



UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Escuela de Pregrado

Carrera de Geografía

**RELACIÓN ENTRE INFRAESTRUCTURA ECOLÓGICA ACTUAL E
INCENDIOS FORESTALES DURANTE EL PERÍODO 2002-2022 EN LA ZONA
CENTRAL, CHILE**

Memoria para optar al título de Geógrafa

DANIELA CAROLINA HUERTA PÉREZ

Profesor Guía: Dr. Alexis Vásquez Fuentes

SANTIAGO – CHILE

2023

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, expresar mi gratitud hacia los profesores del departamento de geografía por lo aprendido, por los desafíos y las retroalimentaciones, especialmente a Alexis Vásquez y Gino Sandoval, quienes me guiaron con toda la paciencia y empatía del universo.

A mis padres, por su eterno apoyo en cada aspecto de mi vida y siempre ser los primeros en creer en mí; gracias por todas las herramientas adquiridas, por incentivar me a aventurarme en desafíos nuevos, la comprensión, el amor brindado y, más importante aún, nunca soltarme todas las veces que quise desistir.

A mis hermanos y a Pedrito, por la fraternidad incondicional cada día y acogerme con tanto amor.

A mis abuelos, especialmente a Carlos. Me pediste hasta tu último día que me titulara, y espero que desde donde estés puedas presenciarlo, este logro es por y para ti.

A mis amistades, especialmente a Javi y Cami, por ser mis partner durante todos estos años. A Octavio, que siempre está presente con su amistad maravillosamente genuina. A Valeria, por acompañarnos mutuamente durante todo este proceso. A Felipe y Nicole, que fueron mis pilares en el equipo udap y demre, y que paralelamente han estado conmigo durante el final de mi etapa universitaria. A Diego, por los días de estudio y otros donde lo evadíamos. A Catalina, por las tardes de té, cariño, risas y conversaciones eternas para botar el estrés. A Anaís, por nuestras jornadas de contención y su incondicionalidad. Adicionalmente, tampoco quisiera dejar atrás a quienes me siguen acompañando desde la distancia: Alba, Esther, Alex y Jean-Löic, que pese a estar a 11 mil kilómetros están constantemente conmigo, como si siempre hubiésemos estado cerca.

A las personas que de alguna otra forma estuvieron presentes en mi vida universitaria en cada jornada de estudio, por los cafés y tecito en el casino de la tía regia, las salidas a terreno, los pirqueos de día viernes, las risas, llantos y el cariño infinito que recibí de tantas personas en la FAU.

A Giannina, por ayudarme tanto en mis tiempos difíciles y estar presente en cada caída y logro.

A Gabriel, mi compañero durante este último período que ha apaciguado cada momento de estrés con tanto cariño.

Y por último a Samín, mi pequeño compañerito que llegó desinteresadamente a llenarme de amor. Gracias por los ronroneos a toda hora incluso al lado del computador.

A todos ustedes, muchas gracias.

RESUMEN

La fragmentación del paisaje constituye uno de los principales problemas que conciernen a la ecología dado los impactos que este tiene sobre la biodiversidad, los ecosistemas y el paisaje en general. Ante ello, desde hace casi 30 años se data el primer proyecto a nivel nacional que abarca dentro de sus lineamientos la Planificación Ecológica, el cual sería el inicio del desarrollo de los instrumentos de planificación ecológica y de propuestas medioambientales en el marco de la preservación de la biodiversidad y ecosistemas.

Con el paso de los años, se han creado nuevos instrumentos que concentran sus preocupaciones en la Planificación Ecológica ya sea a escala local o regional. En este sentido, se impulsa la Infraestructura Ecológica para la Zona Central del país en el marco del proyecto GEF Montaña, en donde se definen espacios naturales que cuentan con una alta Relevancia Ecológica y son claves para el soporte estructural y la funcionalidad del paisaje, la biodiversidad y servicios ecosistémicos.

Sin embargo, ante la creciente ocurrencia de perturbaciones, entre ellas incendios de carácter forestal, esta red con sus respectivos ecosistemas se encuentra constantemente amenazada, situación que se potencia año tras año frente al cambio de los patrones climáticos dentro del corto y largo plazo.

En este contexto, el presente estudio aborda el análisis de la relación existente entre los Incendios Forestales y la Infraestructura Ecológica dentro del período 2002-2022, con la finalidad de caracterizar las zonas afectadas y tendencias espacio-temporales. Dicho análisis se obtiene a través del trabajo geoespacial, la utilización de métricas del paisaje y análisis estadísticos que permiten una mayor comprensión de los resultados obtenidos.

Los resultados manifiestan la existencia de un paisaje fragmentado que se acrecienta año tras año, especialmente en períodos estivales, debido a perturbaciones que afectan negativamente el funcionamiento de los ecosistemas, especialmente en áreas de alto Valor Ecológico como los núcleos.

Este proceso conlleva una reducción significativa en el tamaño de los parches, afectaciones y cortes en rutas de conectividad importantes, como también un evidente aumento en la heterogeneidad del paisaje.

En vista de lo anterior, la presente memoria y sus resultados aportan antecedentes para la planificación ecológica y así contribuir a futuras medidas ante el actual escenario ecológico.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	1
RESUMEN.....	2
CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN	9
1.1. INTRODUCCIÓN	9
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.3. OBJETIVOS	14
1.3.1. Objetivo general	14
1.3.2. Objetivos específicos.....	14
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ASUNTO	15
2.1. Ecología del paisaje.....	15
2.2. Métricas del paisaje.....	17
2.3. Infraestructura ecológica	18
2.4. Corredores ecológicos y conectividad.....	20
2.5. Incendios forestales y fragmentación del paisaje	22
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO	25
3.1. Datos Espaciales.....	25
3.2. Área de Estudio	25
3.3. Infraestructura Ecológica	27
3.4. Cálculo de métricas del paisaje	29
3.4.1. Métricas de Parche	29
3.4.2. Métricas de Clase	30
3.4.3. Métricas de Paisaje.....	32
3.5. Caracterización de zonas afectadas por Incendios Forestales	33
3.5.1. Etapas de Análisis	33
3.5.2. Análisis de la relación de la Infraestructura Ecológica con las cicatrices de fuego y eventos recientes	33
3.6. Análisis de los efectos de Incendios Forestales sobre las rutas de conectividad.....	35
3.6.1. Análisis de las afectaciones del fuego sobre las rutas de conectividad y cálculo de corredores afectados.....	35
3.7. Alcances y límites del estudio.....	36
CAPÍTULO 4: RESULTADOS	37
4.1. Relación de los Incendios Forestales y cicatrices en zona de Infraestructura Ecológica durante los años 2002 - 2017.....	37

4.1.1. Infraestructura Ecológica y métricas del Paisaje.....	37
4.1.1.1. Infraestructura Ecológica	37
4.1.1.2. Infraestructura Ecológica Central.....	40
4.1.2. Incendios Forestales y afectaciones en zona de Infraestructura Ecológica durante los años 2002 - 2017	41
4.2. Infraestructura Ecológica e Incendios Forestales período 2018-2022.....	45
4.2.1. Infraestructura Ecológica afectada por Incendios Forestales durante el período 2018-2022.....	45
4.2.2. Infraestructura Ecológica y métricas del paisaje post afectaciones por Incendios Forestales durante el período 2018-2022	49
4.2.2.1. Infraestructura Ecológica	49
4.2.2.2. Infraestructura Ecológica Central.....	52
4.2.3. Efecto de los Incendios Forestales sobre componentes.....	53
4.2.3.1. Efecto de los Incendios sobre Núcleos.....	53
4.2.3.2. Efecto de los Incendios sobre Nodos	56
4.2.3.3. Efecto de los Incendios sobre las Zonas de Amortiguación.....	58
4.2.3.4. Efecto de los Incendios sobre Parques Prioritarios y Áreas Protegidas	60
4.3. Efecto de los Incendios sobre las rutas de Conectividad.....	61
CAPÍTULO 5: DISCUSIONES Y CONCLUSIONES	64
BIBLIOGRAFÍA.....	69
ANEXOS.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Modelo Parche-Matriz-Corredor.....	24
Figura N°2: Área de Estudio	26
Figura N°3: Infraestructura Ecológica	29
Figura N°4: Esquema metodológico	36
Figura N°5: Distancia al Vecino más Cercano para Infraestructura Ecológica	39
Figura N°6: Índice de Diversidad de Shannon para Infraestructura Ecológica con y sin Zona de Amortiguación.....	41
Figura N°7: Densidad de Concentración de Incendios Forestales	43
Figura N°8: Incendios Forestales ocurridos durante el período 2002-2017 en área de Infraestructura Ecológica	44
Figura N°9: Incendios Forestales ocurridos durante el período 2018-2022 en área de Infraestructura Ecológica.	46
Figura N°10: Infraestructura Ecológica quemada y fragmentos afectados por Incendios ocurridos durante el período 2018-2022	47
Figura N°11: Distancia al Vecino más Cercano para Infraestructura Ecológica afectada por Incendios Forestales durante el período 2018-2022.....	50
Figura N°12: Índice de Diversidad de Shannon para Infraestructura Ecológica con y sin Zona de Amortiguación post afectaciones de Incendios Forestales durante el período 2018-2022.....	53
Figura N°13: Área y Núcleos afectados por Incendios Forestales ocurridos durante el período 2018-2022	54
Figura N°14: Fragmentación de Núcleos a partir de los Incendios Forestales ocurridos durante el período 2018-2022	55
Figura N°15: Área y Nodos afectados por Incendios Forestales ocurridos durante el período 2018-2022.	57
Figura N°16: Fragmentación de Nodos a partir de los Incendios Forestales ocurridos durante el período 2018-2022.	58
Figura N°17: Superficie quemada en Zonas de Amortiguación afectadas por Incendios Forestales ocurridos durante el período 2018-2022	59
Figura N°18: Zonas de Amortiguación afectadas por Incendios Forestales ocurridos durante el período 2018-2022	60

Figura N°19: Áreas Protegidas afectadas por Incendios Forestales ocurridos durante el período 2018-2022	61
Figura N°20: Corredores Principales afectados por Incendios Forestales ocurridos durante el período 2018-2022	62
Figura N°21: Corredores Secundarios afectados por Incendios Forestales ocurridos durante el período 2018-2022	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Insumos considerados para el estudio	25
Tabla N°2: Métricas de Clase calculadas para Infraestructura Ecológica.....	37
Tabla N°3: Métricas de Clase calculadas para la Infraestructura Ecológica Central	40
Tabla N°4: Número de cicatrices registradas por Incendios Forestales durante los años 2002-2017.....	42
Tabla N°5: Número de cicatrices registradas por Incendios Forestales durante los años 2018-2022.....	45
Tabla N°6: Superficie de IE afectada en hectáreas por Incendios Forestales durante el período 2018-2022	48
Tabla N°7: Métricas de Clase calculadas para la Infraestructura Ecológica post afectaciones de Incendios Forestales durante el período 2018-2022.....	49
Tabla N°8: Métricas de Clase calculadas para la Infraestructura Ecológica Central post afectaciones de Incendios Forestales durante el período 2018-2022	52
Tabla N°9: Núcleos afectados por Incendios Forestales durante el período 2018-2022.....	54
Tabla N°10: Nodos afectados por Incendios Forestales durante el período 2018-2022	56
Tabla N°11: Áreas Protegidas afectadas por Incendios Forestales durante el período 2018-2022	60
Tabla N°12: Corredores afectados por Incendios Forestales durante el período 2018-2022	62

