes escalas

No obstante, Pearson y Dawson (2003) aseguran que dependiendo de la escala a trabajar son las variables que se deben utilizar. Por consecuencia a una escala continental, el clima puede considerarse el factor dominante, mientras que a escalas más locales los factores

que incluyen la topografía y el tipo de cobertura terrestre se vuelven cada vez más importantes. Más abajo en la jerarquía, si se satisfacen las condiciones en niveles más altos, los factores que incluyen las interacciones bióticas y el microclima pueden volverse significativos.

Figura n° 10: Configuración del diagrama BAM



Fuente: Peterson & Soberón (2012). *Species Distribution Modeling and Ecological Niche Modeling: Getting the Concepts Right*.

En tal sentido, Peterson y Soberón (2012) sugieren una configuración a el diagrama BAM antes mencionado (vease Figura n° 10), el cual puede ser más relevante para preguntas geográficas a gran escala sobre las distribuciones geográficas de las especies, como en el caso de este trabajo. Es decir, como sostiene Soberón (2008) las consideraciones bióticas con frecuencia pueden ser difusas y no limitativas, o pueden manifestarse en resoluciones espaciales tan finas como para ser anidadas dentro de los fenómenos de resolución gruesa que son el foco en general y también en este trabajo. En este diagrama modificado al igual que el BAM clasico el círculo A representa las partes del mundo que contienen las condiciones abióticas requeridas para una especie supervivencia y crecimiento, el círculo M representa la región que ha sido accesible a la especie durante un período de tiempo relevante.

La intersección de estas dos regiones es el área ocupada G_0 ; G_1 tiene el conjunto correcto de condiciones ambientales, pero no ha sido explorado por la especie; los círculos abiertos representan datos de presencia; los círculos cerrados indican ausencias debido a un ambiente incorrecto; los cuadrados cerrados indican ausencias debido a la falta de capacidad de dispersión (Peterson & Soberón, 2012).

Finalmente Peterson y Soberón (2012) sintetizan en que los pasos iniciales se llevan a cabo en el espacio geográfico (presencias de especies y variables ambientales), el modelo se ajusta en el espacio ambiental (nicho fundamental) y los resultados del modelo se visualizan generalmente en el espacio geográfico (nicho existente o áreas potenciales).

2.5. Modelo de distribución de especies

2.5.1. Primeras aproximaciones

Un modelo es concebido como una representación posible del mundo físico o real que refleja algunas de sus propiedades (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2011). En general, un modelo representa la situación real de manera incompleta, aproximada e inexacta, pero es más simple que ella (Concari, 2001).

En el mundo de la cartografía, los modelos de distribución de especies (MDE) son mapas donde la propiedad representada es la idoneidad de cada lugar para que una especie pueda estar presente, en función de las variables empleadas para generar dicha representación (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2011). El concepto de idoneidad representa lo adecuado o inadecuado que es un lugar para satisfacer las necesidades o requerimientos de una especie, es la relación matemática o estadística entre la distribución real dependiente conocida y un conjunto de variables independientes que se usan como indicadores, estas variables suelen ser climáticas, geológicas, biológicas o topográficas, y se espera que con algunas de ellas (individualmente o en combinación), se puedan definir los factores ambientales que delimiten las condiciones favorables para la presencia de la especie (Guisan & Zimmermann, 2000). Desde el punto de vista biológico pueden ser la temperatura, precipitación, sustrato geológico y, en general, cualquier variable ambiental (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2012). La expresión de esta idoneidad del hábitat puede ser binaria, otorgando valor 1 a áreas idóneas y 0 a áreas no idóneas, o continua, según un rango de valores que clasifican el territorio de menor a mayor grado de idoneidad. (Benito & Peñas, 2007).

La selección de las variables que definen a los nichos ecológicos pueden ser bióticas y/o abióticas, según Mateo et al., (2011) las relaciones entre los organismos y medios abióticos son unas de las principales causas de los patrones de distribución de especies, pero también que ésta varía según la escala a utilizar como ya se mencionó anteriormente. Si se utiliza escalas espaciales amplias, de kilómetros, la distribución de los organismos sea descrita razonablemente bien por factores climáticos, mientras que, a escalas menores, cientos de metros o metros, es probable que la distribución responda a factores como la distribución de recursos y variaciones micro-topográficas en las condiciones ambientales. Por lo tanto, la extensión espacial y la escala del trabajo condicionan la selección de variables independientes a incluir en la modelización.

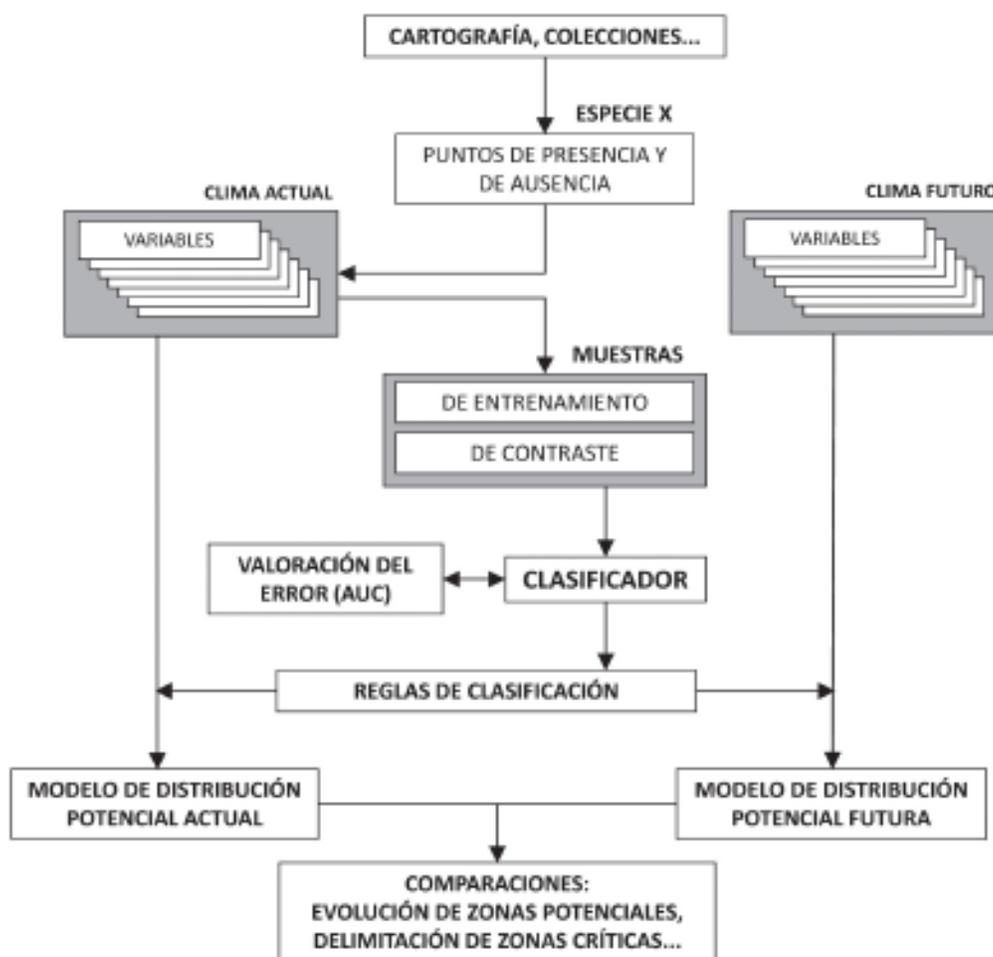
2.5.2. Pasos a seguir para modelar

La construcción de modelos de distribución de especies se realiza en una serie de pasos cada uno de los cuales presenta múltiples alternativas de ejecución que influyen en la calidad del resultado final (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2011), éstos se verán en el siguiente capítulo pero a continuación se verán de manera general (véase en Figura nº 11).

Se utilizan dos tipos de fuentes de información: los datos de las presencias/ausencia de las especies y además las variables descriptoras que definirán el espacio ambiental y donde se distribuirá en el espacio geográfico. La técnica de modelación establecerá una relación entre la posición geográfica de la información de la presencia o ausencia y el rango de valores del conjunto de variables donde se ubican estos puntos, los cuales caracterizarán el ambiente en el cual se encuentran las especies (Plischoff & Fuentes-Castillo, 2011a). El nicho ambiental inferido a partir de las presencias actuales de la especie puede ser generalizado a todo el territorio incluyendo zonas donde la presencia o ausencia de la especie es desconocida generando así el modelo o mapa de distribución potencial, ya que, simplemente la relación matemática o estadística obtenida se extrapola al resto del área de estudio y se obtiene un valor en cada lugar, que nos indica la similitud ambiental con las

zonas de presencia actual de la especie. Es posible que el modelo delimite zonas potenciales muy alejadas geográficamente de las actuales; la probabilidad de encontrar la especie en ellas no es a priori alta, aunque potencialmente las condiciones ambientales fueran favorables (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, (2011); Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2012).

Figura n° 11: Esquema de flujo de trabajo para la realización y validación de modelos de distribución de especies.



Fuente: Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2011. Modelos de distribución de especies: una revisión sintética. Revista chilena de Historia Natural, p.219.

I. Variables dependientes o datos de presencias/ausencias

Las variables dependientes son las presencias constatadas del organismo (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2012). La forma más básica de obtener los datos de presencia es

generando la información en terreno mediante GPS u otros tipos de herramienta de adquisición de datos, o recurriendo a las fuentes directas de información de especies, como son los museos o herbarios (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a).

También, cada día son más accesibles vía Internet como lo son las páginas web de Global Biodiversity Information Facility, European Register of Marine Species, Tropicos, entre otros; en estos se recopila la información de colectas para todo tipo de organismos, desde diferentes fuentes como museos, herbarios, estudios, entre otros (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2011). Lógicamente los datos no deben ser aceptados sin más, sino que hay que someterlos a revisiones para eliminar, al menos, los errores groseros en las coordenadas debidos a fallos de tecleo o de interpretación (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2012). Además, se estima que para que estas variables dependientes generen modelos estadísticamente robustos deben de por lo menos ser 30 datos de presencias (Wisz, Hijmans, Peterson, Graham, & Guisan, 2008).

II. Variables Independientes

Además de las variables dependientes se necesita es información sobre las variables ambientales o independientes, ya que son las que pueden condicionar dicha distribución (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2012). El elegir un número de variables adecuado y que releven la información más importante de la entidad natural analizada, es quizás el paso más crítico en el proceso de los modelos de distribución. El resultado final está completamente determinado por esta elección. Las variables que se deben utilizar dependen del tipo de especie que se esté analizando y de los objetivos que busca la identificación y caracterización del espacio ambiental donde se distribuye. (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a). Asimismo las variables más utilizadas comúnmente son las (1) climáticas (bioclimáticas) y las (2) topo-edáficas; también las variables de (3) elevación y sus derivados, variables obtenidas mediante (4) teledetección (índices de vegetación, temperatura en superficie o clasificaciones de cubierta de suelo), o variables de (5) tipo demográfico (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2012). las primeras son las más utilizadas por la facilidad de su obtención, ya que existen bases de datos globales de alta resolución (~1 km²) de libre acceso y uso. Una de las estrategias de selección más utilizadas es trabajar con un set de variables bioclimáticas predefinidas, como es el caso de las 19 variables bioclimáticas disponibles en la base de datos global de superficies climáticas Worldclim (Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvis, 2005 en Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011).

III. Predicción y proyección espacial frente a cambios climáticos

El paso final en la generación de un modelo de distribución es la proyección en el espacio geográfico del modelo que ha sido calibrado y evaluado. En este paso los valores continuos de probabilidad, o los valores binarios obtenidos de un umbral, son transferidos al espacio geográfico, por lo que se pueden representar en forma cartográfica (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a).

Además de la representación actual de los nichos ecológicos, también se pueden considerar otros factores de análisis como el cambio climático. Dado que la diversidad de

climas se puede ver alterada, de tal forma que puede modificar la composición de los ecosistemas (Lasco, Pulhin, Sánchez, Villamor, & Villegas, 2008), y por ende el área de distribución de las especies en ocasiones puede verse afectada, en respuesta del incremento de alrededor de 0.7 °C en la temperatura del último siglo (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007).

Los modelos de distribución se han transformado en una herramienta esencial para la evaluación del efecto de cambio climático sobre las especies y ecosistemas, ya que, si bien se pueden proyectar en el espacio actual, utilizando variables descriptoras actuales, también se puede proyectar en el futuro o incluso en el pasado, utilizando variables descriptoras que correspondan a los tiempos que se quieran analizar. En la actualidad el enfoque más común de los trabajos de modelos de distribución involucra la proyección actual de la entidad natural analizada y su posterior proyección bajo un escenario de cambio climático (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a), como se verá también en esta investigación.

2.5.3. Modelos con proyección de cambio climático

I. Modelos climáticos globales (GCM)

La complejidad del sistema climático impide la simple extrapolación de tendencias pasadas al futuro o el uso de técnicas estadísticas o puramente empíricas. Para simular la evolución del sistema climático ha sido necesario desarrollar complejos modelos numéricos, denominados modelos climáticos globales, los que permiten simular la respuesta del clima a diferentes escenarios futuros de emisión y, así, estimar el cambio futuro del sistema con cierta confianza.

Gutierrez & Pons (2006) los definen como “modelos numéricos son una representación matemática simplificada de los procesos que tienen lugar entre los distintos componentes del sistema climático: atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y biosfera. Entre ellos se producen enormes intercambios de materia, calor y momento, e incesantes interacciones mediante multitud de procesos físicos, químicos y biológicos, lo que hace que el sistema sea enormemente complejo. Las dos componentes principales del sistema climático son la atmósfera y el océano por lo que los modelos climáticos son generalmente modelos de circulación general atmósfera-océano”.

Los GCM se basan en leyes de la física representadas por ecuaciones matemáticas, son un complejo sistema no-lineal de ecuaciones diferenciales que no tiene solución analítica y, por tanto, se resuelve de forma aproximada aplicando técnicas numéricas que requieren dividir el espacio ocupado por la atmósfera y el océano en celdillas tridimensionales. A partir de unos valores iniciales, en cada celdilla se resuelven las ecuaciones para cada variable, condicionándola a estas distintas formulaciones y/o métodos de resolución de las ecuaciones que describen la dinámica de la atmósfera y océano, los esquemas numéricos, las parametrizaciones de procesos físicos, las resoluciones espaciales y temporales empleadas, la interacción de subsistemas como los usos del suelo, etc. Obteniendo así su evolución temporal (Pérez, Menéndez, & Méndez, 2012; y Gutiérrez & Pons, 2006).

Los modelos ocupados actualmente están sujetos a la fase 5 de la intercomparación de modelos acoplados El proyecto (CMIP5) es un protocolo experimental estándar para estudiar la salida de la atmósfera oceánica acoplada en general modelos de circulación (GCM). Proporciona una comunidad infraestructura en apoyo del diagnóstico, validación, documentación y acceso a datos del modelo climático. Esta mejora la comprensión del clima, y además proporciona estimaciones del clima futuro y por lo tanto, ser útil para aquellos que consideran posible consecuencias y el efecto de las estrategias de mitigación (Jones, y otros, 2011).

En este sentido, se utilizan para la presente memoria dos Modelos Globales Climáticos, HadGEM2-ES y BCC-CSM1-1. En donde HadGEM2-ES, es un modelo británico que incluye una configuración acoplada atmosfera-océano y una estratosfera bien resuelta. Al mismo tiempo cuenta con una configuración *Earth-System* que incluye vegetación dinámica, biología oceánica y química atmosférica, así como erupciones volcánicas y gases de efecto invernadero. El protocolo experimental del modelo implica realizar una simulación histórica (definida para HadGEM2-ES como 1860 a 2005) utilizando el registro histórico de factores de forzamiento climático como gases de efecto invernadero, aerosoles y forzamientos naturales como el solar y cambios volcánicos. Luego se usa el estado del modelo en 2005 como condición inicial para las 4 simulaciones futuras de Trayectorias de Concentración Representativas (RCP sigla en inglés) (Jones, & otros, 2011; y Macía, 2016).

Este modelo es usado por una gran cantidad de instituciones en todo el mundo para la predicción el tiempo y para la investigación sobre el clima, y demás según una investigación realizada por Cofré & Beyá (2016), demostró ser uno con los mejores ajustes para el Norte de Chile.

Por otro lado, el modelo BCC-CSM1-1 es la versión 1.1 del Modelo de Sistema Climático del Centro Climático de Beijing (BCC_CSM1.1) desarrollado en el Centro Climático de Beijing (BCC), administración Meteorológica de China. Es un modelo climático-carbono global totalmente acoplado que incluye vegetación interactiva y ciclo global del carbono, en el que el componente atmosférico BCC_AGCM2.1, el componente oceánico MOM4-L40, el componente terrestre BCC_AVIM1.0 y el componente de hielo marino SIS están completamente acoplados e interactúan con entre sí a través de flujos de impulso, energía, agua y carbono en sus interfaces. También este modelo ha participado en la quinta fase del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP5) y realizó la mayoría de los experimentos de CMIP5 (Beijing Climate Center, 2019).

II. Trayectorias de concentración representativas (RCP)

En todos los escenarios de emisiones evaluados, las proyecciones señalan que la temperatura en superficie continuará aumentando a lo largo del siglo XXI. Es muy probable

que las olas de calor ocurran con mayor frecuencia y duren más, y que los episodios de precipitación extrema sean más intensos y frecuentes en muchas regiones. El océano se seguirá calentando y acidificando, y el nivel medio global del mar continuará elevándose (IPCC,2014).

Las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero (GEI) dependen principalmente de factores demografía, diferentes combinaciones de futuros económicos, el estilo de vida, el uso de la energía, los patrones de uso del suelo, la tecnología, la política climática, etc. Las RCP, que complementan a los actuales GCM se utilizan para hacer proyecciones basadas en los factores recién mencionados, estos describen cuatro trayectorias distintas en el siglo XXI de las emisiones y las concentraciones atmosféricas de GEI, las emisiones de contaminantes atmosféricos y el uso del suelo. La palabra representativa significa que cada trayectoria de representación ofrece uno de los muchos posibles escenarios que conducirían a las características específicas de forzamiento radiativo. La palabra trayectoria hace hincapié en que únicamente son de interés los niveles de concentración a largo plazo, pero también indica el camino seguido a lo largo del tiempo para llegar al resultado en cuestión. (Moss, y otros ,2010; y Banco Interamericano de Desarrollo BID, 2019).

Dichas trayectorias constan de un escenario de mitigación estricto (RCP2,6), dos escenarios intermedios (RCP4,5 y RCP6,0), y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP8,5). Los escenarios sin esfuerzos adicionales para limitar las emisiones ('escenarios de referencia') dan lugar a trayectorias que se sitúan entre RCP6,0 y RCP8,5. Mientras que el RCP2,6 representa un escenario que tiene por objetivo mantener el calentamiento global a menos de 2 °C por encima de las temperaturas preindustriales (IPCC, 2014; y Moss, y otros, 2010).

Riahi, y otros (2011); Amblar, Casado, Pastor, Ramos, & Rodríguez (2017); IPCC (2018); y IPCC (2019) los describen de la siguiente manera:

- I. RCP2,6 es la trayectoria en la que el forzamiento radiativo alcanza el valor máximo a aproximadamente 3 W m⁻² antes de 2100 y posteriormente disminuye, representando un escenario de mitigación, la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que sean constantes las emisiones después de 2100.
- II. Los RCP4,5 y RCP6,0 trayectorias de estabilización intermedias en las cuales el forzamiento radiativo se estabiliza a aproximadamente 4,5 W m⁻² y 6 W m⁻² después de 2100, la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que sean constantes las concentraciones después de 2150.
- III. Los RCP8,5 corresponde a un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases efecto invernadero, para la cual el forzamiento radiativo alcanza valores superiores a 8,5 W m⁻² en 2100 y sigue aumentando durante un tiempo, la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que sean constantes las emisiones después de 2100 y sean constantes las concentraciones después de 2250. los RCP8.5 combina supuestos sobre la alta población y el crecimiento relativamente lento de los ingresos con tasas modestas de cambio

tecnológico y mejoras en la intensidad energética, lo que lleva a largo plazo a una alta demanda de energía y emisiones de GEI en ausencia de políticas de cambio climático (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014).

2.5.4. Técnicas de modelación

Los modelos de distribución de especies pueden generarse, en principio, con cualquier clasificador estadístico apropiado para el tipo de variable a modelar, dicotómica si tenemos datos de presencia/ausencia y continua si son datos de abundancia (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2010). Una de las revisiones más completa de los métodos disponibles es de Elith et al. (2006) donde se mencionan las ventajas y problemas de cada método. Las cuales se diferencian en tres grupos.

El primer grupo trata de las técnicas descriptivas, las cuales solo requieren datos de presencia, fueron las primeras utilizadas en modelización: (1) deductivas, como la opinión del experto, (2) envueltas geográficas (3) envueltas ambientales, como BIOCLIM (4) métodos de distancias matemáticas, (5) Expectation-Maximization Algorithm (Mateo, et al., 2011). El segundo grupo trata de las técnicas discriminantes, las cuales son las que necesitan datos de presencia y ausencia para poder construir el clasificador, se pueden subdividir en (1) árboles de clasificación, (2) técnicas de ordenación, (3) redes neuronales (4) multivariate adaptive regression splines (5) modelos lineales generalizados, (6) modelos aditivos generalizados (7) regresión por cuantiles (8) estadística bayesiana y (9) máxima entropía, entre los que destaca Maxent, el cual genera sus propias ausencias, denominadas "background" por lo que no es necesario introducir datos de ausencia en el programa (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2011). Y el tercer grupo trata de las *Técnicas mixtas*, en este caso en los métodos se emplean varias reglas, algunas de ellas descriptivas y otras discriminantes, a la vez que generan sus propias pseudoausencias; son los mejor y más ampliamente conocidos. A partir de los modelos individuales obtenidos con diferentes métodos se pueden generar "modelos de consenso", en los que el modelo final indica el grado de coincidencia entre varios modelos (Araújo & New, 2007).

Por otra parte, Pliscoff & Fuentes-Castillo (2011a) distinguen cinco grandes familias de técnicas de modelación de distribución geográfica de especies: las relacionadas a modelos estadísticos de regresiones, Modelos Aditivos Generalizados, los métodos de clasificación, Boosted regresión trees, los métodos de "sobre", aquellos basados en algoritmos específicos, y ensamble de técnicas.

1. Modelos estadísticos de regresiones

Los métodos basados en regresiones múltiples han sido los más utilizados para modelar (Guisan et al., 2002), ya que permiten establecer de forma clara el modelo estadístico que describe la relación entre las variables descriptivas y la presencia conocida de las especies/ecosistemas. Además, en las evaluaciones comparativas entre técnicas de modelación, estos métodos (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a) han sido identificados como

una de las técnicas de mejor resultado en la proyección sobre el espacio geográfico del modelo final (Elith et al., 2006).

II. Métodos de clasificación

Estos métodos se basan en clasificaciones basadas en reglas, donde se asigna una clase para cada combinación de las variables predictivas que generan el modelo de distribución (Guisan & Zimmermann, 2000), pero a su vez, la caracterización del conjunto de reglas que define el modelo final es muy compleja, por lo que se hace difícil de interpretar (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a).

