



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Pregrado
Carrera de Geografía

**CORREDORES POTENCIALES Y ZONAS DE MAYOR IMPORTANCIA EN LA
CONECTIVIDAD PARA EL PUMA (*Puma concolor*) EN LA ZONA CENTRAL DE
CHILE**

Memoria para optar al título de Geógrafa

RUTH ACUÑA ECHEVERRÍA

Profesor guía: Dr. Alexis Vásquez Fuentes

SANTIAGO – CHILE

2020

Agradecimientos

Agradecer a todos y todas quienes me apoyaron y entregaron su amor en esta etapa de mi vida que hoy concluye. A mi familia por estar siempre cerca, pese a la distancia. A mis amigas, “las K”, por la sororidad, compañía y todos los buenos momentos que pasamos juntas. A Ana, Catalina e Isidora, por abrir las puertas de sus hogares y hacerme parte de sus familias, especialmente a Ana y sus papás, Lete y Diane, de ellos estoy profundamente agradecida.

A mis compañeros por la fraternidad, al Rayo Vayacaño por tantas alegrías y al Borrayo por las extensas y terapéuticas jornadas en la oficina.

A mi profesor, Alexis, por darme la posibilidad de trabajar con él y por su excelente labor pedagógica. A quienes desinteresadamente me ayudaron cuando tuve dudas, Erick y David. A Pablo, por su apoyo en la etapa final, por su amistad y cariño.

Finalmente agradecer a Vinicius, por su amor, preocupación y compañía, y por darme la posibilidad de terminar este proceso en estas tierras hermosas.

Resumen

La conectividad es uno de los aspectos más importantes para conservar la biodiversidad, pues las especies deben desplazarse a través del paisaje para desarrollar sus ciclos de vida, alimentación y reproducción, entre otros. Por lo que, mantener la conectividad y reconectar el paisaje se ha convertido en un tema central en la conservación de la naturaleza para hacer frente al innegable proceso de fragmentación de hábitat que es uno de los mayores responsables en la actual crisis de biodiversidad.

En esta memoria se desarrolló una modelación de nicho ecológico y corredores potenciales para el *Puma concolor* con el objetivo de identificar las zonas de mayor importancia para la conectividad de esta especie. El puma se utilizó como especie objetivo por ser una especie que requiere de territorios extensos y que actúa como paraguas de otras especies.

A partir de la modelación del nicho ecológico se definieron los nodos para el diseño de conectividad. Estos nodos tienen en promedio 191,27 km² con amplias diferencias unos de otros, siendo el mínimo 24,1 km², y el máximo de 702 km². Los nodos de mayor tamaño se encuentran en la zona norte del área de estudio en el cordón de Chacabuco. Los nodos de menor tamaño se ubican en la zona suroeste del área de estudio, al sur del río Mapocho. Al este de la ruta 5 y al sur del río Mapocho, los nodos tienen superficies intermedias. Los corredores tienen longitudes promedio de 13,9 km, estando los de menor longitud ubicados principalmente en las zonas norte y este del área de estudio.

La zona norte del área de estudio es una zona de importancia en la conectividad del puma debido a que carreteras de alta velocidad como son la ruta 5 y ruta 57 cruzan varios de los corredores modelados. Otra zona de importancia es la zona suroeste del área de estudio donde confluyen múltiples corredores y por lo tanto hay una alta densidad de estos.

Los resultados de esta memoria junto a la publicación reciente del recorrido de un puma rastreado durante un año mediante collar GPS en el área de estudio, llevan a concluir que la conectividad es mayor en la zona norte del área de estudio, por el tamaño de los nodos y la menor longitud de los corredores que los conectan.

Los resultados de esta memoria proveen información relevante para el desarrollo de programas e infraestructura (pasos de fauna) para proteger y restaurar la conectividad del paisaje para el puma, y con ello contribuir a su conservación y sus importantes roles ecológicos y culturales.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN.....	7
1.1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.3. OBJETIVOS.....	9
1.3.1. Objetivo general	9
1.3.2. Objetivos específicos	9
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ASUNTO	10
2.1. Fragmentación del paisaje y conservación de la naturaleza.....	10
2.2. Corredores ecológicos y conectividad	10
2.3. Estructura del paisaje para análisis de conectividad.....	12
2.3.1. Modelo parche-matriz-corredor.....	12
2.4. Mecanismos para la evaluación de conectividad y el diseño de corredores	13
2.4.1. Estructura de Grafos	15
2.4.2. Elementos para conectar: el modelo de nicho ecológico para el trazado de nodos.....	16
2.5. El <i>Puma concolor</i> como especie focal para el diseño de corredores ecológicos..	17
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	21
3.1. Área de estudio	21
3.2. Determinación de nodos para el <i>Puma concolor</i>	22
3.2.1. Datos espaciales.....	22
3.2.2. Maxent y nicho ecológico	23
3.2.3. Entrevista Expertos	24
3.2.4. Nodos	24
3.3. Modelación de los corredores potenciales	25
3.3.1. Superficie de costo.....	25
3.3.2. Corredores potenciales.....	25
3.3.3. Evaluación de corredores	25
3.4. Zonas de mayor importancia en la conectividad	26

3.4.1. Por superposición de corredores.....	26
3.4.2. Por superposición corredores-carreteras	26
CAPÍTULO 4: RESULTADOS	27
4.1. Nicho ecológico del puma concolor	27
4.1.1. Distribución del nicho ecológico en Chile	27
4.1.2. Distribución nicho ecológico en área de estudio proyecto GEF Montaña.....	29
4.1.3. Factores más influyentes del modelo.....	31
4.1.4. Nodos	32
4.2. Potenciales corredores para el puma.....	34
4.3. Zonas de mayor importancia para la conectividad del puma	36
BIBLIOGRAFÍA	42
ANEXOS.....	46

INDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Representación gráfica del modelo marche-matriz-corredor por Barnes (2000).	13
Figura N°2: Diagrama comparativo entre métodos y herramientas	14
Figura N°3: Pasos metodológicos para elaboración de corredores.	16
Figura N°4: Esquema metodológico.....	21
Figura N°5: Distribución en Chile del nicho ecológico para el Puma concolor.	28
Figura N°6: Distribución nicho ecológico para el Puma concolor en área de estudio Proyecto GEF.	30
Figura N°7: Nodos y corredores.....	33
Figura N°8: Corredores potenciales según longitud.	35
Figura N°9: Zonas de importancia en la conectividad para el Puma concolor	38

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1: Contribución porcentual por variables climáticas en modelación de nicho ecológico.	32
Gráfico N°2: Calidad de corredores según longitud en relación con el desplazamiento diario de la especie.....	36

INDICE DE IMÁGENES

Imagen N°1: Puma en Providencia y Ñuñoa.....	18
--	----

Imagen N 2: Puma atropellado en ruta 215 Los Pellines (Los Ríos, Chile)	18
Imagen N°3: Fotografía de un puma en Patagonia	19

INDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Desplazamiento diario promedio y ámbito de hogar para el puma concolor.	19
Tabla N°2: Clasificación de corredores según longitud.....	26
Tabla N°3: Superficie cubierta por cada valor porcentual del nicho ecológico.	29
Tabla N°4: Tabla resumen variables incluidas en modelación de nicho.	31
Tabla N°5: Calidad de corredores según longitud.....	36
Tabla N°6: Zonas y corredores prioritarios para conservación de conectividad.	37

INDICE DE ANEXOS

Anexo N°1: Área de estudio proyecto GEF Montaña	46
Anexo N°2: Descripción de las coberturas utilizadas en el modelo preliminar provenientes de WorldClim	47
Anexo N°3: Correlación de Spearman.....	48
Anexo N°4: Resultado modelación preliminar nicho ecológico.	49
Anexo N°5: Promedio resultado de 50 réplicas em modelación definitiva para nicho ecológico.	50
Anexo N°6: Plantilla utilizada en entrevista a expertos para definición de nodos.....	51
Anexo N°7: Tabla de compatibilidad con nicho ecológico.....	52
Anexo N°8: Tabla con costos asociado a cada uso/cobertura por expertos entrevistados..	53
Anexo N°9: Tabla detallada de corredores potenciales	54
Anexo N°10: Comparación recorrido puma collar GPS y corredores modelados	55

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

La conectividad ecológica ha suscitado gran interés para la conservación de la naturaleza, debido a la innegable fragmentación del paisaje y pérdida de biodiversidad en los últimos años (Gurrutxaga & Lozano, 2008). Esta se entiende como el grado en que el paisaje facilita o dificulta el flujo de especies y genes. Lo cual es relevante debido a que este flujo permite la conservación de las especies, facilitando desplazamientos requeridos para satisfacer necesidades alimentarias, reproductivas, migratorias, entre otras (Correa et al., 2016).

Es así como dentro de las estrategias más frecuentes para mitigar los efectos negativos de la fragmentación de paisaje, se encuentra el desarrollo de corredores entre nodos de hábitat con características ambientales similares que faciliten el desplazamiento de la biota y con ello todos los procesos ecológicos asociados (Dickson et al., 2013). Por ello es que, durante los últimos años los corredores ecológicos se han considerado una opción para alcanzar este objetivo, debido al impacto positivo que estos pueden generar en las tasas de movimiento de especies, tanto animales como vegetales.

En este sentido, diversas investigaciones han sido desarrolladas a nivel internacional para evaluar los niveles de fragmentación de hábitats como la elaboración de propuestas para recuperar la conectividad. En algunos lugares del mundo ya se han materializado por medio de políticas públicas, mediante la implementación de pasos de fauna, como por ejemplo en EE. UU., Canadá y Australia.

Esta memoria desarrolla una evaluación de los corredores potenciales y de las zonas de mayor importancia para la conectividad del puma en la zona central de Chile. Específicamente el área cubierta por el proyecto GEF Montaña, proyecto que tiene por objetivo proteger la biodiversidad y servicios ecosistémicos en los corredores de montaña del mediterráneo chileno, como son los Andes y la costa, y los cordones transversales que los conectan y que están dentro de la región Metropolitana de Santiago y 6 comunas de la región de Valparaíso.

La especie escogida para la modelación es el *Puma concolor*, especie en categoría de conservación cercana a la amenaza, por lo que su protección temprana es fundamental. Por otro lado, sus amplios requerimientos espaciales le confieren el carácter de especie paragua, de modo que la protección de su ecología es además la protección de muchas otras especies.

Así, este estudio identifica las zonas de mayor importancia en la conectividad para el puma, ofreciendo información relevante para priorizar labores de monitoreo, protección y localización de pasos de fauna.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La reducción en la cantidad total de hábitats disponibles ha implicado aislamiento y limitación de la capacidad de desplazamiento dentro del paisaje y, por consiguiente, reducción en la conectividad de un paisaje previamente conectado (Crooks & Sanjayan, 2006). En este sentido, la conectividad ecológica se refiere al grado en que el paisaje facilita o impide el movimiento entre nodos de recursos dentro de un paisaje (Taylor et al., 1993; Saura, 2013).

Esta conectividad es relevante en el desarrollo de los organismos y sus flujos entre los nodos del paisaje más valiosos en términos ecológicos, por lo que una pérdida en la conectividad puede influir negativamente sobre la biodiversidad, afectando procesos migratorios estacionales, de alimentación, reproducción y apareamiento. En este sentido, el diseño de corredores ecológicos es una propuesta para restaurar la conectividad y con ellos frenar la fragmentación del paisaje.

En general, los estudios sobre conectividad ecológica y los métodos empleados dependen principalmente de la especie que se desee investigar y su escala de distribución. Autores como Beier (et al., 2008) plantean la idea de la selección de especies focales como “público objetivo” para el diseño de infraestructuras de conectividad. Las especies focales son aquellas que actúan como paraguas de otras especies y procesos ecológicos debido a sus amplios requerimientos de hábitat que incluyen dentro del propio a especies de menor tamaño.

Uno de los mamíferos estudiados por este motivo, es el puma (*Puma concolor*), quien en Chile se encuentra en categoría de conservación casi amenazada (NT) en todo el territorio nacional (MMA, 2020) quien es considerado una especie focal y paragua, el tamaño de su ámbito de hogar es entre 40 y 140 km dependiendo de su edad y sexo (Iriarte et al., 2013).

Algunos de los argumentos por los cuales se considera relevante la conservación de la conectividad ecológica para estos mamíferos es su importancia como agentes ecológicos:

“los grandes carnívoros también son importantes como agentes ecológicos en ecosistemas terrestres, ya que pueden ejercer un efecto de control (de arriba hacia abajo) sobre los herbívoros, afectando indirectamente la abundancia y composición de la vegetación”

(Sinclair, 2003, pág. 5).

Pese a su importancia como depredador tope de los ecosistemas terrestres, en la actualidad no existen muchos estudios relacionado a la densidad poblacional de la especie en Sudamérica (Flora y Fauna Ltda., 2011), estando concentradas las investigaciones de este tipo en la Patagonia chilena debido a la alta concentración que presenta en estos territorios.

Un estudio elaborado por la PUC y CONAF dentro del Parque Nacional Río los Cipreses - Región del Libertador Bernardo O’Higgins (2014)- permitió comprobar la reproducción

exitosa de pumas en este ambiente con predominancia de presas pequeñas. La reducción de presas y hábitat para su refugio son de los factores que amenazan a esta especie, junto al conflicto con las comunidades humanas por la depredación de ganado (MMA, 2010; Iriarte et al., 2013; Flora y Fauna Ltda., 2011; Guarda et al., 2014)

Considerando la creciente presión humana sobre el paisaje y los demás elementos expuesto anteriormente es que surgen las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuáles son las zonas de mayor importancia para la conservación de la conectividad ecológica del *Puma concolor* en la zona central de Chile? Para responder a esta pregunta se plantea como objetivo general analizar las zonas de mayor importancia en la conectividad ecológica del *Puma concolor* en la zona central de Chile, siendo los objetivos específicos de esta memoria (1) identificar el nicho ecológico del *Puma concolor* dentro de la zona central de Chile y (2) evaluar los corredores potenciales dentro del área de estudio para el *Puma concolor*.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Analizar las zonas de mayor importancia en la conectividad del *Puma concolor* en el área cubierta por el proyecto GEF Montaña

1.3.2. Objetivos específicos

1. Identificar el nicho ecológico del *Puma concolor* en el área del proyecto GEF Montaña.
2. Evaluar los corredores ecológicos potenciales para el *Puma concolor* en el área del proyecto GEF montaña.

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ASUNTO

2.1. Fragmentación del paisaje y conservación de la naturaleza

A lo largo de la historia de la humanidad, los cambios tanto en el plano social, científico y tecnológico conducidos por el ser humano han ido aumentando su rapidez y multiplicidad. Muchos de estos cambios han sido manifiestos en el paisaje, como por ejemplo la fragmentación gradual del medio natural debido a la ampliación de la agricultura y forestación, la expansión urbana y otras actividades antrópicas (Jongman & Pungetti, 2004). De este modo, la pérdida continua de ecosistemas se fue convirtiendo en un tema fundamental para el estudio de la ciencia y posteriormente las políticas públicas (Jongman & Pungetti, 2004).