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N°1: Comunas pertenecientes al proyecto de Infraestructura Ecológica.....	75
Anexo N°2: Distancia al Vecino más Cercano para Infraestructura Ecológica	75
Anexo N°3: Área de Infraestructura Ecológica afectada en hectáreas por Incendios Forestales por Región durante el período 2002-2017.....	76
Anexo N°4: Área de Infraestructura Ecológica afectada en hectáreas por Incendios Forestales por año durante el período 2002-2017	76
Anexo N°5: Distancia al Vecino más Cercano para Infraestructura Ecológica afectada por Incendios Forestales durante el período 2018-2022.....	77
Anexo N°6: Superficie de Zonas de Amortiguación afectada por Incendios Forestales durante el período 2018-2022	77
Anexo N°7: Corredores Principales Afectados por Incendios Forestales durante el período 2018-2022.....	77
Anexo N°8: Corredores Secundarios Afectados por Incendios Forestales durante el período 2018-2022	78

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

La pérdida de hábitat constituye uno de los factores más importantes al momento de hablar sobre daños a la biodiversidad, en donde el aumento exponencial de la intervención humana a raíz del desarrollo de sociedades modernas a través de diversos procesos como la deforestación, la industrialización, la instauración de nuevos cultivos agrícolas, cambios asociados al uso de suelo, la contaminación y una suma de una serie de eventos bajo el contexto del aumento del riesgo de desastres por la crisis climática han derivado en la devastación de hábitats y ecosistemas generando una pérdida de biodiversidad de forma rápida y continua (Morlans, 2013; Cepal, s.f.).

Chile es un país que cuenta con alrededor de 31.000 especies distribuidas a lo largo del país a través de diversos ecosistemas. Dado su aislamiento geográfico, su riqueza de especies es menor en contraste a otros sitios de Sudamérica, sin embargo, esta condición ha derivado en un patrimonio natural de carácter único debido al alto grado de endemismo existente tanto en las especies como en sus respectivos ecosistemas. En este sentido, aproximadamente $\frac{1}{4}$ de las especies chilenas son endémicas, lo que ha posicionado específicamente a la zona central como uno de los hotspots más importantes para la biodiversidad a nivel mundial, pero que a su vez, se encuentra amenazada (Universidad de Chile, 2016; Cofré et al., 2018; MMA, 2014; MMA & PNUD, 2017; en MMA & ONU Medio Ambiente, 2020).

Desafortunadamente, Chile es un país que se presenta vulnerable ante los efectos del cambio climático, cumpliendo con la mayoría de los criterios de vulnerabilidad definidos por las Naciones Unidas. Esto implica, entre sus consecuencias, la potencial reducción de los hábitats en donde se sitúan los ecosistemas y se distribuyen las especies. Una parte de los factores que generan esta vulnerabilidad son los Incendios Forestales, los cuales se han vuelto cada vez más recurrentes, presentando una fuerte concentración en la Zona Central, específicamente entre la región Metropolitana y la región del Maule (MMA & ONU Medio Ambiente, 2020), lo cual se suma, por otro lado, a las preocupaciones existentes hacia la biodiversidad y su preservación, las cuales están sustentadas por la contribución que tiene hacia la calidad de vida de la población en general y al ser humano individualmente al beneficiarse de los servicios ecosistémicos que esta es capaz de proveer, los cuales van desde la materia natural a servicios de carácter espiritual.

En vista de lo anterior, es que comienzan a elaborarse una serie de instrumentos con el objetivo de mitigar los efectos negativos de este tipo de eventos y resolver las presiones que estas generan sobre los ecosistemas, entre los que es posible encontrar la Infraestructura Ecológica.

En el marco de este contexto, se realiza una caracterización y análisis de la relación de la Infraestructura Ecológica elaborada para la zona Central y los registros de incendios y cicatrices entre los años 2002 y 2022, a nivel de componentes y rutas de conectividad. Esto fue posible gracias a la realización de análisis a una escala local, en donde se analizó cada componente en conjunto de cada fragmento que lo compone.

Los hallazgos de este estudio buscan aportar datos que puedan ser útiles para adoptar nuevas medidas para mitigar las consecuencias de los Incendios Forestales sobre los ecosistemas.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de las últimas décadas, ha habido un incremento significativo respecto a la ocurrencia de incendios forestales en las regiones del centro-sur del país. Anualmente se queman entre 20.000 y 85.000 hectáreas de vegetación, generando grandes impactos a nivel socioeconómico y ambiental, lo cual evidencia pérdidas tanto de biodiversidad como de servicios y bienes ecosistémicos según la magnitud y extensión que estos eventos pueden alcanzar (Fernández et al., 2010).

Un incendio forestal puede ser generado por múltiples causas; sin embargo, dentro del último tiempo, la influencia antropogénica (a través del desarrollo de sus actividades y los cambios de uso de suelo) ha sido un factor determinante para la ocurrencia de este tipo de siniestros, los cuales se ven exacerbados por los efectos del cambio climático; el cual ha ido modificando los factores atmosféricos que se asocian con los cambios en la frecuencia y la intensidad de un incendio forestal, y tienen incidencia en la variación en los valores extremos de temperatura y precipitaciones (Medina, 2021).

En territorio nacional, la superficie afectada en cada período de incendios forestales constituye un promedio de 52.000 hectáreas quemadas, fluctuando entre valores extremos que han alcanzado las 101.000 hectáreas en casos excepcionales (CONAF, s.f.). A modo de ejemplo, la superficie afectada y quemada en la Región Metropolitana de Santiago por este tipo de siniestros alcanzó la suma total de 137.328,56 hectáreas durante los últimos 20 años (CONAF, 2022), mientras que autores como Vergara et al. (2013) especifican que la cubierta forestal en la cuenca de Santiago disminuyó en un 61,7% entre los años 1989 y 2009.

Chile es un país cuya extensión le permite abarcar latitudes subtropicales, subantárticas y antárticas, generando un amplio espectro climatológico que, en conjunto de otros factores tales como las fuertes gradientes de altura y la topografía, dan paso a una gran diversidad de hábitats que favorecen el desarrollo de la biodiversidad (Manzur, 2005). Un aumento en la ocurrencia de los incendios forestales tiene un fuerte impacto sobre los procesos ecológicos, en donde, si bien estos dependen de la intensidad, la recurrencia, la extensión y la duración del evento; los impactos recaen directamente sobre las estructuras del paisaje, el suelo (mediante la degradación y erosión de este) y la afectación a la vegetación y a las distintas especies y sus corredores biológicos. En base a lo anterior, la pérdida de fauna por los incendios forestales va a depender de diversos agentes como la velocidad del viento, las cargas de combustible, el contenido de humedad de la vegetación, la época del año y el tamaño del fuego; lo que puede manifestar consecuencias como la muerte de individuos, la pérdida o fragmentación del hábitat y refugios y afectaciones a la conectividad ecológica de un territorio (González, 2017).

Ahora bien, profundizando en el último punto, es sabido que los hábitats pueden verse afectados, de tal modo que los incendios forestales inciden en la transformación del paisaje en forma de degradación, reducción y fragmentación del mismo, siendo este último concepto lo que Gurrutxaga (2004) define como “*el proceso por el cual extensas áreas de vegetación nativa ven reducida su superficie total al dividirse en diversas manchas menores, es un proceso histórico que se ha ido acrecentando desde la civilización de las sociedades humanas.*” (Pág 31), lo cual se ha visto intensificado por las épocas de sequía que sufren diversas regiones del país (y en particular la Región Metropolitana de Santiago) y que se han prolongado con el paso

del tiempo como efecto colateral del cambio climático; sumado a diversas prácticas de carácter forestal, agrícola, vial y actividades humanas que han favorecido las condiciones para el desencadenamiento de estos fuegos y su intensidad (Gurrutxaga, 2004).

Cuando se origina una perturbación en un bosque continuo, este se va transformando en unidades más pequeñas entre sí que se aíslan a su vez en la medida que el fuego avanza, lo que en términos de biodiversidad desencadena una serie de procesos que deterioran el hábitat progresivamente; generando cambios en las condiciones abióticas del fragmento y aislando a las poblaciones que habitan en lo que, dependiendo de la conectividad existente entre los fragmentos y la matriz (comprendida como el tejido o porción del paisaje que conecta todos los elementos del mismo conteniendo entre ellos los corredores y parches que lo rodea (Morlans, 2013)), constituía en un comienzo un bosque continuo. En consecuencia, el área resultante no afectada es mucho menor a la del hábitat original (Bizama et al., 2011), lo que da como resultado la pérdida o extinción local de poblaciones y/o una posible alteración de la estructura poblacional de las especies dado el aumento/disminución de nacimientos y muertes, en suma de repercusiones en los procesos migratorios (Larrotta, González, & Rodríguez, 2016), pudiendo contemplar dentro de sus efectos la falta de conectividad entre poblaciones, lo que puede desencadenar, como última instancia, la extinción de las especies (MMA, 2020).

En este sentido, se ha instaurado la necesidad de adoptar herramientas, estrategias e instrumentos que promuevan un desarrollo sustentable basado en la protección de la biodiversidad y servicios ecosistémicos. Ante ello, es que se comienza a pensar en la planificación ecológica como un sistema que tiene por objetivo definir los usos de suelo más apropiados para un territorio, con el fin de asegurar la protección del medio ambiente, prevenir y minimizar problemas de esta misma índole (Forman, 1995; Ndubisi, 2002; Korkut et al., 2020, en MMA & ONU Medio Ambiente 2020), comenzando a implantarse a escala local como una medida que aporta información relevante en términos de gestión de la biodiversidad en áreas rurales y urbanas, además de contribuir en la mitigación de problemas que afectan fuertemente a los ecosistemas presentes, tales como los incendios forestales, cambio climático y los cambios en el uso de suelo (MMA & ONU Medio Ambiente, 2020).

En consecuencia, se crea una infraestructura ecológica como un mecanismo de adaptación al cambio climático, entendida como una red interconectada de espacios naturales y seminaturales de alta relevancia ecológica; compuesta por múltiples elementos, unidades y zonas que actúan como un soporte funcional y estructural para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (MMA & ONU Medio Ambiente, 2020). Esta propuesta es clave para la protección y la conservación de áreas de alto valor de biodiversidad, así como también propicia de bienestar a los habitantes de un territorio, constituyendo una guía fundamental para la elaboración de políticas públicas atinentes a la conservación.

En adición, tal como se mencionó anteriormente, los incendios forestales suponen una amenaza para los procesos ecológicos (González, 2017), generando una degradación y fragmentación del paisaje lo cual conlleva a una pérdida del paisaje y sus componentes. En este sentido, la Región Metropolitana presenta un nivel de degradación cada vez mayor y, en consecuencia, un aumento en los niveles de fragmentación y pérdida de los ecosistemas y hábitats, constituyendo una barrera para el desplazamiento de especies (Bizama et al., 2011). En la misma línea, el progresivo aumento de la ocurrencia e intensidad de los siniestros han afectado la

infraestructura ecológica existente, generando una preocupación respecto a su composición y afectación a los servicios ecosistémicos presentes.