III. Métodos de “sobre”

Los métodos de “sobre” se basan en el establecimiento de combinaciones de rangos de valores mínimos y máximos, entre las variables utilizadas para la definición del nicho. Donde se define un espacio o “sobre” en que se da la combinación de valores deseada, dentro del espacio n-dimensional de las variables (Busty, 1991). Este es el enfoque más antiguo de modelación, pero se ha ido abandonando con el tiempo, ya que ofrece una definición muy poco flexible del espacio ambiental.

IV. Algoritmos específicos

En los últimos años ha tomado fuerza el uso de técnicas basadas en algoritmos específicos (máxima entropía, algoritmos genéticos), lo que quiere decir “Modela todo lo que es conocido y no supone nada sobre lo desconocido” (Phillips, Anderson, & Schapire, Maximum entropy modeling of species geographic distribution, 2006). Han significado un aumento exponencial en el número de publicaciones y estudios asociados a la modelación de la distribución geográfica de las especies y ecosistemas, por la facilidad de su aplicación y la rapidez con que se pueden obtener resultados.

En este contexto destaca el software MAXENT, (Phillips et al., 2006; Elith, Phillips, Dudik, Chee, & Yates, 2011), el cual permite proyectar las variaciones en la distribución de una especie o un grupo de especies frente a cambios ambientales de temperatura, humedad y precipitación (Morales, 2012) en (Quesada-Quirós, Arias-Aguilar, & Rodríguez-González, 2017), siendo además uno de los modelos con más alta capacidad predictiva con muestras pequeñas (Buirra, 2016). MAXENT, asume que las localidades usadas son las del hábitat de origen de la especie, descartando aquellas con registro dudoso debido entre otras causas a la inmigración. Entonces el programa emplea la información de las variables climáticas proporcionadas por el investigador para construir el modelo de nicho de las especies de interés, por lo tanto, la información así obtenida es una aproximación al nicho real de la especie (Elíosa, Nieto, & Navarro, 2010). Además, como menciona Phillips et al. (2006) MAXENT ofrece ventajas en comparación con otros programas, ya que solo necesita datos de reportes georreferenciados, puede utilizar datos continuos o categorizados y sus algoritmos son eficientes, garantizando la óptima distribución de la probabilidad de máxima entropía.

V. *Ensamblajes de técnicas*

Una reciente aproximación es utilizar “ensamblajes de técnicas” (Araujo & New, 2007) con el objetivo de disminuir las incertidumbres asociadas a los modelos de distribución, especialmente en relación a la validez estadística de los resultados (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a).

2.5.5. *Limitaciones*

La naturaleza es compleja y heterogénea y no es razonable esperar que los modelos nos reflejen con precisión los mecanismos inherentes a un proceso espacio-temporal tan complejo como es la distribución de las especies (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2011), es por eso que es inevitable que existan limitantes a la hora de utilizar modelos de distribución de especies. Mateo et al. (2011, 2012) y Guisan & Zimmermann (2000) describen algunas de estas:

- I. Hipótesis de pseudoequilibrio y representatividad: Al generar modelos se asume que la población se encuentra en equilibrio o pseudoequilibrio con las condiciones ambientales, al igual que se ignora cómo afectarían al modelo las desviaciones con respecto al equilibrio (Araújo & Pearson, *Equilibrium of species distributions*, 2005).
- II. Barrera Biogeográficas: es frecuente encontrar zonas potencialmente idóneas separadas por grandes barreras biogeográficas. La especie está presente solamente en una de esas zonas, mientras que la otra puede considerarse inaccesible a pesar de sus buenas condiciones ambientales. En el caso de las especies invasoras, estas barreras biogeográficas son superadas, normalmente por intermediación humana. (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2012).
- III. Relaciones bióticas: La distribución de las especies responde a procesos complejos donde las relaciones bióticas tienen una gran influencia. La competencia, facilitación, polinización, herbivoría, depredación, parasitismo, simbiosis o el mutualismo; Estos factores no se toman en consideración en la mayoría de los trabajos el desconocimiento casi universal sobre su dinámica a nivel de especies individuales ha hecho que sencillamente se ignoren por completo a la hora de generar modelos de distribución de especies (Anderson, Gomez-Laverde, & Peterson, 2002).
- IV. Ausencia de la componente espacial en el proceso: Es paradójico que en la generación de los modelos de distribución de especies, cuyo resultado es un mapa, no se tengan en cuenta las relaciones espaciales entre los puntos a partir de los cuales derivan, ya que las coordenadas de cada presencia se utilizan exclusivamente para extraer los valores de las variables independientes en ese punto, sin considerar lo que sucede a su alrededor. (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2011).

- V. Ausencia de la componente temporal en el proceso: Los modelos de distribución de especies son fotografías fijas de un instante y no reflejan ningún proceso histórico ni pueden contemplarlo en sus reglas ni en sus clasificadores (Guisan & Zimmermann, 2000).
- VI. Dificultad de hacer modelos fiables para especies generalistas: Algo que ya ha sido puesto de manifiesto por distintos autores es que los modelos realizados para especies de distribución restringida son más fiables a igual número de presencias—que los realizados con especies de amplia distribución, ya que las especies de distribución restringida las condiciones ambientales están muy claramente definidas por el mismo número de presencias, ya que el rango de valores es mucho menor. (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2011).

Además, se complementa con otras limitantes mencionadas por Pliscoff & Fuentes- Castillo (2011):

- VII. Al proyectar hacia el futuro, se agregan nuevas incertidumbres relacionadas por ejemplo al comportamiento de las variables climáticas (que son las variables descriptivas utilizadas en las proyecciones), ya que se asume un cambio lineal en el comportamiento de una variable. La posible existencia, dada las variaciones climáticas proyectadas, de climas “no análogos”, es decir, de combinaciones de variables que den cuenta de climas que no existen en la actualidad o que son nuevos para una determinada zona geográfica en particular (Williams et al. 2007; Williams & Jackson, 2007), agrega otra dificultad a las proyecciones de cambio climático de las distribuciones de las especies/ ecosistemas. (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a).
- VIII. Los datos climáticos globales (por ejemplo, Worldclim) se deben utilizar criteriosamente ya que en evaluaciones realizadas se señala que poseen problemas en los valores de las variables climáticas, especialmente en aquellas zonas del país donde la cobertura de estaciones meteorológicas es menor como por ejemplo la zona norte del país (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011a).

2.5.6 Modelo de distribución de especies vegetales, ejemplos

En la actualidad existe una crisis global de pérdida de biodiversidad. Históricamente muchas decisiones para la conservación de la biodiversidad se han basado en disposiciones políticas sin dar suficiente importancia a la preservación de los ambientes naturales, su biodiversidad y los servicios ecosistémicos que proveen (Margules & Pressey 2000) en (Cuervo-Robayo, y otros, 2017).

Ramírez-Ojeda, et al. (2014) realizaron un estudio de Impactos del cambio climático en la distribución geográfica de *Gossypium hirsutum* L. en México, para escenarios de los años 2040-2069. Utilizando datos ambientales de la plataforma WorldClim y tres modelos de circulación general (MCG): ECHAM5. MIROC Y UKMO_HADCM3 para un escenario de emisiones de efecto invernadero de tipo A2 y como herramienta de modelo al software MAXENT. Estos autores concluyen que la especie en estudio se adapta a un gran rango

climático en la “actualidad”, ya que puede encontrarse en temperaturas que oscilan entre los -0,1 a los 41,2 °C. En el caso de resultados obtenidos para un posible cambio climático los tres MGC coinciden que la especie ampliara su distribución a otros estados, por lo tanto, concluyen que la distribución de especie *Gossypium hirsutum* L. se verá favorecida frente al futuro escenario de cambio climático estudiado.

También, un estudio realizado por A. Buirra (2016), en el cual aplicó modelos de nicho ecológico para la localización de seis plantas amenazadas en el parque natural de Els Port del Noreste de la península Ibérica. Para ello se generaron modelos de idoneidad del hábitat con el algoritmo MAXENT y se transformaron en binarios (presencia/ausencia) aplicando un umbral de corte. Las prospecciones dieron como resultado 28 nuevas presencias de cinco especies distintas, el 89% de las cuales habían sido predichas por los modelos. El resultado de los modelos permitió conocer de mejor manera la distribución y el área de ocupación real de las especies dentro del parque natural. Por lo tanto, se puede decir a raíz de esta investigación que los modelos pueden ser útiles a la hora de priorizar los esfuerzos de prospección de especies amenazadas con pocos registros, especialmente para aquellas con distribuciones restringidas y con escasas tolerancias ambientales.

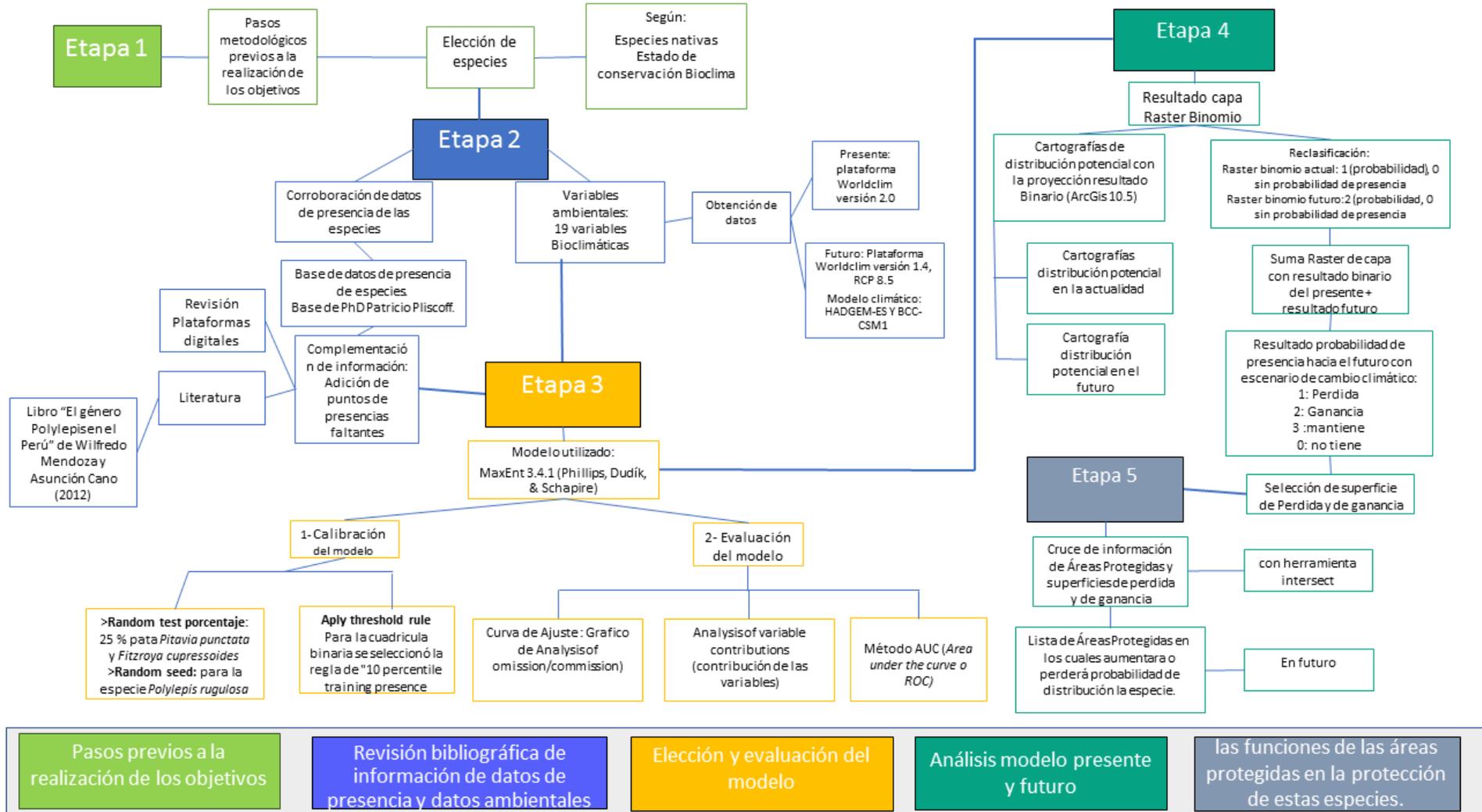
Asimismo, Martínez-Méndez, Aguirre-Planter, Eguiarte, & Jaramillo-Correa (2016), que realizaron un modelado de nicho ecológico de las especies del género *Abies* (Pinaceae) en México, a través del algoritmo de máxima entropía (MAXENT) y utilizando variables bioclimáticas y topográficas provenientes de Worldclim, de Hydro1k y datos depurados de presencia de diversas fuentes (CONABIO, GBIF, MEXU). Como resultado de esta investigación se observó que, con excepción de *A. religiosa*, el área de mayor idoneidad ambiental para todas las especies está fuera de la poligonal de algún área natural protegida ya sea federal o estatal. A raíz de esto, es que los MDE son de utilidad ya que permiten como es en este caso proponen ampliar o crear nuevas áreas que protejan a estas especies y también utilizarlas como base para proyecciones de cambio climático.

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLOGICO



Fitzroya cupressoides

Figura N° 12 Esquema gráfico de los principales pasos metodológicos de la presente investigación. Fuente: Elaboración propia.



| | | | | |
|---|---|----------------------------------|-----------------------------------|---|
| Pasos previos a la realización de los objetivos | Revisión bibliográfica de información de datos de presencia y datos ambientales | Elección y evaluación del modelo | Análisis modelo presente y futuro | las funciones de las áreas protegidas en la protección de estas especies. |
|---|---|----------------------------------|-----------------------------------|---|

En este capítulo se presentan los pasos metodológicos para el desarrollo de cada objetivo específico de la presente investigación, los cuales se dividen en cinco etapas. En la primera se realiza una elección de las especies a modelar, en la segunda etapa se realizó una revisión bibliográfica sobre información de datos de presencia y adición de datos faltantes de las especies a modelar; en una tercera instancia se realiza la modelización propiamente tal; la cuarta etapa se enfoca en análisis posteriores del modelo presente y el modelo futuro; y la quinta se centra en analizar las funciones de las áreas de protección de estas especies.

3.1 Pasos metodológicos previos a la realización de los objetivos

3.1.1. Elección de las especies a modelar

La elección de las especies a modelar se basó principalmente en tres condiciones: La primera corresponde a la condición de nativas, el segundo requerimiento está relacionado al estado de conservación actual y la tercera según el bioclima de la región a la cual pertenece la especie.

- I. Especies nativas: Es de importancia que las especies sean nativas, ya que la protección a de estas se ha puesto como factor fundamental en las estrategias gubernamentales como es la recién publicada Estrategia Nacional de Biodiversidad, 2017- 2030 en donde se promueve al estudio de estas dada las amenazas latentes a una extinción, como lo son la modificación de hábitat; la fragmentación por cambio de uso de suelo; y el impacto de especies exóticas invasoras (Ministerio de Medio Ambiente, 2018).
- II. Estado de conservación y relevancia ecológica: Para que la presente investigación fuese de mayor importancia ecológica es que el segundo discriminante para elegir las especies a estudiar fue que las especies se encontraran en un estado de conservación categorizada como en peligro (EP), es decir que enfrente un riesgo muy alto de extinción, en otras palabras cuando la probabilidad de que la especie desaparezca en el mediano plazo es alta (Ministerio de Medio Ambiente, 2011).
- III. Bioclima: En la selección de las especies fue de importancia el bioclima ya que se escogieron especies representativas y comparables entre sí, para analizar los diferentes resultados en la modelización de distribución potencial de la especie frente al nuevo escenario de cambio climático.

3.1.2. Especies elegidas

Las tres especies seleccionadas categorizadas en peligro son: *Polylepis rugulosa*, *Pitavia punctata* y *Fitzroya cupressoides*.

3.1.2.1 Polylepis rugulosa (nombre común Queñoa)

- I. La especie *Polylepis rugulosa* es endémica de los bosques andinos desde Arequipa en el suroeste de Perú y en el norte de Chile (Brako & Zarucchi, 1993) donde crece a altitudes inferiores a *Polylepis tarapacana* la “queñoa de altura”, entre los 3400-4100 m. Especie poco conocida en su distribución en Chile para la cual se señala una repartición general localizada en las altitudes de la precordillera andina de la I región (Muñoz & Serra, 2006).
- II. Los bosques de *Polylepis rugulosa* poseen un gran valor biológico y cultural, controlan la erosión en las laderas andinas, son hábitat de numerosas especies vegetales y animales, y por siglos han servido como fuente de leña, carbón y madera para las culturas precolombinas (Lazcano & Espinoza, 2001; Gareca, Stanton & Fernández, 2010 y Silva, 2012). Se han avistado más de 23 especies de aves, entre ellas se pueden destacar el Comesebo chico (*Conirostrum cinereum*), el Comesebo negro (*Diglossa brunneiventris*), el Picaflor azul (*Colibri coruscans*), el Naranjero (*Thraupis bonariensis*) y el Zorzal negro (*Turdus chiguanco*), las cuales serían endémicas de este tipo de ecosistemas por lo que la persistencia de este tipo de bosques podría incidir directamente sobre potenciales extinciones locales de estas especies (Silva, 2012).

3.1.2.2. *Pitavia punctata* (nombre común Pitao)

- I. El Pitao es un árbol endémico de Chile, que está presente desde la Región del Maule (al sur del río Maule), Región del Biobío (sector norte de la Cordillera de Nahuelbuta) y hasta la Región de La Araucanía (sector denominado Maitenrehue en el extremo noroeste de la región). Sus subpoblaciones se encuentran desde los 73 hasta los 850 metros sobre el nivel del mar (CONAF, 2018).
- II. Presenta una distribución restringida a la Cordillera de la Costa desde la VII Región hasta la IX Región. La mayoría de los árboles de *P. punctata* se encontrarían en pequeñas sub-poblaciones conformadas por remanentes de bosques que crecen confinados a quebradas o áreas bajas, pobremente drenadas y rodeadas por plantaciones forestales comerciales. Restarían menos de 1000 individuos maduros. Un porcentaje muy pequeño de la población de esta especie estaría dentro de Áreas Silvestres Protegidas.

De acuerdo al Programa para la Conservación de la Flora y Fauna Silvestre Amenazada de Chile (CONAF, 1999) el Pitao está incluida como una de las 14 especies de flora silvestre chilenas prioritarias para realizar actividades de conservación y recuperación, lo cual está indicado en su Plan Nacional de Conservación, el que fue elaborado en el año 2005. (CONAF, 2018).

3.1.2.3. *Fitzroya cupressoides*

- I. Este árbol nativo es conocido por los nombres comunes de Alerce, Lahuán o Lahual. Su nombre científico es *Fitzroya cupressoides* (Molina) I.M. Johnst. y pertenece a la familia Cupressaceae o de las cupresáceas. Es una conífera endémica de los bosques subantárticos sudamericanos, desarrollándose en forma discontinua entre los paralelos 39°50' y 43°30' de latitud sur, principalmente en Chile y en menor proporción en sectores adyacentes en Argentina (Chilebosque, 2016).
- II. Su valor radica en que es una de las especies más longevas del mundo, ha tenido una dramática historia de explotación debido a la calidad, belleza y durabilidad de su madera que se ha extendido por más de tres centurias. Por este dramático escenario, *F. cupressoides* ha sido incluida en el Apéndice I de la convención CITES que regula estrictamente el comercio de su madera y semillas, y declarada "Monumento Natural" en 1976 mediante Decreto Supremo del gobierno de Chile (Soto, 2009).

3.2 Pasos metodológicos para la caracterización de la distribución potencial actual y futura de las especies arbóreas *Polylepis rugulosa*, *Pitavia punctata* y *Fitzroya cupressoides*

*3.2.1. Corroboración de datos de presencia de las especies *Polylepis rugulosa*, *Pitavia punctata* y *Fitzroya cupressoides**

Para realizar un modelo de distribución de especies es necesario contar con una base de datos robusta y actualizada de la localización de las presencias de especies. Para tal necesidad se realizaron los siguientes pasos:

3.2.1.1. Base de datos de presencia de especies

La principal fuente de información de las tres especies modeladas fue obtenida gracias a la base de datos del Phd Patricio Pliscoff ¹, la cual realizó en parte por recolección de información a herbarios, y además estos datos fueron complementados con los registros de presencias pertenecientes a la red de Global Biodiversity Information Facility (GBIF), que se encontraban ya georreferenciados.

- I. Revisión plataformas digitales
En una primera instancia se comprobó que todos los datos de la red GBIF estuvieran en la base de datos y si no se contaba con algún registro este se sumó a la base principal: esto se realizó extrayendo en un archivo .dbf posteriormente

¹ Profesor asistente Pontificia Universidad Católica de Chile; Máster en Ecología Evolutiva de la Universidad de Chile; Ph.D. En Ciencias Biológicas de la Universidad de Lausanne, Suiza. Correo: pliscoff@uc.cl

transformándola en un archivo Excel, en donde se ve el nombre de la especie y en algunos casos la latitud y longitud, luego se proyectó en el software ArcGis 10.5 corroborando que no existieran presencias no registradas

II. Literatura

En una segunda instancia se buscaron investigaciones relacionados a la presencia de las tres especies arbóreas en libros, informes, artículos y revistas. Para tal caso solo se encontró nueva información relacionada a la especie *Polylepis rugulosa* y las presencias en Perú en el libro “El género *Polylepis* en el Perú” de Wilfredo Mendoza y Asunción Cano (2012).

3.2.1.2 Adición de puntos de presencias faltantes:

Como se mencionó anteriormente la información adicional de la especie *Polylepis rugulosa* de Perú se obtuvo del libro de Mendoza & Cano (2012) de la siguiente forma:

- I. Las indicaciones de localización escritas en el libro se pasaron a el programa Google Earth: La información se encontraba en forma de descripción y se fue ubicando punto por punto con la herramienta crear ruta. Luego fueron comprobados con el perfil de elevación, las pendientes y alturas, hasta que la zona fuera lo más apropiado a la descripción.
- II. Puntos desde Google Earth a software ArcGis: Los puntos de extensión Kml fueron exportados desde Google Earth e importados al software Arcgis para luego convertirlos en puntos formato Shapefile. Posteriormente se realizó un Merge para unir estos nuevos puntos a la base completa de presencia de la especie *Polylepis rugulosa*.

3.2.2 Variables ambientales

Principalmente son dos tipos las variables más utilizadas, las variables climáticas (bioclimáticas) y las variables topo-edáficas. Las primeras son las más utilizadas, independiente del tipo de entidad natural, principalmente por la facilidad de su obtención, ya que existen bases de datos globales a alta resolución (~1 km²) de libre acceso y uso. Una de las estrategias de selección más utilizada es trabajar con un set de variables bioclimáticas predefinidas, como es el caso de las 19 variables bioclimáticas disponibles en la base de datos global de superficies climáticas *Worldclim* (Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvis, 2005; en Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011).

Entonces para este caso se utilizaron estas 19 variables bioclimáticas las cuales son interpolaciones de combinaciones de datos ambientales provenientes de estaciones meteorológicas para generar más variables biológicamente significativas. Estas 19 comprenden en total 11 variables de temperatura (desde bio1 a bio11), comprendiendo a la temperatura media anual, máximas y mínimas mensuales y cuatrimestrales, estacionalidad, etc.; y 8 variables de precipitación (de bio12 a Bbio19) incluyendo

precipitación anual, máximas y mínimas mensuales, cuatrimestrales, estacionalidad, etc. (Varela, y otros, 2015) . Estas se encuentran especificadas en la Tabla N° 1.