En este sentido es que -durante la década de los ochenta- la conservación de la naturaleza surge como uno de los objetivos de la ecología del paisaje aplicada, ciencia dedicada al estudio de la interacción entre organismos y sus ambientes (Forman, 1995). Si bien en un principio el foco de la conservación de la naturaleza se encontraba en la protección de espacios aislados de alto valor ecológico (como parques nacionales) este fue cambiando con el paso del tiempo y dio paso al interés por conservar redes de espacios (Jongman & Pungetti, 2004). A esto se suman los dramáticos cambios en el paisaje durante la década de los noventa, los que han llevado a aceptar la idea de que las reservas por sí solas no pueden conservar la biodiversidad a largo plazo (Jongman & Pungetti, 2004), pues centrar la conservación sólo en esas zonas implicaría un aislamiento estructural de estas, lo cual conlleva graves limitaciones en la capacidad del paisaje -en general- para mantener procesos ecológicos (Correa et al., 2016).

Dentro de los efectos negativos más mencionados producto de la fragmentación del paisaje está la reducción de movilidad de las especies y las alteraciones en sus dinámicas (Gurrutxaga, 2006). Al fragmentar el paisaje, este no solo se reduce, sino también, se modifica la matriz por la cual la especie se desplazaba. Reduciendo los espacios y dificultando las dinámicas de alimentación, reproducción, cría, refugio e incluso desplazamientos estacionales (Gurrutxaga, 2006), lo que a la larga implica reducción de las poblaciones y posterior aislamiento respecto a otros grupos de poblaciones. Por ello es que la conectividad ecológica, es un elemento vital en la conservación de la naturaleza y, por tanto, la biodiversidad (Gurrutxaga, 2006).

2.2. Corredores ecológicos y conectividad

Durante lo que va del siglo XXI la idea de mantener la conectividad mediante corredores que enlazan distintos nodos de hábitat se ha convertido en una de las más recurrentes para mitigar los cambios del paisaje producidos por el ser humano (Dickson et al., 2013).

Conectando distintos nodos de hábitat los corredores pueden generar efectos positivos en la dispersión de especies, mitigando el efecto de la fragmentación en la biodiversidad, aumentando el flujo de genes e incluso propiciando la recolonización de nodos dentro de la matriz del paisaje (Vila et al., 2006; Carlier & Moran 2019; Bentrup, 2008). Aunque no todos los estudios han mostrado evidencia de efectos positivos de los corredores, ninguno ha demostrado que las tasas de movimiento disminuyan con la implementación ellos (Haddad & Tewksbury, 2006). Los expertos en conservación se refieren a corredor como aquel elemento conector de distintos nodos de un mismo paisaje (Frías Bonilla, 2015). Por lo tanto,

(...) se define como corredor ecológico, aquel ámbito territorial cuya función primordial es la de conectar dos o más sectores con características ambientales similares, de forma que resulte transitable y sirva como conducto a los desplazamientos de la biota.

(Gurrutxaga & Lozano, 2008, p 173).

Por medio de la conectividad ecológica, se sustentan procesos vitales para la fauna, relacionados a su pervivencia. Una reducción en esta comprometería seriamente la continuidad de las especies silvestres en aquellos paisajes más aislados e intervenidos (Gurrutxaga, 2006).

En algunos países desarrollados como China, por ejemplo, donde los hábitats naturales se encuentran bajo constante presión de la actividad humana, la mirada ecológica se convierte en una de las más potentes perspectivas para lograr soluciones que beneficien a todos, buscando generar un equilibrio entre protección ecológica y desarrollo económico (Peng, 2018).

Este país, por medio de la “política de patrones de seguridad ecológica” la cual es una estrategia nacional para coordinar la protección de los ecosistemas y el desarrollo económico, busca proteger elementos del paisaje que cumplan procesos ecológicos y que contribuyan a mitigar problemas ambientales como escasez hídrica, pérdida de biodiversidad y erosión del suelo (Peng, 2018).

Las metodologías empleadas en la construcción de esto patrones de seguridad ecológica, a grueso modo, incluyen el reconocimiento de nodos o fuentes ecológicas y el trazado de corredores entre estos, para finalmente evaluar el efecto que tendría una intervención antrópica en ellos (Peng, 2018).

Considerando la diversidad de organismos presentes en los ecosistemas, la conectividad es un fenómeno que depende completamente de la escala y especie (Crooks & Sanyajan, 2006),

debido a que las especies y procesos ecológicos tienen distintas capacidades de dispersión en el territorio (Saura, 2013). Por ello, la conectividad es y debe medirse en general como un aspecto funcional, es decir, dependiente de las distancias y capacidades de dispersión de las especies analizadas (Theobald, 2006).

La conectividad no puede ser vista en términos genéricos debido a que:

(...) un mismo paisaje pueda ser percibido como funcionalmente conexo para una especie de fauna con gran movilidad, pero en cambio como altamente fragmentado para otra con capacidades de dispersión más limitadas o más sensible a determinados elementos de la matriz del paisaje que actúen como posibles barreras para su movimiento.

(Saura, 2013, p 4).

En este sentido, en el análisis de conectividad y desarrollo de propuestas se debe poner énfasis en el público al cual se está dirigiendo. En este sentido, Beier, et al., (2008) plantean la idea de la selección de especies focales como “público objetivo” para el desarrollo de corredores ecológicos, las cuales pueden ser seleccionadas usando diversos criterios, por ejemplo, que sean especies carismáticas o que actúen como especies paraguas de otras especies y procesos ecológicos.

2.3. Estructura del paisaje para análisis de conectividad

2.3.1. Modelo parche-matriz-corredor

Existen variados principios y modelos para el estudio y análisis de los paisajes. En esta memoria se utiliza el modelo parche-matriz-corredor (Figura N°1) propuesto por Forman (1995), debido a que es un modelo sencillo, que favorece el análisis y comparación, siendo de gran utilidad para captar o inferir patrones y principios dentro de los paisajes evaluados (Forman, 1995).

Este modelo de paisaje se fundamenta en la idea del paisaje como un elemento fragmentado, es decir compuesto por parches heterogéneos entre sí, por lo que ha sido empleado en diversos estudios sobre corredores (Valdés, 2011). Consiste en analizar el paisaje en base a 3 componentes: **parches**, **corredores** y una **matriz** que sostiene todo (Figura N°1). Los parches, son secciones de hábitat no lineales con características similares que presentan un patrón vegetacional homogéneo en su interior y heterogéneo respecto a su alrededor (Forman, 1995; Barnes, 2000) Los corredores, son áreas que conectan estos parches y que sirven como conectores para el desplazamiento de organismo entre distintos parches (Barnes, 2000). La

matriz es el componente dominante, medio donde se sostienen parches y corredores, y se caracteriza por ser heterogénea en su composición (Barnes, 2000).

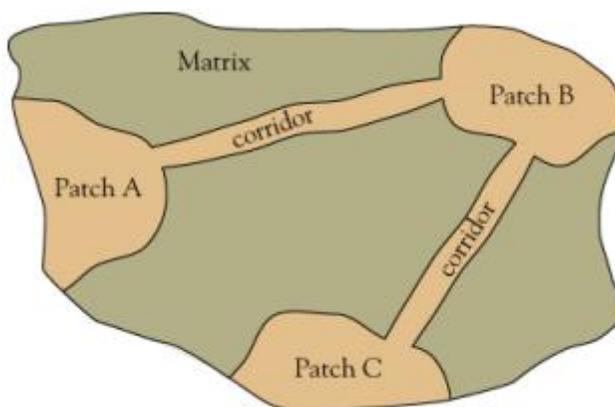


Figura N°1: Representación gráfica del modelo *marche-matriz-corredor* por Barnes (2000).
Fuente: Barnes (2000).

En definitiva, este modo de analizar el paisaje permite generar una perspectiva de la conectividad dentro de este, porque permite identificar dónde se encuentran los vínculos más importantes, aquellos que, de ser cortados, interceptados o interrumpidos, pueden generar un gran problema en la conectividad y, por tanto, la conservación de la biodiversidad (Dickson et al., 2013) y por lo mismo, esta información debe ser considerada en los instrumentos de planificación territorial.

2.4. Mecanismos para la evaluación de conectividad y el diseño de corredores

Según Saura (2013) existen tres grandes enfoques metodológicos para evaluar la conectividad del paisaje: índices espaciales sencillos, estructuras de grafo y modelos de metapoblaciones; los cuales se diferencian principalmente en la relación que existe entre la cantidad de datos requeridos y el nivel de detalle de los resultados.

Los índices espaciales sencillos, consisten principalmente en calcular medidas simples de distancia entre nodos (promedios, máximas y mínimas) por lo tanto se cataloga como una evaluación limitada e indirecta de la conectividad.

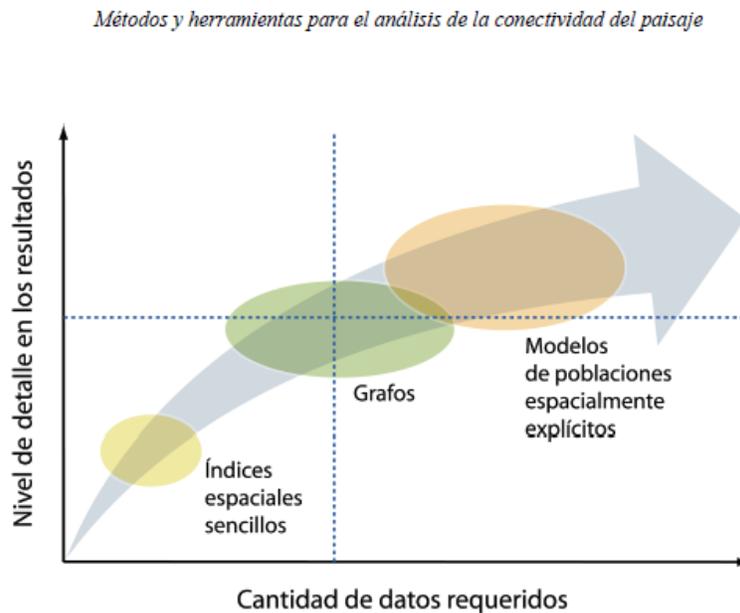
Por otro lado, los modelos de metapoblaciones son definidos como:

Modelos que consideran las dinámicas poblacionales asociadas con las teselas individuales que resultan de procesos de crecimiento demográfico, natalidad, mortalidad, emigración e inmigración, siendo las relaciones de conectividad entre las diferentes teselas cruciales para entender dichas dinámicas. Estos modelos son

muy útiles para evaluar por ejemplo si el número de individuos de una determinada población (metapoblación) llegará a situarse, dentro de un horizonte temporal determinado, por debajo del umbral de viabilidad y persistencia en un paisaje y escenario de cambios concreto.

(Saura, 2013, p 26).

Finalmente, las estructuras de grafos son estructuras matemáticas compuestas por nodos y corredores (que conectan dichos nodos) idóneos para evaluar la conectividad en un determinado paisaje. En la figura N°2 se observa la relación que existe entre cantidad de datos requeridos y nivel de detalle de los resultados, generado por los autores.



*Figura N°2: Diagrama comparativo entre métodos y herramientas para el análisis de la conectividad del paisaje.
Fuente: Saura (2013).*

Debido a la disponibilidad de datos a nivel local y considerando el nivel de detalle que se puede obtener en los resultados mediante este tipo de herramienta es que se decidió utilizar para esta memoria el método de la estructura de grafos.

2.4.1. Estructura de Grafos

La estructura de grafos tiene la misma lógica que la del modelo de paisaje parche-matriz-corredor, ya que es una representación explícita del paisaje compuesta por nodos y enlaces que los conectan a través de una matriz (Saura, 2013).

En este sentido, los nodos serían los parches de hábitat. Estos nodos son considerados como hábitats preferentes, lugares de refugio, fuentes de alimentación o reproducción, como también “puentes” o “lugares de paso”, dentro del flujo e intercambio genético de las especies (Saura 2013). En este tipo de modelos además son útiles como puntos de inicio y fin para los corredores (Beier et al., 2006).

Por su parte, los corredores fueron definidos de la siguiente manera:

(...) representan las relaciones topológicas o conexiones funcionales entre cada par de nodos; la existencia de un enlace implica la capacidad potencial de un organismo para, en mayor o menor grado, dispersarse de manera directa entre los dos nodos.

(Saura, 2013, p 27).

Estos enlaces tienen distintos métodos de modelación o estimación como, por ejemplo, distancia en línea recta, distancia euclidiana o superficies de costo. Esta última es de las más utilizadas porque se puede elaborar considerando variables ambientales.

Por lo tanto, por medio de una ruta de menor costo se representa el nivel de permeabilidad de la matriz para el desplazamiento de una especie o proceso en particular. Esta se puede construir con una o más coberturas que se consideren relevante (topografía, altitud, vegetación, etc.) (Saura, 2013).

Esta superficie de costo se construye asignando valores a cada píxel, de modo que cada cobertura a utilizar se reclasifica según el costo energético o riesgo de mortalidad que puede provocar para la especie, aumentando el costo en cuanto la calidad de las zonas empeora (Saura, 2013; Beier et al., 2006). La superficie de costo puede estar construida por una o más coberturas, que finalmente pueden ser aunadas mediante sumatorias simples o sumas ponderadas. Uno de los métodos más empleados para asignar valores es la consulta a expertos (Beier et al., 2006).

Finalmente, con esta superficie se genera una ruta que representa el menor costo acumulativo asociado en el desplazamiento entre un punto “A” y un punto “B” (Saura, 2013). Este costo representa la suma de los valores de cada píxel de la matriz por los que se debe circular para trasladarse desde “A” a “B”, al menor costo.

Pese a que este tipo de modelos puede tener algunas limitaciones como la arbitrariedad con que se asignan los valores de costo, Saura (2013) señalaron lo siguiente:

(...) *la estructura de grafos es aquella que probablemente poseen la mejor relación entre esfuerzo de modelación y calidad de los resultados para los problemas de conservación relacionados con la conectividad del paisaje, al proporcionar una caracterización suficientemente detallada de la conectividad con unos requisitos flexibles y relativamente modestos en cuanto a los datos de entrada.*

(Saura, 2013, pág. 8).

Una estructura metodológica propuesta para la ejecución de este tipo de modelos es la que se presenta en la Figura N°3 de Sandoval (2016) donde después de definir los objetivos y variables a utilizar, se debe proceder a la construcción en la base de datos, tanto para la obtención de capas que serán utilizadas en la superficie de costo, como también en los materiales que permitirán definir los elementos a conectar. Todo lo anterior, para finalmente diseñar un modelo de ruta de menor costo.



*Figura N°3: Pasos metodológicos para elaboración de corredores.
Fuente: Elaboración propia (2020) en base a Sandoval (2016).*

2.4.2. Elementos para conectar: el modelo de nicho ecológico para el trazado de nodos

La modelación de nicho ecológico (MNE), se basa en una modelación hecha en el espacio ambiental, es decir está elaborado en base a variables climáticas (o macro climáticas) y topográficas (pendiente, elevación, insolación, etc.) las cuales Hutchinson denominó como “scenópticas” porque son aquellas que construyen escenarios. El resultado de esta modelación es también conocido como el “nicho fundamental” (Soberón, 2009).