La presente memoria surge de la necesidad de estudiar la relación existente entre la infraestructura ecológica actual y los incendios forestales durante los últimos 20 años; analizando la incidencia de los eventos pasados en la infraestructura ecológica y cómo esta misma se ha visto afectada con los siniestros más recientes y sus efectos en términos de conectividad y conservación.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Analizar la relación entre infraestructura ecológica actual e incendios forestales durante el período 2002-2022 en la zona Central, Chile.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Caracterizar las zonas afectadas por incendios forestales durante los años 2002 y 2022.
- b) Analizar los efectos de las cicatrices e incendios recientes sobre las rutas de conectividad.

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ASUNTO

2.1. Ecología del paisaje

Desde hace décadas, el término paisaje es un concepto ambiguo que se ha utilizado en distintos campos entre las artes y las ciencias. Si bien, desde una noción visual es similar; es más bien desde la interpretación de este en donde se bifurcan las definiciones, cuya evolución ha derivado en diversos enfoques.

En un comienzo, la ciencia del paisaje nace en el siglo XIX a través de los trabajos de Alejandro Van Humboldt y Charles Darwin; dando cuenta de los elementos básicos del componente físico del paisaje. Posteriormente este término cobra sentido por primera vez en el año 1884 (Morlans, 2005).

A mediados del siglo XX bajo el contexto de una creciente preocupación por el medio ambiente y su protección, se hizo preciso contar con instrumentos competentes a la planificación territorial que permitieran incorporar variables ecológicas. (MMA & ONU Medio Ambiente, 2020). Es así, que en 1938 nace el concepto de *ecología del paisaje* de la mano del geógrafo Carl Troll, definiéndolo de la siguiente manera:

“Es el estudio del complejo de elementos interactuantes entre la asociación de seres vivos (biocenosis) y sus condiciones ambientales, los cuales actúan en una parte específica del paisaje. Esto se manifiesta espacialmente en una muestra específica y delimitada (Landschaftsmosaik, landscape pattern, mosaico del paisaje) o en una división natural de espacio en distintos órdenes de tamaño. Estos órdenes están normalmente determinados por la estructura geológica y por el estado de desarrollo geomorfológico.”

(Troll, 2003; pág 80)

Esto posteriormente el mismo autor los sustenta sobre la base de que tanto los conceptos de ecología y paisaje se relacionan en torno al hombre y la superficie que éste debe utilizar adecuadamente para la realización de distintas actividades económicas, por lo cual, un entorno natural siempre será condicionado y transformado por y para el hombre en pos del aprovechamiento económico y cultural (Morlans, 2005). Otros autores de la literatura señalan que esta definición se complementa con la de paisaje (Landschaft-Landscape) empleada por Humboldt a fines del siglo XIX (Naveh y Lieberman, 1994 en Vila et al., 2006).

Años más tarde, en la década de los ochenta específicamente, se considera un antes y un después para la Ecología del Paisaje. Esta nueva etapa se caracteriza por múltiples aportes nuevos a la disciplina; desde conceptos a avances en investigación en materia de conservación

de la biodiversidad, conectividad, fragmentación de hábitats y el desarrollo de métodos cuantitativos-estadísticos (Forman, 1995). Es así, que la Ecología del Paisaje como disciplina adopta el concepto de paisaje, siendo considerado como un objeto de estudio cuya definición ya había intentado realizarse por otros autores en años anteriores, sin embargo, este no se situaba en el marco de esta disciplina (Matteucci, 2010).

En referencia a lo anterior, el paisaje es conceptualizado por geógrafos soviéticos a comienzos del siglo XVIII, bajo la necesidad de encontrar una manera de plasmar en una palabra la interacción entre fenómenos naturales, físicos y bióticos (Sukachev & Dylis, 1964); en este sentido, autores como Dokuchaev y Polinov, percibían el paisaje como un sistema dinámico que estaba en constante cambio (Mateucci, 2010).

Años más tarde, en 1931 el geógrafo Berg entrega la primera definición concreta de paisaje; abordándolo como la agrupación de elementos bióticos, fenómenos y la actividad humana que combinan armoniosamente en un área determinada de la tierra, a lo cual se sumaría la definición de Solntsev en 1948, quien especifica que el paisaje corresponde a un territorio genéticamente homogéneo, donde existen recurrentemente combinaciones de interrelaciones entre diversas estructuras, lo que transforman a un territorio en un espacio dinámico que se ve afectado por una serie de procesos físicos y bióticos que actúan sincronizadamente modelándolo (Sukachev & Dylis, 1964).

Adicionalmente, Zonneveld en 1984 complejiza el concepto de paisaje, destacándolo como una sección de la superficie terrestre reconocible que funciona como un complejo de sistemas que resultan de la interacción entre seres vivos y no vivos. Igualmente, afirma que lo básico de la ecología del paisaje, y que no lo hace similar a otras disciplinas, es el hecho de que un espacio específico corresponde realmente a una entidad holística con componentes heterogéneos; en donde dentro de esta heterogeneidad está el paisaje mismo, determinado como un área de tierra que abarca dentro de él a un grupo de ecosistemas que interactúan constantemente entre sí. Dicho esto, el paisaje pasaría a constituir una unidad que jerárquicamente sería superior que los ecosistemas (Forman & Godron, 1986 en Morlans, 2005).

Otros autores como Etter en 1990 complementan las definiciones anteriores refiriéndose al paisaje como una porción del espacio geográfico de carácter homogéneo, cuyo patrón de estabilidad temporal es el resultado de la interacción entre flora; fauna; elementos como el agua, rocas y suelo; y las actividades de origen antrópico (Morlans, 2005).

En la actualidad, se considera que la ecología del paisaje enfatiza en analizar la interacción existente entre el patrón espacial (entendido como la configuración o estructura espacial de los elementos presentes) y los procesos ecológicos que toman lugar en el espacio a diferentes escalas y temporalidades (Forman, 1995 en Armenteras & Vargas, 2016). Como disciplina resulta muy interesante, ya que su estudio permite contribuir a la evaluación de los efectos del crecimiento de las ciudades y las pérdidas de servicios y bienes ambientales originadas por las urbanizaciones, las cuales terminan siendo perjudiciales para la sustentabilidad del desarrollo de estas (Romero & Vásquez, 2009).

2.2. Métricas del paisaje

Dentro de los aspectos que compete a la Ecología del Paisaje ha resultado de gran interés el estudio de los patrones del paisaje y sus ecosistemas, sin embargo, ciertos elementos que entregan información sobre su composición y estructura como los usos de suelo y sus tipos de cobertura están descritos usualmente de manera simple e incompleta, omitiendo información relevante acerca del arreglo espacial y la incidencia que estos elementos tienen sobre los procesos ecológicos y de paisaje (Franklin, 2001 en Echeverría et al., 2014). Ante ello, surgió la necesidad de tener métodos que permitieran cuantificar diversos aspectos que permitan analizar en detalle las configuraciones espaciales y su diversidad composicional de los elementos espaciales y, a la vez, explicar sus procesos ecológicos (O'Neill et al., 1988; Echeverría et al., 2014). Esto es lo que hoy se conoce por métricas del paisaje.

Las métricas de paisaje nacen como resultado de la aplicación de métodos cuantitativos dentro de la ecología del paisaje (Vila et al., 2006), y corresponden a indicadores que entregan información relevante respecto a las relaciones espaciales en términos de paisaje (O'Neill et al., 1988). Son consideradas una herramienta útil para poder incorporar el conocimiento ecológico a la planificación, en vista de que otorgan una nueva interpretación del paisaje mediante la descripción de la estructura espacial del mismo en un momento determinado, proveyendo información sobre el contenido del mosaico, proporciones y cambios ecológicos. Bajo este contexto, existen tres características fundamentales que responden la premisa de que los patrones del paisaje influyen fuertemente en los procesos ecológicos: Estructura, función y cambio (McGarigal & Marks, 1995; Echeverría et al., 2014).

A diferencia de la estadística espacial, las métricas son consideradas herramientas que permiten caracterizar geoméricamente las propiedades espaciales de un parche o un mosaico de ellos; aportando datos numéricos tanto de la composición como de la configuración del paisaje en términos de proporciones, coberturas, superficies y formas de los elementos (Vila et al., 2006), mientras que el primer concepto se enfoca en estimar la estructura espacial de valores correspondientes a una variable de muestreo (Fortín, 1999 en Botequilha & Ahern, 2002).

Las métricas o índices de paisaje pueden ser agrupadas, esto en base a la categorización propuesta por McGarigal y Marks (1995), distinguiendo cinco grandes grupos:

- a) Índices de área, superficie, densidad y variabilidad
Entregan información relevante respecto a las características de dimensión y número de fragmentos que componen el área de estudio, pudiendo obtener una estimación sobre las características morfológicas de un paisaje. Dentro de esta categoría se encuentran las métricas de área; densidad de parche; número de parches; área total del paisaje; entre otras.
- b) Índices de forma
Caracterizan la forma de los fragmentos que pertenecen a un determinado paisaje. Su cálculo se obtiene a partir de la relación entre el área y perímetro, permitiendo su comprensión en términos de funcionalidad y morfología. Entre las métricas destacan:

Dimensión fractal; el índice de forma; índice de figura media y el índice de forma del paisaje.

c) Índices de ecotono y hábitat interior

Este tipo de métricas permiten realizar diversos cálculos sobre el hábitat de borde/amplitud de ecotono (entendiéndose este último concepto como la transición entre dos o más comunidades (Martín & Pascual, 2000)) en relación con el hábitat interior. Dentro de este grupo se encuentran las siguientes métricas: Densidad de bordes, total de bordes, perímetro, contraste total de bordes, área de núcleos, entre otros.

d) Índices de distancia, vecindad y conectividad

Permiten calcular la distancia desde el hábitat de borde y ecotono desde un fragmento hasta el más próximo. Mediante este tipo de métricas es posible discernir el grado de aislamiento o de conectividad existente entre los distintos fragmentos y sus implicancias para la diversidad biológica (Forman, 1995; Hilti, Lidecker & Merenlender, 2006; en Vila, 2006). Entre los índices pertenecientes a esta categoría se encuentran: Distancia al fragmento más próximo; distancia máxima; índice de proximidad e índices de proximidad media.

e) Índices de diversidad de paisaje

Este tipo de métricas aportan información con la finalidad de comparar las distintas etapas de un paisaje para analizar la evolución del mismo. Dentro de este conjunto destacan: Índice de diversidad de Shannon y el índice de diversidad de Simpson.

La aplicación de combinaciones de estos índices resulta fundamental para lograr una correcta interpretación de los patrones del paisaje y sus respectivas características morfológicas, puesto a que incluso en casos donde los paisajes son distintos estructuralmente en cuanto a formas y superficies es posible obtener datos e información clave en cuanto a la situación de cada estructura paisajística, sus condiciones y los procesos ecológicos que presenta (Vila et al., 2006).

En este aspecto, es importante considerar que dada la función que cumplen resulta imprescindible seleccionar cuidadosamente los índices a utilizar según el paisaje a estudiar. En los últimos años esta herramienta ha sido ampliamente utilizada y muy útil en estudios relacionados a la deforestación, fragmentación de hábitat y cambios en el paisaje (Echeverría et al., 2014).