Tabla N° 1 Código, nombre y detalle de las 19 variables bioclimáticas disponibles en la base de datos global de superficies climáticas Worldclim

| Código | Variable | *Factor | Unidad |
|--------|--|---------|----------------|
| BIO1 | Temperatura media anual | 10 | Grados Celsius |
| BIO2 | Variación de la temperatura media diurna (Tmax-Tmin) | 10 | Grados Celsius |
| BIO3 | Isotermabilidad (bio2/bio7) | 100 | - |
| BIO4 | Variación estacional de la Temperatura. Se encuentra medida en torno a la Desv. Estándar | 100 | Grados Celsius |
| BIO5 | Temperatura máxima del mes más cálido | 10 | Grados Celsius |
| BIO6 | Temperatura mínima del mes más frío | 10 | Grados Celsius |
| BIO7 | Rango de temperatura anual (bio5 - bio6). | 10 | Grados Celsius |
| BIO8 | Temperatura media del trimestre más húmedo | 10 | Grados Celsius |
| BIO9 | Temperatura media del trimestre más seco | 10 | Grados Celsius |
| BIO10 | Temperatura media del trimestre más cálido | 10 | Grados Celsius |
| BIO11 | Temperatura media del trimestre más frío | 10 | Grados Celsius |
| BIO12 | Precipitación anual | 1 | Milímetros |
| BIO13 | Precipitación del mes más húmedo | 1 | Milímetros |
| BIO14 | Precipitación del mes más seco | 1 | Milímetros |

| | | | |
|--------------|--|-----|-------------------------|
| BIO15 | Estacionalidad de la Precipitación | 100 | Coficiente de variación |
| BIO16 | Precipitación del trimestre más húmedo | 1 | Milímetros |
| BIO17 | Precipitación del trimestre más seco | 1 | Milímetros |
| BIO18 | Precipitación del trimestre más cálido | 1 | Milímetros |
| BIO19 | Precipitación del trimestre más frío | 1 | Milímetros |

Fuente: Elaboración propia en base a información obtenidas en <https://www.worldclim.org/bioclim> y <http://www.ccafs-climate.org/downloads/docs/bioclimatic-variables.pdf>

3.2.2.1 Obtención de datos variables ambientales del presente y futuro

Escenario presente: Para los datos ambientales del presente se utilizó la plataforma Worldclim la versión 2.0. Se descargaron las 19 variables bioclimáticas (son el promedio de los años 1970 a 2000), en donde cada descarga es un archivo "zip" que contiene 19 archivos GeoTiff (.tif) (Fixk & Hijmans, 2017) y con resolución de 30 segundos (~1 km²). Estos archivos fueron abiertos en el Software Arcgis 10.5 y recortados con la herramienta "Extract by mask" a la extensión de área de estudio para cada especie: Para la especie *Polylepis rugulosa* se acoto a Perú, Bolivia y Chile; *Pitavia punctata* a Chile y *Fitzroya cupressoides* a Chile y Argentina.

La decisión de ampliar el área de estudio sin considerar los límites político administrativos de los países fue tomada en base a la memoria realizada por Diego Vera (2016) en la cual concluye que elaborar modelos de distribución de especies sin considerar el límite administrativo como tal:

Reflejan de una manera más completa el nicho ecológico de las especies arbóreas, debido a que consideran: una mayor superficie de distribución potencial, acorde a los registros de presencia y a los rangos de tolerancia de las especies arbóreas a las variables bioclimáticas utilizadas; y debido a que consideran la distribución conocida de las especies en ambos países, no limitándose a una división político-administrativa del territorio (p147)

Escenario futuro: Y para los datos ambientales con escenarios de cambio climático para el año 2070, se utilizó la misma plataforma worldclim versión 1.4 en donde se descargaron los modelos climáticos HADGEM-ES Y BCC-CSM1 (para elegir el más adecuado para cada especie) con RCP8.5, lo que quiere decir que es el escenario más extremo de cambio climático un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases efecto invernadero. Estos archivos también fueron abiertos en el Software Arcgis 10.5 y recortados con la

herramienta” Extract by mask” a la extensión de área de estudio para cada especie: Para la especie *Polylepis rugulosa* se acoto a Perú y Chile; *Pitavia punctata* a Chile y Fitzroya cupressoides a Chile- y Argentina.

3.2.3 Elección y ejecución del modelo.

Lo siguiente descrito aplica a los modelos presentes (sin cambio climático) y los futuros (HADGEM-ES Y BCC-CSM1), en los cuales según las evaluaciones de modelos se eligió el que se ajustara mejor según cada especie.

3.2.3.1 Elección Modelo

El modelo elegido para la realización de esta memoria es MaxEnt 3.4.1 (Phillips, Dudík, & Schapire), el cual es un programa para modelar distribuciones de especies a partir de registros de solo presencia y variables ambientales (Elith, y otros, 2011). Así mismo Phillips, Anderson, & Schapire (2006) lo describen como una técnica de aprendizaje de máquina que combina estadística, máxima entropía y métodos bayesianos, cuyo propósito es estimar distribuciones de probabilidad de máxima entropía sujeto a restricciones dadas por la información ambiental.

Al tener datos solo de presencia, Maxent crea puntos de pseudoausencias para completar la información y divide la base de datos de registros de presencia en dos grupos: el primero se utiliza para construir el modelo mediante los datos de entrenamiento, mientras que el segundo es para evaluar el modelo al utilizar los datos de prueba (Phillips et al., 2006). Además, se asume que el clima en donde se encuentran los puntos de presencia de las especies es representante de la gama ambiental del organismo; de esta forma, el clima se utiliza como el sistema de calibración para proponer un modelo de la probabilidad de presencia en base al clima (Jarvis, y otros, 2005).

La restricción esencial del modelo es que el valor esperado de cada distribución de probabilidad debe coincidir con los promedios empíricos de las variables ambientales. Las ventajas de este software frente a otros según Phillips, Anderson, & Schapire (2006) son:

- I. Requiere sólo datos de presencia (modelo incondicional)
- II. Puede usar variables continuas y categóricas, y puede incorporar interacciones entre diferentes variables.
- III. En modelos lineales y aditivos sin interacción, permite evaluar el papel de cada variable ambiental.
- IV. El sobre-ajuste puede ser evitado usando regularizaciones
- V. La variable de salida es continua permitiendo distinciones entre áreas (aunque permite discretas).
- VI. Puede ser usado en múltiples aplicaciones y en todas las escalas.
- VII. Permite también la modelización de especies y sus entornos en situaciones futuras con muestra de datos parciales, es decir, que con un volumen de datos representativos se puede tratar de extrapolar la información advirtiendo datos

complementarios. Como resultado de estos análisis, se obtienen mapas predictivos en los que se puede visualizar la distribución potencial de las especies bajo el entorno futuro.

3.2.3.2 Formato de datos

Maxent acepta los tipos de formatos CSV y ASCII, entonces:

- I. Para los puntos de las presencias: Maxent admite archivos de tipo “CSV”, por lo tanto, desde la tabla de atributos de los shape de la base de datos de las presencias se exporta dicha tabla la cual es de formato “xlsx”, extensión que se puede abrir con el software Excel, desde ahí se volvió a guardar pero transformando a formato “CSV” (procurando tener en orden los datos de presencia, longitud y latitud) y así poder ser utilizado software Maxent.
- II. El formato admitido para las variables ambientales es el ASCII, en este caso las 19 variables bioclimáticas descargadas desde la plataforma Wordclim, originalmente en formato “tif”, se transformaron en ASCII extensión asc., con ArcGIS desde la Arctoolbox con la herramienta “Raster to ASCII” desde la caja de conversión, y así también poder ocuparlas en el software Maxent.

3.2.3.3 Calibración del modelo:

La calibración del modelo se relaciona a las opciones elegidas en Maxent, luego de ingresarle los datos de presencias y de variables bioclimáticas. Si bien Maxent entrega una calibración por defecto, en este caso algunas se decidieron cambiar para adecuarlos mejor a los datos de fuente y al tipo de resultado que se esperaba. Tal configuración se encuentra descrita en la siguiente tabla.

Tabla N° 2 Principales características de las configuraciones en la matriz de Maxent

| Parámetros principales | Característica |
|-------------------------------|--|
| <i>Random seeds</i> | Define una muestra al azar que será tomada define una muestra al azar que será tomada desde los puntos para testear el modelo. Utilizado para la especie <i>Polylepis rugulosa</i> . |
| <i>Create response curves</i> | Estas curvas muestran cómo cada variable ambiental afecta la predicción de Maxent. Las curvas muestran cómo cambia la probabilidad de presencia prevista a medida que varía cada variable ambiental, |

| | |
|--|---|
| | manteniendo todas las demás variables ambientales en su valor de muestra promedio |
| <i>Make pictures of predictions</i> | Se selecciona la opción que permite que aparezca una figura del modelo proyectado en el archivo extensión “.html”. |
| <i>Do jackknife to measure variable importance</i> | Permite ver un análisis de las contribuciones de las variables. |
| <i>Output format</i> | La opción de salida escogida es la “logística”, que viene por defecto, que representa un intento de estimar la probabilidad de presencia en cada pixel, bajo un supuesto simplificador representado por el parámetro llamado "default prevalence", que se asume igual a 0.5. Proporciona un estimado entre cero y uno de probabilidad de presencia Es la más fácil de interpretar. |
| <i>Random test porcentaje</i> | Porcentaje que se ocupa para testear el modelo, en las especies <i>Fitzroya cupressoides</i> y <i>Pitavia punctata</i> , este queda fijado en 25%, para no saturar el modelo. Esto quiere decir que 25% del total de registros de presencias será utilizado para testear cada uno de los modelos, y usado posteriormente en la evaluación de estos. |
| <i>Max number of background points</i> | Corresponde a la cantidad de máximas pseudo-ausencias que se utilizarán para la calibración del modelo. Fijados en 10000, número por defecto. |
| Configuración avanzada | |
| <i>Maximum iterators</i> | Para asegurar un buen margen máximo se sube de 500 a 1000. Este define la cantidad máxima de relaciones que se dan en el modelo. |
| <i>Aply threshold rule</i> | Con esta selección se agrega una regla de umbral que da como resultado una cuadrícula binaria, el cual es un resultado adicional a la salida cuadrícula regular de predicción. Para dicha cuadrícula binaria se seleccionó la regla de "10 percentile training presence", el cual utiliza el umbral de idoneidad asociado con el registro de presencia que se produce en el percentil 10 de los registros de presencia. Este valor umbral proporciona un mejor resultado ecológicamente significativo en comparación con valores de umbrales más restringidos |

Fuente elaboración propia, con base en La Comisión Nacional de Biodiversidad de México (<http://nicho.conabio.gob.mx/la-calibracion-del-modelo/maxent>).

Luego de seleccionar estas opciones se presiona el botón “Run” para que el modelo se empiece a ejecutar.

3.2.3.4 Evaluación del modelo

Luego, cuando Maxent ya ha arrojado los resultados en la carpeta seleccionada, es necesario evaluar la calidad del resultado y el ajuste de variables, para poder así mejorar el rendimiento y tener mejores resultados.

I. Método AUC (*Area under the curve o ROC*)

En una primera instancia la principal herramienta para evaluar los modelos fue utilizar el método umbral-independiente más conocido como el AUC (*Area under the curve o ROC*), el cual es representado por un gráfico (ver ejemplo en Figura 13) en un archivo de salida “.html” luego de generar el modelo de Maxent llamado *sensitivity vs 1- specificity*. Para esto se generan tres valores: datos de entrenamiento (*Training Data*), datos de prueba (*Test Data*) y predicción al azar (*Random Prediction*). La curva de datos de prueba viene definida por el porcentaje de prueba que se le asignó al modelo previamente, en este caso 25%.

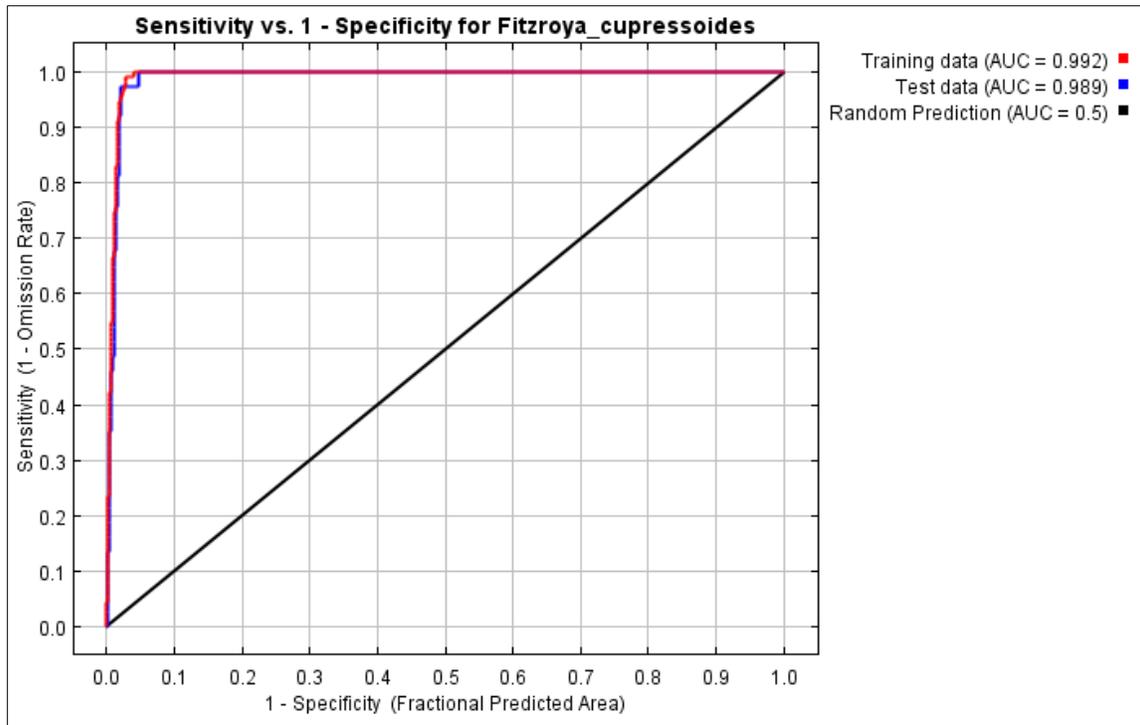
El análisis de ROC implica trazar la sensibilidad (eje Y), fracción de verdaderos positivos o fracción de presencia verdaderas (es decir, Proporción de presencias conocidas predichas presentes) contra 1 – especificidad (eje X), fracción de verdaderos negativos o proporción de ausencias correctas (es decir, proporción de ausencias predichas presentes, tasa de falsos positivos).

En la Figura n° 13, la línea roja (entrenamiento) muestra el “ajuste” del modelo a los datos de entrenamiento y es la auténtica prueba de la capacidad que tienen los modelos de predecir; la línea negra muestra lo que se esperaría si el modelo no fuese mejor que el azar; si la línea azul (línea de prueba) se ubicase por debajo de la línea turquesa, entonces esto indicaría que su modelo se desempeña peor de lo que lo haría un modelo aleatorio (Phillips, Dudik, & Schapire, 2015). Entre los sectores importantes de este espacio ROC son El origen (0,0), donde el algoritmo nunca identifica falsamente ausencias, pero no logra identificar cada presencia conocida (que es inútil); la esquina superior derecha (1,1), donde el algoritmo identifica cada verdadera presencia correctamente, pero identifica erróneamente a todas ausencias como positivas (también inútiles, aunque en un sentido diferente). Finalmente, en la esquina superior izquierda (0,1), el algoritmo identifica correctamente todos los verdaderos positivos y nunca clasifica erróneamente un verdadero la ausencia como presencia. Por lo tanto, las regiones en el espacio ROC cerca de la esquina (0,1) representan predicciones de modelos que identifican con éxito las verdaderas presencias y rara vez identifican erróneamente las ausencias como presencias (Peterson, Papes, & Soberón, 2008, y Pliscoff & Fuentes-Castillo (2011a).

De ahí que, si las curvas de entrenamiento y prueba se encuentran por debajo de la diagonal de predicción (0.5), el modelo no es mejor que el azar; pero, si las curvas de entrenamiento y de prueba se encuentran por sobre la curva de predicción al

azar, significará que el modelo tiene cierto grado de confiabilidad, que aumentará conforme las curvas se aproximen a la esquina superior izquierda del gráfico. Si el valor expresado en la AUC oscila entre 0.7 y 0.8 el modelo generado será aceptable, si oscila entre 0.8 y 0.9 el modelo será bueno, y, si es superior a 0.9 el modelo será excelente (SWETS, 1998, en Marquet, y otros, 2014 y PHILLIPS *et al.*, 2006)

Figura n° 13: Ejemplo gráfico AUC área bajo la curva



II. Analysis of variable contributions

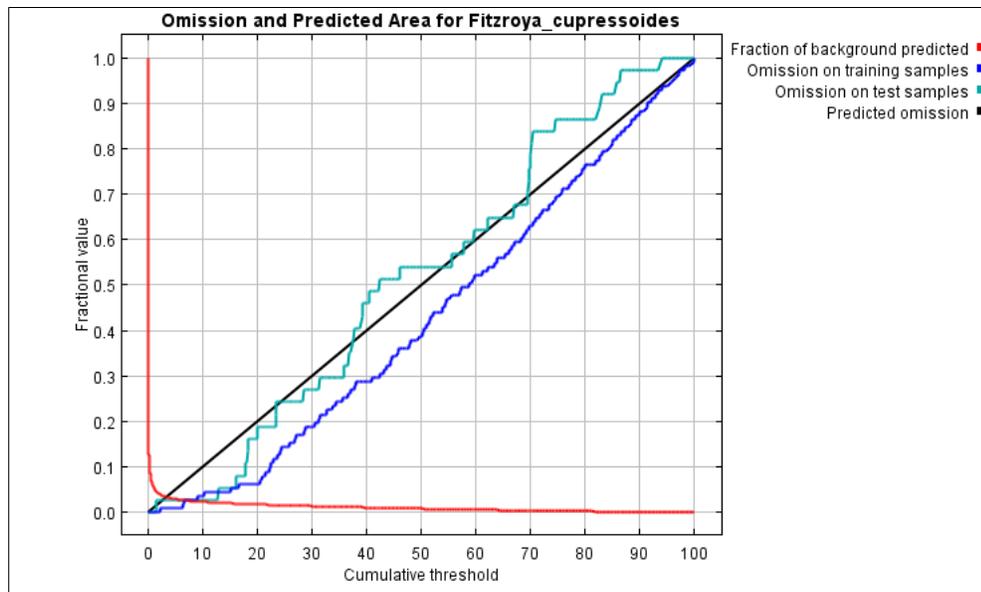
La segunda herramienta utilizada para la evaluación del modelo es el Análisis de la contribución de las variables (Analysis of variable contributions), la que también viene como una tabla en el producto en formato ".html", esta permite que mientras se está entrenando al modelo Maxent, se pueda rastrear cuáles son las variables ambientales que contribuyen en mayor medida al modelo. En esta tabla se relaciona la variable ambiental con el porcentaje de contribución (porcentaje de Importancia de cada variable por si sola) y la importancia de permutación (Importancia de cada variable respecto de las otras variables). Se consideró que la suma de ambas debía ser como mínimo sobre 1 (Phillips, Dudik, & Schapire, 2015). En efecto, se vuelve a correr el modelo, pero sin considerar las variables que no contribuyen sustancialmente, y mejorar así el rendimiento.

III. Curva de Ajuste

Finalmente, para comprobar de que se mejora el rendimiento del modelo es que se analizó, la curva de ajuste o el apartado de Analysis of omission/commission. El

error de comisión (falsos positivos) puede ser real, ya que un falso positivo puede significar una sobre-predicción del modelo, y el error de omisión (falsos negativos) es más importante, pues no predice lugares de presencia que pueden ser de importancia crucial para la supervivencia de la población. Éste gráfico (ejemplo en Figura n° 14) indica el grado omisión de los datos de entrenamiento y prueba. Un buen modelo debiese tener ambas curvas muy próximas a la omisión predicha. Si se encuentran bajo la curva significa un subajuste, y si se encuentran sobre la curva significa un sobreajuste (Phillips, Dudik, & Schapire, 2015). Por lo tanto, luego de ir discriminando que variables bioclimáticas usar con los criterios anteriores, también se visualizó que las curvas de omisión mejorasen.

Figura n° 14: Gráfico de Análisis de omisión / comisión.



3.2.3.5 Proyección del modelo

Los productos de salida del programa Maxent son dos cuadrículas, una binaria que contiene y representa el umbral elegido (10 percentile training presence) y otra cuadrícula regular con la predicción del modelo. Para espacializarlos se utilizó el Software ArcGIS 10.5, el cual permite el archivo de salida de Maxent de tipo ".asc". El principal archivo utilizado fue la cuadrícula binaria, la cual en un principio fue transformada a raster con la herramienta de conversión "ASCII to Raster", esto permitió describir las principales características geográficas.

3.2.3.6 Caracterización de la información

Luego de la realización de la última evaluación del modelo antes del resultado definitivo, se realizó una breve caracterización por especie de la información entregada en el archivo de salida "html" para los casos de modelos de distribución de especies proyectadas en el presente y también los modelos de cambio climático. Además, se realizó una caracterización de la distribución potencial según el espacio geográfico el cual también es apreciable en los productos realizados en forma de cartografías.

3.3 Identificar las superficies de pérdidas y ganancias en la distribución potencial en las especies *Polylepis rugulosa*, *Pitavia punctata* y *Fitzroya cupressoides* frente al escenario de cambio climático.

Para que la información del análisis de modelo de distribución de especie con modelos actuales y futuros se conciba de mejor manera y se permita entender de una forma más gráfica, es que se determinó realizar una suma de los valores de los pixeles de la cuadrícula binario de umbral, para representar de mejor manera las diferencias entre ambos modelos según cada especie. Esto se explica de mejor manera a continuación:

3.3.1 Elección del Modelo climático

Antes de procesar la información en el software ArcGis se elige que modelo climático (HADGEM-ES Y BCC-CSM1) es el más adecuado para cada especie, esto se discrimina principalmente con el producto de extensión.html entregado por Maxent. Elección del Modelo Climático Global (GCM) por especie a analizar.

Primero para escoger el GCM que mejor se ajustara a los datos del presente es que:

- I. Se seleccionaron las variables que tuvieron mayor contribución (Percent contribution) en el resultado del modelo del presente por cada especie, del archivo ".htm" desplegada por Maxent (ejemplo en la tabla N°3).
- II. Luego en el mismo archivo de modelos con probabilidad futura se comparó cual es el que tenía altos porcentajes de contribución de las mismas variables seleccionadas del presente y además por la respuesta al gráfico de ajuste de "Analysis of omission/commission", en donde el que se encuentra más cercano a la línea de predicción de omisión es un modelo con mejor ajuste.