Esta modelación no contempla variables bióticas, como los otros organismos con los que la especie estudiada cohabita. Por tanto, con este tipo de modelación se construye una distribución potencial de la especie, que no considera la presencia de otras ni las barreras geográficas que puedan existir en el medio; la capacidad de dispersión, o los antecedentes históricos de presencia de la especie, por ejemplo (Soberón, 2009). Principalmente porque desarrollar modelaciones que consideren los elementos mencionados, tiene una alta complejidad.

Dentro de las técnicas de modelación de nicho fundamental, una que ha tenido alto crecimiento en el último tiempo es aquella que se basa en la medición de variables scenópticas en lugares donde la especie de estudio ha sido avistada. Esta técnica se ha visto profundamente beneficiada por el desarrollo de plataformas que proporcionan este tipo de información (por ejemplo, GBIF) de manera libre y gratuita (Soberón, 2009).

Para el desarrollo de esta memoria se utilizó la modelación de nicho descrita anteriormente como *inputs* para el diseño de corredores ecológicos pues confiere mayor precisión para la definición de nodos a conectar. Un ejemplo de este tipo de aplicaciones es el de Pliscoff (et al., 2020), quienes a partir de datos de ocurrencia y abundancia de siete especies del bosque maulino (Chile), modelaron el nicho ecológico para cada especie por medio de Maxent. El nicho ecológico en esta memoria fue utilizado para definir los nodos a conectar, como también para elaborar una superficie de costo, con la cual se diseñaron los corredores potenciales que finalmente fueron combinados para un diseño final de conectividad.

2.5. El *Puma concolor* como especie focal para el diseño de corredores ecológicos

El puma es la especie felina más estudiada a nivel mundial (Iriarte et al., 2013), debido a que, después del ser humano, es el mamífero terrestre con la distribución más extensa en el continente americano y el segundo felino más grande en Sudamérica y el depredador terrestre más grande en Chile (Flora & Fauna Chile Ltda., 2011; Iriarte et al., 2013; MMA, 2010). Se distribuye desde Alaska (EE. UU.) hasta la región de Magallanes en Chile, habitando los más diversos paisajes, desde el desierto hasta los bosques fríos de coníferas, pasando por bosques tropicales y recorriendo desde el nivel del mar hasta los Andes (5800 m.s.n.m.) (Iriarte et al., 2013).

Tanto a nivel global como a nivel nacional esta especie se clasifica como “Cercana a la Amenaza” debido a que de progresar los factores que lo amenazan en la actualidad, la especie podría satisfacer los criterios para ser catalogada como amenazada (MMA, 2020).

Las amenazas que afectan a esta especie son principalmente la pérdida y degradación de hábitat, que, además de reducir las presas, los obliga a desplazarse a tierras más altas, con menor ocupación humana e inaccesibles. Sin embargo, por este mismo motivo en ocasiones es posible encontrarlos cerca a instalaciones humanas (MMA, 2020), como por ejemplo en Santiago durante las primeras semanas de cuarentena debido al COVID-19.



*Imagen N°1: Puma en Providencia y Ñuñoa.
Fuente: radio Cooperativa (2020).*

Muy lamentablemente, en la búsqueda de recursos se enfrentan a la más inminente fragmentación en el paisaje: las carreteras, lo cual ha generado preocupación a nivel mundial, y no solo para esta especie sino en general. Por ello es que en muchas naciones se han elaborado pasos de fauna con el fin de evitar las muertes por colisiones vehiculares, como por ejemplo Canadá, Estados Unidos y Australia.

Finalmente, la caza y captura también constituyen una amenaza para la especie. Los ganaderos, por un lado, quienes los asesinan por considerarlos una amenaza para sus criaderos y, por otro lado, la existencia de cazadores ilegales (MMA, 2020).



*Imagen N 2: Puma atropellado en ruta 215 Los Pellines (Los Ríos, Chile)
Fuente: Central Noticias (2020)*

En cuanto a su alimentación, esta especie es de tipo generalista por lo que presenta diferentes hábitos tróficos según el lugar geográfico donde se encuentre, esta dieta puede ir desde grandes camélidos a pequeños roedores (Flora y fauna Ltda., 2011; MMA, 2010).

En lo que respecta a su comportamiento, los autores consultados señalan que su desplazamiento diario varía entre los 6,6 y 15,92 km diarios, mientras que su ámbito de hogar lo hace entre 40 y 327 km² en general, y siendo aún mayor para los machos (Tabla N°1).

Desplazamiento diario promedio (km)	Ámbito de Hogar (km²)	Fuente
13.42±2.50	98±31.8 (hembra) 211±138.8 (macho)	Elbroch & Wittmer (2012)
10.4 ±3.8	157.3 ± (170.0)	Dickson & Beier (2007)
12	40-140 km ²	Iriarte (et al., 2013)

Tabla N°1: Desplazamiento diario promedio y ámbito de hogar para el puma concolor.

Fuente: Elaboración propia en base a revisión bibliográfica



Imagen N°3: Fotografía de un puma en Patagonia.

Autor: Nicolás Lagos.

Fuente: Flickr.com

Los grandes carnívoros, como el puma, cumplen un rol regulador en los ecosistemas, controlando el número de herbívoros y de este modo permitiendo la regeneración de especies vegetales, es decir, son reguladores de otras poblaciones (Rumiz, 2010). Por este motivo es que su presencia, sirve como indicador del estado de conservación de un ecosistema (Frías Bonilla, 2015; Dickson et al., 2013).

Por otro lado, el puma es considerado una especie paraguas. Esto significa que debido a que requiere una gran extensión de territorio, la protección de su hábitat implica la protección del hábitat de otras especies más pequeñas y con menos requerimientos (Frías Bonilla, 2015; Rumiz, 2010; Dickson et al., 2013).

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

El siguiente esquema presenta un resumen de las etapas que componen esta memoria, las cuales serán descritas a continuación.

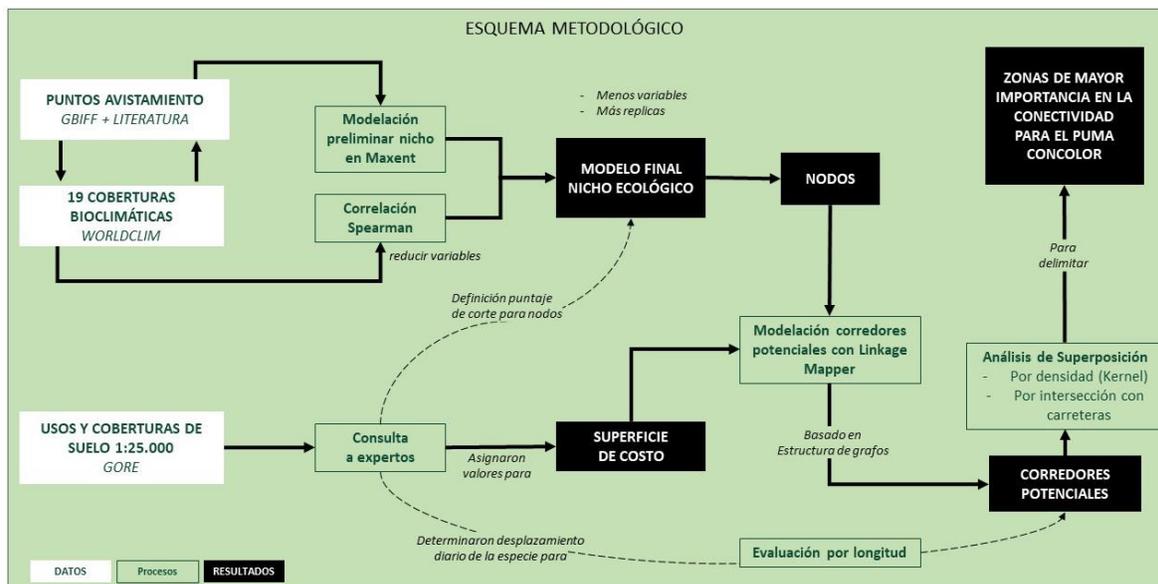


Figura N°4: Esquema metodológico.
Fuente: Elaboración propia (2020).

3.1. Área de estudio

El área de estudio para evaluar las zonas de mayor importancia en la de la conectividad para el *Puma concolor* corresponde al área cubierta por el proyecto GEF: Corredores Biológicos de Montaña (Ver anexo N°1).

El área de este proyecto contempla todas las comunas con cordones montañosos que operan como corredores, incluyendo cordillera de los Andes, de la costa y los cordones transversales. Este proyecto busca colaborar en el desarrollo de iniciativas en post de la conservación y protección de la biodiversidad y con ellos, de los múltiples beneficios ecosistémicos que las montañas otorgan (GEF Montaña, 2020).

Esta área contempla todas las comunas de la Región Metropolitana y 6 comunas de la región de Valparaíso (Olmué, Quilpué, Casablanca, Cartagena, San Antonio y Santo Domingo).

Esta zona es parte del área mediterránea de Chile, la cual se caracteriza por la presencia de dos grandes y prolongados cordones montañosos que son la cordillera de los Andes y de la Costa (Quintanilla et al., 2012). Esta zona se caracteriza por cuencas de sedimentación principalmente fluvial y un clima mediterráneo con temperaturas frías en las temporadas de

otoño e invierno (Quintanilla et al., 2012). Por lo anterior es que su vegetación es de tipo esclerófila, principalmente en las laderas montañosas, mientras que, en la zona de la cordillera de la costa, la vegetación predominante es de tipo sabanas y estepas (*Acacia caven*, por ejemplo) (Quintanilla et al., 2012).

La región metropolitana tiene una población de alrededor de siete millones de habitantes, lo que representa aproximadamente un 40% de la población total del país (BCN, 2020). Además de concentrar gran parte de la infraestructura industrial del país, la región metropolitana es la cuarta región productora agrícola del país, además de O'Higgins, Valparaíso y Maule (INDAP, 2014).

3.2. Determinación de nodos para el *Puma concolor*

Para la determinación de nodos se utilizó la modelación de nicho ecológico.

3.2.1. Datos espaciales

3.2.1.1. Datos de presencia

Existen diversas plataformas a nivel mundial donde especialistas y aficionados registran avistamientos de especies. Para el caso de esta memoria, se desarrolló una recopilación de estos datos desde la Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad, conocida por sus siglas en inglés como GBIF. Esta plataforma proporciona información sobre flora y fauna de forma libre y gratuita.

Pese a la amplia disponibilidad a nivel mundial, tanto para Chile como para el área de estudio la cantidad de datos era baja. Por ello, se utilizaron datos a escala continental (América completa) para el desarrollo de la modelación, la cual posteriormente fue recortada para el área de estudio.

3.2.1.2. Coberturas climáticas

Desde la plataforma WorldClim v.2 fueron obtenidas 19 coberturas bioclimáticas (ver Anexo N°2), con información sobre promedios, mínimas, máximas y otros coeficientes climáticos, contruidos principalmente con datos de precipitación y temperatura para el periodo 1970-2000 (Ver Anexo N°2). Estas coberturas se encuentran en formato ráster con una resolución espacial de aproximadamente 1×1 km (30 arco-segundo).

Las variables bioclimáticas contribuyen de gran forma a realizar modelos globales de distribución de especies, siendo utilizadas en la mayoría de los modelos de distribución de especies (Cabra-Rivas et al., 2016).

3.2.2. Maxent y nicho ecológico

Existen diversos métodos para la modelación de nichos, todas ellas buscan explicar y predecir las condiciones ambientales y ecológicas en las que se podría ubicar una determinada especie (Illoldi & Escalante, 2008). Para el desarrollo de esta memoria, se utilizará el algoritmo de Máxima Entropía por medio del programa Maxent. Este programa, es un software libre que permite estimar una superficie de distribución para una especie, a partir de puntos de avistamiento y variables bioclimáticas, obtenidas de WorldClim.

Maxent, mediante el algoritmo de Máxima Entropía, pesa cada variable y establece en cuánta proporción, cada una de ellas, determina el modelo. El resultado entrega valores de probabilidad entre 0 y 1 (Illoldi & Escalante, 2008).

En una primera ocasión, la modelación se desarrolló con todas las variables bioclimáticas disponibles en WorldClim, modelo denominado como “nicho preliminar”, el cual posteriormente fue corregido y ajustado.

3.2.2.1. Correlación de Spearman y ajustes para un modelo definitivo

A partir del resultado de la modelación de nicho preliminar se obtuvo un estadístico de las variables y su peso en la determinación del nicho. Sin embargo, estas contribuciones deben interpretarse con precaución cuando las variables predictoras están correlacionadas (Maxent, 2019). Por lo tanto, se precisó de una correlación de Spearman para ajustar el modelo (ver Anexo N°3).

La correlación de Spearman permite obtener un coeficiente de asociación entre variables y resultados van de “-1 a 1, siendo 0 el valor que indica no correlación y 1 correlación, mientras que los signos indican correlación directa e inversa” (Díaz et al., 2014)

Se analizó cada una de las variables -desde la más influyente a la menos influyente- con el fin de conservar aquellas de mayor contribución y excluir aquellas con alta correlación (>0,7).

Finalmente, los datos se volvieron a procesar en Maxent, pero esta vez solo con las variables seleccionadas. Al modelo definitivo se le aplicaron 50 réplicas y se seleccionó como resultado el modelo obtenido de la media para evitar el efecto de los valores extremos (Plasencia-Vásquez et al., 2014).

3.2.2.2. Evaluación del modelo y análisis de resultados

Por medio del gráfico “AUC” o integral bajo la curva se evaluaron los modelos generados. Estos estadísticos permiten evaluar las tasas de identificación correcta de presencias versus

los falsos positivos (Cabra-Rivas et al., 2016). Un modelo con valor entre 0.8 y 0.9 es considerado un modelo bueno, y aquellos sobre 0.9 son considerados modelos excelentes (Phillips et al., 2006).

En este caso, los valores obtenidos para el AUC fueron de 0.95 y 0.84, para el modelo preliminar y definitivo, respectivamente (Ver anexos N°4 y N°5).

3.2.3. Entrevista Expertos

Para dar precisión a la identificación de nodos a ser conectados a partir del modelo de nichos se desarrolló una consulta a expertos. Este panel de expertos además de ayudar a definir los nodos también definió valores de costo para los diferentes usos y coberturas de suelo con los que se elaboró la superficie de costo.

El panel de expertos fue realizado por medio de la plataforma Zoom, el día 22 de mayo de 2020. En el fueron expuestos los resultados preliminares de esta memoria acompañado de algunas preguntas claves que fueron conversadas con los participantes en el transcurso del evento. Tuvo una duración de una hora y fue grabado para conservar la fluidez en la conversación y para su posterior análisis. Posteriormente los expertos aportaron con algunos materiales bibliográfico e información, por correo electrónico.