2.3. Infraestructura ecológica

Los ecosistemas se han definido históricamente como una infraestructura de carácter natural que cumple una serie de funciones para la sociedad representadas tanto en bienes como servicios ecológicos (Márquez & Valenzuela, 2008). Autores como Costanza et al. (1998) han sido enfáticos en aseverar que los ecosistemas junto a sus respectivas funciones son de gran necesidad para poder mantener un nivel mínimo de infraestructura que sustente la producción de cada servicio que provee cada estructura, pudiendo así, contar con diversos servicios como la

regulación climática e hídrica de los flujos de materia; soporte de asentamientos y diversas estructuras; producción de energía, entre muchos otros (de Groot, 1992).

El aumento en las pérdidas de biodiversidad, ecosistemas y de servicios ecosistémicos influenciado por factores mayoritariamente antrópicos ha puesto en la palestra la necesidad de tomar medidas para la conservación. En este sentido, se estima que en Chile el 19% del territorio se encuentra bajo algún tipo de protección legal, posicionándolo como uno de los países a nivel sudamericano con mayor nivel de cobertura protegida; sin embargo, este porcentaje en términos de protección y su contribución ecológica se ha tornado insuficiente (Pontificia Universidad Católica, 2018).

Respecto a lo anterior, durante las últimas décadas se han adoptado nuevos desafíos en la materia. En el año 2005, la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) se comprometió a otorgar protección legal al menos el 10% de los ecosistemas importantes nacionales. Asimismo, durante el año 2010 se desarrolló el Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020 en el marco del Convenio de la Diversidad Biológica lo que ha derivado en una serie de políticas públicas con estrategias de carácter regional y nacional de biodiversidad.

Una de estas políticas corresponde la elaboración de una Infraestructura Ecológica (IE), la cual es definida como una red interconectada de espacios naturales y seminaturales de alta relevancia ecológica que actúan como un sistema de soporte de la vida natural. Este tipo de infraestructura se construye en función al modelo parche-matriz-corredor propuesto por Forman en 1995, cuyo reconocimiento lo constituye como la base conceptual para el desarrollo de redes ecológicas (MMA & ONU Medio Ambiente 2020; Pontificia Universidad Católica, 2018).

La composición de esta red se divide en:

- a. Núcleos: Unidades con un alto valor ecológico para la biodiversidad y servicios ecosistémicos.
- b. Nodos: Parches de menor tamaño respecto a los núcleos.
- c. Corredores: Elementos lineales de un paisaje que cumplen la función de comunicar los núcleos y permitir el flujo de energía y materiales.
- d. Zonas Especiales: Espacios importantes para el correcto funcionamiento del sistema hídrico, como Glaciares y cuerpos de agua y Áreas de Influencia de Cursos de Agua.
- e. Zonas de Amortiguación: Espacios que protegen y resguardan las áreas adyacentes a los núcleos y corredores.

La composición mencionada, se complementa adicionalmente con la identificación de los Objetivos Ambientales Zonificados (OAZ), que son definidos como la asignación espacial de los objetivos ambientales de Preservación, Restauración y Uso Sustentable de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos; y es a través de estos que se formulan las indicaciones generales sobre las prioridades en un territorio considerando su relevancia ecológica y la intensidad potencial de los efectos negativos (IPEN) (MMA & ONU Medio Ambiente, 2020).

Al ser una red interconectada, el valor de esta infraestructura radica en su capacidad de facilitar la conectividad funcional y estructural en un territorio, la cual garantiza el flujo de especies,

genes, materia y energía entre los ecosistemas dentro y fuera de las áreas protegidas; contribuyendo a la mantención de la biodiversidad y la protección de sus funciones. (UDC, 2015 en Pontificia Universidad Católica, 2018). Adicionalmente, ha sido reconocido como un mecanismo de adaptación al cambio climático debido a su diseño y planificación estratégica, realizado con la finalidad de proveer un amplio rango de servicios ecosistémicos y bienestar a la sociedad (MMA, SEREMI Biobío, & Universidad de Concepción, 2016).

De este modo, en casos donde se presentan paisajes fragmentados (que por consecuencia, presentan una fragmentación de hábitat), resulta indispensable abogar por la recuperación de la conectividad estructural y funcional de la IE mediante la identificación de las áreas de restauración que favorezcan a la funcionalidad del paisaje. Finalmente, esto se incorpora a otras formas de gestión existentes (como las áreas protegidas oficialmente por el Estado) como una herramienta adicional para abordar desde la política pública la conservación de la biodiversidad y la restauración ecológica (Pontificia Universidad Católica, 2018).

En Chile, desde el año 2016 el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), ha buscado instaurar la Infraestructura Ecológica como política pública, desarrollando una propuesta piloto para la Región del Biobío, una región que presenta afectaciones a la biodiversidad debido a múltiples factores como las transformaciones de uso de suelo, la disminución y fragmentación de los bosques costeros, el bajo porcentaje de remanencia de los ecosistemas, las deficientes normativas en protección de recursos y especies, el gran número de especies amenazadas, la presión de la urbanización sobre los humedales aledaños y las respuestas inadecuadas frente a emergencias que comprometen a la flora y fauna regional (SEREMI Medio Ambiente & Gobierno Regional del Biobío, 2022). Ante ello, se presenta esta estrategia con el objetivo de construir una metodología a nivel nacional que incluyera áreas de alto valor ecológico, áreas de conectividad y áreas de restauración (MMA & ONU Medio Ambiente, 2020).

En consecuencia, se creó la Política Pública Regional para la Conservación de la Biodiversidad para la Región del Biobío bajo la premisa de poder conservar la diversidad biológica nativa de la región en sus diferentes niveles; esto implica la conservación a nivel de ecosistemas, especies y genes; la mantención y posterior mejoramiento de su composición, estructura y funcionalidad; educación ambiental y compromisos de participación activa de diversos actores tales como la sociedad civil y la institucionalidad pública y privada, de tal modo que sea posible garantizar el bienestar de los ecosistemas y de la sociedad tanto en la actualidad como en un futuro (SEREMI Medio Ambiente & Gobierno Regional del Biobío, 2022).

2.4. Corredores ecológicos y conectividad

Ante los crecientes cambios de uso de suelo provocados por diversos agentes (entre ellos, los incendios forestales), que obstaculizan la capacidad de dispersión de las especies a raíz de la fragmentación a la que se somete el espacio, se ha tornado relevante la necesidad de garantizar la conectividad entre “parches” de distintos hábitats para la protección de estos (García & Abad, 2014). La pérdida de hábitat constituye una de las principales causas de peligro para las especies. Bajo el contexto de cambio climático y el aumento de superficies quemada año a año,

es imprescindible pensar en estrategias que velen por la conservación y el mantenimiento de los hábitats (y su conexión) a través de la conservación y la restauración de los corredores ecológicos (Dickson, Roemer, McRae, & Rundall, 2013).

En este sentido, es según los autores Gurrutxaga & Valencia (2012), el concepto de conectividad en base a la definición elaborada por Taylor junto a otros autores (1993) es posible entenderlo de la siguiente manera:

“Capacidad con la que cuenta el paisaje para permitir los desplazamientos de determinadas especies o poblaciones entre las teselas con recursos. En este sentido, la conectividad ecológica se hace garante del mantenimiento de una serie de procesos vitales entre los que destacan los desplazamientos de los organismos para alimentarse, refugiarse, reproducirse o dispersarse. Sin ellos, la pervivencia de la mayor parte de los organismos silvestres se ve seriamente comprometida”

(Gurrutxaga & Valencia, 2012; pág 36).

Mientras que, por otra parte, los corredores ecológicos se definen como espacios que conectan áreas de importancia biológica, con la finalidad de mitigar los impactos negativos que han sido causados por la fragmentación de los hábitats (Conrad et al. en García & Abad, 2014). En otras palabras, funciona como una vía que facilita la dispersión de las especies a lugares o nodos que son adecuados para su desarrollo (García & Abad, 2014).

La instauración de ambos conceptos en conjunto en términos de conservación es bastante beneficiosa, ya que ha sido posible presenciar efectos positivos como el aumento de las tasas de inmigración de individuos que son sensibles a la fragmentación del hábitat al proveer de refugio y recursos a dichas especies, a partir de las facilidades para el desplazamiento que otorgan los corredores biológicos. Ello da pie al intercambio genético y energético inter-poblacional, disminuyendo las tendencias de endogamia y, por tanto, previniendo la extinción local, permitiendo, por tanto, disminuir los porcentajes de aislamiento de las poblaciones locales, así como también otorga una mayor riqueza y diversidad de especies al permitir la recolonización y restablecimiento de poblaciones en los hábitats (Noss 1993; McEuen 1993; Bennett 1999; Gurrutxaga San Vicente & Lozano Valencia en García & Abad, 2014).

Ante ello, es que es vital para la conservación de la biodiversidad el desarrollo de conectividades a través de corredores ecológicos, ya que provee al territorio de redes y capacidades para el desarrollo de flujos de individuos en un paisaje mediante la conexión de nodos, según las habilidades de cada especie para moverse y dispersarse a lo largo de un lugar, sin embargo, existe la posibilidad de producirse un descenso en los niveles de conectividad, ya sea por amplias distancias entre fragmentos, cambios en las características de la matriz u otros factores. Ello implica como consecuencia una disminución del intercambio de flujos; decreciendo junto a ello las tasas de colonización y aumentando el número de poblaciones locales aisladas y sus posibilidades de extinguirse (Gurrutxaga & Valencia, 2012).

De este modo, la conectividad ecológica mediante la existencia de corredores puede verse como un instrumento de fomentación para la preservación de la biodiversidad y lograr así que ésta sea sostenible en el tiempo y prevalezca su funcionalidad ecológica (Gurrutxaga & Valencia, 2012).

2.5. Incendios forestales y fragmentación del paisaje

Un incendio es una manifestación de una combustión, como una rápida reacción química oxidativa capaz de generar luz, calor y, a su vez, una serie de productos de carácter químico. No obstante, cuando ésta se expande incontrolablemente por áreas extensas de vegetación toma el carácter de incendio forestal (Scott et al., 2013).

La diferencia del fuego de un incendio forestal frente a otros tipos son su velocidad de propagación (Rate of Spread - ROS) y su intensidad, que se verán influenciadas por diversos factores, tales como la velocidad del viento, la pendiente, el tipo de combustible y la humedad del mismo (Pais et al., 2019). Estos se caracterizan por arrasar con grandes extensiones de vegetación a lo largo del mundo, causando, entre tantas cosas, la deforestación, fragmentación y desertificación del espacio (Aravena et al., 2005)

En suma a las transformaciones generadas por la urbanización, cambios en los usos de suelos, la agricultura y la silvicultura; los incendios forestales constituyen uno de los mayores causantes de perturbación sobre los hábitats naturales en Chile. En definitiva, los incendios forestales actúan modificando la composición y la estructura del paisaje y sus ecosistemas, afectando las dinámicas sucesionales y sus interacciones ecológicas, traduciéndose en una pérdida funcional que actúa como uno de los causantes principales de pérdida de hábitat para la vida silvestre por la cantidad de hectáreas de vegetación que puede quemar en un año (Novoa, 2019; Fernández et al., 2010). Durante los últimos años, este tipo de eventos han tenido un importante aumento influenciado por múltiples factores; tales como el aumento de carga de combustible, olas de calor prolongadas y la sequía; las cuales han generado una mayor intensidad de los fuegos, en donde muchos de ellos terminan con consecuencias catastróficas para la población, la vegetación y la fauna presente (Novoa, 2019).