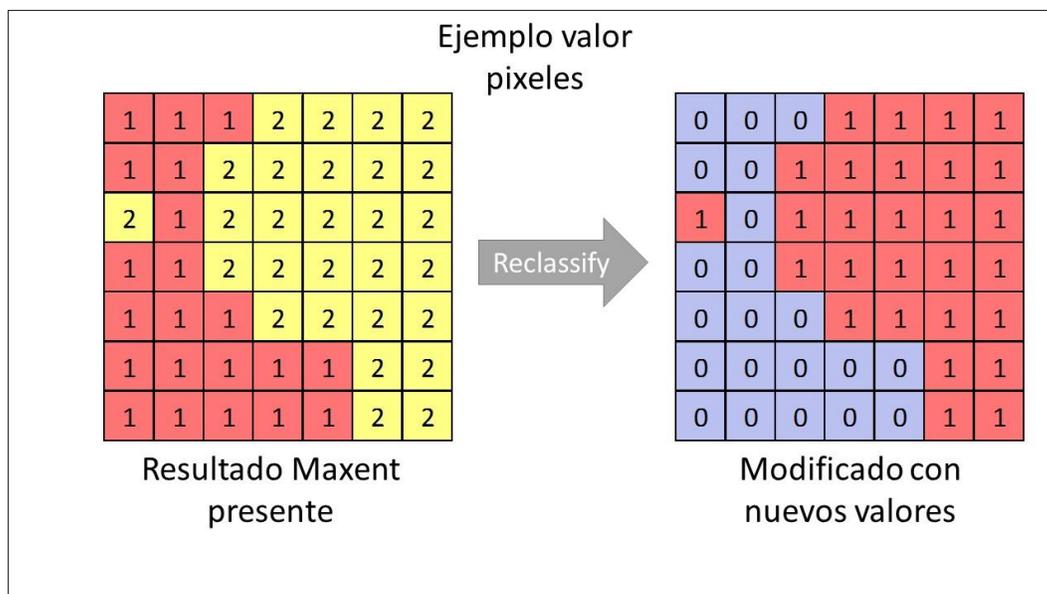
Tabla N° 3 Ejemplo de resultado de modelo Maxent y porcentaje de contribución de variables

| Variable | Percent contribution | Permutation importance |
|----------|----------------------|------------------------|
| bio19 | 61.6 | 0.4 |
| bio15 | 14.8 | 14.5 |
| bio17 | 11.4 | 2.1 |
| bio3 | 4.4 | 5.5 |
| bio41 | 1.9 | 4.1 |
| bio2 | 1.9 | 1.8 |
| bio9 | 1.5 | 1.5 |
| bio8 | 1.2 | 5.4 |

3.3.2 Reclasificación raster de modelo de distribución de especies actual

Como se mencionó anteriormente la cuadrícula utilizada es la binaria, se determinó usar esta como fuente de análisis porque el Software Maxent entrega de una manera más gráfica la información, dado que asigna un valor a los píxeles (1 o 2) según el umbral 10 percentil percent, entre las áreas (píxeles) que si presentan altas probabilidades de presencia (valor 2) y las que no (valor 1). Utilizando el Software ArcGIS estos valores son reclasificados con la herramienta “reclassify” cambiando el valor de las que si presentan probabilidades con 1 y las áreas que no tiene probabilidad con 0 (Véase ejemplo en 15).

Figura n° 15 Ejemplo reclasificación cuadrícula binaria con condiciones actuales. Fuente:

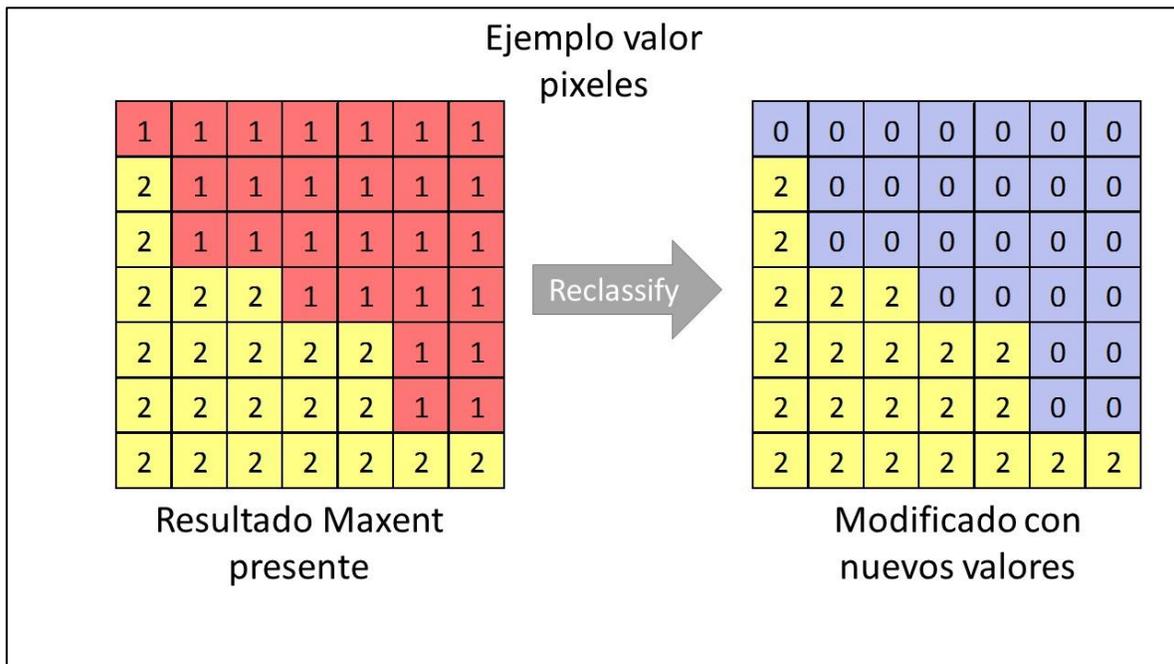


Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Raster de modelo de distribución de especies en futuro

Continuando con el procesamiento de información, al igual que el modelo de distribución de especies en condiciones ambientales actuales, para el futuro se utiliza la cuadrícula binaria. El Software Maxent puesto que asigna un valor a los píxeles 2 (si) o 1 (no) según el umbral 10 percentil percent, estos valores son reclasificados en 0 para áreas que no tienen probabilidad de presencia y 2 para las áreas que si tienen probabilidad de presencia (véase Figura N° 16).

Figura n° 16 Ejemplo cuadrícula binaria para escenario futuro



Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Representación MDE presentes y escenarios futuros

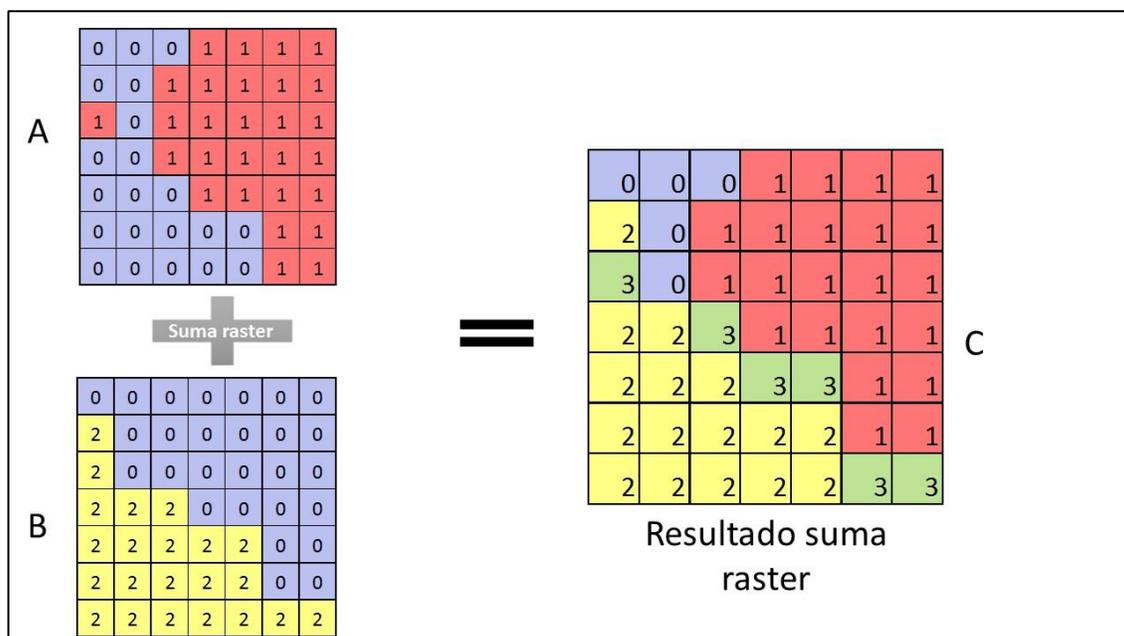
Para realizar la representación de los modelos de distribución de especies se realizó una suma de los valores de los píxeles con la herramienta “suma raster” que se encuentra en el software ArcGis, esto para poder identificar las áreas de posibles pérdidas o ganancias futuras de ambientes favorables para la perpetuidad de las especies. Esta metodología es utilizada para tener un primer acercamiento de comparación frente a el escenario actual en comparación a el escenario del futuro con cambio climático.

Este resultado se puede ver en la Figura n° 17, en donde:

- A. Representa el ejemplo del umbral del MDE con ambiente actual y los píxeles con sus respectivos valores (0 y 1).

- B. Representa el ejemplo del umbral del MDE de escenario de cambio climático también con los pixeles y sus respectivos valores asignados (0 y 2).
- C. Finalmente, el cuadro C representa el resultante de esta suma, dando como resultado una distribución categorizada con: áreas en donde se mantiene el área de distribución, áreas de perdida y ganancia. En donde las áreas con numero 1 corresponden a las áreas de perdida de probabilidad de presencia de la especie en el futuro; 3 a las áreas que se mantienen con condiciones ambientales propicias; 2 a las nuevas áreas de ganancias según el nuevo escenario de cambio climático; y 0 las áreas que no presentan probabilidad de presencia en el presente ni tampoco en el futuro.

Figura n° 17 Ejemplo resultado suma raster



3.3.5 Geoprocesos para los análisis

Para realizar un mejor análisis de la información luego de identificar las áreas de ganancias y pérdidas de áreas ambientales propicias para la presencia de las especies, los raster fueron transformados en shapes de tipo polígono con la herramienta de conversión “Raster to Polygon”, deseleccionando la opción “simplify polygons (optional)”, esto para poder realizar los cálculos necesarios para el análisis. Estos cálculos fueron principalmente el área que abarcan las áreas de pérdidas y ganancias en el modelo del futuro en relación al área del modelo actual.

3.4 Determinar la superficie de pérdida o ganancia de la distribución de las especies frente al escenario de cambio climático en áreas protegidas (AP).

Capas utilizadas:

- I. Capas de Áreas Protegidas (AP) por países: Primero que todo fueron descargados las capas de áreas protegidas oficiales de los países de Perú, Bolivia, Argentina y Chile. Los datos de Perú son obtenidos de la plataforma de geomática <https://www.geogpsperu.com/> en formato shapefile; para Argentina se descarga en formato KML con el título de “Áreas Protegidas Nacionales” desde la plataforma del Sistema de Información de Biodiversidad (SIB) en la página web <http://mapas.parquesnacionales.gob.ar>, posteriormente en el software ArcGis 10.5 se convierte a shapefile (con la herramienta KML to layer); los datos de Bolivia son obtenidos con el nombre de “Áreas Protegidas y Parques Nacionales de Bolivia” en la plataforma web de ArcGis <https://www.arcgis.com/>; y para los datos de Chile se descargan en formato shapefile con el nombre de “Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE)” de la plataforma digital <http://www.ide.cl>. Todas estas capas se unieron con la herramienta “Merge” en un solo shape nombrado “ÁREAS_PROTEGIDAS_PAISES”
- II. Capas de distribución de especies: También se utilizó el shape generado en el objetivo anterior, en donde se pueden identificar las superficies que mantienen la probabilidad de distribución de las especies, las que se encuentran en vías de pérdida, y las que se encuentran en un futuro como zonas de ganancia de probabilidad de presencia.

3.4.1 Creación de capas de pérdida y de ganancia

- I. Primero en el software ArcGis se utiliza la herramienta “Dissolve” para poder unir todos los polígonos en una sola categoría o “condición”, ya sea 0, 1, 2 o 3 (probabilidad de distribución: no tiene, pérdida, ganancia, mantiene) correspondiente a la suma.
- II. Luego con la capa de la “condición” y la capa de las A.P se realiza un “intersect” para poder cruzar la información territorial, entre la condición de permanencia, ganancia o pérdida con las Áreas Protegidas, nombrando esta nueva capa como.

Finalmente se identifican las Áreas Protegidas en donde el hábitat actual de las especies arbóreas se vea afectado según las condiciones estudiadas de cambio climático, y también se identifican las AP que puedan ser en el futuro escenario de cambio climático potenciales áreas de distribución.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS



Polylepis rugulosa

La forma de presentar los resultados será por objetivos específicos en su estructura general, y dentro de estos, se presentan los resultados por cada especie modelada y ordenadas desde su distribución latitudinal.

4.1 Caracterización de la distribución potencial actual y de escenarios futuros con cambio climático (año 2070) de las especies arbóreas *Polylepis rugulosa*, *Pitavia punctata* y *Fitzroya cupressoides*, entre los territorios de Perú, Chile y Argentina

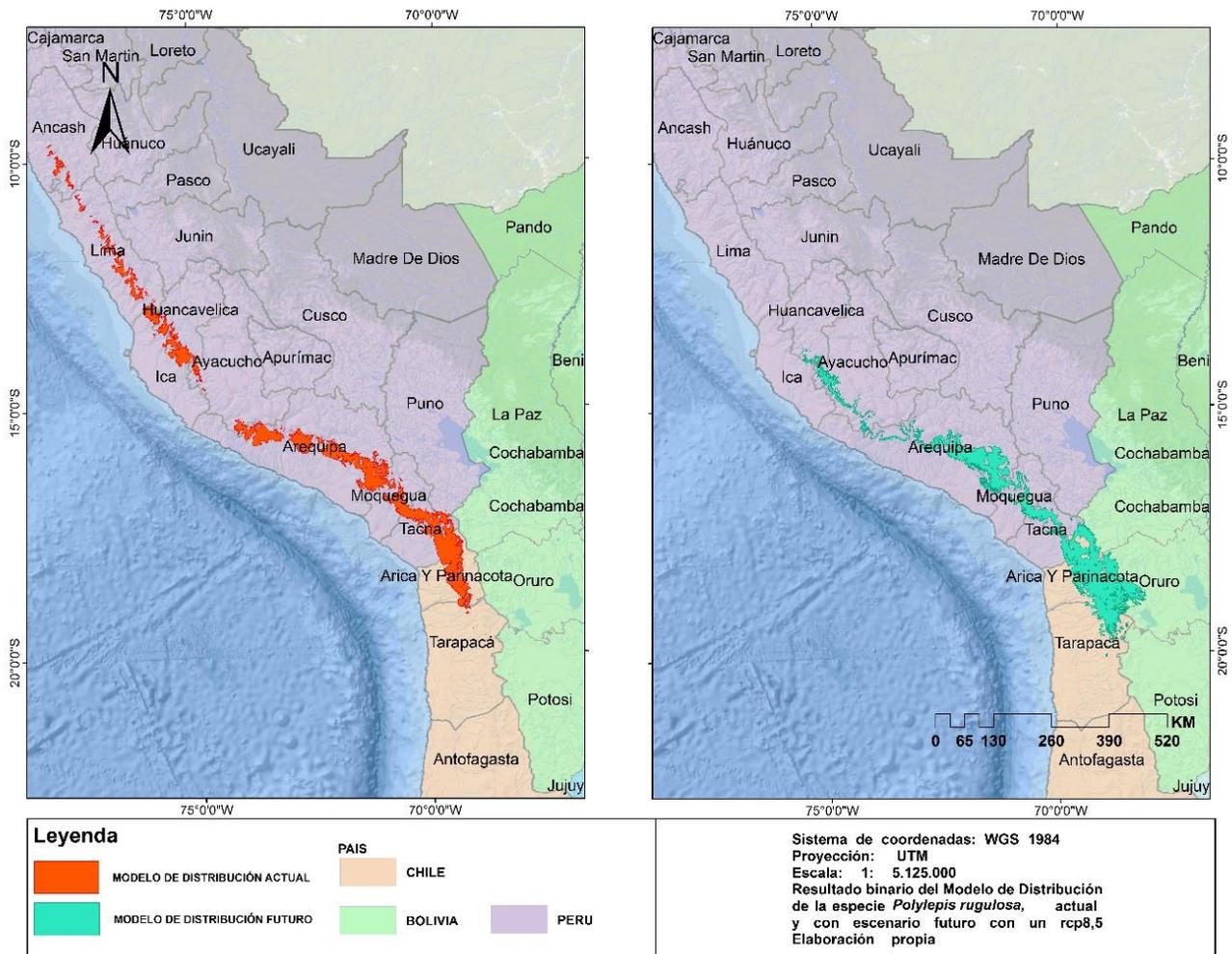
4.1.1 Polylepis rugulosa

El modelo de distribución de especies proyectado al futuro con cambio climático seleccionado para la especie arbórea *Polylepis rugulosa* fue el BCC-CSM1. Se seleccionó este modelo ya reunía mayores similitudes en los resultados de las variables utilizadas entre ambos modelos (actual y futuro), principalmente en los valores de “Percent contribution” en las variables bio15, bio14, bio10 y bio13 (Anexo 1), y además de obtener un mejor gráfico de ajuste (Anexo 2) que el modelo HADGEM-ES.

En cuanto a los valores de AUC del modelo de distribución de especies para el presente y futuro de la especie *Polylepis rugulosa* se pueden destacar valores muy altos para ambos casos, para el modelo del presente es de 0.997 y para el resultado del modelo para el futuro también es de 0.997, por lo cual significa que serían excelentes modelos estadísticos, ya que sobrepasan los 0.9, (SWETS, 1998, en MARQUET *et al.*, 2014).

En el ajuste del modelo de distribución (presente y futuro) de la especie arbórea se determinó utilizar 9 de las 19 variables bioclimáticas. Para el modelo de distribución en el presente las variables que más contribuyeron (Anexo 4) por sí solas (*Percent contribution*) son mayormente de precipitación, estas son la bio 15 (estacionalidad de la precipitación), bio 14 (precipitación del mes más seco), bio 10 (temperatura media del trimestre más cálido) y bio 13 (precipitación del mes más húmedo). Y la variable bioclimática que tuvo mayor importancia respecto a otras variables (*Permutation importance*) fue la bio 4 (variación estacional de la temperatura). Mientras que Para el modelo de distribución en el futuro con cambio climático rcp8.5 las variables que más contribuyeron (Anexo 5) fueron la bio 14 (precipitación del mes más seco), bio 10 (temperatura media del trimestre más cálido), y bio 13 (precipitación del mes más húmedo); a diferencia del modelo presente sin la variable bio 15 como las más importante. Y la variable bioclimática que tuvo mayor importancia respecto a otras variables (*Permutation importance*) al igual que en el presente fue la bio4.

Figura N° 18 Resultado binario del modelo de distribución de la especie *Polylepis rugulosa*

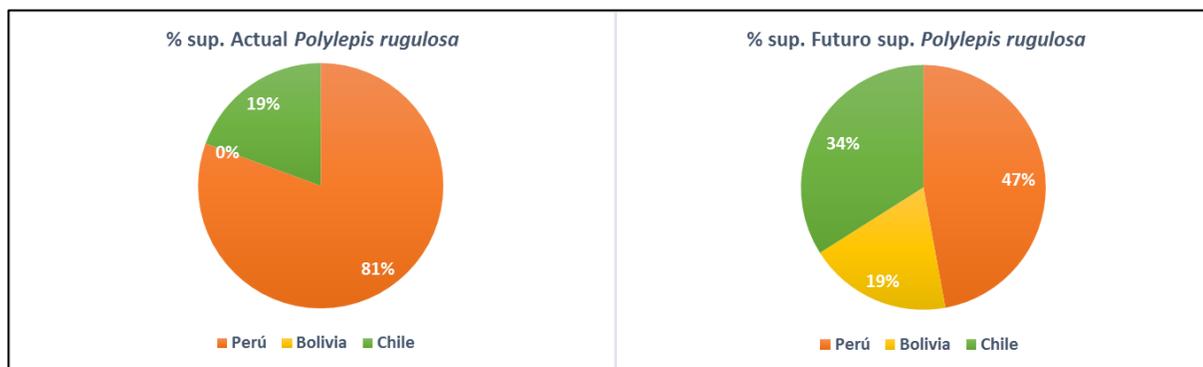


En la figura anterior se puede ver la representación del umbral (de la distribución potencial de la especie *Polylepis rugulosa*, la que parte de un valor mínimo del umbral de 0.384 para la distribución en el presente y de un umbral mínimo de 0.333 para la proyección hacia el futuro con cambio climático con escenario extremo. La proyección en extensión en el presente comprende una superficie total de 27.136 Km² versus una mayor extensión proyectada hacia el futuro de 30.909 Km².

La distribución potencial del presente parte desde el departamento de Ancash del este de Perú hasta la zona de la precordillera y cordillera altiplánica de la región de Arica y Parinacota en Chile. Y en la distribución potencial del futuro en el norte parte desde el departamento de Huancavelica en Perú, pasando por el departamento de Oruro por Bolivia hasta la cordillera prealtiplánica de la región de Tarapacá en Chile.

Actualmente la superficie con probabilidad de distribución de la especie *Polylepis rugulosa* se encuentra mayormente en Perú con un 81 % versus un 19 % en Chile, además un pequeño porcentaje que no es apreciable en el gráfico en Bolivia (Gráfico N°1). A diferencia del resultado para la actualidad, el del modelo para el futuro, se aprecia que la distribución se presenta de manera más equitativa entre los tres países, reduciendo la superficie proyectada en Perú y aumentando de manera similar en Chile y en Bolivia (véase ANEXO 3).