En dicho panel participaron: Petra Wallem Stein, Doctor en Ciencias Biológicas, mención Ecología. Jefa Temática del Proyecto GEF Montaña, en área de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos; Ms. Nicolás Lagos Silva, Ingeniero en Recursos Naturales Renovables Ms. en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza, Coordinador en Chile y Coordinador de Campo Programa Cat Crafts - Alianza Gato Andino y Miembro de UICN/SSC Cat Specialist Group; Camila Dünner Oligier, M.V. Dipl. PhD(c) Medicina de la Conservación UNAB, Encargada Monitoreo Carnívoros GEF Montaña/MMA y Directora Servicios de Captura Telineject Chile. Todos ellos tienen una vasta experiencia en fauna silvestre, especialmente en el puma, monitoreo y modelamiento espacial, que incluye participación en proyectos y publicaciones científicas al respecto

3.2.4. Nodos

En primer lugar, en conjunto con los expertos se trabajó en una matriz de compatibilidad para definir aquellas áreas que, por su uso y cobertura actual, podrían ser considerada como hábitat preferente de la especie. En el anexo N°7, se puede ver las áreas definidas según este criterio.

En segundo lugar, se precisó establecer un valor de corte para la demarcación de los nodos a partir del nicho ecológico generado en la etapa anterior. Por ello, se elaboraron cartografías

planteando diferentes escenarios y valores de cortes (Ver anexo N°6) que fueron discutidas por el panel y permitieron establecer el valor más apropiado.

3.3. Modelación de los corredores potenciales

3.3.1. Superficie de costo

La superficie de costo se desarrolló en base al modelo de las rutas de menor costo, herramienta que evalúa las posibles rutas de movimiento de las especies en el territorio, en función del costo acumulativo del movimiento calculado sobre una capa en formato ráster. Este método es uno de los más utilizados para el diseño de conexiones potenciales entre nodos (LaRue y Nielsen, 2008).

Como se mencionó anteriormente, a partir de una asignación preliminar de costos a los usos y coberturas de suelo realizada con base a literatura, se realizó una discusión con el panel de expertos para definir los costos finales (Anexo N°8).

3.3.2. Corredores potenciales

Para la modelación de los corredores potenciales de los nodos identificados en el paso anterior, se utilizó la herramienta Linkage Pathways o “vías de enlace” -una de las seis herramientas de la extensión Linkage Mapper del software ARCGIS- las cuales están diseñadas para análisis de conectividad ecológica, mediante la automatización del mapeo y priorización de corredores para diversas especies de vida silvestre (Circuitscape, 2019). Esta herramienta asigna las conexiones entre las “áreas centrales” de distintos nodos a través de una superficie de costo.

3.3.3. Evaluación de corredores

Considerando la distancia de dispersión diaria que señalaron los expertos, además de la revisaba en la bibliografía, se evaluó la calidad de los corredores generados en función del desplazamiento diario de la especie. Para ello se crearon 5 categorías de análisis como se puede ver en la tabla N°2.

CALIDAD	LONGITUD (KM)
MUY BUENO	0 – 5
BUENO	5 – 10
REGULAR	10 – 15
MALO	15 – 20
MUY MALO	>20

*Tabla N°2: Clasificación de corredores según longitud.
Fuente: Elaboración propia (2020).*

3.4. Zonas de mayor importancia en la conectividad

3.4.1. Por superposición de corredores

A partir de la modelación de los corredores potenciales para la especie, se desarrolló un análisis Kernel para identificar las zonas de superposición de corredores, es decir de mayor importancia en la conectividad del puma. Se elaboraron cinco categorías para este análisis.

3.4.2. Por superposición corredores-carreteras

Para este paso se marcó las zonas donde los corredores se interceptan con carreteras de alta velocidad.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1. Nicho ecológico del puma concolor

4.1.1. Distribución del nicho ecológico en Chile

En la figura N°5 se observa el nicho ecológico del puma concolor para las zonas norte, centro y sur de Chile. Los colores representan la probabilidad (0 a 100%) de condiciones bioclimáticas adecuadas para el desarrollo de la especie. Los colores rojos indican probabilidades bajas (entre 0 y 30%), los amarillos condiciones típicas o normales de aquellos lugares donde la especie se encuentra (entre 30 y 70%) y los verdes indican altas probabilidades (sobre 70%) de reunir condiciones adecuadas para la especie.

En general, en la macrozona norte de Chile existen bajas probabilidades para el desarrollo de la especie, ya que un 86% de su superficie tiene esta condición. Las probabilidades normales ocupan un 11% del territorio de esta macrozona, dividido entre el extremo sur y el extremo norte en la región de Coquimbo. Las probabilidades altas alcanzan solo un 3% de la macrozona. Finalmente, dentro de las bajas probabilidades se observa un leve aumento hacia la cordillera, siendo la zona costera la con menores probabilidades.

La macrozona centro es donde existen las mayores probabilidades de nicho ecológico para el *Puma concolor*. Un 89,1% de su superficie presenta valores altos para la especie las que se distribuyen homogéneamente entre las regiones de Valparaíso y Los Ríos. Las probabilidades disminuyen levemente al extremo sur de esta macrozona en la región de Los Lagos y en las zonas más elevadas de la Cordillera de los Andes. Las probabilidades bajas en esta macrozona solo representan un 0,1% de superficie total de esta macrozona.

Un 88,5% de la superficie de la macrozona sur, reúne condiciones normales y altas para la especie (78,3% y 10,2% respectivamente). Solo un 11,5% de la superficie total de esta macrozona presenta condiciones bajas ubicadas principalmente en la zona de fiordos de la región de Aysén.

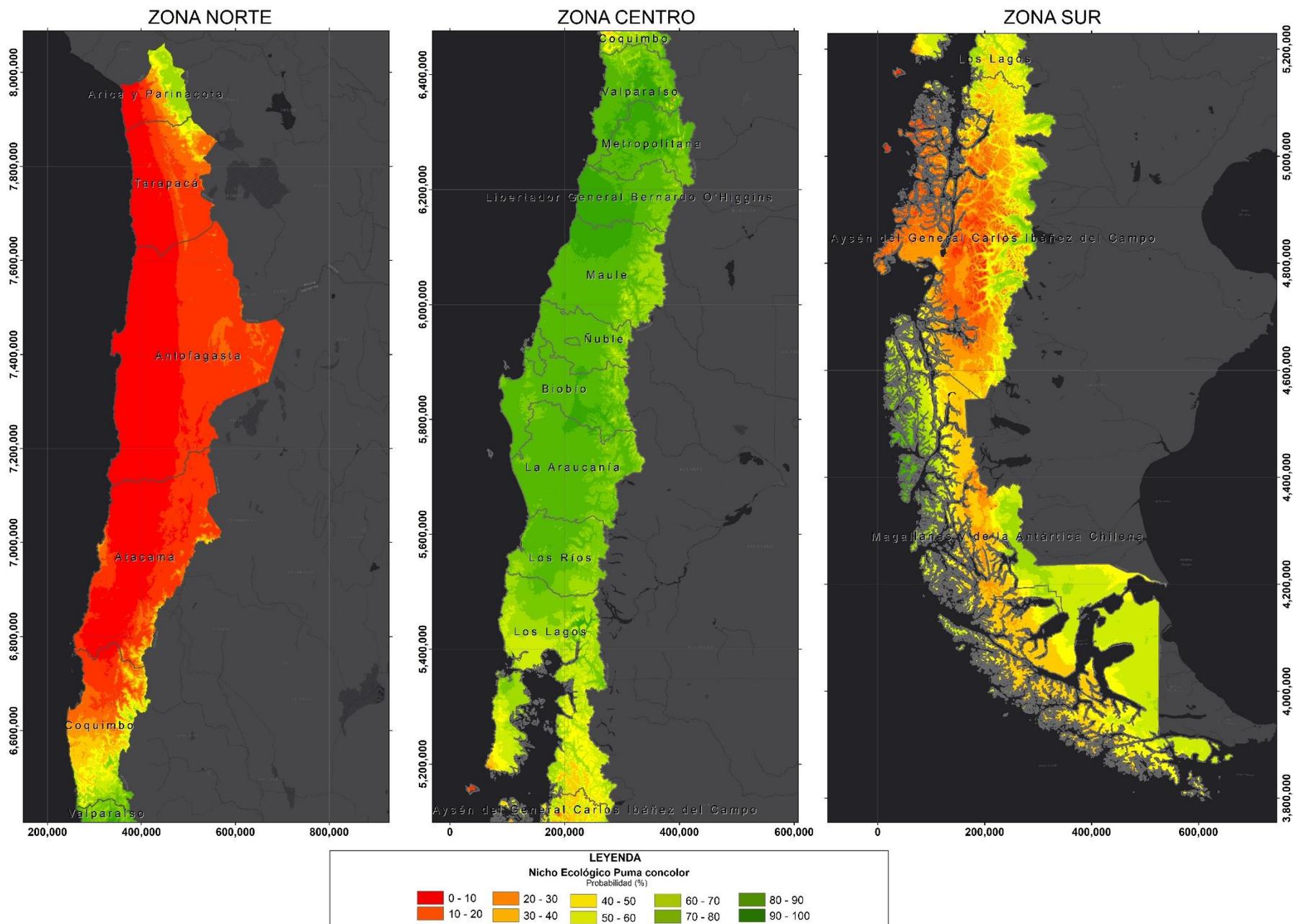


Figura N°5: Distribución en Chile del nicho ecológico para el Puma concolor. Fuente: Elaboración propia (2020)

4.1.2. Distribución nicho ecológico en área de estudio proyecto GEF Montaña

La probabilidad de nicho ecológico para el área de estudio en general es alta. Por ello en esta sección se analiza en términos más detallados este resultado (ver Figura N°6). Un 42% de la superficie tienen una probabilidad menor al 90%, mientras un 20% de la superficie se encuentra entre 90 y 95%. Un 37% de la superficie total del área de estudio representa una probabilidad mayor al 95% y solo un 2% se encuentra sobre el 99%.

La distribución de las mayores probabilidades de nicho ecológico se ubican -cómo es posible observar en la figura N°6- hacia el este, siguiendo el patrón de los valles y laderas afluentes de algunos ríos como el río Mapocho, río Colorado y río Maipo. La probabilidad en las partes altas de estas cuencas va disminuyendo en cuanto más próximo a los interfluvios. Al norte, por el sector de Chacabuco, existe una amplia superficie que conecta desde Lo Barnechea a Tiltil bordeando el área el estudio, que se prolonga entre las rutas 5 y 68 y disminuye considerablemente al sur de esta última. Al suroeste del río Maipo y al norte de la ruta 5, la probabilidad se representa en pequeños parches principalmente en las zonas altas y medias de las montañas.

PROBABILIDAD %	Ha²	%
< 90	766315,878	42%
90 – 95	372050,767	20%
> 95	101035,594	6%
> 96	143867,723	8%
> 97	172836,351	9%
> 98	220373,712	12%
> 99	43221,354	2%

*Tabla N°3: Superficie cubierta por cada valor porcentual del nicho ecológico.
Fuente: Elaboración propia (2020).*

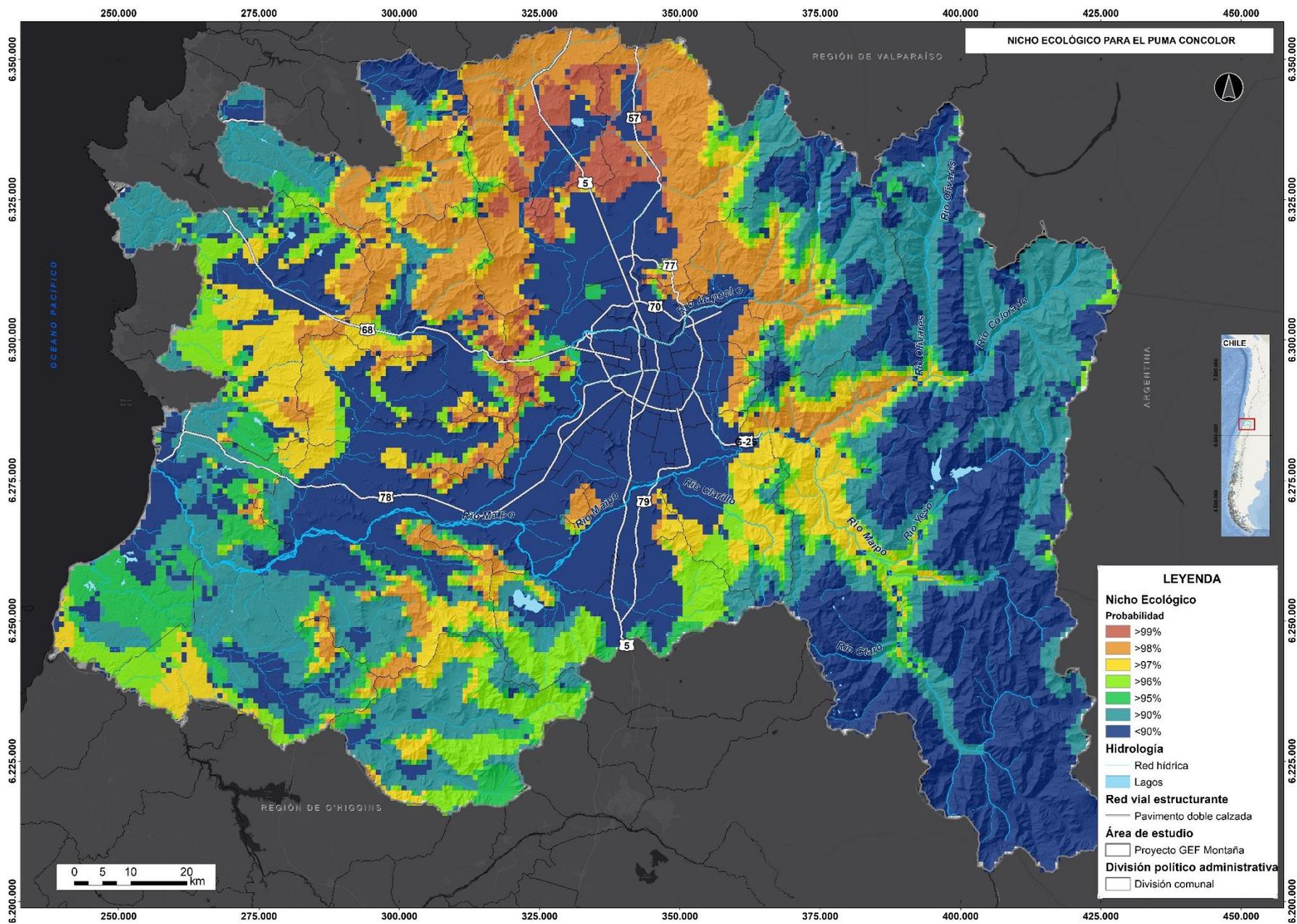


Figura N°6: Distribución nicho ecológico para el Puma concolor en área de estudio Proyecto GEF. Fuente: Elaboración Propia (2020).

4.1.3. Factores más influyentes del modelo

El modelo de nicho ecológico para el *Puma concolor* tuvo como principal variable “bio3”, que representa a la isoterma, es decir, la relación entre el rango diario medio o promedio mensual entre (máxima temperatura - mínima temperatura) y el rango de temperatura anual o diferencia entre la máxima del mes más cálido y la mínima del mes más frío (tabla N°4; gráfico N°1). Esta variable, explicó en un 72,5% el modelo.