Cuando se genera un incendio, este genera a su vez cicatrices de fuego, las cuales son definidas como huellas temporales atribuibles a la marca originada por un evento luego de arrasar con una superficie de terreno, como resultado del comportamiento espectral de las zonas quemadas después de que un fuego haya consumido el material combustible de forma parcial o total (Torreblanco & Fuentes, 2014; Rivera, 2005). Esto puede conllevar a una de las consecuencias más visibles durante el último tiempo, que es el proceso de deforestación que sufre un paisaje frente a una perturbación, lo cual se traduce en una disminución del área natural que se manifiesta en parcelaciones de las superficies residuales; correspondiente a lo que hoy en día se conoce como fragmentación del paisaje (Chapa, Sosa & De Alba, 2008). Este proceso se caracteriza por la disminución de la superficie total de un área, generando la ruptura del mismo en fragmentos (Burel & Baudry en Chapa, Sosa & De Alba, 2008).

Esta fragmentación del paisaje deriva, por consecuencia, en la fragmentación del hábitat, que es posible resumir como la división progresiva de esta en un conjunto de fragmentos que son de menor tamaño dentro de una matriz degradada, lo cual genera que con el paso del tiempo también vayan disminuyendo de tamaño (Saunders et al. en Santos & Tellería, 2006).

Autores como Valdés (2011), explican que este tipo de fenómenos engloba tres procesos que actúan de manera simultánea e interdependientes, los cuales podrían culminar en la extinción de poblaciones de hábitat originales. Estos procesos corresponden en primer lugar; a la reducción

continua de la superficie de los fragmentos, que tiene como efecto directo la reducción de los tamaños poblacionales de las especies. El segundo proceso plantea la separación progresiva de los fragmentos de hábitat, que genera un aislamiento creciente en las poblaciones que albergan en los parches, afectando su capacidad de dispersión. Por último, habla del aumento del efecto borde, es decir, en la medida en que van disminuyendo los parches, existe un aumento en la vulnerabilidad de las especies respecto a las condiciones ambientales adversas que se presentan frecuentemente en los bordes de los parches de hábitat (zona de transición - fronteras comunes entre elementos de diferente composición y la estructura de un paisaje), más no en su interior (Morlans, 2013).

No obstante, este proceso conlleva efectos colaterales que afectan al funcionamiento de los ecosistemas. En concreto, el proceso de fragmentación de un hábitat genera modificaciones en las condiciones ambientales tales como la alteración de las propiedades del suelo, el régimen hidrológico, el microclima y el ciclo de los elementos minerales que son imprescindibles para el desarrollo de la biodiversidad.

Como consecuencia de lo anterior, el patrón generado en torno a la disposición espacial de los fragmentos en el territorio condiciona la movilidad de las especies entre ellos mismos e influyendo sobre la dinámica de las poblaciones (Gurrutxaga & Valencia, 2012), conduciendo a una reducción de las poblaciones sensibles o menos tolerantes a los procesos de inmigración, lo que origina posteriormente una importante pérdida de biodiversidad y/o el desplazamiento de la misma (Forman & Godron, 1981).

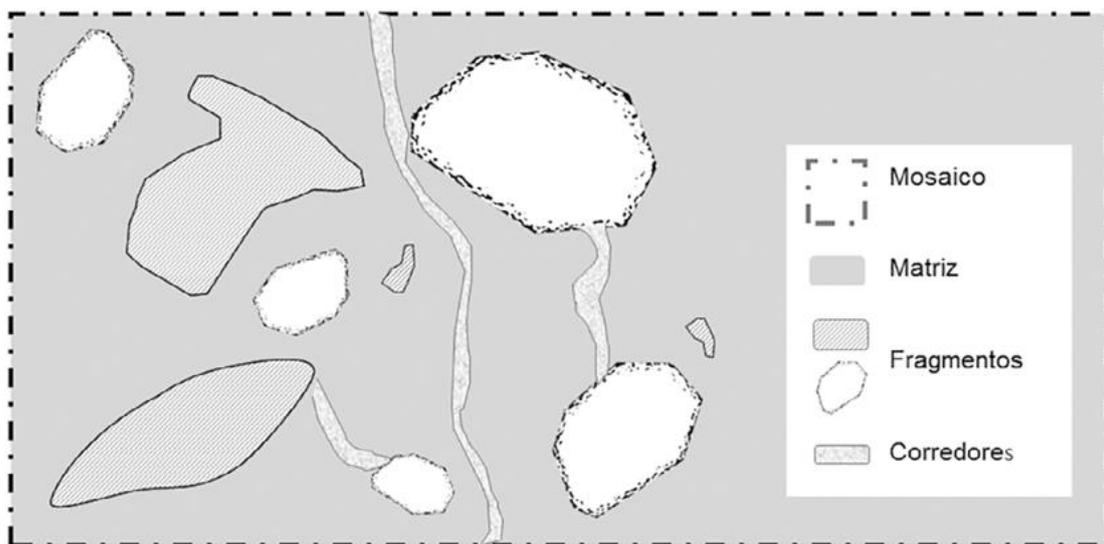
En términos prácticos, se han desarrollado modelos basados en patrones que permitan plasmar el concepto de paisaje al estudio de la fragmentación de hábitats. Dentro de los existentes, uno de los más utilizados en el área de la ecología es el Modelo Parche-Matriz-Corredor (ver figura N°1) desarrollado por Godron y Forman a mediados de la década de los ochenta, con la finalidad de reducir la complejidad que pudiese implicar el análisis de respuestas de cada especie situada dentro de un paisaje que ha sufrido algún proceso de fragmentación. Para ello, incorpora los corredores biológicos a los conceptos de “hábitat adecuado” y “matriz inhóspita” trabajados en el modelo de islas planteado por MacArthur y Wilson en 1967, por lo que se ha planteado el modelo Parche-Matriz-Corredor como una extensión del otro modelo al añadir un nuevo concepto en su trabajo. (Valdés, 2011).

Dicho esto, el modelo desarrollado por Godron y Forman consta de tres tipos de elementos discretos identificados como componentes de un paisaje, entre los que podemos identificar:

- a) Parches: Áreas de hábitat no lineales que se presentan de forma relativamente homogénea, pudiendo representarse en distintos tamaños y formas.
- b) Corredores: A diferencia de los parches, constituyen elementos lineales que difieren del terreno adyacente. Los parches se conectan mediante corredores, los cuales pueden variar en anchura y longitud.
- c) Matriz: Elemento dominante con mayor control sobre la dinámica que puede presentar un paisaje. En palabras simples, es la estructura que contiene los parches y corredores con distinta extensión. (Armenteras & Vargas, 2016; Valdés, 2011).

Este modelo, a diferencia de otros que se concentran netamente en las diferencias de riqueza de especies, se inclina por la representación de la configuración de un paisaje fragmentado, aunque teniendo en consideración la posibilidad de existencia de cierto grado de heterogeneidad en la matriz (pese a que no sea el factor más relevante para su resultado). Su representación gráfica se compone principalmente por puntos, los cuales pueden situarse dentro de un parche, un corredor o dentro de una matriz de hábitat degradado, lo cual ha resultado útil en investigaciones centradas en el estudio de corredores de poblaciones de especies situadas frente al escenario de un paisaje que sufre una fragmentación paulatina, y que se ha ido transformando en áreas aisladas y de menor tamaño, generando a su vez una disminución en la capacidad de dispersión en la medida que el grado de aislamiento va a aumentando; reduciendo indirectamente los tamaños de la población. Por ende, el modelo se ha considerado como apropiado para representar la alteración del paisaje y los procesos asociados a este (los cuales se pueden presentar de forma simultánea e interdependiente) por sus ventajas de representar un fenómeno desde una perspectiva más simple pero que a la vez no deja de ser realista, mediante la capacidad de integrar los diferentes procesos y relaciones dadas entre ellos (Valdés, 2011).

Figura N°1: Modelo Parche-Matriz-Corredor



Fuente: Armenteras & Vargas, 2016.

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Datos Espaciales

Para la elaboración de esta memoria, se realizó una recopilación de datos para su posterior procesamiento, los cuales fueron obtenidos y trabajados principalmente en formato Shapefile y Ráster. En la Tabla N°1 es posible visualizar los datos trabajados con su respectiva fuente.

Tabla N°1: Insumos considerados para el estudio

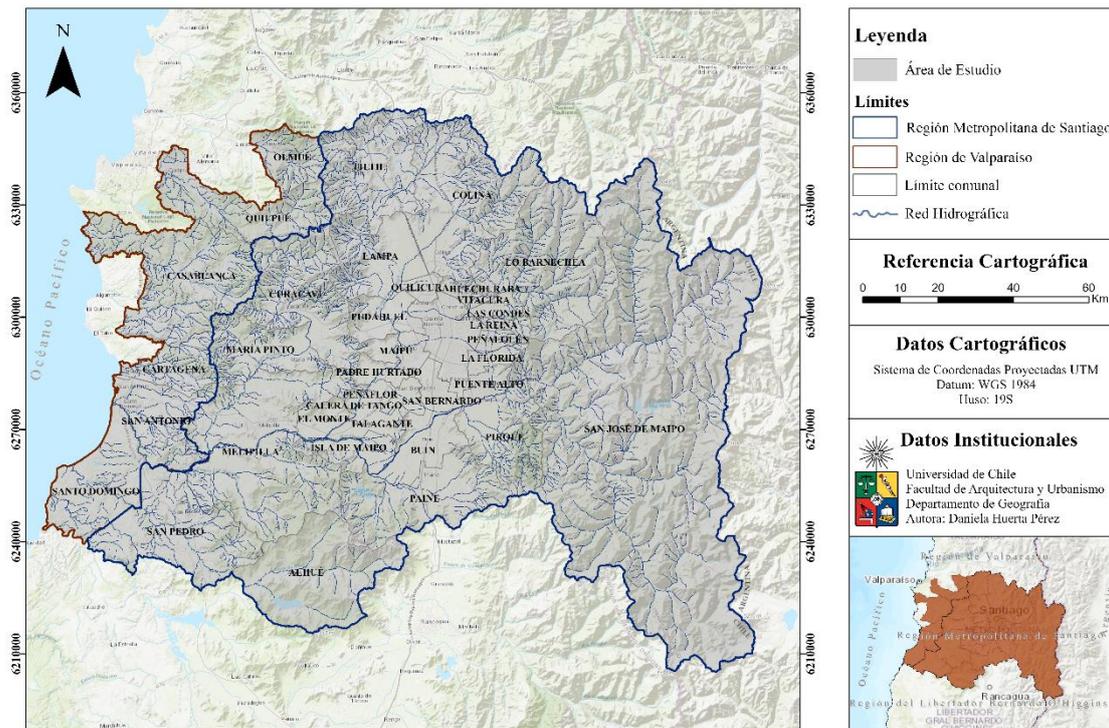
Insumo	Fuente de insumo
Infraestructura Ecológica- Planificación Ecológica (PE)	Planificación Ecológica Local - GEF Montaña. MMA & ONU Medio Ambiente (2020)
Cicatrices Históricas de Incendios Forestales para el período 2002-2017	Instituto para la Resiliencia ante Desastres (ITREND) & Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2) (2022)
Incendios Forestales de Magnitud para el período 2018-2022	IDE Minagri (2019)
Catastro de Uso de Suelo y Vegetación	IDE Chile (2019)
División Regional	Biblioteca del Congreso Nacional (s.f.)
Áreas Protegidas	Planificación Ecológica Local - GEF Montaña. MMA & ONU Medio Ambiente (2020)

Fuente: Elaboración propia, 2023.