Gráfico N° 1 Porcentaje de distribución potencial de la especie *Polylepis rugulosa* por país



4.1.2 *Pitavia punctata*

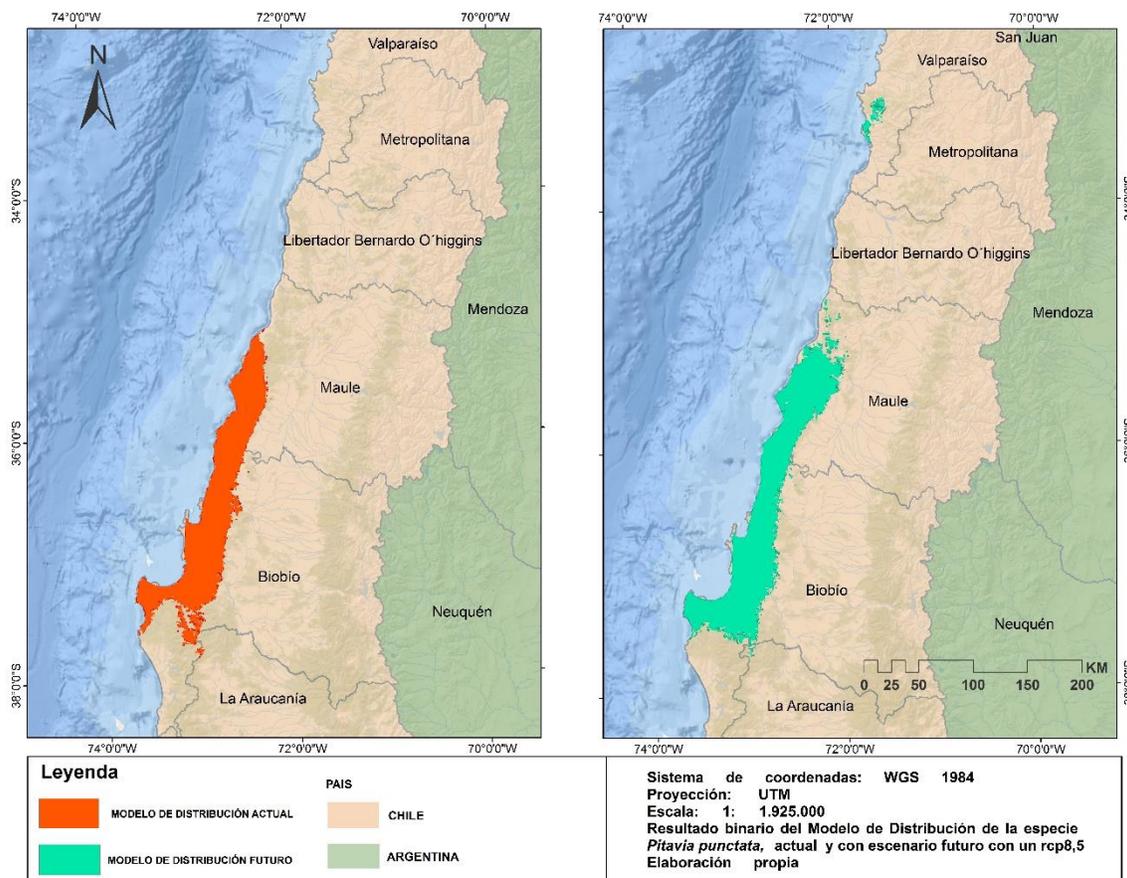
El modelo de distribución de especies proyectado al futuro con cambio climático seleccionado para la especie arbórea *Pitavia punctata* fue el el HADGEM-ES. Se seleccionó este modelo porque reúne mayores similitudes en los resultados de las variables utilizadas en ambos modelos (actual y futuro), principalmente en los valores de “Percent contribution” en las variables bio18, bio19, bio4 y bio 14 (Anexo 1), y además de mostrar un mejor gráfico de ajuste (Anexo 2) que el modelo BCC-CSM1.

En cuanto a los valores de AUC del modelo de distribución de especies para el presente y futuro de esta especie arbórea se pueden destacar valores muy altos para ambos casos, para el modelo del presente es de 0.994 y para el resultado del modelo para el futuro es de 0.995, por lo cual son excelentes modelos estadísticos, ya que sobrepasan los 0.9, (SWETS, 1998, en MARQUET *et al.*, 2014).

En el modelo proyectado para el presente y para el futuro de la especie *Pitavia punctata* en su ajuste se utilizaron finalmente 8 de las 19 variables bioclimáticas, las que se pueden apreciar en el ANEXO 4. Para el modelo de distribución en el presente las variables que más contribuyeron por sí solas (Percent contribution) son principalmente de precipitación. Entonces estas variables son la bio 18 (Precipitación del trimestre más cálido), bio 19 (precipitación del trimestre más frío), bio 4 (variación estacional de la temperatura) y bio 14 (precipitación del mes más seco). Y la variable bioclimática que tuvo mayor importancia respecto a otras variables (Permutation importance) fue la bio 16 (Precipitación del trimestre

más húmedo). Mientras que para el modelo de distribución en el futuro con cambio climático las variables que más contribuyeron (ANEXO 5) fueron la bio 18 (Precipitación del trimestre más cálido), bio 19 (Precipitación del trimestre más frío), y bio 4 (Variación estacional de la Temperatura). Y la variable bioclimática que tuvo mayor importancia respecto a otras variables (Permutation importance) al igual que en el presente fue la bio16.

Figura N° 19 Resultado binario del modelo de distribución de la especie *Pitavia punctata*



En la figura anterior se puede ver la representación del umbral de la distribución potencial de la especie *Pitavia punctata*, la que parte de un valor mínimo del umbral de 0.274 para la distribución en el presente y de un umbral mínimo de 0.249 para la proyección hacia el futuro con cambio climático con escenario extremo. La proyección en extensión en el presente comprende un área total de 8.376,2 Km² versus una extensión superior proyectada hacia el futuro de 9.896,3 Km², esta es la especie (de las 3 estudiadas) que posee menor extensión de posibilidad de distribución.

Como la especie *Pitavia punctata* es endémica de Chile, la superficie de distribución según ambos modelos (presente y futuro) se acota solo para este país, pero si se puede apreciar una nueva superficie hacia el norte en la región metropolitana.

La distribución potencial del presente se encuentra en Chile y principalmente en la unidad geomorfológica de la Cordillera de la Costa y comienza desde el sur del río Huenchullami en la región del Maule hasta el río Butabal o Cabreria en la región del Biobío. Y en la distribución potencial del futuro desde el sur del río Mataquito en la región del Maule hasta el norte del río Pilpilco en la región del Biobío.

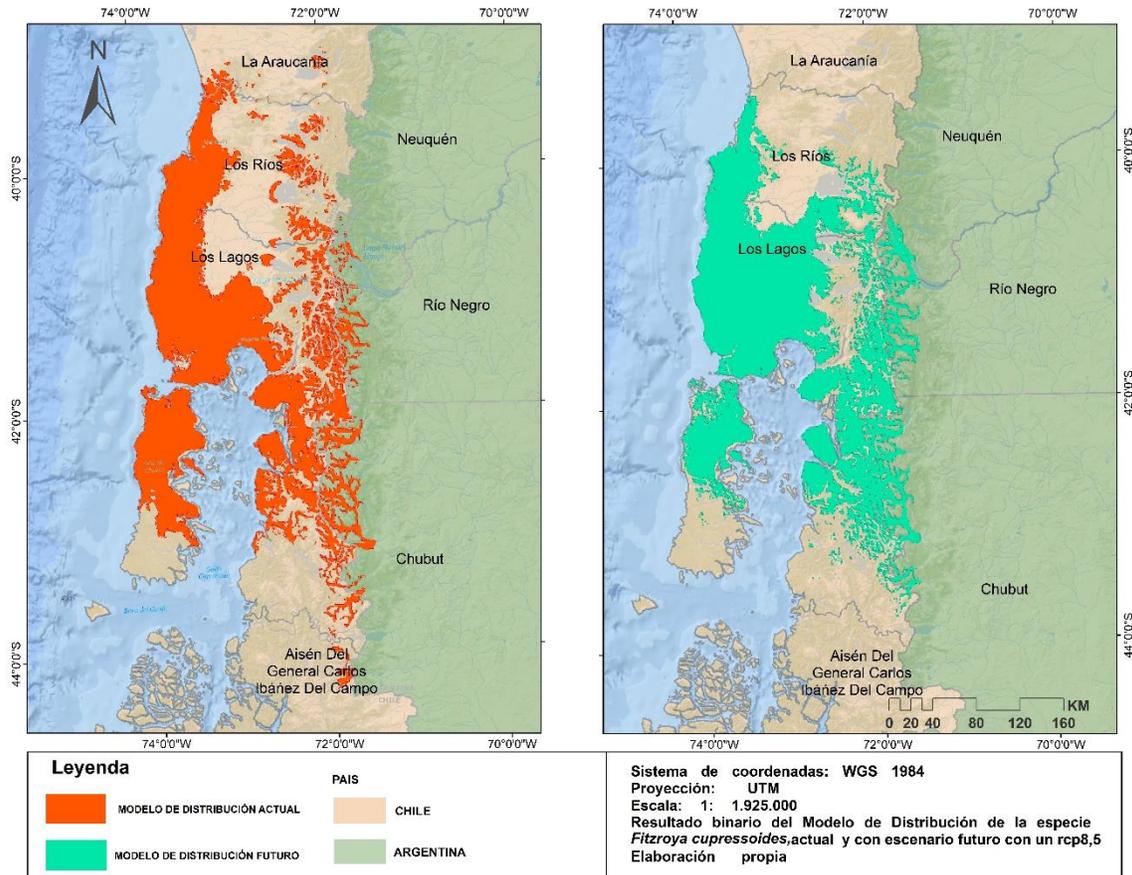
4.1.3 *Fitzroya cupressoides*

El modelo de distribución de especies proyectado al futuro con cambio climático seleccionado para la especie arbórea *Fitzroya cupressoides* fue el BCC-CSM1. Se seleccionó este modelo porque reunía mayores similitudes en los resultados de las variables utilizadas, principalmente en los valores de “Percent contribution” en las variables bio19, bio17, bio14 y bio3 (Anexo 1), y además de mostrar un mejor gráfico de ajuste (Anexo 2) que el modelo HADGEM-ES.

En cuanto a los valores de AUC del modelo de distribución de especies para el presente y futuro de la especie *Fitzroya cupressoides* se pueden destacar valores muy altos para ambos casos, para el modelo del presente es de 0.987 y para el resultado del modelo para el futuro es de 0.989, por lo cual significa que son excelentes modelos estadísticos, ya que sobrepasan los 0.9, (SWETS, 1998, en MARQUET *et al.*, 2014).

En el modelo proyectado para el presente y para el futuro de esa especie arbórea en su ajuste se utilizaron finalmente 12 de las 19 variables bioclimáticas, las que se pueden apreciar en el ANEXO 4. Para el modelo de distribución en el presente las variables que más contribuyeron por sí solas (Percent contribution) son principalmente de precipitación. Estas variables son la bio 19 (precipitación del trimestre más frío), bio17 (precipitación del trimestre más seco), bio14 (precipitación del mes más seco). Y la variable bioclimática que tuvo mayor importancia respecto a otras variables (Permutation importance) fue la bio 17 (precipitación del trimestre más seco). Mientras que para el modelo de distribución en el futuro con cambio climático las variables que más contribuyeron (ANEXO 5) fueron la bio 19 (precipitación del trimestre más frío), bio 15 (Estacionalidad de la Precipitación), y bio 17 (precipitación del trimestre más seco). Y la variable bioclimática que tuvo mayor importancia respecto a otras variables (Permutation importance) al igual que en el presente fue la bio17.

Figura N° 20 Resultado binario del modelo de distribución de la especie *Fitzroya cupressoides*

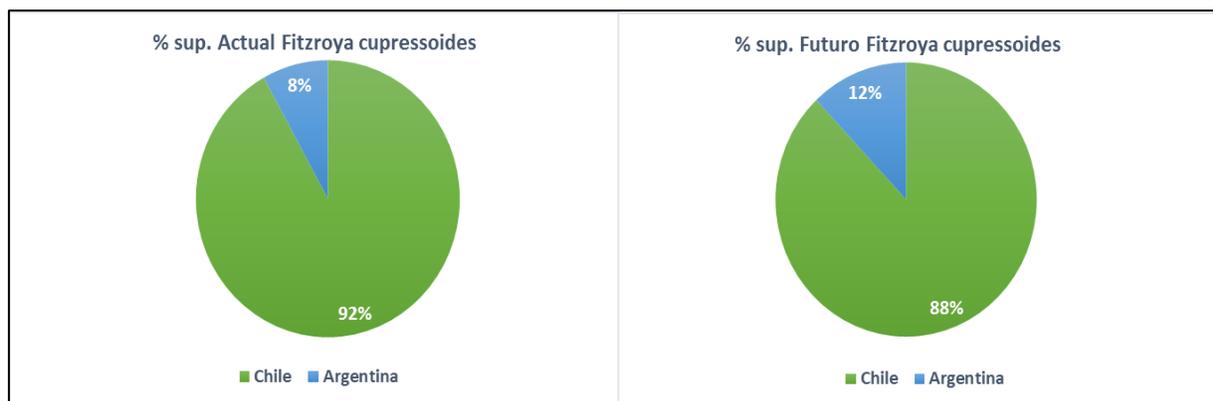


En la figura anterior se puede ver la representación del umbral (de la distribución potencial de la especie *Pitavia punctata*, la que parte de un valor mínimo del umbral de 0.417 para la distribución en el presente y de un umbral mínimo de 0.421 para la proyección hacia el futuro con cambio climático con escenario extremo. La proyección en extensión en el presente comprende un área total de 33.478 Km² versus una extensión superior proyectada hacia el futuro de 36.404 Km², esta es la especie (de las 3 estudiadas) que posee mayor extensión de probabilidad de distribución.

La distribución potencial del presente de la especie *Fitzroya cupressoides* se encuentra en Chile y Argentina. En Chile se encuentra desde el sur del río Toltén sobre las unidades geomorfológicas de la cordillera de la costa y precordillera andina en la distribución en la región de Los Ríos, mientras que en la región de los lagos su distribución llega aproximadamente hasta el río Palena sobre las unidades geomorfológicas de (de este a oeste) cordillera de la Costa, llano central con morena y conos, depósitos fluvioglaciales cordillera Andina; y en la zona argentina la distribución potencial se encuentra en los departamentos de Los lagos, Bariloche, Cushamen, Futaleufú. Y en la distribución potencial del futuro desde el sur del río Lingue o Melin en la región de los ríos hasta el norte del río

Palena al igual que la del presente en la región de Los Lagos; mientras que por Argentina se encuentra sobre los mismos departamentos que en la distribución al presente.

Gráfico N° 2: Porcentaje de distribución potencial de la especie *Fitzroya cupressoides* por país



Actualmente la superficie con probabilidad de distribución de la especie *Fitzroya cupressoides* se encuentra mayormente en Chile con un 92 % versus un 8 % en Argentina (Gráfico N°2). En el modelo que representa el escenario del futuro con escenario de cambio climático rcp8,5 se aprecia un aumento en extensión en Argentina y una disminución para Chile (ANEXO 3).

4.2 Identificación las superficies de pérdidas y ganancias en la distribución potencial en las especies *Polylepis rugulosa*, *Pitavia punctata* y *Fitzroya cupressoides* frente al escenario de cambio climático.

A continuación, se puede ver en las Figuras N°18, 19, y 20 el resultado de la suma de los modelos de distribución del presente y del futuro, la que finalmente da como resultado 3 superficies identificadas con: El color naranja a las áreas de “perdida” que corresponde a las áreas proyectadas en el modelo del presente como áreas con probabilidad de distribución de la especie en cuestión, pero en el modelo de distribución del futuro con cambio climático no se presenta como área adecuada; con color verde a las áreas de “ganancia”, a las que en el modelo del presente no se proyectan como áreas adecuadas para la especie, pero si se proyectan para el modelo del futuro con cambio climático; y con color amarillo a las áreas de “permanencia”, identificadas como áreas que se presentan como adecuadas tanto como para el modelo del presente como para el modelo proyectado para el futuro con cambio climático.

4.2.1 *Polylepis rugulosa*

El resultado de la suma de los dos modelos de distribución de la especie *Polylepis rugulosa*, que permite ver y calcular las áreas de pérdidas y ganancias se puede ver en la siguiente Figura.

Figura N° 21 Resultado suma raster del modelo actual y modelo con escenario futuro de la especie *Polylepis rugulosa*



Para el año 2070 se calcula que perdería 13.444 km², lo que representa un 49,54 % de la extensión de probabilidad actual, en donde principalmente se reduciría el área de la zona norte del modelo de distribución actual. Las superficies de pérdida se concentran en los departamentos de Ancash, Lima, Huancavelica, Ica, se reduce también en Arequipa y en Tacna como se puede apreciar en la Figura N°24 de comparación de distribución potencial.

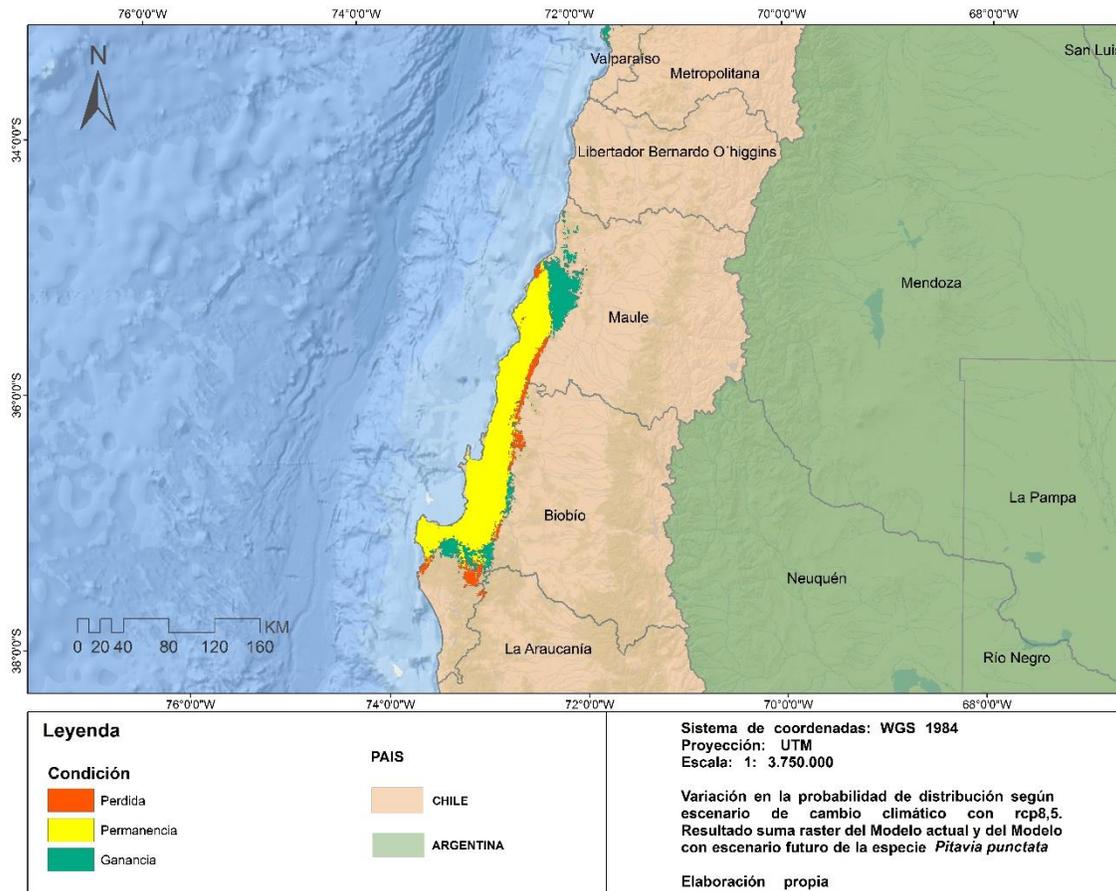
Si bien como se acaba de mencionar las áreas de distribución actual sufre áreas de pérdidas, para el futuro también se generan áreas de ganancias según los nuevos escenarios ambientales. En el caso de la especie *Polylepis rugulosa* las áreas de probabilidad de distribución de ganancia en el futuro se estima que es 17.216 km² aproximadamente, lo que representa un 64 % de la extensión actual de probabilidad de

distribución. Estas zonas se encuentran emplazadas principalmente en zonas de los departamentos de Perú de Ayacucho y Arequipa; En Chile avanzaría más al este de las regiones de Arica y Parinacota y de Tarapacá; y además se incluye dentro de las zonas ambientales adecuadas para el futuro el país de Bolivia, principalmente en la zona oeste del departamento de Oruro y en menos medida en La Paz.

4.2.2 *Pitavia punctata*

El resultado de la suma de los dos modelos de distribución de la especie *Pitavia punctata*, que permite ver y calcular las áreas de pérdidas y ganancias se puede ver en la siguiente Figura.

Figura N° 22 Resultado suma raster del modelo actual y modelo con escenario futuro de la especie *Pitavia punctata*



La distribución de la especie arbórea *Pitavia punctata* es la que sufre menos porcentaje de pérdida en la proyección al futuro con respecto a la extensión actual. Para el año 2070 se calcula que perdería 953 km² aproximadamente, lo que representa un 11,3 % de la

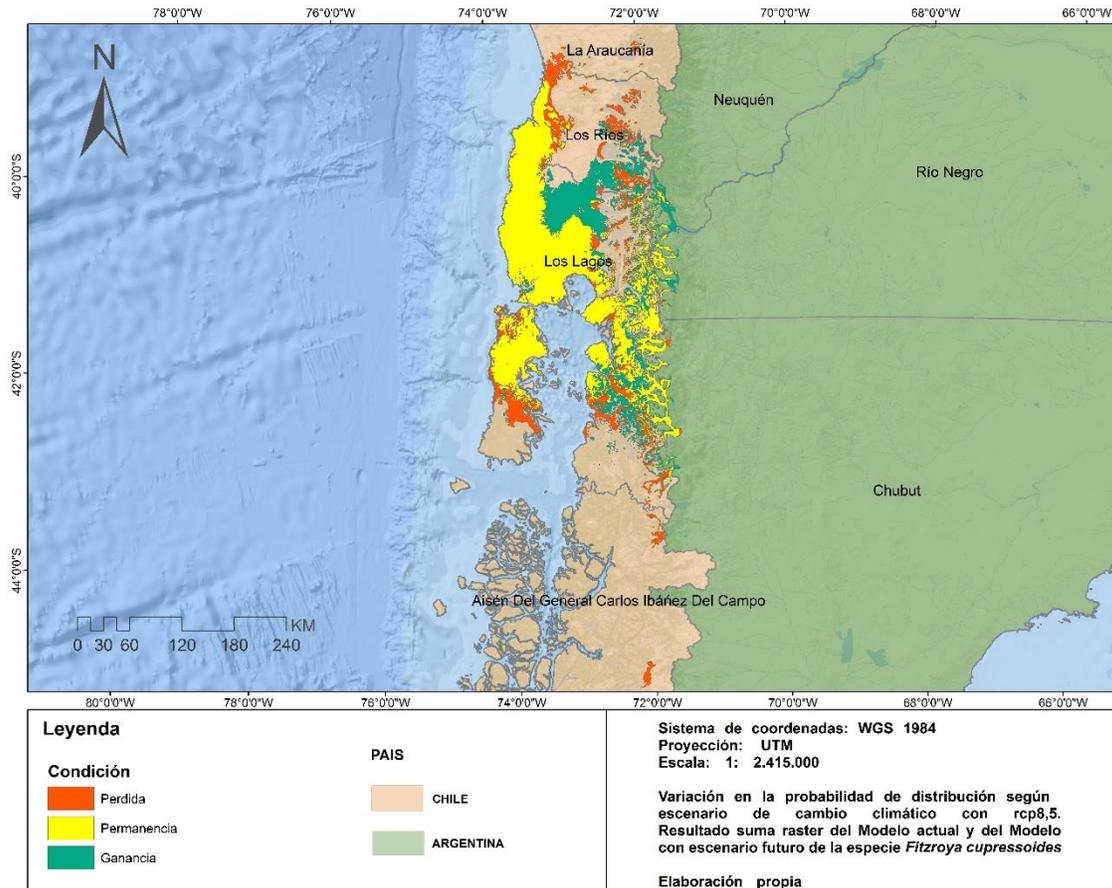
extensión de probabilidad actual. Las superficies de pérdida se concentran principalmente en el borde este- central de la distribución de las regiones del Maule y Biobío.