Otras variables que fueron parte del modelo contribuyeron de la siguiente forma: bio18 (11,3%), bio 12 (7,5%), bio10 (4%), bio15 (2,8%), bio 9 (1%) y bio 17 (0,9%) (ver gráfico N°1). En la tabla N°4 se puede observar que representa cada cobertura.

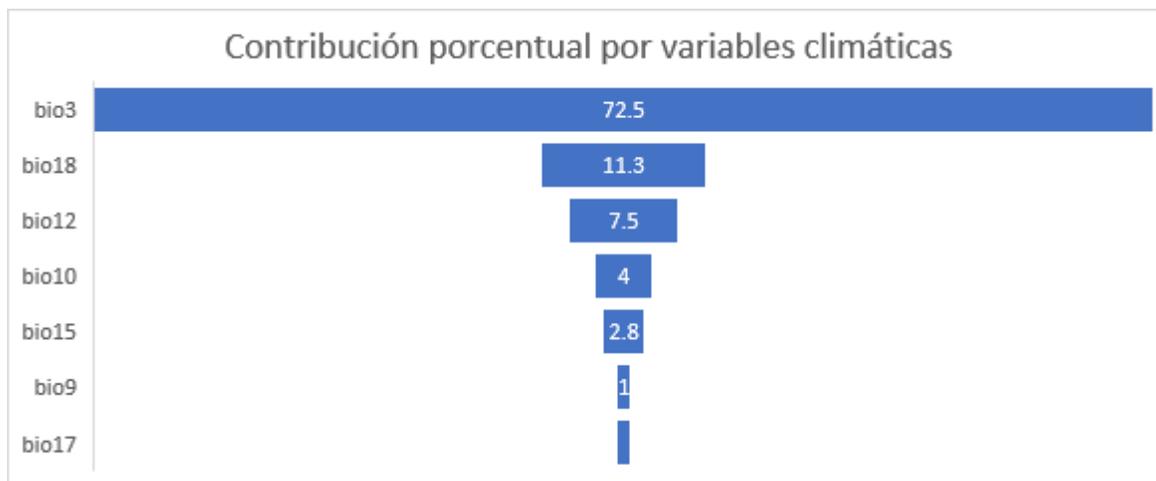
Las variables climáticas juegan un rol importante en la determinación de los nichos ecológicos, para este caso principalmente las relacionadas con la temperatura, la cual puede actuar como facilitador o barrera en su ecología.

VARIABLE	SIGNIFICADO
BIO3	Isoterma ($Bio2^1/bio7^2$)*100
BIO18	Precipitaciones trimestre más cálido
BIO12	Precipitaciones anuales
BIO10	Temperatura media trimestre más cálido
BIO15	Estacionalidad de precipitación (coeficiente de variación)
BIO9	Temperatura media trimestre más seco
BIO17	Precipitaciones trimestre más seco

Tabla N°4: Tabla resumen variables incluidas en modelación de nicho.
Fuente: Elaboración propia (2020)

¹ Rango diario medio o promedio mensual entre (máxima temperatura - mínima temperatura)

² Rango de temperatura anual o diferencia entre la máxima del mes más cálido y la mínima del mes más frío



*Gráfico N°1: Contribución porcentual por variables climáticas en modelación de nicho ecológico.
Fuente: Elaboración propia (2020).*

4.1.4. Nodos

Finalmente, para el diseño de los corredores se establecieron 20 parches a partir del modelo de nicho ecológico considerando valores de probabilidad de nicho desde 97% de probabilidad. Estos nodos contemplan una superficie de 382,538 Ha², siendo el mínimo 24,1 km², y el máximo de 702 km², representado un 21% del total del área de estudio. Tienen en promedio un área de 191,27 km².

El mayor de estos parches se ubica en el norte del área de estudio (ver figura N°7) y al oeste de la ruta 5, este tiene una superficie de 701 km². Dentro de este nodo se ubica el fundo Las Mercedes, el cual tiene como principal uso la investigación y es de propiedad de la Universidad Mayor (ACCh, 2020). Este nodo se emplaza principalmente en las comunas de Tiltil, Quilpué y Curacaví y en menor medida Pudahuel y Lampa. A esa misma altura, pero al este de la ruta 57 se ubica otro de los nodos de mayor tamaño, el cual se emplaza principalmente en las comunas de Colina y Lo Barnechea, incluyendo en menor medida Las Condes, La Reina y Peñalolén. La sección de La Reina que a este nodo pertenece, es el centro Cantalao, un espacio de educación ambiental y recreación perteneciente al Ejército de Chile (ACCh, 2020) también dentro de este nodo se ubica el predio Los Nogales, que tiene categoría de Santuario de la Naturaleza.

En la zona sur, al oeste de la ruta 5, se ubican nodos de menor tamaño ubicados en torno a la reserva Altos de Cantillana y Horcón de Piedras, ubicadas en las comunas de Paine y Alhué.

Otros nodos de tamaño intermedio y pequeño se ubican al suroeste del área de estudio, en las comunas de Santo Domingo, San Pedro y San Antonio.

4.2. Potenciales corredores para el puma

De la modelación resultaron 30 corredores (ver figura N°8) que varían entre los 2,4 y 38,6 km de largo, con un promedio de 13,9 km. Estos fueron evaluados en base a cinco categorías creadas según la longitud de los corredores como se explicó en la metodología.

Los corredores de “muy bueno” y “bueno”, que tienen longitudes de hasta 10 km se ubican principalmente en la zona norte del área de estudio, conectando los nodos de mayor tamaño que son interceptados por las rutas 5 y 57. Otros corredores de longitudes cortas se ubican al noroeste del área de estudio, conectando nodos de gran tamaño ubicados entre las comunas de Casablanca, Quilpué y Curacaví. Hacia el este, en la zona de San José de Maipo los corredores también son de longitudes cortas.

Los corredores con longitudes mayores a 20 km se ubican principalmente en la zona sur y suroeste del área de estudio. Uno de ellos se ubica en la comuna de Paine y cruza la ruta 5 conectando los nodos ubicados tanto al oeste como al este de esta comuna, que por lo demás, conecta la reserva Altos de Cantillana con la reserva nacional Río Clarillo por el sector de Angostura de Paine. Otros corredores de más de 20 km se ubican en las comunas de Alhué y altamente concentrados en la comuna de San Pedro, en la Provincia de Melipilla.

En la tabla N°5 y gráfico N°2 es posible observar el resultado por categoría. De los 30 corredores, 5 calificaron como “muy buenos” (1, 4, 5, 8, 26); 11 se consideraron “buenos” (23, 25, 29, 2, 13, 9, 27, 30, 18, 11 y 17); 4 regulares (24, 3, 7, 10); 3 malos (12, 15 y 21) y 7 muy malos (28, 16, 6, 20, 19, 14, 22) (ver figura N°8).

En la zona sur y suroeste del área de estudio, se emplazan 9 de 10 de los corredores malos y muy malos. Además 8 de estos, son a la vez, los más costosos según el costo acumulado (20, 15, 16, 19, 21, 14, 22, 6).

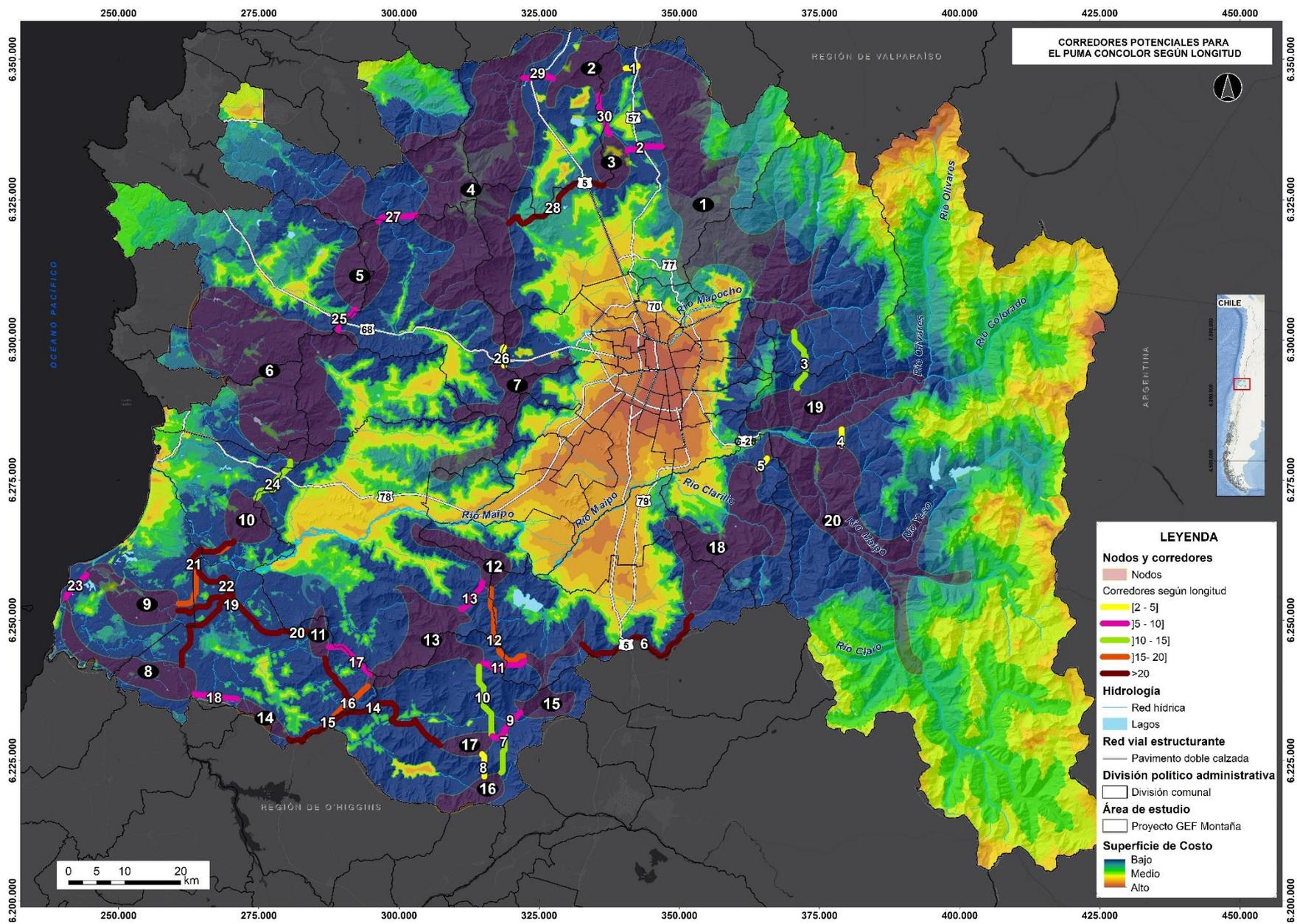


Figura N°8: Corredores potenciales según longitud. Fuente: Elaboración propia (2020).

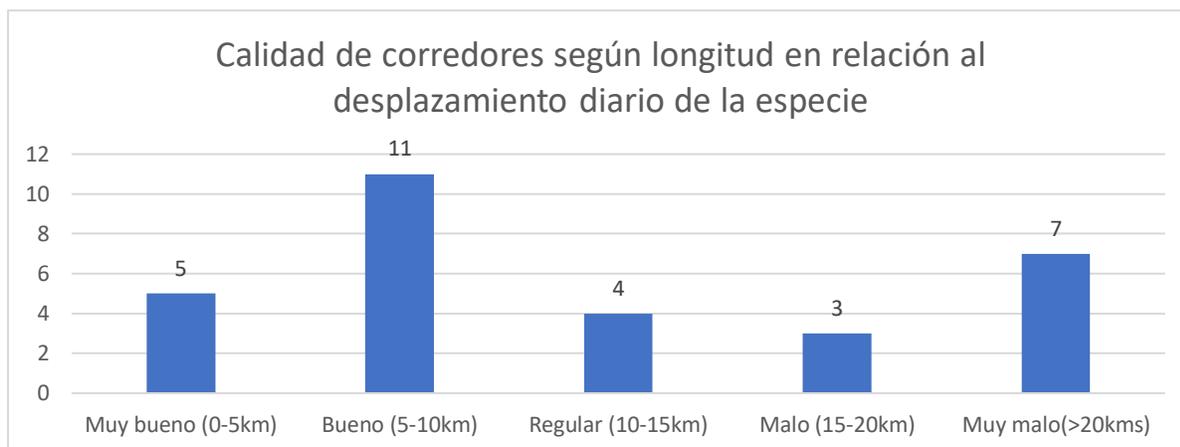


Gráfico N°2: Calidad de corredores según longitud en relación con el desplazamiento diario de la especie.
Fuente: Elaboración propia (2020).

CALIDAD	LONGITUD (KM)	NÚMERO DE CORREDOR
MUY BUENO	0 – 5	1 – 4 – 5 – 8 – 26
BUENO	5 – 10	2 – 9 – 11 – 13 – 17 – 18 – 23 – 25 – 27 – 29 – 30
REGULAR	10 – 15	3 – 7 – 10 – 24
MALO	15 – 20	12 – 15 – 21
MUY MALO	>20	6 – 14 – 16 – 19 – 20 – 22 – 28

Tabla N°5: Calidad de corredores según longitud.
Fuente: Elaboración propia (2020).

4.3. Zonas de mayor importancia para la conectividad del puma

Se diferenciaron 5 categorías para priorizar las áreas de mayor importancia para en la conectividad de la especie según la superposición de corredores cómo es posible ver en la tabla N°7. Las zonas prioritarias “A”, “B” y “C” se ubican en la zona suroeste del área de estudio y al sur del río Mapocho (ver figura N°9).

La zona “A” es la zona de mayor importancia en cuanto a superposición de corredores. En ella convergen 4 corredores que conectan los parches 8, 9, 10 y 11, ubicados en las comunas

de Santo Domingo, San Pedro y San Antonio. Esta zona se emplaza principalmente en la comuna de San Pedro, provincia de Melipilla, y se encuentra cubierto principalmente por matorrales, los cuales representan un bajo costo para el desplazamiento de la especie.

La zona “B” se ubica a continuación de la zona “A” en el límite entre las comunas de San Pedro y Alhué, en ella se ubican los corredores 14, 15, 16 y 17. En la zona “C” se ubican los corredores que conectan los nodos entorno a la reserva Altos de Cantillana (12, 13, 15, 17), la cual por medio de la zona “A” y “B”, se conecta con la zona noroeste y norte del área de estudio, es decir, el cordón de Chacabuco.

A pesar de existir un nodo próximo a Altos de Cantillana ubicado al norte del río Maipo (nodo número 7), los usos de suelo en este sector (principalmente las comunas de El Monte y Melipilla) son de tipo agrícola, por lo que representan un alto costo para el desplazamiento de la especie; lo cual se suma a la presencia de la ruta 78 como una importante barrera. Si bien para conectar las zonas suroeste y noroeste, es necesario cruzar la ruta 78, el corredor ecológico potencial (número 24) para unir estas zonas se ubica en el límite entre las comunas de San Antonio y Melipilla, donde dominan los matorrales y plantaciones forestales, las cuales representan menores costos que los usos de tipo agrícola.