3.2. Área de Estudio

La presente memoria se desarrolla en torno al proyecto de Infraestructura Ecológica para la Zona Central de Chile elaborada en el marco del Proyecto GEF Montaña, publicado el año 2020. Este proyecto abarca una superficie total de 1.829.330,38 hectáreas distribuidas entre 30 comunas pertenecientes a la Región Metropolitana de Santiago y 6 comunas de la Región de Valparaíso (ver Figura N°2 y Anexo N°1) (MMA & ONU Medio Ambiente, 2020).

Figura N°2: Área de Estudio



Fuente: Elaboración propia, 2023.

La zona que abarca estas 36 comunas está inserta dentro de lo que se denomina la Zona Central del país. Geográficamente, es distinguible por ser un valle extenso situado entre la cordillera de Los Andes y la cordillera de la Costa, lo que posibilita la existencia de múltiples ecosistemas en virtud de su variación altitudinal y condiciones naturales (GORE RMS & SEREMI MMA RMS, 2013).

El clima predominante es de tipo mediterráneo, en donde en invierno predomina la concentración de precipitaciones y en verano las altas temperaturas y la escasez de lluvias, dando paso a la existencia de períodos secos, los cuales ante el fenómeno del cambio climático, han gatillado consecuencias propias de una megasequía que han sido datadas desde hace más de una década (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, 2015 en MMA & ONU Medio Ambiente, 2020).

Si bien en la zona central las condiciones climáticas se presentan más moderadas respecto a otros lugares, esto es con ciertas particularidades (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (2015) en MMA & ONU Medio Ambiente, 2020). En concreto, debido a diversos componentes como la influencia oceánica, las variaciones de altura y dirección de los vientos; es que existe una transición climática entre ambas regiones, de tal modo que las precipitaciones sufren un decrecimiento desde la costa hasta el valle correspondiente a la RM, y aumentando nuevamente en la medida que se acerca a la zona cordillerana. Ante ello, es posible indicar que las comunas pertenecientes a la región de Valparaíso presentan una transición climática ya que existen sitios que presentan condiciones de semiaridez en la zona norte de la región, así como también hay un aumento de la humedad en el área litoral atribuible al clima mediterráneo costero y presencia de frío de altura hacia la cordillera; lo que se refleja en variaciones térmicas y pluviométricas

principalmente. Por otro lado, respecto a la región Metropolitana, la presencia de ambas cordilleras genera características de continentalidad del clima pudiendo distinguirse condiciones de frío en alturas con inviernos muy marcados y estaciones secas longevas, propios de climas de templados de tipo mediterráneo (BCN, s.f.).

En cuanto a la hidrografía de la zona, el abastecimiento de agua proviene principalmente desde las zonas de alta montaña de la cordillera de Los Andes gracias a los procesos de deshielo glaciar, lo que deriva en diversos cursos de agua que recorren la región Metropolitana, tales como el río Maipo y Mapocho, cuya confluencia desemboca en el humedal costero río Maipo, ubicado en el límite comunal de Santo Domingo y San Antonio (MMA & ONU Medio Ambiente, 2020).

Debido a las condiciones mencionadas con anterioridad, es que se han formado una serie de ecosistemas, en donde es posible encontrar más de 2.800 especies nativas de flora y 336 especies que equivalen al 48% del total de las presentes en el país (MMA & ONU Medio Ambiente, 2020). En el mismo sentido, estos ecosistemas abarcan más de la mitad de las especies endémicas y amenazadas a nivel nacional, convirtiendo a la zona Central en un “hotspot” para la biodiversidad, es decir, una zona con concentraciones excepcionales de especies endémicas que han experimentado grandes pérdidas de hábitat, razón por la que ha sido declarada como uno de los 35 sitios prioritarios para la conservación biológica a nivel mundial (Myers et al., 2000).

3.3. Infraestructura Ecológica

Tal como se definió en el apartado 2.3, la Infraestructura Ecológica corresponde a un instrumento de carácter indicativo que contempla una red de espacios naturales y seminaturales de alta relevancia ecológica y que están conectados entre sí, facilitando la conectividad funcional y estructural dentro de un territorio con el objetivo de mitigar y resolver las presiones existentes sobre los ecosistemas en el territorio nacional (UDC, 2015 en Pontificia Universidad Católica, 2018; MMA & ONU Medio Ambiente, 2020).

Para la realización de este instrumento, se tomaron en consideración las presiones que afectan a los ecosistemas de acuerdo al Sexto Informe Nacional de Biodiversidad en Chile (MMA, 2019 en MMA & ONU Medio Ambiente, 2020) correspondientes a:

- a) Cambios en el Uso de Suelo
- b) Introducción y dispersión de Especies Exóticas Invasoras
- c) Sobreexplotación de los recursos naturales para el desarrollo productivo
- d) Incendios Forestales
- e) Cambio climático

En torno a lo anterior, la planificación y construcción de este instrumento se dividió en cuatro etapas. En primer lugar, se definieron los principios y objetivos bajo los cuales se rigió su elaboración, los cuales contemplan la sistematización de los distintos instrumentos y políticas

públicas existentes en materia medioambiental a la identificación de diversos actores cuya participación fue fundamental para el levantamiento de información.

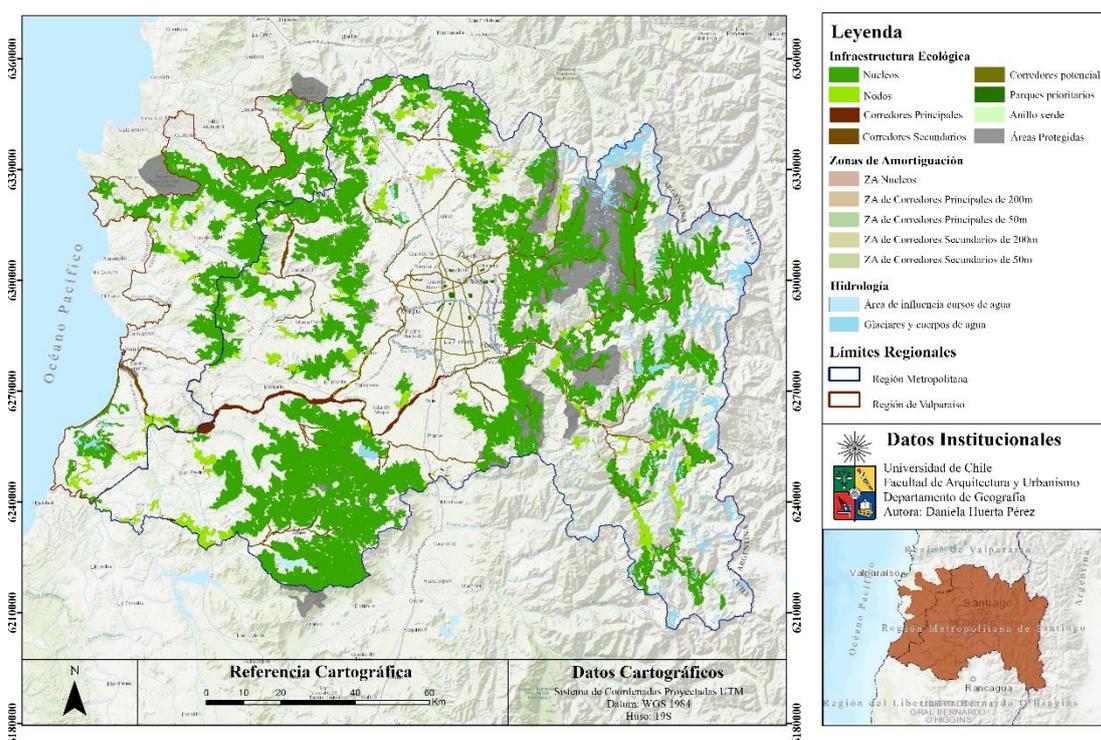
Consiguientemente, se realizó un Inventario Territorial, en donde se levantó, recopiló y sistematizó la información necesaria para elaborar la base de datos cartográfica. La información fue compilada selectivamente y estandarizada a una escala de 1:25.000 para la planificación a escala local y 1:100.000 regional.

La tercera etapa consiste en la Evaluación Ecológica, en donde se evaluó el área de planificación en torno a la Relevancia Ecológica (importancia de los ecosistemas evaluados en base a la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que proporcionan), la Intensidad Potencial de los Efectos negativos (IPEN) (entendida como el nivel de impactos negativos que pueden producir los usos, actividades e intervenciones de carácter antrópico sobre la biodiversidad y sus respectivos servicios ecosistémicos) y Riesgo Ecológico (posibilidad de que se generen alteraciones sobre la biodiversidad o servicios ecosistémicos). El resultado se estructuró en cinco niveles: Muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto.

Finalmente, la última etapa corresponde a las Propuestas, entre las que se entregó la Infraestructura Ecológica actual. Adicionalmente, se definieron los Objetivos Ambientales Zonificados (OAZ), las medidas ambientales a los usos del territorio y el análisis de la integración de la planificación ecológica en los instrumentos que regulan las actividades en el territorio.

Si bien la Infraestructura Ecológica fue publicada durante el año 2020, esta se realizó con datos que abarcaban información hasta los años 2017-2018 principalmente. La infraestructura Ecológica se presenta en la Figura N°3.

Figura N°3: Infraestructura Ecológica



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos otorgados por el Proyecto GEF Montaña, 2023.

3.4. Cálculo de métricas del paisaje

Con la finalidad de poder caracterizar y mejorar el análisis respecto a los cambios en tanto en la Infraestructura Ecológica y la estructura del paisaje, mediante el uso del software Fragstats 4.2 se calcularon métricas para cada uno de sus componentes para los períodos 2002-2017 y 2018-2022 para el desarrollo de la presente memoria.

Dicho esto, se calcularon métricas a nivel de parche, clase y paisaje. Las métricas utilizadas fueron las siguientes:

3.4.1. Métricas de Parche

- Euclidean Nearest Neighbor Distance - Distancia Euclidiana al Vecino más Cercano (ENN)

Esta métrica se enfoca en la distancia que existe desde un fragmento al más próximo de la misma clase. Se rige por la siguiente fórmula:

$$ENN = h_{ij}$$

En donde h_{ij} = distancia (en metros) desde el parche ij al parche de la misma clase o tipo más próximo, en base a la distancia existente de borde a borde entre parches/teselas, calculada entre los centros de cada celda (Cushman et al., 2002).

3.4.2. Métricas de Clase

a) Total Class Area - Área total (CA/TA)

Da cuenta de la composición del paisaje, específicamente se busca saber qué parte del paisaje está conformada por un determinado tipo de parche. En este sentido, CA equivale a la suma de las áreas (m^2) de todos los parches según el tipo de clase o paisaje asociado, dividido por 10.000 (para obtener la unidad en hectáreas) (Cushman et al., 2002; Botequilha et al., 2006).