Si bien como se acaba de mencionar las áreas de distribución actual sufre áreas de pérdidas, para el futuro también se generan áreas de ganancias según los nuevos escenarios ambientales. En el caso de la especie *Pitavia punctata* estas zonas de ganancia se estima que son 2.273 km² aproximadamente, lo que representa un 27 % de la extensión del modelo actual. Estas superficies se encuentran emplazadas en la zona norte del modelo actual principalmente en la zona costera central de la región de Maule, incluyéndose la comuna de Constitución, San Javier; También en la zona norte por la comuna de Curanilahue se incluye una nueva zona apta para escenarios futuros de cambio climático. Además de las pérdidas o ganancias de áreas al modelo del presente, para el futuro además se suma otra área alejada del modelo y distribución actual ubicada en la región de Valparaíso incluyéndose áreas de las comunas de Casablanca, Valparaíso y San Antonio.

4.2.3 *Fitzroya cupressoides*

El resultado de la suma de los dos modelos de distribución de la especie *Fitzroya cupressoides*, que permite ver y calcular las áreas de pérdidas y ganancias se puede ver en la Figura N°23.

Figura N° 23 Resultado suma raster del modelo actual y modelo con escenario futuro de la especie *Fitzroya cupressoides*



Para el año 2070 se calcula que perdería 7910 km² aproximadamente, lo que representa un 24 % de la extensión de probabilidad actual. Las superficies de pérdida se concentran en las zonas costeras de los extremos norte y sur del modelo en Chile. En el norte se reduce en mayormente en las comunas de Toltén, Mariquina, Valdivia y Panguipulli. Y en el sur se reduce mayormente en las comunas de Quellón y Chonchi en la isla de Chiloé, también en las comunas de Lago Verde, Chaitén Y Palena. En Argentina no se ven pérdidas significativas.

Si bien como se acaba de mencionar las áreas de distribución actual sufre áreas de pérdidas, para el futuro también se generan áreas de ganancias según los nuevos escenarios ambientales. En el caso de la especie *Fitzroya cupressoides* las áreas de probabilidad de distribución de ganancia en el futuro se estima que es 10.366 km² aproximadamente, lo que representa un 31 % de la extensión actual de probabilidad de distribución. Estas áreas se pueden ver en la zona centro norte de la región de Los Lagos y en menos medida en la región de los Ríos, principalmente en las comunas de Río Bueno, Puyehue, Osorno, Río Negro, Purranque, Puerto Octay; en menos medida en la zona sur del modelo en la comuna de Chaitén también de la región de Los Lagos. En Argentina se

aprecian nuevas áreas de probabilidad de distribución principalmente en la provincia de Neuquén y en menor medida en Rio Negro.

4.3 Determinación de la superficie de pérdida o ganancia de la distribución de las especies frente al escenario de cambio climático en áreas protegidas (AP).

En el siguiente resultado se realizó un cruce de información entre las áreas de pérdida, ganancia y permanencia mencionadas en el objetivo anterior, con la capa (shapefile) con las áreas protegidas de Perú, Bolivia, Argentina y Chile. Se hizo con el fin de identificar en específico qué A.P. presentan las características ambientales adecuadas para cada especie, y también si en esas áreas en un futuro con cambio climático rcp8.5 presentan pérdidas o aumento de superficies adecuadas a las especies.

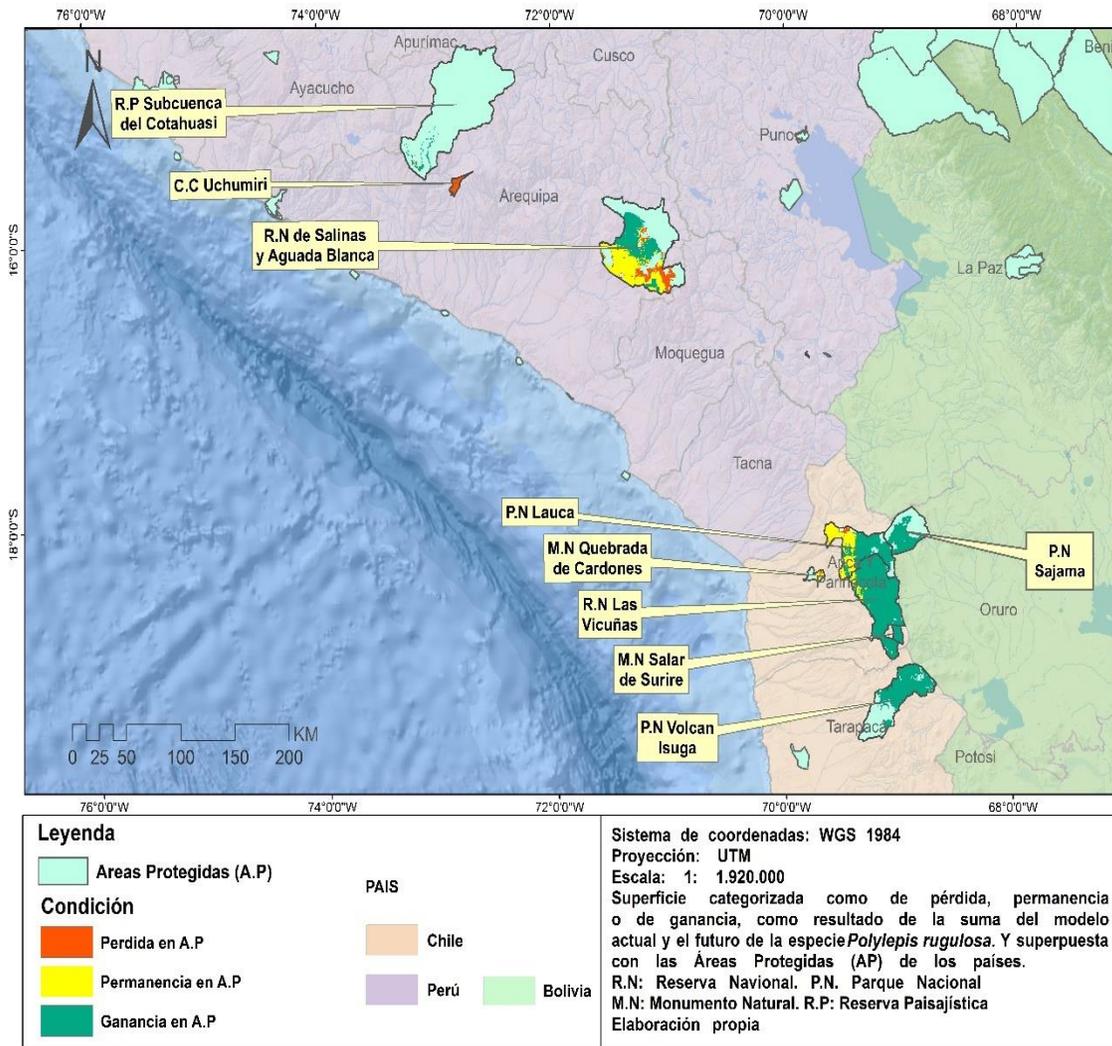
A modo general en las figuras N°24, 25 y 26 se pueden apreciar 3 colores: amarillo, de permanencia, lo que quiere decir que son superficies ambientalmente adecuadas en ambos modelos de distribución de especies (actual y futuro); naranja, son las áreas que en la actualidad si son áreas ambientalmente propicias para que la especie habite, pero en el modelo del futuro no; y verde son áreas que en la actualidad no son áreas adecuadas pero en el futuro con cambio climático sí. Además, después de cada figura se pueden ver unas tablas en donde se realizó el cálculo de las áreas en km² de cada condición por A.P y el cálculo de suma de áreas de ganancias y áreas de pérdidas para identificar cuál de las dos condiciones es mayor.

Se presentan los resultados de norte a sur.

4.3.1 *Polylepis rugulosa*

A modo general se puede apreciar en la figura N° 24 que la condición que predomina dentro de las Áreas Protegidas es la de ganancia, lo que quiere decir que actualmente las superficies que presentan probabilidad de distribución de la especie *Polylepis rugulosa* dentro de las A.P son menores que las que se encontraran en un posible escenario futuro de cambio climático. También se puede apreciar que Chile es el país en el cual se presentan mayores superficies de probabilidad de distribución que se encuentran en Áreas Protegidas, luego Perú y finalmente Bolivia.

Figura N° 24 Superficie de ganancia, perdida o permanencia de los modelos de la especie *Polylepis rugulosa* dentro de las Áreas Protegidas



Las A.P que presentan mayor superficie de probabilidad de distribución de la especie *Polylepis rugulosa* (permanencia + ganancia) en un futuro con cambio climático en primer lugar la Reserva Nacional Las Vicuñas en Chile con 2050,18 km², en segundo lugar, la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca con 1749, 97 km² y en tercer lugar se encuentra el Parque Nacional Lauca 1188,86 km².

Las Áreas Protegidas que presenta mayor superficie de ganancia hacia un futuro con cambio climático son: la Reserva Nacional Las Vicuñas ubicada en la región de Arica y Parinacota en Chile, que si bien presenta en la actualidad una superficie que en el futuro se mantiene (permanencia) y también una pequeña superficie de perdida, el gran aporte es de ganancia con 1951,31 km², siendo la A.P con mayor diferencia entre pérdidas y ganancias. En segundo lugar, se encuentra el Parque Nacional Volcán Isluga en la región de Tarapacá en Chile, tiene una importancia adicional ya que en la actualidad solo presenta

0,8 km² de superficie como apta para a distribución de la especie, pero en un futuro con cambio climático esa área se presenta de pérdida, no obstante, se incorporan 987,61 km² de nuevas superficies en donde las condiciones ambientales serán favorables.

También se presentan dos áreas protegidas en las cuales la probabilidad de distribución de la especie *Polylepis rugulosa* es mayor en pérdidas que en ganancias (véase tabla 4). Primero, la Comunidad Campesina Uchumiri del departamento de Arequipa en Perú, la cual perderá toda la superficie que en la actualidad presenta condiciones propicias para que la especie *Polylepis rugulosa* habite, o sea se verá reducido en un en un 100 por ciento; también en el Monumento Natural Quebrada de Cardones que, si bien presenta una superficie ya de permanencia y también nuevas áreas de ganancias, tiene una superficie mayor de pérdida que de ganancias, producto de que se reducen las condiciones ambientales favorable proyectada para la actualidad.

Es necesario mencionar también las AP que actualmente no poseen superficies con condiciones ambientales favorables para la especie, pero en que un futuro con escenario de cambio climático si se presentaran estas condiciones. Dichas AP el Monumento Natural Salar de Surire en la región de Arica y Parinacota en Chile con 106, 88 km²; y el Parque Nacional Sajama en el departamento de Oruro en Bolivia, esto es de importancia ya que en el modelo actual de distribución de especies no se incorpora el territorio de Bolivia, pero en el modelo del futuro sí.

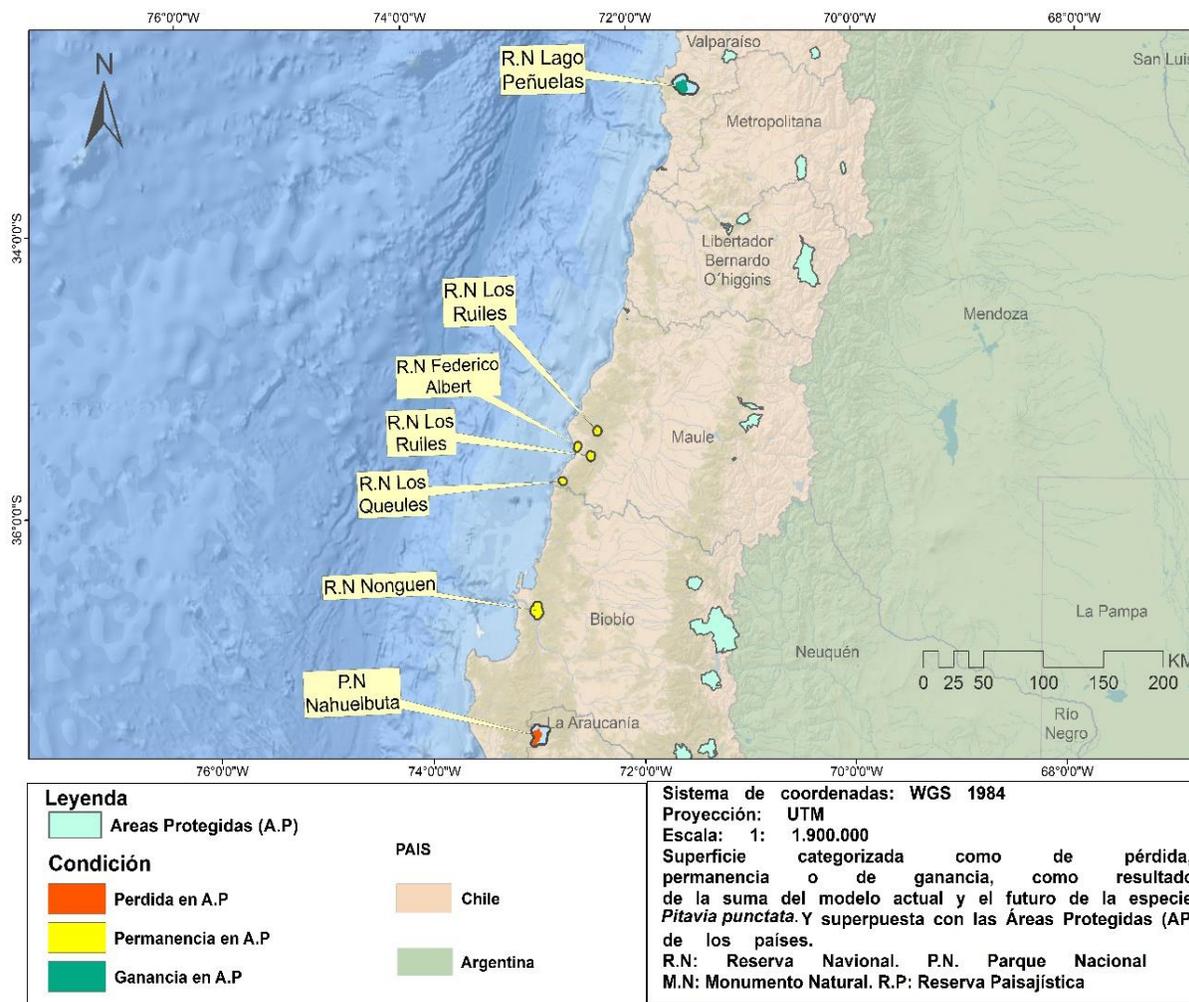
Tabla N° 4 Superficie en km² de pérdida, ganancia o permanencia por área protegida de la especie *Polylepis rugulosa*

| Nombre de Área Protegida (A.P) | Sup. De permanencia (km ²) | Sup. De pérdida (km ²) | Sup. De Ganancia (km ²) | Diferencia entre sup. Pérdida y sup. Ganancia | Suma permanencia y ganancia |
|--------------------------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------|
| C.C Uchumiri | 0 | 97,21 | 0 | -97,20 | 0 |
| M.N Quebrada de Cardones | 40,48 | 10,22 | 0,81 | -9,41 | 41,29 |
| R.P Subcuenca del Cotahuasi | 0 | 7,45 | 82,87 | 75,42 | 82,87 |
| M.N Salar de Surire | 0 | 0 | 106,88 | 106,88 | 106,88 |
| P.N Sajama | 0 | 0 | 443,61 | 443,61 | 443,61 |
| P.N Volcán Isluga | 0 | 0,81 | 988,42 | 987,61 | 988,42 |
| P.N Lauca | 492,76 | 36,21 | 696,10 | 659,89 | 1188,86 |
| R.N de Salinas y Aguada Blanca | 919,17 | 344,26 | 830,80 | 486,54 | 1749,97 |
| R.N Las Vícuñas | 96,02 | 2,69 | 1954,16 | 1951,31 | 2050,18 |
| Total | 1548,43 | 498,84 | 5103,65 | 4604,65 | 6652,08 |

4.3.2 *Pitavía punctata*

A modo general en la figura N° 22 no es posible distinguir cual condición es la que predomina, si pérdida, ganancia o permanencia dentro de las Áreas Protegidas. Se puede apreciar que las condiciones de distribución se encuentran en pequeñas cantidades dispersa en varias regiones, en la región de Valparaíso, en el Maule, Araucanía y Biobío en Chile ya que como se mencionó anteriormente se trata de una especie endémica de Chile.

Figura N° 25 Superficie de ganancia, perdida o permanencia de los modelos de la especie *Pitavia punctata* dentro de las Áreas Protegidas



Las A.P que presentan mayor superficie de probabilidad de distribución de la especie *Pitavia punctata* (permanencia + ganancia) en un futuro con cambio climático en primer lugar la Reserva Nacional Nonguen con 39,39 km² (véase la tabla N° 5), en segundo lugar, la Reserva Nacional Lago Peñuelas con 26,35 km² y en tercer lugar la superficie es mucho menor con 9,56 km² en la Reserva Nacional Los Ruales.

Las áreas protegidas en las que se distribuye mayor superficie de ganancia hacia un futuro con cambio climático son solo dos: primera, la Reserva nacional Lago Peñuelas ubicada en la región de Valparaíso, en la cual no se presenta actualmente superficies con probabilidad

de distribución, pero en un futuro con escenario climático si (26,35 km²), por lo tanto, son superficies que en un futuro tendrán las condiciones ambientales favorables para la especie fuera de su actual distribución. En segundo lugar, se encuentra la Reserva Nacional Nonguen que si bien presenta superficie que actualmente también es ambientalmente favorable para la especie *Pitavia punctata* también según los resultados del modelo futuro con escenario climático se sumarían 9 km² de superficie como apta para a distribución de la especie.

Por otra lado también se puede ver que existe el caso en que la probabilidad de distribución de la especie sea mayor en pérdidas que en ganancias (véase tabla 5), tal es el caso en el Parque Nacional Nahuelbuta de la región de la Araucanía, en la cual se perderá toda la superficie que en la actualidad presenta condiciones propicias para que la especie *Pitavia punctata* habite, o sea se verá reducido en 12,94 km², su 100 por ciento, producto de que se reducen las condiciones ambientales favorable proyectada para la actualidad.

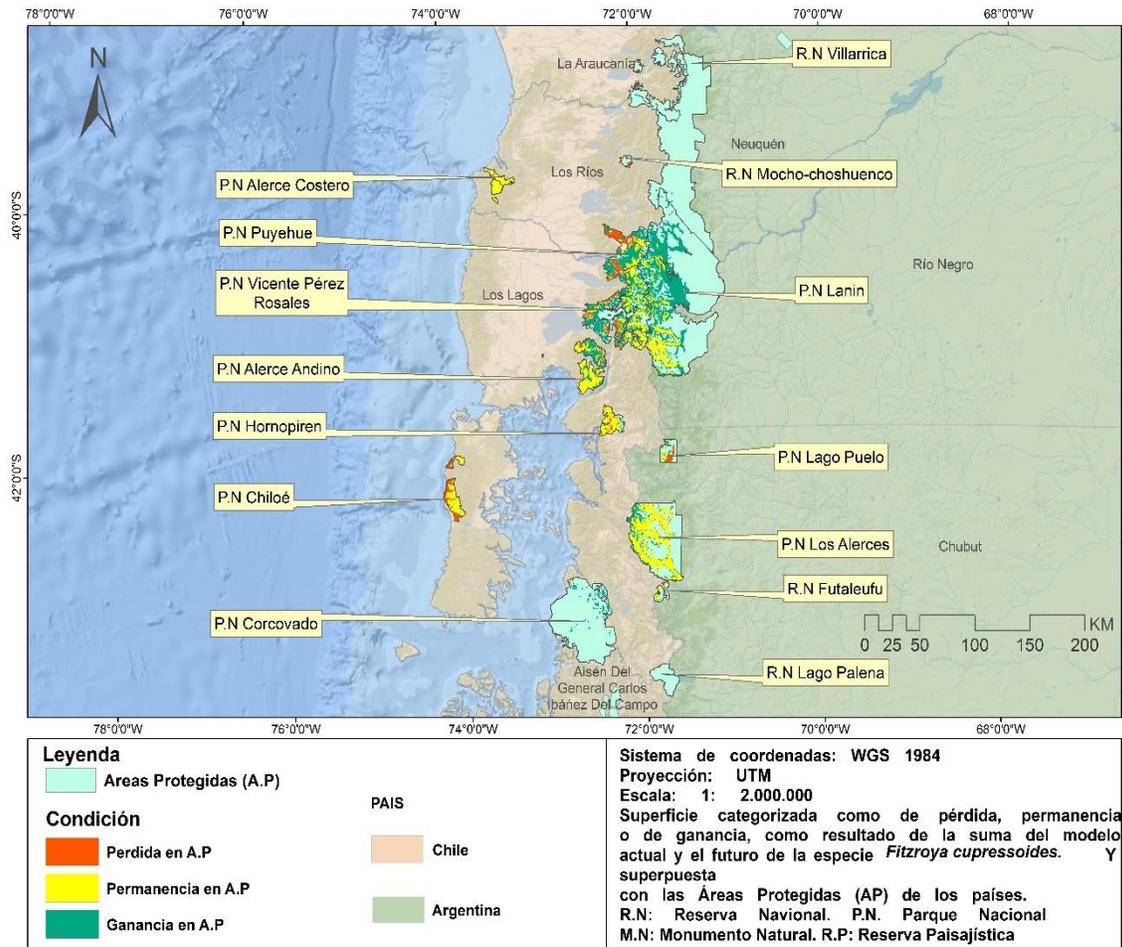
Tabla N°5: Superficie en km² de pérdida, ganancia o permanencia por área protegida de la especie *Pitavia punctata*

| Nombre de Áreas Protegidas (A.P) | Sup. De permanencia (km ²) | Sup. De pérdida (km ²) | Sup. De ganancia (km ²) | Diferencia entre sup. Perdida y sup. Ganancia | Suma permanencia y ganancia |
|----------------------------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------|
| P.N Nahuelbuta | 0 | 12,94 | 0,00 | -12,94 | 0,00 |
| R.N Federico Albert | 1,369568057 | 0,00 | 0,00 | 0 | 1,37 |
| R.N Los Queules | 1,456601397 | 0,00 | 0,00 | 0 | 1,46 |
| R.N Los Ruyiles | 9,557161091 | 0,00 | 0,00 | 0 | 9,56 |
| R.N Lago Peñuelas | 0 | 0,00 | 26,35 | 26,35 | 26,35 |
| R.N Nonguen | 30,36406051 | 0,00 | 9,00 | 9 | 39,36 |
| Total | 42,74739105 | 12,93601947920 | 35 | 22,40986224380 | 78,09 |

4.3.3 *Fitzroya cupressoides*

A modo general se puede apreciar en la figura N° 26 que la condición que predomina dentro de las áreas protegidas es la de ganancia, lo que quiere decir que actualmente las superficies que presentan probabilidad de distribución de la especie *Fitzroya cupressoides* dentro de las A.P son menores que las que se encontraran en un posible escenario futuro de cambio climático. También se puede apreciar que Chile es el país en el cual se presentan mayores superficies de probabilidad de distribución que se encuentran en Áreas Protegidas luego Argentina.