ZONA PRIORITARIA	NÚMERO DE CORREDOR
A	19 – 20 – 21 – 22
B	14 – 15 – 16 – 17
C	7 – 8 – 9 – 10 – 11 – 12 – 18
D	2 – 6 – 13 – 24 – 28 – 30
E	1 – 3 – 4 – 5 – 23 – 25 – 27 – 29

*Tabla N°6: Zonas y corredores prioritarios para conservación de conectividad.
Fuente: Elaboración propia (2020).*

Las zonas “D” y “E” coinciden con las zonas de superposición con carreteras de alta velocidad, las cuales se encuentran en el eje central del área de estudio tanto al norte como al sur. Por el norte las rutas 5 y 57 y por el sur la ruta 5.

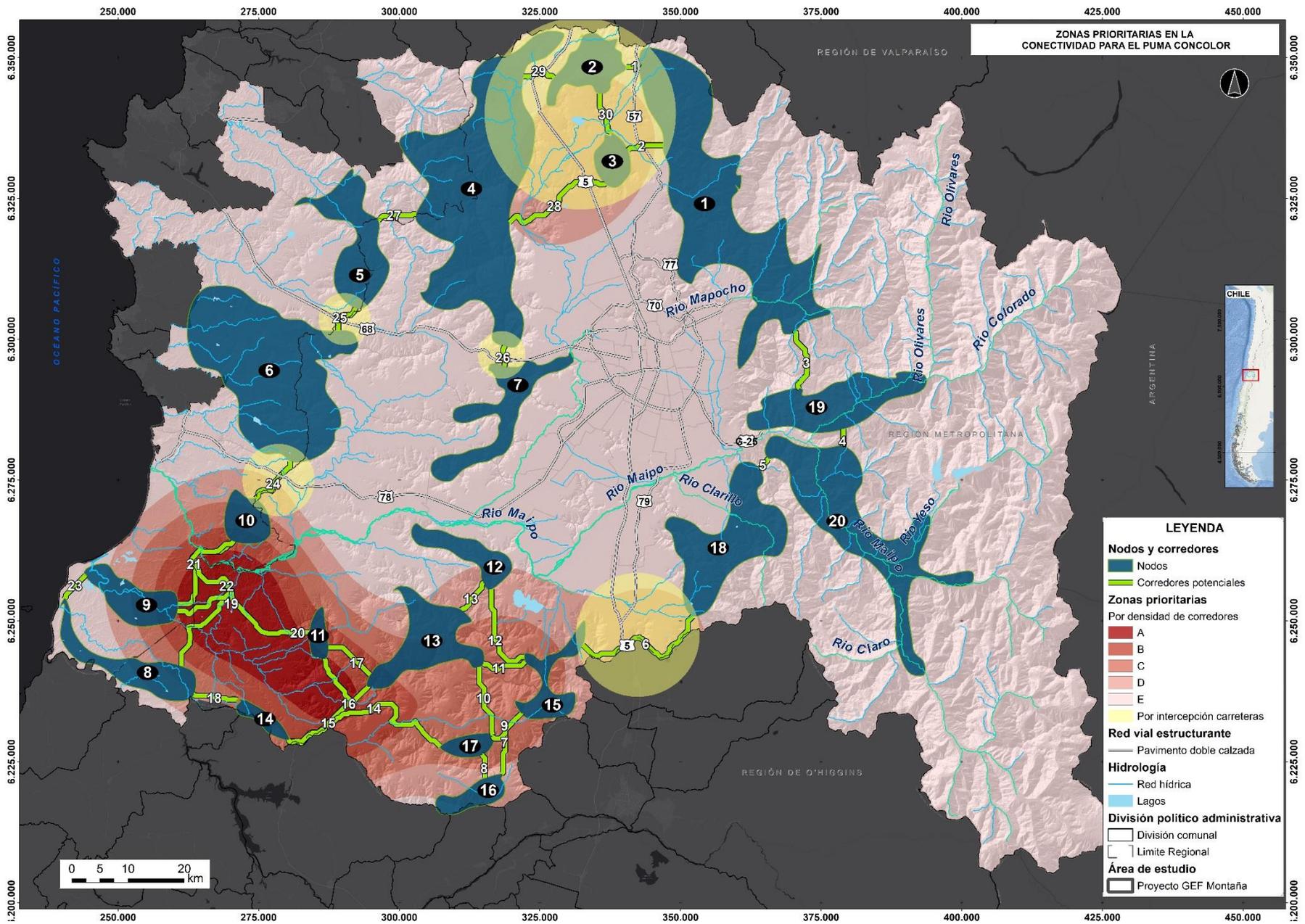


Figura N°9: Zonas de importancia en la conectividad para el Puma concolor. Fuente: Elaboración propia (2020).

CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El objetivo principal de esta memoria consistió en identificar las zonas de mayor importancia para la conectividad del *Puma concolor* en el área de estudio. Los resultados indican que existen corredores potenciales que permiten conectar toda el área de estudio entre sí, pero que sin embargo existen zonas que se encuentran más aisladas que otras.

Durante el desarrollo de esta memoria, el proyecto GEF Montaña publicó el resultado del seguimiento de un puma durante un año por medio de un collar GPS (Anexo N°10). Al comparar estos resultados con los modelados en esta memoria, es posible inferir que el puma recorre los nodos de mayor tamaño y utiliza los corredores de menor longitud. Esto es particularmente cierto en la zona norte del área de estudio, donde se emplaza el cordón de Chacabuco. Esta es una zona de importancia para la conectividad pues se encuentra interceptada por dos carreteras de alta velocidad (ruta 5 y ruta 57), que pueden constituir enormes barreras para el desplazamiento de esta especie.

Al sur del área de estudio y al oeste de la ruta 5, en una zona cubierta principalmente por bosque y renoval nativo, se ubica la reserva natural Altos de Cantillana, la cual pareciera funcionar como núcleo al facilitar la conexión de múltiples nodos que se encuentran a su alrededor. Esta zona no se conecta directamente el área norte (Altos de Chicauma y cordón de Chacabuco) por El Monte-Melipilla, sino que lo hace por la zona suroeste principalmente por la comuna de San Pedro. Esto se podría explicar debido a que la zona de El Monte-Melipilla se encuentra principalmente cubierta por zonas agrícolas, con cultivos de frutales y viñedos que bordean el cauce del río Maipo, además del uso residenciales de baja altura; mientras que en la comuna de San Pedro predominan las coberturas de tipo matorral. Los expertos señalaron que los usos agrícolas dificultan el desplazamiento de la especie debido a la constante presencia de humanos que monitorean los cultivos.

La zona-suroeste también es una zona de importancia debido al alto nivel de superposición de corredores que presenta, principalmente en la comuna de San Pedro (Provincia de Melipilla), además de presentar los corredores de mayor longitud trazados en la modelación.

Según información entregada por el proyecto GEF Montaña, en la Reserva Natural Altos de Cantillana, se han registrado avistamiento de pumas por medio de cámaras trampa. Sin embargo, los datos del ejemplar con collar GPS no muestran que este circule por esas zonas, lo que permitiría inferir que lo señalado por Crooks & Sanjayan (2006) en el sentido que Altos de Cantillana podría estar siendo una zona relativamente aislada del sistema con limitado intercambio con las otras zonas (norte, oriente y poniente). Así, para conservar la movilidad de los ejemplares que habitan en esta reserva, es necesario ampliar las zonas de conservación fuera de esta, considerando corredores que le permitan desplazarse y conectarse con los demás nodos del área de estudio, como por ejemplo hacia el cordón de Chacabuco o hacia la reserva río Clarillo cruzando la ruta 5. De esta forma se aumentaría la conectividad

y de paso se potenciaría la recolonización de ciertos nodos como plantean Carlier & Moran (2019) y Bentrup (2008).

Una intervención como un paso de fauna en este sector dónde la ruta 5 intercepta con el corredor número 6 podría favorecer la conectividad en este paisaje, permitiendo el intercambio entre la reserva Altos de Cantillana y sus alrededores con la cordillera de los Andes.

Otro elemento para discutir es el rol de las plantaciones forestales. A pesar de ser señalados compatibles como hábitats por los expertos, estos son formaciones forestales normalmente simples y de tipo estacional que pueden tener impactos negativos en la conectividad cuando alcanzan una etapa madura y son cortados (Pliscoff et al., 2020), por lo que existe una discusión abierta sobre la contribución de estos al fortalecimiento de la conectividad ecológica para el puma en el largo plazo. En el área de estudio, las plantaciones forestales se ubican principalmente por el cordón montañoso costero, lo cual podría ser interpretado como una amenaza para la conectividad entre el sector noroeste y suroeste.

Las zonas donde existe intercepciones con carreteras son zonas de alta importancia para la conectividad de la especie, ya que normalmente significa interrumpir el único corredor que conecta dos zonas relevantes del área de estudio, por ejemplo, la Cordillera de Los Andes y la Cordillera de la Costa. Además, los expertos reconocen el nivel de peligro inminente de esto pues en base a su experiencia los pumas atraviesan estas carreteras cuando se ven obligados y en ocasiones el resultado de esta decisión es fatal. Pensar la implementación de cruces de fauna podría ser una salida a esta problemática y contribuiría a reconectar el paisaje actualmente fragmentado, al menos para algunas especies (Forman & Alexander, 1998; Forman et al. 2002; Arroyave et al., 2006).

En cuanto a las modelaciones del nicho ecológico como de los corredores, estas podrían mejorar con una mayor cantidad de datos a de mayor resolución y con información topográfica de detalle. Otra información que podría robustecer un modelo de este tipo es la de los collares GPS que hacen seguimiento diario a algunos individuos de la especie en el área de estudio. De este modo se podría analizar estadísticamente las preferencias en su desplazamiento y con ello elaborar una superficie de costo más detallada y respaldada con datos en el área de estudio.

Dentro de las limitaciones de la investigación se puede destacar la poca disponibilidad de información a escala nacional, motivo por el cual la modelación se desarrolló a escala global. En este sentido, la información sobre avistamientos puede reportar algunos errores, como, la amplitud de las fechas de los reportes o la posible sobre representación de algunos ejemplares (doble conteo), debido a que cada avistamiento puede reflejar la experiencia de varias personas con un mismo ejemplar.

En este sentido, la escala de la modelación v/s la escala de análisis del área de estudio, no permite analizar en detalle el área de estudio, pero, sin embargo, permite vislumbrar las zonas que requieren de mayor atención y así contribuir en el desarrollo de esta temática.

Finalmente, los resultados de esta memoria proveen información relevante para el desarrollo de programas e infraestructura (pasos de fauna) con el objetivo de proteger y restaurar la conectividad del paisaje para el puma, y con ello contribuir a su conservación y sus importantes roles ecológicos y culturales.

BIBLIOGRAFÍA

- Arroyave, María del Pilar, Gómez, Carolina, Gutiérrez, María Elena, Múnera, Diana Paulina, Zapata, Paula Andrea, Vergara, Isabel Cristina, Andrade, Liliana María, & Ramos, Karen Cristina. (2006). *Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo*. Revista EIA, (5), 45-57. Retrieved May 28, 2019, from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372006000100004&lng=en&tlng=es.
- Barnes, T. (2000). *Landscape ecology and ecosystems management*. University of Kentucky, Frankfort.
- BCN. (4 de agosto de 2020). Biblioteca Congreso Nacional. Obtenido de Región Metropolitana de Santiago: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region13>
- Beier, P., Majka, D., & Spencer, W. (2008). *Conceptual steps for designing wildlife corridors*.
- Brown, J. (2017). *SDMtoolbox 2.0 User Guide*. Southern Illinois University.
- Cabra-Rivas I, Saldaña A, Castro-Díez P, Gallien L. (2016). *A multiscale approach to identify invasion drivers and invaders' future dynamics*. Biological Invasions 18:411–426
- Carlier, J., & Moran, J. (2019). *Landscape typology and ecological connectivity assessment to inform Greenways design*. Science of the Total Environment (651), 3241-3252. Circuitscape. (12 de 09 de 2019). Obtenido de Linkage Mapper: <https://circuitscape.org/linkagemapper/>
- Central Noticias. (10 de marzo de 2019). *Muere atropellado un puma en la ruta 215 de Los Pellines*. Central Noticias. Obtenido de <https://www.centralnoticia.cl/2019/03/10/muere-atropellado-un-puma-en-la-ruta-215-de-los-pellines/>
- Correa, C., Mendoza, M., Etter, A., & Pérez, D. (2016). *Habitat connectivity in biodiversity conservation: A review of recent studies and applications*. Progress in Physical Geography, 40, 7-37. doi:10.1177/0309133315598713
- Crooks, K., & Sanjayan, M. (2006). *Connectivity conservation: maintaining connections for nature*. En K. R. Crooks, & M. Sanjayan, Connectivity Conservation (pp. 1-20). Cambridge University Press.
- Díaz, I., García, C., & León, M. (2014). *Guía de Asociación entre variables (Pearson y Spearman en SPSS)*. FACSO Universidad de Chile, Departamento de Sociología.