Está representada por la siguiente fórmula:

$$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10,000} \right)$$

Para efectos de su interpretación, CA se va aproximando a 0 a medida que el parche se vuelve cada vez más raro dentro del paisaje. Asimismo, CA es igual a TA cuando el paisaje está compuesto por un único tipo de parche (Cushman et al., 2002)

b) Number of Patches - Número de Parches (NP)

Corresponde al número de fragmentos/parches totales existentes por cada clase (i) (Botequilha & Ahern, 2002).

Esta métrica se explica mediante la siguiente fórmula:

$$NP = n_i$$

Esta métrica constituye una medida básica para medir la fragmentación de los tipos de parches.

En términos interpretativos, cuando $NP = 1$ cuando cada tipo de parche contenido en el paisaje contiene a su vez 1 sólo fragmento con dichas características. En caso de que $NP \geq 1$ y el valor sea alto, se puede estimar que el parche está altamente fragmentado (Cushman et al., 2002; Botequilha & Ahern, 2002).

c) Patch Density - Densidad de Parches (PD)

PD equivale al número de fragmentos (parches) de cada clase dividido por el total del paisaje en metros, multiplicado por 10.000 y consiguientemente por 100 (para convertirlo en 100 hectáreas) (Cushman et al., 2002).

Esto se refleja mediante la siguiente fórmula:

$$PD = \frac{n_i}{A} (10,000)(100)$$

n_i = number of patches in the landscape of patch type (class) i.
 A = total landscape area (m^2).

Cabe señalar que esta métrica al expresar el número de manchas por unidad de superficie otorga información valiosa, sobre todo cuando se deben contrastar paisajes. Dada la situación de que la superficie total del paisaje se mantenga constante, tanto la densidad como el número de parches también lo serán (Cushman et al., 2002).

d) Shape Index (SHAPE)

En esta métrica, la fórmula indica que Shape es igual al perímetro de la tesela (en metros) dividido por la raíz cuadrada del área de la misma (en metros cuadrados). De tal modo que:

$$SHAPE = \frac{.25 P_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}$$

P_{ij} = perimeter (m) of patch ij.
 a_{ij} = area (m^2) of patch ij.

Para su interpretación, no hay límites en los valores cuando este es mayor o igual a uno, sin embargo, cuando $Shape = 1$ se entiende que el parche posee una forma cuadrada, pudiendo crecer sin límites tomando una forma cada vez más irregular.

e) Fractal Dimension Index (FRAC)

Mide la irregularidad del borde. Este índice indica que FRAC es igual a 2 veces el tamaño del logaritmo del perímetro del parche (en metros), dividido por el logaritmo del área de dicha tesela (en metros cuadrados).

Está representado por la fórmula:

$$\text{FRAC} = \frac{2 \ln (.25 P_{ij})}{\ln a_{ij}}$$

P_{ij} = perimeter (m) of patch ij.
 a_{ij} = area (m²) of patch ij.

Cuando $1 \leq \text{FRAC} \leq 2$, es posible inferir que, en primer punto, al ser este valor superior a 1 para un parche bidimensional, existe un aumento de la complejidad de la forma. En esta misma línea, cuando FRAC constituye un valor cercano a 1 las teselas presentan formas con perímetros muy simples (por ejemplo, formas cuadradas); en cambio, cuando los valores se aproximan a 2, se estima que los perímetros presentan formas altamente lobuladas y de mayor complejidad al ser más curvados (Cushman et al., 2002).

3.4.3. Métricas de Paisaje

a) Shannon's Diversity Index - Índice de Diversidad de Shannon (SHDI):

Este índice, al igual que el resto de las métricas de paisaje, es útil para la realización de análisis a nivel de mosaico completo, otorgando valores respecto a la diversidad ecosistémica, la heterogeneidad y/o dominancia del área de estudio (Silva, 2022).

En este contexto, Cushman et al. (2002) define este índice dentro de la siguiente fórmula:

$$\text{SHDI} = - \sum_{i=1}^m (P_i \cdot \ln P_i)$$

P_i = proportion of the landscape occupied by patch type (class) i.

En cuanto a su interpretación, cuando el valor de este índice es igual o superior a 0, sin límite alguno, habla del grado de diversidad que el paisaje posee. Por el contrario, cuando este es equivalente a 0, se habla de un paisaje sin diversidad ecosistémica al contener únicamente un parche. En resumen, SHDI aumenta en la medida en que paralelamente hay un incremento en el

número de teselas de distinto tipo/clase, y/o cuando existe una distribución proporcional del área equitativa entre los tipos de parches (Cushman et al., 2002).

3.5. Caracterización de zonas afectadas por Incendios Forestales

3.5.1. Etapas de Análisis

Este estudio se dividió en dos etapas de análisis, las cuales están marcadas por la construcción de la Infraestructura Ecológica y la datación de las bases de datos y capas utilizadas para ello. Cabe señalar que, si bien esta planificación fue publicada el año 2020, sus insumos contienen información hasta el año 2017-2018 mayoritariamente, por lo que dicho año fue considerado el límite para realizar el análisis pre y post Infraestructura Ecológica.

Adicionalmente, se definió un período de incendios de dos décadas distribuidas entre los años 2002 y 2022, por lo que en consecuencia, en la primera etapa de análisis se trabajó con registros históricos de incendios datados entre el año 2002 y 2017 con la finalidad de determinar cómo dichos eventos influyeron en la modelación de la red, mientras que durante la segunda etapa se trabajó con polígonos georreferenciados de incendios recientes ocurridos entre el año 2018 y 2022, con el objetivo de ver las afectaciones y las posibles tendencias.

Es importante señalar que para la primera etapa de análisis, los datos estaban expresados para cada año de forma individual; no así para la segunda etapa, en donde los eventos estaban agrupados por temporadas (2018-2019, 2019-2020, 2020-2021, 2021-2022), sin embargo, ello no entorpeció el proceso de análisis.

3.5.2. Análisis de la relación de la Infraestructura Ecológica con las cicatrices de fuego y eventos recientes

En esta etapa, las capas fueron procesadas con los programas ArcGis 10.8 y ArcGis Pro para la generación de los primeros resultados.

Primeramente, las capas de cicatrices históricas y eventos recientes fueron reparadas geoméricamente a causa de la proyección y agrupadas según período. En el caso del primer período correspondiente a los años 2002-2017 dichos eventos fueron transformados desde polígonos a un formato de puntos, para posteriormente generar una densidad de ocurrencia de incendios mediante la herramienta *Kernel Density*.

Adicionalmente, se desintegró la Infraestructura Ecológica mediante un *Explode* para obtener los datos de cantidades y superficie de cada elemento que componen dicha red, seguido de un *Delete Identical* para eliminar datos falsos y duplicados. El resultado obtenido de cada componente fue exportado uno por uno como una capa independiente en formato Shapefile.

Para el análisis, a partir de la capa de Infraestructura Ecológica se generó una capa adicional, la cual no contempla las Zonas de Amortiguación de Núcleos, Corredores Principales y Secundarios; creando la capa de “Infraestructura Ecológica sin Zonas de Amortiguación” que ha sido denominada también como Infraestructura Ecológica Central, esto con la finalidad de recabar información respecto al grado de afectación de sus fragmentos, bajo la premisa de discutir la relevancia de su rol dentro de la red y su protección dentro de las políticas públicas e instrumentos de planificación.

Para la primera etapa se cruzó los datos de cicatrices con la capa de Infraestructura Ecológica con y sin Zonas de Amortiguación. Ambas capas contienen la información original sin afectaciones, sin embargo, para efectos representativos (estadísticos y cartográficos) fue efectuado un cruce para poder visualizar las zonas afectadas y sus respectivas repercusiones en la generación del modelo.

Luego, este mismo proceso se reiteró para el segundo período, con la diferencia de que directamente se procedió al cruce de ambas redes con los eventos de incendios, para así determinar la cantidad de fragmentos afectados, la superficie quemada y sus efectos. Junto a ello, se ejecutó la herramienta *Erase* con el propósito de obtener la red resultante post incendios.

En resumen, el análisis principal se realizó en torno a cuatro capas: Infraestructura Ecológica; Infraestructura Ecológica sin Zonas de Amortiguación (o Central); Infraestructura Ecológica afectada durante los años 2018-2022; e Infraestructura Ecológica sin Zonas de Amortiguación afectada durante el mismo período.

Posteriormente, estas capas fueron transformadas a formato ráster para ser trabajadas en el programa Fragstats 4.2 y calcular métricas de paisaje. Paralelamente, se generó una tabla de texto con las siglas e información relevante para generar los modelos de métricas en el programa. Se calcularon índices de parche, clase y paisaje las cuales fueron exportadas posteriormente en Excel para ser trabajadas y generar estadísticas, especialmente para la métrica de Euclidean Nearest Neighbor Distance - Distancia Euclidiana al Vecino más Cercano (ENN), en donde se creó con dicha información un diagrama de caja y bigotes para una mejor representación de los resultados.

Enseguida, a partir del catastro de usos de suelo y vegetación, se asociaron las áreas afectadas con los usos de suelo. Esto se exportó en formato tabla.

Para finalizar, es importante señalar que respecto a las Áreas Protegidas, estas fueron consideradas sólo para términos representativos; es decir, fueron cruzadas con las cicatrices y eventos recientes, más no fueron trabajadas en Fragstats, debido a que ésta no forma parte de la Infraestructura Ecológica en sí al tratarse zonas que ya se encuentran protegidas legalmente previo a la construcción del modelo, no obstante, se estima relevante para efectos del estudio. En la misma línea, los Parques Prioritarios, Glaciares y Cuerpos de Agua, Área de Influencia de Cursos de Agua y Anillo Verde fueron trabajados al ser componentes de la Infraestructura Ecológica, sin embargo, para el análisis de la presente memoria su información fue utilizada referencialmente.