Figura N° 26 Superficie de ganancia, perdida o permanencia de los modelos de la especie *Fitzroya cupressoides* dentro de las Áreas Protegidas



Las A.P que presenta mayor superficie de probabilidad de distribución de permanencia y ganancia de la especie *Fitzroya cupressoides* en un futuro escenario de cambio climático, en primer lugar es la Reserva nacional Lanin del departamento de Rio Negro en Argentina con 2435,17 km², si bien tiene superficie de permanencia (actual y futura) el gran aporte de superficie sería del ambiente del futuro con cambio climático; en segundo lugar el Parque Nacional Vicente Pérez Rosales de la región de Los Lagos en Chile con 1405,01 km² y la tercer lugar se encuentra el Parque Nacional y Reserva Nacional Los Alerces del departamento de Chubut en Argentina con 1184,81 km².

Las áreas protegidas que presenta mayor superficie de ganancia o áreas con probabilidad de distribución hacia un futuro con cambio climático son: el Parque Nacional Lanin con 1791 km², luego le sigue nuevamente el Parque Nacional Vicente Pérez Rosales en Chile con 816 km²; y en tercer lugar se encuentra el Parque Nacional Puyehue en la región de Los Lagos en Chile con 479,86 km².

También se presentan áreas protegidas en las cuales la probabilidad de distribución de la especie *Fitzroya cupressoides* es mayor en pérdidas que en ganancias (véase tabla 6), llegando a 0 probabilidad de distribución en un futuro con cambio climático (suma permanencia y ganancia). Primero, la Reserva Nacional Mocho-choshuenco de la región de Los Ríos en Chile perderá 10,16 km² lo que corresponde a la superficie que en la actualidad presenta condiciones propicias para que la especie *Fitzroya cupressoides* habite, o sea se verá reducido en un 100 por ciento; también la pequeña superficie de la Reserva Nacional Coyhaique que actualmente posee probabilidad de distribución 0,1 km² se verá reducida. Además, si bien en muchas A.P. se localizan superficies de permanencia (actual y futura) es necesario mencionar las AP que la diferencia entre lo que se gana y se pierde, presentan superficies mayores de pérdida que de ganancias, producto de que se reducen las condiciones ambientales favorable proyectada para la actualidad, la primera es el Parque Nacional Chiloé que solo presenta áreas de pérdida en un futuro de -142,78 km², en segundo lugar está el Parque Nacional Lago Puelo con -36,9 km² de diferencia entre ganancia menos pérdida, y en tercer lugar se encuentra la diferencia de condición del Parque Nacional Hornopirén en la región de Los Lagos en Chile con -36,05 también superior en pérdidas que en ganancia.

Tabla N° 6: Superficie en km² de pérdida, ganancia o permanencia por Área Protegida de la especie *Fitzroya cupressoides*

| Nombre de Áreas Protegidas (A.P) | Sup. de permanencia (km ²) | Sup. De pérdida (km ²) | Sup. De ganancia (km ²) | Diferencia entre pérdida y ganancia | Suma permanencia y ganancia |
|----------------------------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| R.N Mocho-Choshuenco | 0 | 10,16 | 0 | -10,16 | 0,00 |
| R.N Coyhaique | 0 | 0,01 | 0 | -0,01 | 0,00 |
| R.N Lago Palena | 0,78 | 3,10 | 0,69 | -2,41 | 1,47 |
| M.N Lahuen Ñadi | 2,00 | 0 | 0 | 0 | 2,00 |
| R.N Villarrica | 0 | 6,62 | 11,85 | 5,23 | 11,85 |
| R.N Futaleufu | 32,60 | 2,90 | 7,14 | 4,24 | 39,74 |
| P.N y R.N Lago Puelo | 25,88 | 58,39 | 21,49 | -36,90 | 47,37 |
| P.N Corcovado | 0 | 3,77 | 101,49 | 97,72 | 101,49 |
| P.N Hornopiren | 217,64 | 59,41 | 23,35 | -36,05 | 240,99 |
| P.N Alerce Costero | 249,05 | 0 | 0 | 0 | 249,05 |
| P.N Chiloé | 265,03 | 142,78 | 0 | -142,78 | 265,03 |
| R.N Llanquihue | 132,00 | 35,26 | 181,07 | 145,81 | 313,07 |
| P.N Alerce Andino | 290,07 | 5,32 | 91,13 | 85,81 | 381,20 |
| P.N Puyehue | 200,71 | 275,57 | 479,86 | 204,29 | 680,57 |
| P.N y R.N Los Alerces | 929,54 | 27,82 | 255,27 | 227,45 | 1184,81 |
| P.N Vicente Pérez Rosales | 588,58 | 149,64 | 816,43 | 666,79 | 1405,01 |
| P.N Lanin | 643,42 | 0 | 1791,75 | 1791,75 | 2435,17 |
| Total | 3577,31 | 780,73 | 3781,50 | 3000,77 | 7358,81 |

CAPITULO 5: DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

5.1 DISCUSIÓN

5.1.1 En general

Primero que todo es necesario aclarar que la naturaleza es compleja y heterogénea y no es razonable esperar que los modelos nos reflejen con precisión los mecanismos inherentes a un proceso espacio-temporal tan complejo como es la distribución de las especies (Mateo, Felicísimo, & Muñoz, 2011), que como se ha mencionado depende no solo de las variables ambientales, si no, que también de las relaciones bióticas, de otras relaciones abióticas, de disponibilidad de recursos, de la movilidad, capacidad de dispersión, etc. Hay que mencionar que en los modelos de distribución de especies no se considera la capacidad adaptativa de las especies, la evolución, su capacidad de respuesta ante los cambios en el ambiente. La predicción de cambios adaptativos de las especies en respuesta al cambio climático se presenta como un gran desafío para los modeladores de vegetación actualmente (Pearson & Dawson, 2003).

Por lo tanto, en esta memoria se desarrolla la teoría del nicho descrito por Grinnell entre 1914 a 1920 (Pocheville, 2015) catalogado como nicho fundamental por Hutchinson (1957), el cual considera determinante al factor ambiental como delimitante de la distribución de las especies. La aplicación del término de nicho fundamental ha sido recomendada para estudios de gran escala, tal como este estudio, no así como un nicho realizado definido también por Hutchinson en 1957, en el cual se consideran otras condiciones de competencia interespecíficas y que es recomendado para estudios de escalas más pequeñas (Eliosa, Nieto, & Navarro, 2010). Sería ideal poder incorporar las dinámicas entre especies y evolutivas en todas las modelaciones de distribución, pero para este caso la importancia radica en la comparación de distribución entre un escenario ambiental actual y de escenario ambiental futuro con cambio climático rcp 8.5.

Sobre los modelos climáticos Globales (GCMs) se debe tener en claro que no son predicciones de situaciones futuras y no deben utilizarse como tales; ilustran los efectos de una amplia gama de supuestos económicos, demográficos y políticos. Existen incertidumbres considerables respecto a la evolución de las diversas actividades humanas (incluido el crecimiento y la estructura económicos), a los adelantos tecnológicos y a las respuestas del hombre a las posibles limitaciones ambientales, económicas e institucionales. Esta es la razón por la cual los escenarios de emisiones habrán de elaborarse con gran detenimiento y utilizarse con gran precaución (IPCC, 2007). En esta memoria se utilizaron dos modelos climáticos globales HADGEM-ES Y BCC-CSM1; con el fin de poder utilizar el que mejor se adecuara a la especie y obtuviera valores más altos en las pruebas de entrenamiento.

No obstante, se debe mencionar que al utilizar el software Maxent en las tres especies se obtuvieron excelentes valores AUC lo que quiere decir que el modelo es considerado excelente (SWETS, 1998, en Marquet, y otros, 2014 y PHILLIPS et al., 2006). Se puede

mencionar además, que los modelos de distribución de especies pueden ser muy útiles, dado que permiten tener una noción o proyección según los datos ambientales de cuál podría ser su distribución potencial actual y también de cómo se podría presentar un futuro con diferentes escenarios de cambio climático, en este caso cómo puede variar el hábitat ambiental compatible con las especies arbóreas *Polylepis rugulosa*, *Pitavia punctata* y *Fitzroya cupressoides*, fin principal de esta memoria.

Realizar los modelos sin considerar los límites político-administrativos de los países permitió realizar distribución potencial de las especies de manera más realista y completa que si hubiera sido solo por país. Es necesario unir los esfuerzos de conservación entre los países que cuentan con especies que poseen una distribución interregional, con el fin de que se cumplan las metas de conservación a una escala más amplia de análisis.

5.1.2. Según los resultados de los objetivos:

Teniendo en consideración lo antes mencionado, en esta memoria se evidencia en el resultado del objetivo N° 1 que en los tres casos la superficie de probabilidad de distribución de cada especie aumenta en un futuro con cambio climático, pero se hace necesario mencionar que en el modelo de la actualidad considera la ubicación y las características ambientales actuales, y para el modelo del futuro considera la misma ubicación y diferentes características ambientales (rcp 8.5), por lo tanto, no es que las características ambientales actuales se desplacen de esa manera, si no que según la localización de los puntos de presencia en la proyección de las características ambientales futuras se presentan de esa forma. Lo que quiere decir que se asume como si las especies estuvieran en equilibrio o en pseudo-equilibrio en ambos casos (Araújo & Pearson, 2005).

Ahora se puede decir que los resultados del objetivo n°2 y n°3 del presente estudio pueden ser de utilidad en los siguientes aspectos:

- I. A partir del resultado del segundo objetivo es posible reconocer zonas fuera de las áreas protegidas ya existentes, nuevos lugares en donde se podrían encontrar las especies estudiadas y las condiciones sean o no favorables. En la especie *Polylepis rugulosa* se evidencia mayor distribución hacia el sur y pérdida de superficie en el norte de la distribución actual; en la especie *Pitavia punctata* se puede desprender que la distribución será de una forma más alargada que la actual, ya que se agregan áreas de distribución hacia el norte y hacia el sur, no obstante se resta distribución potencial en el centro-este de la distribución actual; en la especie *Fitzroya cupressoides* se puede distinguir un aumento en la zona central de la distribución actual.

Esto permite reforzar los desafíos de conservación enlistados en los Planes de Manejo de las especies *Polylepis rugulosa* y *Pitavia punctata*, en donde se especifica: Por un lado la “Creación de nuevas áreas de protección oficial para resguardar la representatividad de la especie *Polylepis rugulosa*”, y por el otro lado “aumentar la prospección para determinar nuevos sitios de su presencia en todo su rango de distribución es esencial para lograr conocer y proteger efectivamente a las

poblaciones remanentes de la especie *Pitavia punctata*” (CONAF, 2013). Por lo tanto, que se pueda ver la distribución potencial actual y futura con escenario de cambio climático es una buena herramienta para poder cumplir dichos desafíos de conservación en ambas especies y también para la especie *Fitzroya cupressoides*.

- II. Con el resultado del tercer objetivo en el cual se puede calcular las superficies de las condiciones de pérdida, ganancia o permanencia en cada área protegida de cada país. En primer lugar, al identificar las superficies de “pérdida” se determina cuánto y dónde se verá reducida la probabilidad de distribución de la especie. Una de las modalidades más usadas a nivel mundial para proteger la biodiversidad ha sido la conservación in situ. De acuerdo con el Artículo 2º del Convenio de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica, por “conservación in situ”, se entiende la conservación de los ecosistemas y los hábitats naturales y el mantenimiento y recuperación de poblaciones viables de especies en sus entornos naturales (Ministerio de Medio Ambiente, 2011). De ahí la importancia de esta información, ya que permite tener mayor cuidado de la especie en dicha área protegida, gestionando e implementando planes de manejo y de protección. Además, permite identificar especialmente las áreas protegidas en las cuales la probabilidad de distribución se perderá por completo según la proyección de los modelos, permitiendo así poder categorizar la urgencia de protección de cada área protegida según especie. Por ejemplo, para la especie *Polylepis rugulosa* en la Comunidad Campesina Uchumiri, según los resultados no tendrá las condiciones ambientales adecuadas para la especie en un futuro con escenario climático; asimismo, ocurre con el Parque Nacional Nahuelbuta para la especie *Pitavia punctata*; y la Reserva Nacional Mocho-choshuenco y el Parque Nacional Coyhaique para la especie *Fitzroya cupressoides*.

En segunda instancia, al identificar las áreas que se mantendrán en el tiempo con condiciones ambientales favorables o sea de “permanencia” según cada especie, permite idear estrategias de conservación en dichas áreas protegidas, ya que si bien otras superficies pueden estar amenazadas, éstas superficies de permanencia serán los lugares en donde la especie aún pueda resistir los cambios ambientales (entendiendo que es un resultado de modelo) y en donde los planes de conservación puedan ser más efectivos que en las superficies identificadas como de pérdida.

En tercer lugar, las áreas identificadas como “ganancia” cumplen un papel predictivo sobre las áreas en donde la probabilidad de distribución se desplazará en un futuro con cambio climático, permitiendo así poder determinar inversión y planes de protección futuras de manera preventiva o cuando se evidencie una disminución o fragmentación de los hábitats actuales de las especies *Polylepis rugulosa*, *Pitavia punctata* o *Fitzroya cupressoides*.

5.2. CONCLUSIÓN

A modo de conclusión se puede decir que el programa Maxent es una herramienta confiable para la predicción de distribución de especies, ya que en todos los casos resultó ser un excelente modelo (valores AUC). Si bien la metodología utilizada no es común en otros estudios de distribución de especies, ésta permitió tener una noción de los cambios que podrían ocurrir en los hábitats de las especies estudiadas para el año 2070.

Se estudiaron las especies *Polylepis rugulosa*, *Pitavia punctata* y *Fitzroya cupressoides*, las que actualmente se encuentran en peligro de extinción. Este estudio enriquece el conocimiento de dichas especies, permitiendo así implementar más y mejores medidas de protección y conservación, apoyando así a los desafíos de los Planes de Conservación y de esta manera aportar los esfuerzos realizados para reducir los efectos negativos del cambio climático.

Si bien se evidencia que las tres especies estudiadas presentan aumento en el área de distribución potencial en un futuro con cambio climático, lo importante radica en como ésta se modifica, así como se generan ganancia en nuevas superficies también se generan pérdidas en otras. Por un lado, se reflejan en la suma de ambos modelos en donde queda en evidencia las superficies que se podrían perder y las que se podrían ganar, información útil para futuros estudios en los que se plantee creación de nuevas áreas protegidas (SNASPES). Y por otro lado esta misma información superpuesta con las áreas protegidas de los países Perú, Bolivia, Argentina y Chile, permitió identificar en particular cuales son las A.P que se exponen a la pérdida de las especies arbóreas estudiadas, y asimismo a las A.P que se podría incluir la especie si se piensa prevenir la extinción, la reducción o fragmentación del actual hábitat.

Es importante mencionar que los bosques constituyen una excelente herramienta para la mitigación del cambio climático cuando estos ecosistemas son gestionados y manejados de forma sostenible (Sarcca, 2017).

BIBLIOGRAFÍA

- Abdón, L., & Meza, F. (2008). *Cambio climático: consecuencias y desafíos para Chile*. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Albers, C. (11 de 09 de 2016). *Coberturas SIG para la enseñanza de la Geografía en Chile*. Obtenido de Rulamahue/mapotecas:
http://www.rulamahue.cl/mapoteca/catalogos/chile_geo.html
- Alsos, I., Alt, T., Normand, S., & Brochmann, C. (2009). Past and future range shifts and loss of diversity in dwarf willow (*Salix herbacea* L.) inferred from genetics, fossils and modeling. *Global Ecology and Biogeography*.
- Amblar, P., Casado, M., Pastor, A., Ramos, P., & Rodríguez, E. (2017). *Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5*. Madrid: Agencia Estatal de Meteorología.
- Amigo, J., & Ramírez, C. (1998). *A bioclimatic classification of Chile: woodland communities in the temperature zone*. *Plant Ecology* 136.
- Anderson, R., Gomez-Laverde, M., & Peterson, A. (2002). Geographical distributions of spiny pocket mice in Sout America: Insights from predictive models. *Global Ecology and Biogeography*, 131-141.
- Araújo, M., & New, M. (2007). Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology & Evolution* 22, 42-47.
- Araújo, M., & Pearson, R. (2005). *Equilibrium of species distributions*.
- Baena, M., & Halffter, G. (2008). Extinción de especies. *Capital natural en México vol. I*.
- Beijing Climate Center. (15 de Mayo de 2019). *Climate System Model*. Obtenido de <http://forecast.bccsm.ncc-cma.net/web/channel-43.htm>
- Benavides, H., & León, G. (2007). *Información tecnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. IDEAM.
- Benito, B., & Peñas, J. (2007). *Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservacion de la biodiversidad en el sureste de la peninsula Iberica*. Granada.
- Bermúdez, G., & Longhi, A. L. (2012). *Análisis de la transposición didáctica del concepto de biodiversidad. Orientaciones para su enseñanza*.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). (05 de Agosto de 2018). *BCN*. Obtenido de Información Territorial: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/reg>
- Brako, L., & Zarucchi, J. (1993). *Catalogue of the Flowerinf Plants and Gymnosperms of Peru*. Monographs in Systematic Botany.
- Buira, A. (2016). Aplicación de modelos de nicho ecológico pra la localización de seis plantas amenazadas en el parque natural de Els Port. *Pirineos*.

- Busty, J. R. (2011). BIOCLIM A bioclimate analysis and prediction system. In P. Plissock, & F. Castillo., *Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles*.
- Butchart, S., Stattersfield, A., Leon, A., Shutes, S., Akçakaya, R., & al., e. (2004). *measuring global trends in the status of biodiversity: Red List indices for birds*.
- Castellanos, C. (2006). Extinción. Causas y efectos sobre la diversidad biológica. *Revista Luna Azul* 23, 33-37.
- Castro, E. (2008). *Manual de Procedimientos para las Estaciones Meteorológicas*.
- Caurín, C., & Martínez, M. J. (2013). Análisis del concepto de biodiversidad en los libros de texto de segundo ciclo de primaria en la Comunidad Valenciana (España). *Perfiles educativos*, 97-114.
- Chilebosque. (13 de Agosto de 2016). *Ficha de descripción de Fitzroya cupressoides*. Obtenido de http://www.chilebosque.cl/flora/fitzroya_cupressoides.html
- Chilebosque. (15 de Agosto de 2016). *Ficha de descripción de Fitzroya cupressoides*. Obtenido de http://www.chilebosque.cl/flora/fitzroya_cupressoides.html
- Colque, M. T., & Sánchez, V. (2007). *Los Gases de Efecto Invernadero: ¿Por qué se produce el Calentamiento Global?* Lima.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). (2008). *Biodiversidad de Chile: Patrimonio y desafíos*. Santiago: Ocho Libros Editores.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente. (2003). *Estrategia Nacional de Biodiversidad*. Santiago.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente. (2006). *Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI*. Santiago.
- CONAF. (2013). *CONAF en las Áreas Silvestres Protegidas del Estado: Conservando la Flora y Fauna Amenazada*. Santiago.
- CONAF. (2018). *Protejamos el pitao, árbol exclusivo de Chile en peligro de extinción*. La Araucanía.
- Concari, S. (2001). Las teorías y modelos en la explicación científica : implicancias para las enseñanzas de las ciencias. *Ciencia & Educação*, 85-94.
- Corporación Nacional Forestal. (2017). *Manual para la planificación del manejo de las áreas protegidas del SNASPE*. Santiago de Chile.
- Corporación Nacional Forestal. (15 de Diciembre de 2018). *conaf*. Obtenido de <http://www.conaf.cl/incendios-forestales/prevencion/proteccion-snaspe/>
- Cuervo-Robayo, A., Osorio-Olveda, L., Nori, J., Varela, S., Martinez-Meyer, E., Velasquez, J., . . . Peterson, A. (2017). *Introducción a los análisis espaciales con énfasis en modelos de nicho ecológico*. Biodiversity Informatic.
- DGA. (26 de Julio de 2018). MAPOTECAS. Santiago, Chile.

- Delfin, C., Gallina, S., & López, C. (2011). El hábitat: definición, dimensiones y escalas de evaluación para la fauna silvestre. In S. Gallina, & C. López, *Manual de técnicas para el estudio de la fauna* (pp. 317-350). Distrito Federal (D.F): Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México.
- di Castri, F., & Hajek, E. R. (1976). *Bioclimatología de Chile*. Santiago: Vicerrectoría Académica de la Universidad Católica de Chile.
- Dorado, A. (2010). *¿ Que es la biodiversidad?* Madrid: Fundación Biodiversidad.
- Eliosa, H. R., Nieto, A., & Navarro, M. d. (2010). Conservadurismo filogenético del nicho ecológico un enfoque integral de la evolución. *Revista Ciencias*, 64-69.
- Elith, J., Graham, c. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., & Hijmans, R. e. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29, 129- 151.
- Elith, J., Phillips, S. H., Dudik, M., Chee, Y., & Yates, C. (2011). Statistical explanation of macEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 43-57.
- Elith, J., Phillips, S., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y., & Yates, C. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologist. *Diversity and Distributions*, 43-57.
- Ellenberg, H., & Mueller-Dombois, D. (1967). *Tentative physiognomic-ecological classification of plant formation of the Earth*. Zürich.
- Figuroa, P. (2014). *Variabilidad de las precipitaciones (1965-2012) en Chile centro-sur (33,9°S - 41°S) mediante índices estadísticos y temporales de irregularidad*. Santiago.
- Figuroa, R., Suarez, M., Andreu, A., Ruiz, V., & Vidal-Abarca, M. (2009). *Caracterización ecológica de humedales de la zona semiarida de Chile central*.
- Fixk, S., & Hijmans, R. (2017). Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*.
- Folchi, M. (2016). Historia de las Áreas Protegidas de Chile. En G. Simonetti-Grez, J. Simonetti, & G. Espinoza, *Conservando el patrimonio natural de Chile: El aporte de las áreas protegidas* (págs. 31-58). Santiago.
- Gareca, E., Stanton, S., & Fernández, M. (2010). Dendrochronological investigation of the high Andean tree species *Polylepis besseri* and implications for management and conservation. *Biodiversity and Conservation*.
- Garreaud, R. (s/f). *Tiempo y Clima en Chile central: Fundamentos y Predictabilidad*.
- Geoidep. (17 de Diciembre de 2019). *Geoidep.gob.pe*. Obtenido de Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado: <https://www.geoidep.gob.pe/servicio-nacional-de-areas-naturales-protégidas-por-el-estado>
- Ghilarov, A. M. (1996). What does biodiversity means, scientific problem or convenient myth? *Trends in Ecology & Evolution*, 304-306.

- Guisan, A., & Zimmermann, N. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 147-186.
- Hernández, A. M. (2014). En el umbral de la extinción. *Biodiversitas*.
- Hijmans, R., Cameron, S., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Journal of Climatology*, 1965-1978.
- Hutchinson, M. (1995). *Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines*.
- Instituto Geográfico Nacional de la Republica de Argentina. (30 de Julio de 2018). IGN. Obtenido de Capas SIG: <http://www.ign.gov.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>
- Instituto Geográfico Nacional del Perú. (10 de Agosto de 2018). Ríos, lagos y lagunas del Perú. Perú.
- Instituto mexicano de Tecnología de Agua. (2009). *Meteorología Basica*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis Contribución de los Grupos de trabajo I, II, III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra, Suiza: Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Climate change 2007; The Physical Science Basis. Contribution of working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- International Union for Conservation of Nature (IUCN). (2012). *Categorías y criterios de la lista roja de la IUCN*. Gland.
- International Union for Conservation of Nature. (2008). *La lista roja de la UICN de especies amenazadas*.
- IPCC. (2018). *Glosario*.
- IPCC. (2019, Marzo 05). *Data Distribution Centre*. Retrieved from [ipcc-data: http://www.ipcc-data.org/index.html](http://www.ipcc-data.org/index.html)
- Inzunza, J. (2000). *Meteorología descriptiva y aplicaciones en Chile*. Concepción.
- Jarvis, A., Williams, K., Williams, D., Guarino, L., Caballero, P., & Mottam, G. (2005). *Use of GIS for optimizing a collecting mission for a rare wild pepper (Capsicum fl exuosum Sendtn) in Paraguay*. Genetic resources and Crop Evolution.
- Jayat, J., & Pacheco, S. (2006). Distribución de *Necromys lactens* y *Phyllotis osilae* (Rodentia: Cricetidae: Sigmodontinae) en el noroeste argentino: modelos predictivos basados en el concepto de nicho ecológico. *Mastozoología neotropical*.
- Jiménez-Sierra, C., Torres-Orozco, R., & Corcuera, P. (2010). *Biodiversidad una alerta*. Mexico.