- Dickson BG, Roemer GW, McRae BH, Rundall JM. (2013). *Models of Regional Habitat Quality and Connectivity for Pumas (Puma concolor) in the Southwestern United States*. PLoS ONE 8(12): e81898. doi:10.1371/journal.pone.0081898
- Flora & Fauna Chile Ltda. (2011). *Diagnóstico del estado poblacional del puma (Puma concolor) y evaluación de la efectividad de corrales para proteger el ganado doméstico en la Provincia de Parinacota, Región de Arica y Parinacota*.
- Forman, R., & Alexander, L. (1998). *Road and their major ecological effects*.
- Forman, R., Sperling, D., Bissonette, J., Clevenger, A., Cutshall, C., & Dale, V. (2002). *Road Ecology: Science and Solution*.
- FORMAN, Richard T.T. (1995). *Land Mosaic: The ecology of landscapes and regions*. The Ecological Design and Planning Reader. Nueva York, Cambridge University Press.
- Frías Bonilla, M. M. (2015). *Diseño y evaluación del corredor del puma (Puma concolor) entre el Parque Nacional La Tigra y las Reservas Biológicas Uyuca y Yuscarán-Monserrat, Zamorano, Honduras*.
- Guarda, N., Aguilar, A., López, J., Carrasco, J., Orellana, N., Durán, H., . Bonacic, C. (2014). *Sobrevivencia de crías de puma (Puma concolor) hasta edad de dispersión en la Reserva Nacional Río los Cipreses, Región del Libertador Bernardo O'Higgins*. Comunicaciones Cortas. En: Biodiversidata: Conservación, gestión y manejo de áreas silvestres protegidas (CONAF) boletín N°1 mayo 2014
- Gurrutxaga, M. (2006). *Efectos de la fragmentación de hábitats y pérdida de conectividad ecológica dentro de la dinámica territorial*. Polígonos. Revista de Geografía (16), 33-54.
- Gurrutxaga, M., & Lozano, P. (2008). *Evidencias sobre la eficacia de los corredores ecológicos: ¿Solucionan la problemática de fragmentación de hábitats?* Observatorio Medioambiental, vol. 11, 171-183.
- Haddad, N., & Tewksbury, J. (2006). *Impacts of corridors on populations and communities*. En K. Crooks, & M. Sanjayan, *Connectivity Conservation* (730 pp): Cambridge University Press.
- Illoldi, P., & Escalante, T. (2008). *De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica*. ResearchGate. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/286336295>
- INDAP. (25 de septiembre de 2014). *Instituto de Desarrollo Agropecuario. Ministerio de Agricultura*. Obtenido de INDAP Noticias: [http://www.indap.gob.cl/noticias/detalle/2014/09/25/regi%C3%B3n-metropolitana-es-la-cuarta-regi%C3%B3n-productora-agr%C3%ADcola-del-pa%C3%ADs-](http://www.indap.gob.cl/noticias/detalle/2014/09/25/regi%C3%B3n-metropolitana-es-la-cuarta-regi%C3%B3n-productora-agr%C3%ADcola-del-pa%C3%ADs)

- Iriarte, A., Rau, J., Villalobos, R., Lagos, N., & Sade, S. (2013). *Revisión actualizada sobre la biodiversidad y conservación de los felinos silvestres de Chile*. Boletín de Biodiversidad de Chile (nro. 8), 5-24. Obtenido de <http://www.bbchile.com>
- Jongman, R., & Pungetti, G. (2004). *Ecological Networks and Greenways. Concepts, design, implementation*. Cambridge University Press.
- LaRue, M. y Nielsen, C. (2008). *Modelling potential dispersal corridors for cougars in midwestern North America using least-cost path methods*. *Ecological Modelling*, 212 (3-4), 372-381.
- MMA Chile. (2010). *Ficha de especie clasificada: Puma concolor*.
- MMA. (4 de agosto de 2020). Inventario nacional de especies de Chile. Ministerio de Medio Ambiente. Obtenido de:

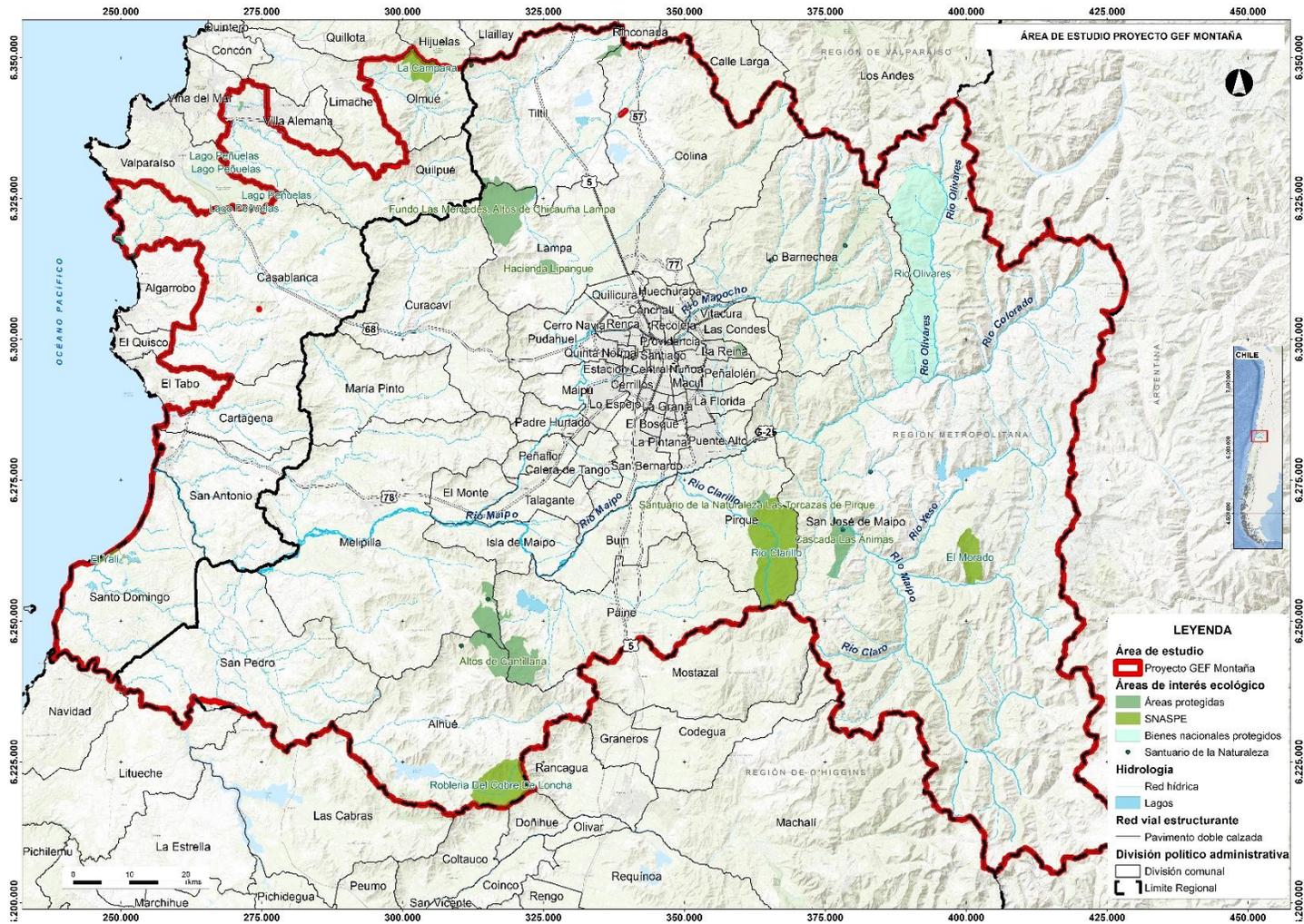
http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/ficha_indepen.aspx?EspecieId=18&Version=1
- Ortiz de León, S. (2016). *Evaluación de la conectividad entre tres reservas naturales privadas en la región sur del Lago de Atitlán (Tesis de Grado)*. Universidad Rafael Landívar Guatemala de la Asunción.
- Peng, J., Yang, Y., Liu, Y., Du, Y., Meersmans, J., & Qiu, S. (2018). *Linking ecosystem services and circuit theory to identify ecological*. *Science of the total environment* (nro. 644), 781-790
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE (2006) *Maximum entropy modeling of species geographic distributions*. *Ecological modelling* 190:231–259
- Plasencia-Vázquez, Alexis Herminio, Escalona-Segura, Griselda, & Esparza-Olguín, Ligia Guadalupe. (2014). *Modelación de la distribución geográfica potencial de dos especies de psitácidos neotropicales utilizando variables climáticas y topográficas*. *Acta zoológica mexicana*, 30 (3), 471-490. Recuperado en 11 de mayo de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372014000300002&lng=es&tlng=es
- Pliscoff, P., Simonetti, J., Grez, A., Vergara, P., & Barahona-Segovia, R. (2020). *Defining corridors for movement of multiple species in a forest-plantation landscape*. *Global Ecology and Conservation*. doi:DOI: 10.1016/j.gecco.2020.e01108
- Quintanilla, V., Cadiñanos, J., Latasa, I., & Lozano, P. (2012). *Aproximaciones biogeográficas a los bosques de la zona mediterránea de Chile: caracterización e inventario*. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles (nro. 60), 91-114.
- Radio Cooperativa. (24 de marzo de 2020). Avistamiento de puma en Providencia y Ñuñoa alerta a vecinos. Radio Cooperativa. Obtenido de:

<https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/medioambiente/animales/avistamiento-de-puma-en-providencia-y-nunoa-alerta-a-vecinos/2020-03-24/054011.html>

- Rojas. (2016). *Evaluación de las transformaciones en el paisaje y la provisión de servicios ecosistémicos en la Provincia de Chacabuco entre 1984 y 2012*. Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Chile. Recuperado de: http://www.corredoresverdes.cl/wp-content/uploads/2016/07/MEMORIA_ROJAS2016.pdf
- Rumiz, D. (2010). *Roles ecológicos de los mamíferos medianos y grandes*. ResearchGate, 54-74.
- Sandoval, G. (2016). *Propuesta de corredores verdes potenciales en el paisaje metropolitano de Santiago de Chile mediante una modelación en Sistemas de Información Geográfica*. Santiago, Chile.
- Saura, S. (2013). *Métodos y herramientas para el análisis de la conectividad del paisaje y su integración en los planes de conservación*. En M. De la Cruz, Avances en el análisis espacial de datos ecológicos. Aspectos metodológicos y aplicados (pp. 1-46).
- Sinclair, A.R.E. (2003). *The role of mammals as ecosystem landscapers*. Alces 39. (pp 161-176).
- Soberón, J., & Miller, C. (2009). *Evolución de los nichos ecológicos*. Miscelánea matemática (nro. 49), 83-99.
- Taylor, P., Fahrig, L., Henein, K., & Merriam, G. (3 de diciembre de 1993). *Connectivity is a vital element of landscape structure*. Oikos (68), 571-573. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/3544927>
- Theobald, D. M. (2006). *Exploring the functional connectivity of landscapes using landscape networks*. En: Connectivity Conservation, (Eds). Crooks, K. R. y Sanjayan, M., pp. 416-443. Cambridge University Press, New York.
- Valdés, A. (2011). *Modelos de paisaje y análisis de fragmentación: de la biogeografía de islas a la aproximación de paisaje continuo*. Ecosistemas. 11-20.
- Vila, J., Varga, D., Llausàs, A., & Ribas, A. (2006). *Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía*. Doc. Anàl. Geogr. (48), 151-166.

ANEXOS

Anexo N°1: Área de estudio proyecto GEF Montaña. Fuente: Elaboración propia (2020).



Anexo N°2: Descripción de las coberturas utilizadas en el modelo preliminar provenientes de WorldClim. Fuente: WorldClim (2020).

They are coded as follows:

- BIO1 = Annual Mean Temperature
- BIO2 = Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp))
- BIO3 = Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100)
- BIO4 = Temperature Seasonality (standard deviation *100)
- BIO5 = Max Temperature of Warmest Month
- BIO6 = Min Temperature of Coldest Month
- BIO7 = Temperature Annual Range (BIO5-BIO6)
- BIO8 = Mean Temperature of Wettest Quarter
- BIO9 = Mean Temperature of Driest Quarter
- BIO10 = Mean Temperature of Warmest Quarter
- BIO11 = Mean Temperature of Coldest Quarter
- BIO12 = Annual Precipitation
- BIO13 = Precipitation of Wettest Month
- BIO14 = Precipitation of Driest Month
- BIO15 = Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)
- BIO16 = Precipitation of Wettest Quarter
- BIO17 = Precipitation of Driest Quarter
- BIO18 = Precipitation of Warmest Quarter
- BIO19 = Precipitation of Coldest Quarter

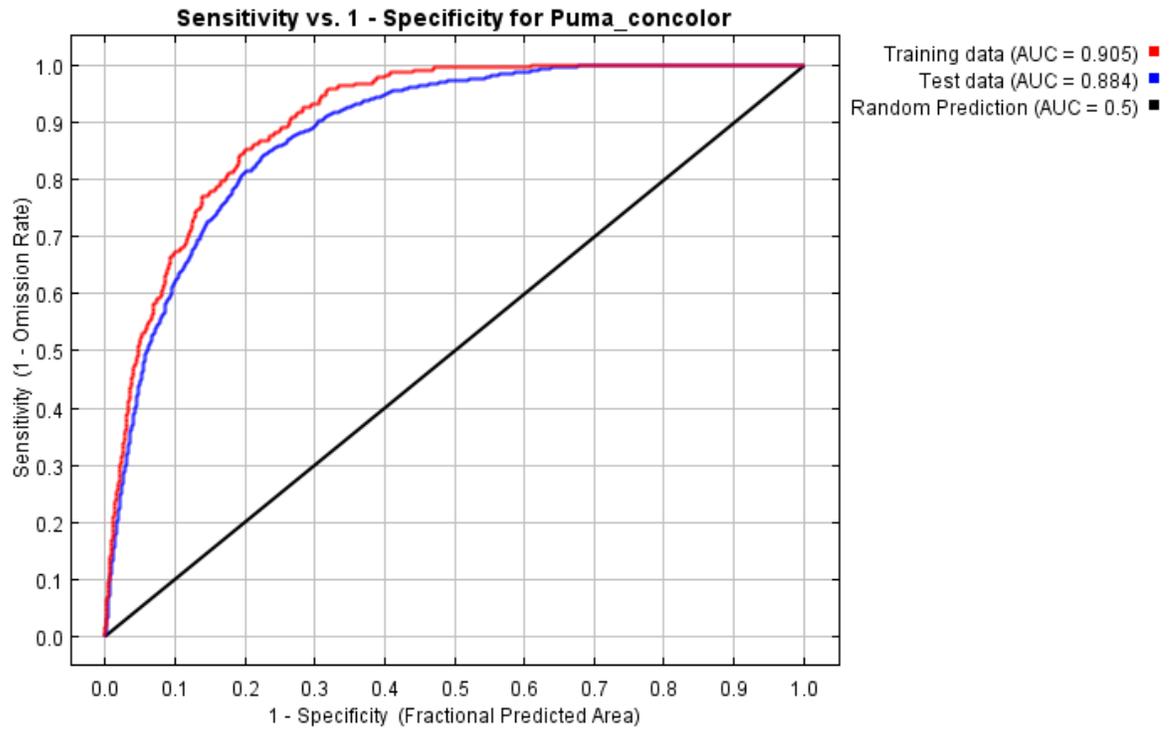
Anexo N°3: Correlación de Spearman. Fuente: Elaboración propia (2020).

CORRELACIÓN DE SPEARMAN																			
	bio8	bio7	bio15	bio16	bio17	bio6	bio14	bio5	bio13	bio4	bio12	bio3	bio11	bio2	bio10	bio19	bio1	bio18	bio9
bio8	1,00	-0,26	0,16	0,25	0,06	0,61	0,06	0,77	0,28	-0,38	0,18	0,58	0,68	0,03	0,80	-0,21	0,78	0,61	0,40
bio7	-0,26	1,00	-0,19	-0,82	-0,38	-0,84	-0,31	0,02	-0,81	0,95	-0,80	-0,69	-0,76	0,79	-0,22	-0,55	-0,59	-0,47	-0,58
bio15	0,16	-0,19	1,00	0,28	-0,67	0,36	-0,71	0,28	0,28	-0,32	0,02	0,41	0,39	0,20	0,26	-0,10	0,36	-0,10	0,32
bio16	0,25	-0,82	0,28	1,00	0,44	0,69	0,35	0,01	1,00	-0,79	0,95	0,58	0,64	-0,66	0,22	0,66	0,52	0,55	0,55
bio17	0,06	-0,38	-0,67	0,44	1,00	0,13	0,97	-0,26	0,45	-0,25	0,63	0,01	0,06	-0,62	-0,11	0,52	0,00	0,55	0,01
bio6	0,61	-0,84	0,36	0,69	0,13	1,00	0,06	0,49	0,69	-0,89	0,61	0,83	0,99	-0,47	0,68	0,35	0,92	0,46	0,79
bio14	0,06	-0,31	-0,71	0,35	0,97	0,06	1,00	-0,27	0,35	-0,18	0,54	-0,05	-0,01	-0,57	-0,14	0,41	-0,05	0,55	-0,07
bio5	0,77	0,02	0,28	0,01	-0,26	0,49	-0,27	1,00	0,02	-0,12	-0,10	0,41	0,60	0,33	0,94	-0,24	0,77	0,19	0,54
bio13	0,28	-0,81	0,28	1,00	0,45	0,69	0,35	0,02	1,00	-0,79	0,95	0,59	0,64	-0,65	0,23	0,65	0,52	0,57	0,54
bio4	-0,38	0,95	-0,32	-0,79	-0,25	-0,89	-0,18	-0,12	-0,79	1,00	-0,73	-0,85	-0,85	0,59	-0,31	-0,46	-0,69	-0,48	-0,62
bio12	0,18	-0,80	0,02	0,95	0,63	0,61	0,54	-0,10	0,95	-0,73	1,00	0,48	0,53	-0,74	0,13	0,73	0,41	0,57	0,47
bio3	0,58	-0,69	0,41	0,58	0,01	0,83	-0,05	0,41	0,59	-0,85	0,48	1,00	0,86	-0,17	0,50	0,20	0,78	0,46	0,62
bio11	0,68	-0,76	0,39	0,64	0,06	0,99	-0,01	0,60	0,64	-0,85	0,53	0,86	1,00	-0,34	0,75	0,27	0,96	0,45	0,80
bio2	0,03	0,79	0,20	-0,66	-0,62	-0,47	-0,57	0,33	-0,65	0,59	-0,74	-0,17	-0,34	1,00	0,05	-0,64	-0,21	-0,34	-0,30
bio10	0,80	-0,22	0,26	0,22	-0,11	0,68	-0,14	0,94	0,23	-0,31	0,13	0,50	0,75	0,05	1,00	-0,03	0,89	0,28	0,69
bio19	-0,21	-0,55	-0,10	0,66	0,52	0,35	0,41	-0,24	0,65	-0,46	0,73	0,20	0,27	-0,64	-0,03	1,00	0,16	0,01	0,48
bio1	0,78	-0,59	0,36	0,52	0,00	0,92	-0,05	0,77	0,52	-0,69	0,41	0,78	0,96	-0,21	0,89	0,16	1,00	0,42	0,80
bio18	0,61	-0,47	-0,10	0,55	0,55	0,46	0,55	0,19	0,57	-0,48	0,57	0,46	0,45	-0,34	0,28	0,01	0,42	1,00	0,13
bio9	0,40	-0,58	0,32	0,55	0,01	0,79	-0,07	0,54	0,54	-0,62	0,47	0,62	0,80	-0,30	0,69	0,48	0,80	0,13	1,00

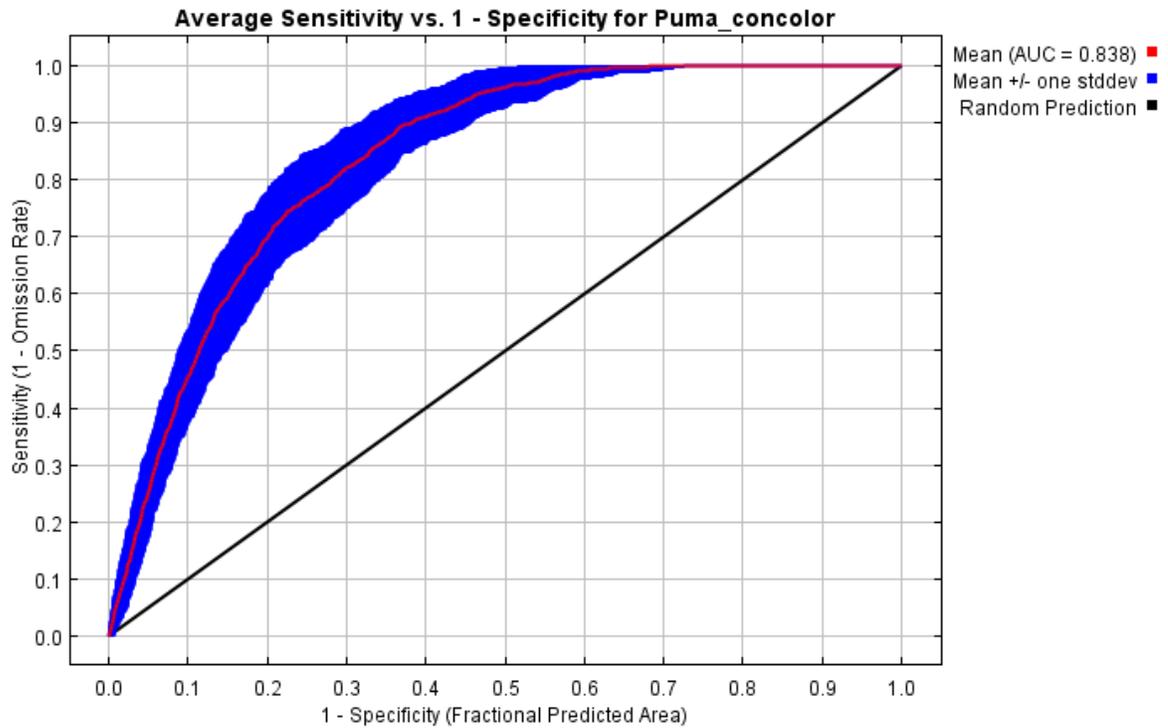
RESULTADO MODELACIÓN PRELIMINAR MAXENT																			
Variable	bio3	bio4	bio18	bio12	bio19	bio11	bio15	bio14	bio2	bio10	bio13	bio7	bio16	bio5	bio1	bio8	bio17	bio9	bio6
Percent conti	37	15,7	14,8	6,6	5	3,9	2,3	2	2	2	1,6	1,3	1,2	1,1	1	1	0,9	0,4	0,1
Permutation	8,9	30,2	1,3	3,2	8,4	11,7	3,7	1	0,7	2,2	1	0,8	1,3	0,2	20	1,7	2,4	1,2	0
suma	45,9	45,9	16,1	9,8	13,4	15,6	6	3	2,7	4,2	2,6	2,1	2,5	1,3	21	2,7	3,3	1,6	0,1

Las celdas en rojo indican las correlaciones mayores a 0,7. En la tabla de abajo, las celdas color verde son las de las variables seleccionadas para el modelo definitivo, mientras que el color gris representa aquellas descartadas por su alta correlación con una variable ya seleccionada.

Anexo N°4: Resultado modelación preliminar nicho ecológico. Fuente: Maxent (2020).



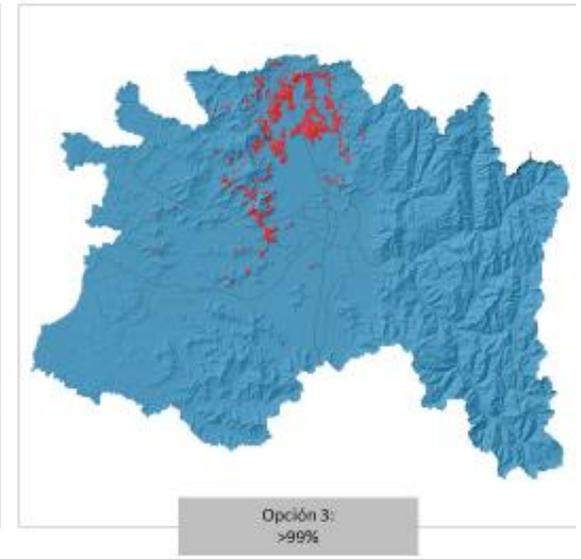
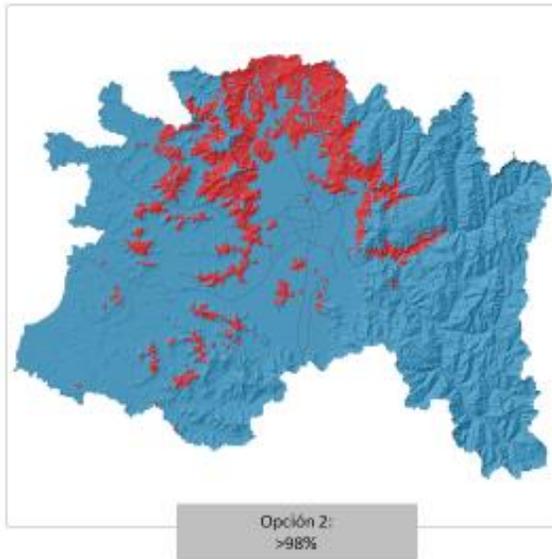
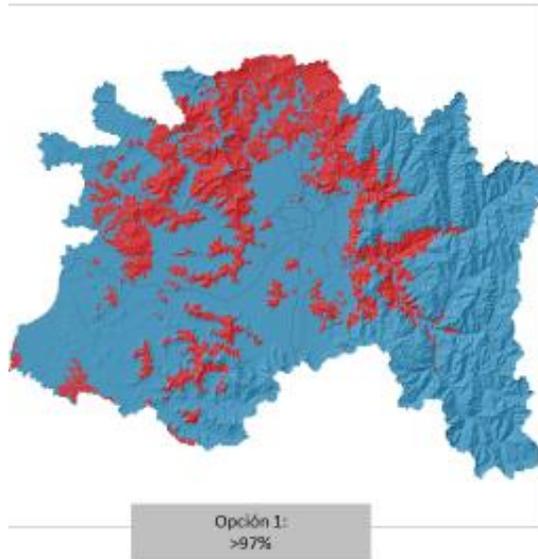
Anexo N°5: Promedio resultado de 50 réplicas em modelación definitiva para nicho ecológico. Fuente: Maxent (2020).



Anexo N°6: Plantilla utilizada en entrevista a expertos para definición de nodos.
Fuente: Elaboración propia (2020).

Nicho ecológico para construcción de nodos

Las probabilidades de nicho ecológico para el área de estudio son en general altas, por ello
¿cuál de estos puntajes de quiebre te parece más acertado para la definición de nodos?



Anexo N°7: Tabla de compatibilidad con nicho ecológico.

Fuente: Elaboración propia (2020).

Compatible	No Compatible			
Vega	Parque	Tranque de regadío	Parque industrial	Parcela de agrado
Bosque y renoval nativo	Frutales	Actividad minera en superficie	Pista de aterrizaje	Área de pastoreo intensivo
Afloramientos rocosos	Parronal	Aeropuerto y aeródromo	Planta de tratamiento de aguas	Asentamiento menor
Matorral	Embalse	Área mayoritariamente residencial gran altura	Relleno sanitario	Cultivos anuales
Matorral arborescente	Laguna	Área mayoritariamente residencial baja altura	Tranque de relave	Playa y arena
Matorral con suculentas	Glaciar	Centro comercial e hipermercado	Zona portuaria	Cuerpo de agua
Matorral de espino	Humedal	Extracción de áridos en cantera	Sitio en construcción	Tierra vacante
Matorral andino	Rio	Extracción de áridos en pozo	Terminal de combustible	Centro nuclear
Otras plantaciones no agrícolas	Viñedo	Espacios abiertos con escasa a nula vegetación	Zona de negocios y/o institucional	Autopista
Plantación de eucaliptus	Nieve	Mar	Vertedero	Área deportiva

Anexo N°8: Tabla con costos asociado a cada uso/cobertura por expertos entrevistados.
Fuente Elaboración propia (2020).

Uso/Cobertura de Suelo	Costo
Vega	1
Bosque y renoval nativo	1
Matorral	1
Matorral arborescente	1
Matorral con suculentas	1
Matorral de espino	1
Matorral andino	1
Afloramientos rocosos	1
Otras plantaciones	25
Plantación de eucaliptus	25
Asentamiento menor	50
Espacios abiertos con escasa a nula vegetación	50
Parcela de agrado	50
Tierra vacante	50
Área de pastoreo intensivo	250
Cultivos anuales	250
Frutales	250
Parque	250
Parronal	250
Viñedo	250
Humedal	500
Autopista	500
Cuerpo de agua	500
Embalse	500
Laguna	500
Río	500
Nieve	500
Área deportiva	650

Uso/Cobertura	Costo
Área mayoritariamente residencial baja altura	650
Cementerio	650
Actividad minera en superficie	850
Área mayoritariamente residencial gran altura	850
Extracción de áridos en cantera	850
Extracción de áridos en pozo	850
Planta de tratamiento de aguas	850
Relleno sanitario	850
Tranque de relave	850
Vertedero	850
Sitio en construcción	850
Tranque de regadío	850
Aeropuerto y aeródromo	1000
Centro comercial e hipermercado	1000
Mar	1000
Parque industrial	1000
Pista de aterrizaje	1000
Playa y arena	1000
Zona portuaria	1000
Glaciar	1000
Centro nuclear	1000
Terminal de combustible	1000
Zona de negocios y/o institucional	1000

Anexo N°9: Tabla detallada de corredores potenciales. Fuente: Elaboración propia (2020).

LINK_ID	DESDE	HACIA	COSTO/DISTANCIA	LONGITUD	PRIORIDAD	CALIDAD
1	1	2	5536.6	2.41	5	Muy bueno
2	1	3	15373.2	6.54	4	Bueno
3	1	19	11677.9	11.67	5	Regular
4	19	20	2972.9	2.97	5	Muy bueno
5	18	20	2462.7	2.46	5	Muy bueno
6	15	18	110618.4	28.02	4	Muy malo
7	15	16	12169.6	12.16	3	Regular
8	16	17	4201.0	4.20	3	Muy bueno
9	15	17	7416.0	7.40	3	Bueno
10	13	17	13122.1	13.12	3	Regular
11	13	15	8469.6	8.47	3	Bueno
12	12	15	17136.5	17.13	3	Malo
13	12	13	6593.7	6.59	4	Bueno
14	14	17	72318.4	37.25	2	Muy malo
15	13	14	47832.8	19.00	2	Malo
16	11	14	53542.6	24.71	2	Muy malo
17	11	13	9408.9	9.39	2	Bueno
18	8	14	8019.4	8.02	3	Bueno
19	8	11	58422.8	37.15	1	Muy malo
20	9	11	39187.0	30.36	1	Muy malo
21	9	10	70437.4	19.78	1	Malo
22	10	11	90786.0	38.64	1	Muy malo
23	8	9	5609.7	5.60	5	Bueno
24	6	10	23009.0	10.53	4	Regular
25	5	6	12160.6	5.91	5	Bueno
26	4	7	15984.3	3.51	6	Muy bueno
27	4	5	7607.0	7.59	5	Bueno
28	7	19	-	22.34	4	Muy malo
29	2	4	15359.7	6.53	5	Bueno
30	2	3	25549.5	7.90	4	Bueno

Anexo N°10: Comparación recorrido puma collar GPS y corredores modelados. Fuente: Elaboración propia (2020).