- Jones, C., Hughes, J., Bellouin, N., Hardiman, S., Jones, G., Knight, J., . . . Hurtt, G. (2011). *The HadGEM2-ES implementation of CMIP5 centennial simulations*. Geoscientific Model Development.
- Kappelle, M., & Horn, S. (2005). *Paramos de Costa Rica. Distribución, impacto humano y conservación de los Páramos neotropicales*. Costa Rica.
- Lande, R., Engen, S., & Saether, B. (2003). Stochastic population dynamics in ecology and conservation. *Oxford Series in Ecology and Evolution*.
- Lasco, R. D., Pulhin, F. B., Sánchez, P. A., Villamor, G. B., & Villegas, K. A. (2008). *Climate change and forest ecosystems in Philippines: Vulnerability, adaptability and mitigation*.
- Lazcano, J., & Espinoza, D. (2001). Tendencia en el uso de la leña en dos comunidades con bosques de polylepis con énfasis en variables económicas.
- Lovejoy, T. E. (1980). *Changes in biological diversity*.
- Luebert, F., & Pliscoff, P. (2017). *Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile*. Santiago: Editorial Universitaria, S.A.
- Maciel-Mata, C., Manriquez-Moran, N., Octavio-Aguilar, P., & Sánchez-Rojas, G. (2015). *El área de distribución de las especies: revisión del concepto*.
- Marone, L. (1988). *Acerca de la conservación de la naturaleza y la teoría ecológica-evolutiva*.
- Marquet, P., Abades, S., Armesto, J., Barria, I. A., Cavieres, L., & al, e. (2014). *estudio de vulnerabilidad de biodiversidad terrestre en la eco-región mediterránea, a nivel de ecosistemas y especies, y medidas de adaptación frente a escenarios de cambio climático*. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Martin-Vide, J. (2003). *El tiempo y el clima*. Barcelona: Rubes.
- Martínez-Méndez, N., Aguirre-Planter, E., Eguiarte, L., & Jaramillo-Correa, J. (2016). *Modelado de nicho ecológico de las especies del género Abies (Pinaceae) en México: Algunas implicaciones taxonómicas y para la conservación*. México D.F.
- Mateo, R., Felicísimo, A., & Muñoz, J. (2010). Effects of the number of presences on the reliability and stability of MARS species distribution models: The importance of regional niche variation and ecological heterogeneity. *Journal of Vegetation Science*, 908-922.
- Mateo, R., Felicísimo, Á., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, 217-240.
- Mateo, R., Felicísimo, A., & Muñoz, J. (2012). *Modelos de distribución de especies y su potencialidad como recurso educativo interdisciplinar*.
- May, R., & Lawton, J. (1995). Assessing extinction rates. *Extinction rates*, 1-24.
- McNeely, J., Miller, K., Reid, W., & Mittermeier, R. (1990). *Conserving the world's biological diversity*. Grand.

- Mendoza, W., & Cano, A. (2012). *El género Polylepis en el Perú*. Lima: Editorial académica española.
- Milesi, F., & Lopez, J. (2005). El concepto de nicho en Ecología aplicada: del nicho al hecho hay mucho trecho. *Ecología Austral*, 131-148.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2012). *Aprueba reglamento para la clasificación de especies silvestres según estados de conservación*.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2018). *Estrategia Nacional de Biodiversidad, 2017- 2030*.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2011). *Historia de la clasificación de especies en Chile*.
- Ministerio de Medio Ambiente. (28 de Junio de 2018). *Inventario nacional de especies de Chile*. Obtenido de especies.mma.gob.cl:
<http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/pagina.aspx?id=87>
- Ministerio de Medio Ambiente. (2011). *Las Áreas Protegidas de Chile: Antecedentes, Institucionalidad, Estadísticas y Desafíos*. Santiago de Chile.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2018). *Estrategia Nacional de Biodiversidad, 2017- 2030*.
- Ministerio del Ambiente del Perú. (2017). *Ecorregiones del Perú*.
- Morales B, C. (1996). *Ecología Medio Ambiente Ecología Aplicada*. Bolivia: UMSA.
- Morales, N. (2012). Modelos de distribución de especies: Software MacEnt y sus aplicaciones en conservación. *Revista Conservación Ambiental*.
- Morrison, M., B.G., M., & Mannan, R. (1998). *Wildlife habitat relationships: concepts*. Madison, Wisconsin: The University of Wisconsin Press.
- Moss, R., Babiker, M., Brinkman, S., Calvo, E., Carter, E., Edmonds, J. E., . . . Pichs, R. (2010). *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts and Response Strategies*. Ginebra: IPCC Expert Meeting Report.
- Muñoz- Plzarro, C. (1973). *Plantas en extinción*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- Muñoz, M., & Serra, M. T. (2006). *Estado de Conservación de las Plantas de Chile*. Museo Nacional de historia Natural; CONAMA.
- de historia Natural; CONAMA.
- Nix, H. (1986). Biogeographic analysis of Australian alapid snakes . *Atlas of Australian elapid snakes. Australian Flora and Fauna*, 4-15.
- Noerse, P., & McManus, R. (1980). Ecology and living resources: Biological diversity. *Environmental Quality*.
- Norse, E., Rosenbaum, K., Wilcove, D., & Wilcox, D. (1986). *Conserving biological diversity in our national forest*. Washington: The Wilderness Society.
- Organización de las Naciones Unidas. (1991). *Convenio Sobre la Diversidad Biológica*. Organización Meteorológica Mundial. (2011). *Guía de prácticas climatológicas*. Ginebra, Suiza.

- Pandora, & Geolnova. (2014). *Creación de modelos predictivos con MaxEnt*.
- Pearson, R., & Dawson, T. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology & Biogeography*, 361- 371.
- Pearson, R., Raxworthy, C., Nakamura, M., & Peterson, A. (2007). Predicting species distribution from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 102-107.
- Peterson, A. T., Soberón, J., & Sánchez-Cordero, V. (1999). Conservatism of ecological niches in evolutionary time. *Science*.
- Peterson, T., Papes, M., & Soberón, J. (2008). Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *ELSEVIER*.
- Peterson, T., & Soberón, J. (2012). Species Distribution Modeling and Ecological Niche Modeling: Getting the Concepts Right. *Natureza & conservação revista brasileira de conservação da natureza*, 1-6.
- Peterson, T., Soberón, J., Pearson, R., Anderson, R., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Araújo, M. (2011). *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton University Press.
- Phillips, S., Anderson, R., & Schapire, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distribution. *Ecological Modelling* 190, 231-259.
- Phillips, S., Anderson, R., & Schapire, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 231-259.
- Phillips, S., Dudík, M., & Schapire, R. (2015). *Una Breve Guía Didáctica sobre MaxEnt*.
- Phillips, S., Dudík, M., & Schapire, R. (12 de Octubre de 2018). *Software Maxent para modelar nichos de especies y distribuciones (Versión 3.4.1)*. Obtenido de url: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/
- Plissock, P., & Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, 61-79.
- Plissock, P. (2014). *Pisos vegetaciones plissock*.
- Pocheville, A. (2015). The Ecological Niche: History and Recent Controversies. En T. Heams, P. Huneman, G. Lecointre, & M. Silberstein, *Handbook of Evolutionary Thinking in the Sciences* (págs. 547- 586). Sidney.
- Prieto, M. d., Solari, M. E., Crouchet, J., & Larroucau, A. (2012). *Fuentes documentales para el estudio del clima en la región sur-austral de Chile*. Bosque 33.
- Quesada-Quirós, M. A.-V., Arias-Aguilar, D., & Rodríguez-González, A. (2017). Modelación de nichos ecológicos basado en tres escenarios de cambio climático para cinco especies de plantas en zonas altas de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamerica Kurú*.

- Ramírez-Ojeda, G., Rui-Corral, J., Pérez-Mendoza, C., Villavicencio-García, R., Mena, S., & Durán-Puga, N. (2014). Impactos del cambio climático en la distribución geográfica de *Gossypium hirsutum* L. en México. *Revista Mexicana de Ciencias agrícolas*, 1885-1895.
- Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., . . . Rafaj, p. (2011). RCP 8.5- A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 33-57.
- Sarcca, Y. (2017). *Valoración económica del servicio ecosistémico de secuestro y almacenamiento de carbono en el bosque de Polylepis del Pichu Pichu*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Sarochar, H. E. (2014). *Introducción a la Meteorología*.
- Sarricolea, P., Herrera, M., & Meseguer, O. (2017). Climatic regionalisation of continental Chile. *Journal of Maps*, Vol. 13, No. 2, 66–73.}
- Savard, J.-P., Clergeau, P., Mennechez, & Gwenaelle. (2000). Biodiversity Concepts and Urban Ecosystems. *Landscape and Urban Planning vol 48*, 131-142.
- Schulz, N., Boisier, J., & Aceituno, P. (2011). *Climate change along the arid coast of northern Chile*. INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2018). *Informe nacional ambiente y áreas protegidas de la Argentina*. Buenos Aires.
- SERNAP. (2007). *Informe sobre el Sistema Nacional de Áreas Protegidas*.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2009). *Cambio Climático, ciencia evidencias y acciones*. México D.F.
- SEO/BirdLife & World Wild Fund for Nature. (2010). *La Biodiversidad es vida. la Biodiveridad es nuestra vida*.
- Sillero, N., Barbosa, M., Martínez-Freiría, & Real, R. (2010). *Los modelos de nicho ecológico en la herpetología ibérica: pasado, presente y futuro*.
- Silva, V. (2012). *Estudio dendrocronológico de una población de Polylepis rugulosa en los andes semiáridos de Arica y Parinacota*.
- Soberón, J. (2008). Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology letters*.
- Soberón, J., & Miller, C. P. (2009). Evolución de los nichos ecológicos. *Miscelanea Matemática* , 83-99.
- Soberón, J., & Nakamura, M. (2009). *Niches and distributional areas: Concepts, methods, and assumptions*. Kansas: Board August 28.
- Soberón, J., & Peterson, T. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 1- 10.

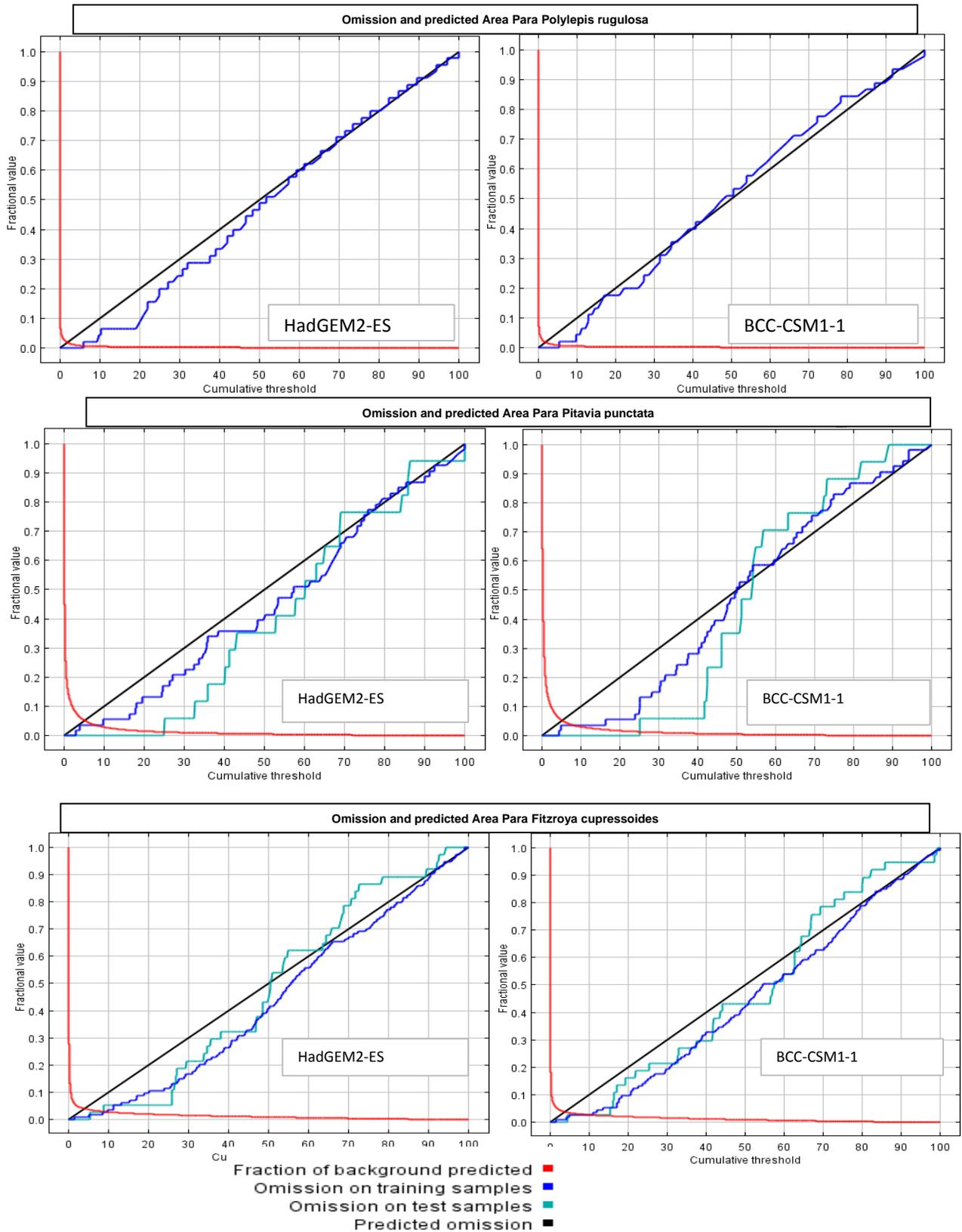
- Soberón, J., Peterson, T., & Osorio-Olvera, L. (2017). Diferencias entre modelación de nichos y áreas de distribución. *Revista Mexicana de Biodiversidad*.
- Solano, P. (2009). *Marcos Regulatorios Nacionales de Areas Protegidas:Perú*.
- Solbrig, O. (1991). The origin and function of biodiversity. *Environment*, 16-38.
- Soto, D. (2009). Nuevo registro de una población de *Fitzroya cupressoides* (Molina). En su límite norte en la Isla del Rey. *Gayana Bot*, Chile.
- Squeo, F., Estades, C., Bahamonde, N., Cavieres, L., Rojas, G., Benoit, I., . . . Torres-Mura, J. (2010). Revisión de la clasificación de especies en categoría de amenaza en Chile. *Revista chilena de Historia Natural*, 511-529.
- Steven, J. P. (2017). A Brief Tutorial on Maxent. *AT&T Research*.
- Varela, S., Terribile, L., de Oliveira, G., Diniz-Filho, J., González-Hernández, J., & Lima-Ribeiro, M. (2015). ecoClimate vs. Worldclim: variables climáticas SIG para trabajar en biogeografía. *Ecosistemas, revista científica de ecología y medio ambiente*.
- Veblen, T., & Schlegel, F. (1982). Reseña ecológica de los bosques del sur de Chile. *Bosque*, 73, 116.
- Velázquez, A., Martínez, L., & Maciel, F. (2012). *Caractirozación climática para la región de Bahía de Banderas medianre el sistema de Köppen, modificado por García, y técnicas de sistemas de información geográfica*.
- Vera, D. (2016). *Patrones de distribución espacial y representatividad de las especies arbóreas presentes en los territorios de Chile y Argentina*. Santiago.
- Wildlife Conservation Society. (23 de Febrero de 2020). *WCS Bolivia*. Obtenido de <https://bolivia.wcs.org/es-es/iniciativas/gesti%C3%B3n-de-%C3%A1reas-protegidas.aspx>
- Williams, J. W., & Jackson, S. (2007). Nivel climates, no-analog plant communities, and ecological surprises: past and future. *Frontiers in Ecology and Evolution*, vol. 5,p. 475-482.
- Williams, J., Jackson, S. T., & Kutzbach, J. E. (2007). Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100AD. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 104, p. 5738-5742.
- Wisz, M., Hijmans, R., Peterson, A., Graham, C., & Guisan, A. (2008). Predicting Species Distributions Working Group, Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*, 763-773.
- WMO. (2012). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*.

ANEXOS

ANEXO 1

| Primeras variables de aporte al modelo (Percent contribution) del presente y comparadas a los modelos futuros HADGEM Y BCC-CSM1 | | | | |
|---|-------------------|----------|--------|----------|
| | Variable | PRESENTE | HADGEM | BCC-CSM1 |
| <i>Polylepis rugulosa</i> | bio15 | 54,1 | 2,2 | 4 |
| | bio14 | 20,4 | 47,5 | 47,1 |
| | bio10 | 10,2 | 15,4 | 27,2 |
| | bio13 | 6,2 | 9,7 | 10,2 |
| | Suma contribución | 90,9 | 74,8 | 88,5 |
| <i>Pitavia punctata</i> | bio18 | 28,7 | 37,8 | 30,5 |
| | bio19 | 23,6 | 28,7 | 32,3 |
| | bio4 | 21,4 | 20,2 | 20,4 |
| | bio14 | 18,3 | 6,5 | 4,4 |
| | Suma contribución | 92 | 93,2 | 87,6 |
| <i>Fitzroya cupressoides</i> | bio19 | 69,9 | 61,6 | 65,6 |
| | bio17 | 10,4 | 11,4 | 12 |
| | bio14 | 5,8 | 0 | 1,4 |
| | bio3 | 3,8 | 4,4 | 1 |
| | Suma contribución | 89,9 | 77,4 | 80 |

ANEXO 2: Imágenes curvas de ajustes de los modelos en el presente y futuro



ANEXO 3 : Tabla de superficies (en km²) y porcentajes de distribución de especies según los países.

| País | Superficie (km ²) | Perú | Bolivia | Chile | Argentina | Total |
|-------------------------------------|-------------------------------|---------|---------|-----------|-----------|---------|
| <i>Polylepis rugulosa</i> | Actual | 21868,6 | 0,8 | 5266,5 | - | 27135,9 |
| | % actual | 80,6 | 0,0 | 19,4 | - | 100 |
| | Futuro | 14563,9 | 5843,1 | 10501,5 | - | 30908,5 |
| | % futuro | 47,1 | 18,9 | 1050146,2 | - | 100 |
| <i>Pitavia punctata</i> | Actual | - | - | 8376,2 | - | 8376,2 |
| | Futuro | - | - | 9896,4 | - | 9896,4 |
| <i>Fitzroya cupressoides</i> | Actual | - | - | 30746,1 | 2697,4 | 33443,5 |
| | % actual | - | - | 91,9 | 8,1 | 100 |
| | Futuro | - | - | 32148,6 | 4221,6 | 36370,1 |
| | % futuro | - | - | 88,4 | 11,6 | 100 |

ANEXO 4: Variables ambientales con mayor contribución en el presente para las especies *Polylepis rugulosa*, *Pitavia punctata* y *Fitzroya cupressoides*.

| <i>Polylepis rugulosa</i> | | | <i>Pitavia punctata</i> | | | <i>Fitzroya cupressoides</i> | | |
|----------------------------------|----------------------|------------------------|--------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------------------|----------------------|------------------------|
| Variable | Percent contribution | Permutation importance | Variable | Percent contribution | Permutation importance | Variable | Percent contribution | Permutation importance |
| bio15 | 54.1 | 1.2 | bio18 | 28.7 | 13.7 | bio19 | 69.9 | 2.6 |
| bio14 | 20.4 | 0 | bio19 | 23.6 | 0.5 | bio17 | 10.4 | 26.3 |
| bio10 | 10.2 | 0 | bio4 | 21.4 | 11.6 | bio14 | 5.8 | 1.7 |
| bio13 | 6.2 | 0.3 | bio14 | 18.3 | 0.8 | bio3 | 3.8 | 9.9 |
| bio4 | 4 | 49.9 | bio13 | 7.5 | 6.5 | bio2 | 3.5 | 6 |
| bio5 | 1.4 | 0 | bio16 | 0.2 | 35.9 | bio4 | 2.9 | 8.2 |
| bio19 | 1.4 | 0.5 | bio17 | 0.2 | 27.4 | bio8 | 1.6 | 4.7 |
| bio9 | 1.4 | 48 | bio3 | 0.1 | 3.6 | bio9 | 0.8 | 0.2 |
| bio2 | 0.9 | 0.1 | | | | bio13 | 0.6 | 21 |
| | | | | | | bio15 | 0.3 | 2.4 |
| | | | | | | bio18 | 0.3 | 12.2 |
| | | | | | | bio12 | 0.1 | 4.6 |

ANEXO 5: Variables ambientales con mayor contribución en el futuro con escenario de cambio climático rcp8,5 para las especies *Polylepis rugulosa*, *Pitavia punctata* y *Fitzroya cupressoides*.

| <i>Polylepis rugulosa</i> | | | <i>Pitavia punctata</i> | | | <i>Fitzroya cupressoides</i> | | |
|---------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|------------------------------|----------------------|------------------------|
| Variable | Percent contribution | Permutation importance | Variable | Percent contribution | Permutation importance | Variable | Percent contribution | Permutation importance |
| bio14 | 47.1 | 0.2 | bio18 | 28.7 | 13.7 | bio19 | 69.9 | 2.6 |
| bio10 | 27.2 | 0 | bio19 | 23.6 | 0.5 | bio17 | 10.4 | 26.3 |
| bio13 | 10.2 | 0.1 | bio4 | 21.4 | 11.6 | bio14 | 5.8 | 1.7 |
| bio19 | 6.6 | 0.2 | bio14 | 18.3 | 0.8 | bio3 | 3.8 | 9.9 |
| bio15 | 4 | 3.8 | bio13 | 7.5 | 6.5 | bio2 | 3.5 | 6 |
| bio4 | 3.7 | 85.7 | bio16 | 0.2 | 35.9 | bio4 | 2.9 | 8.2 |
| bio2 | 0.9 | 9.8 | bio17 | 0.2 | 27.4 | bio8 | 1.6 | 4.7 |
| bio9 | 0.3 | 0.3 | bio3 | 0.1 | 3.6 | bio9 | 0.8 | 0.2 |
| bio5 | 0 | 0 | | | | bio13 | 0.6 | 21 |
| | | | | | | bio15 | 0.3 | 2.4 |
| | | | | | | bio18 | 0.3 | 12.2 |
| | | | | | | bio12 | 0.1 | 4.6 |