3.6. Análisis de los efectos de Incendios Forestales sobre las rutas de conectividad

3.6.1. Análisis de las afectaciones del fuego sobre las rutas de conectividad y cálculo de corredores afectados

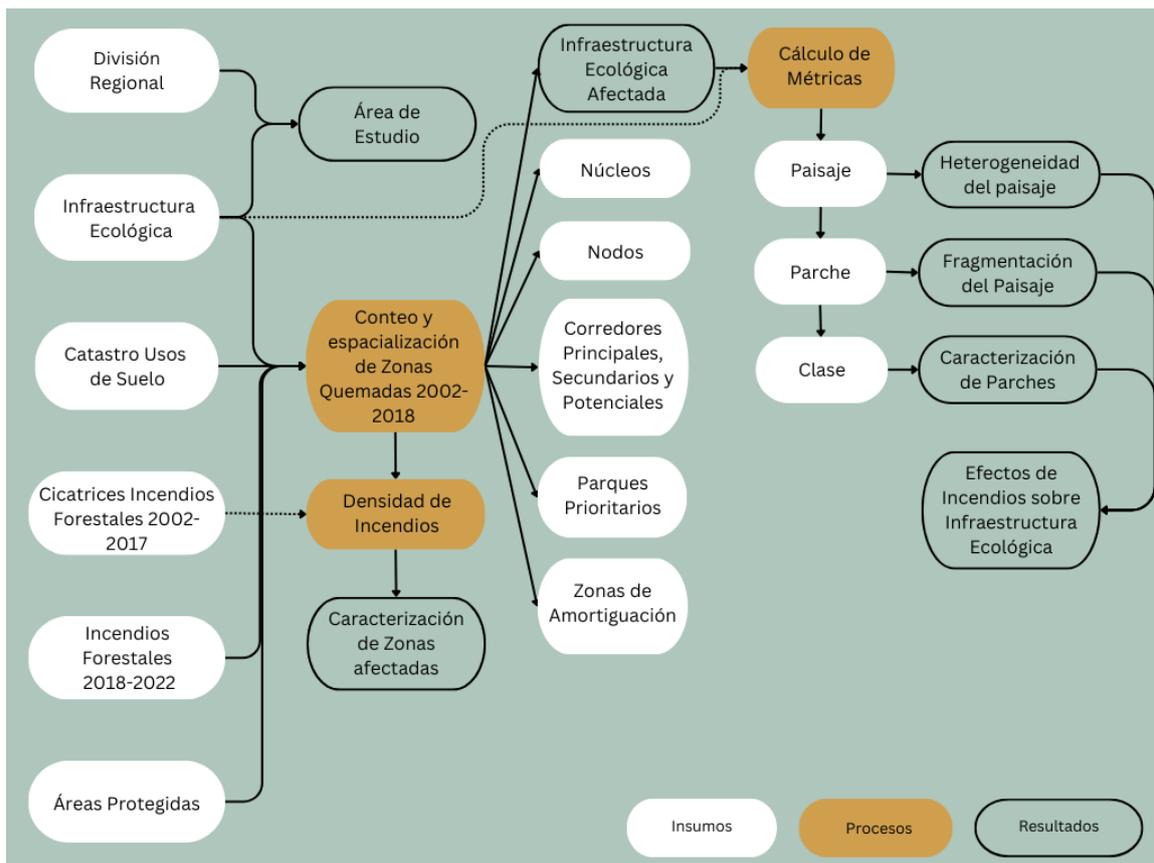
Respecto a la etapa competente al objetivo específico n°2, a partir de la capa de Infraestructura Ecológica se desprendieron los tres corredores que forman parte de esta red: Corredores Principales, Corredores Secundarios y Corredores Potenciales; a los cuales se replicó el mismo proceso mencionado en el punto 3.5.2; cruzando las capas con información de cicatrices e incendios a través de un *Pairwise Intersect*.

Una vez realizado esto, se aplicó un *Explode* para obtener información de cada fragmento que forma parte y, posteriormente, se procuró eliminar información extra que puede repetirse al aplicar dicha herramienta mediante un *Delete Identical*. El resultado de lo anterior son los corredores afectados con su respectiva superficie quemada, cuya información es útil para efectos representativos y estadísticos.

En cuanto al cálculo de sus métricas, al ser elementos propios de la Infraestructura Ecológica, dichos índices fueron generados dentro del punto 3.5.2, ya que se analiza la red en conjunto, proporcionando información muy completa de cada componente. El proceso de asociación de los usos de suelo con las áreas afectadas también fue replicado para los corredores.

Los procesos y resultados mencionados con anterioridad se resumen dentro del esquema metodológico presentado a continuación.

Figura N°4: Esquema metodológico



Fuente: Elaboración Propia, 2023.

3.7. Alcances y límites del estudio

Es importante mencionar que, al poseer cada capa diferentes escalas y proyecciones, pese a que fueron re-proyectadas en varios intentos, esto puede generar una discrepancia de datos y, por tanto, resultados inusuales. Esta disimilitud se refleja en las diferencias que se dieron en los valores otorgados por el software de Fragstats 4.2, en contraste de la información otorgada principalmente en aspectos como superficie o cantidad de elementos de la Infraestructura Ecológica, por lo que están asociados netamente a las diferencias de proyección de cada programa.

No obstante, ello no impidió realizar el trabajo mencionado, al contrastar los valores estos presentan una diferencia que no es muy significativa, exceptuando un par de casos.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1. Relación de los Incendios Forestales y cicatrices en zona de Infraestructura Ecológica durante los años 2002 – 2017

4.1.1. Infraestructura Ecológica y métricas del Paisaje

4.1.1.1. Infraestructura Ecológica

Respecto a la Infraestructura Ecológica, se calcularon tres tipos de métricas; de clase, parche y paisaje. Las métricas de clase utilizadas fueron Área Total, Número de Parches, Densidad de Parches, Índice de Forma e Índice de Dimensión Fractal. Del mismo modo, las clases corresponden a cada elemento que forma parte de la Infraestructura Ecológica, ingresada por siglas, tal como es posible apreciar en la Tabla N°2.

Tabla N°2: Métricas de Clase calculadas para Infraestructura Ecológica

TYPE	CA	NP	PD	SHAPE_MN	FRAC_MN
NU	378913,05	725,00	0,09	2,22	1,07
NO	26252,28	372,00	0,04	2,42	1,12
CP	12916,71	602,00	0,07	2,43	1,14
CS	4551,75	1382,00	0,16	1,98	1,13
CPOT	21,60	232,00	0,03	1,00	1,00
ZACP200	22952,70	806,00	0,09	2,26	1,12
ZACP50	7978,86	587,00	0,07	3,29	1,17
ZACS200	20945,34	827,00	0,10	2,19	1,12
ZACS50	7938,27	420,00	0,05	3,09	1,15
ZANU	314905,23	4907,00	0,58	2,12	1,09
PP	518,04	15,00	0,00	1,41	1,06
GCA	50205,33	1779,00	0,21	1,71	1,09
AICA	4545,72	22,00	0,00	2,04	1,08
AV	5,85	64,00	0,01	1,01	1,00

CA = Área Total

NP = Número de Parches

PD = Densidad de Parche

SHAPE_MN = Índice de Forma

FRAC_MN = Índice de Dimensión Fractal

NU = Núcleos

NO = Nodos

CP = Corredores Principales

CS = Corredores Secundarios

CPOT = Corredores Potenciales

ZACP200 = Zonas de Amortiguación de Corredores Principales de 200 metros

ZACP50 = Zonas de Amortiguación de Corredores Principales de 50 metros

ZACS200 = Zonas de Amortiguación de Corredores Secundarios de 200 metros

ZACS50 = Zonas de Amortiguación de Corredores Secundarios de 50 metros

ZANU = Zonas de Amortiguación de Núcleos

PP = Parques Prioritarios

GCA = Glaciares y Cuerpos de Agua

AICA = Área de Influencia de Cursos de Agua

AV = Anillo Verde

Fuente: Elaboración propia, 2023.

La tabla presentada indica, en primer punto, el área de la superficie que compone cada elemento reflejado en hectáreas. A simple vista, los núcleos comprenden un área superior a 370.000 hectáreas, lo que va de la mano de su respectiva Zona de Amortiguación que alcanza las 314.905 hectáreas. Asimismo, tanto los Corredores Principales como los Secundarios cuentan con sus Zonas de Amortiguación para 50 y 200 metros, no así los Corredores Potenciales. Por otra parte, también se presenta el área de superficie para los Parques Prioritarios, Glaciares y Cuerpos de Agua, Área de Influencia de Cursos de Agua y Anillo Verde; sin embargo, tal como se mencionó en el marco metodológico, para el análisis de este estudio se prioriza el enfoque sobre los Nodos, Núcleos, Corredores con sus Zonas de Amortiguación correspondientes, Corredores Potenciales y Parques Prioritarios.

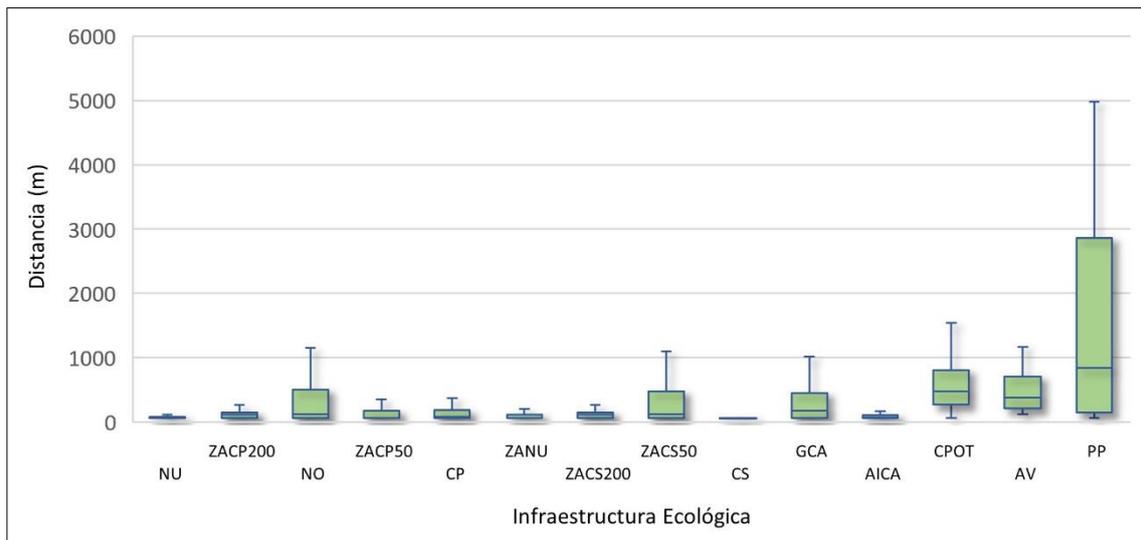
En segundo punto, se obtiene el Número de Parches para cada componente o clase, seguido de la Densidad de Parche, en donde se obtienen a modo general valores bajos que son propios de un paisaje homogéneo sin discontinuidades o interrupciones que perturben la conectividad del paisaje.

La siguiente métrica corresponde a Shape Index o Índice de Forma. Aquí, los Corredores Potenciales y Anillo Verde son las únicas unidades dentro del paisaje que cuentan con una forma extremadamente regular y compacta, no obstante, existen otras unidades cuyas formas también se acercan a ser compactas y sin bordes irregulares, tales como los Parques Prioritarios y los fragmentos de Glaciares y Cursos de Agua. Del mismo modo, los valores relacionados a las clases restantes implican que, a medida que este valor aumenta, la forma de borde de sus teselas son levemente más sinuosas e irregulares.

Finalmente, la última métrica de clase corresponde a Fractal Dimension Index, cuya interpretación da cuenta de la medida de complejidad espacial de un paisaje. En este sentido, en todos los elementos coincide que los valores se acercan a 1, lo que explicita teselas con formas muy simples y levemente lobuladas, por lo que a nivel de Infraestructura Ecológica denota que su complejidad estructural es muy limitada.

Ahora bien, en cuanto a las métricas de Parche, tal como se mencionó en el marco metodológico, la métrica trabajada fue la de Euclidean Nearest Neighbor Distance o Distancia Euclidiana al Vecino más Cercano (ENN). Este índice otorga información sobre a qué distancia se encuentra el parche más próximo del mismo tipo/clase. Dada la situación de que al trabajar individualmente con cada parche se obtuvo un gran conjunto de datos (ver Anexo N°2), mediante el diagrama de cajas y bigotes de la Figura N°5 es posible analizar la variabilidad de estos datos y la dispersión de los mismos.

Figura N°5: Distancia al Vecino más Cercano para Infraestructura Ecológica



Fuente: Elaboración Propia, 2023.

En primer lugar, la distancia mínima o más próxima identificada al parche del mismo tipo o clase fue de 60 metros para todas las estructuras, a excepción de los parches de Anillo Verde y Corredores Potenciales. Asimismo, la distancia máxima obtenida fue para las Áreas de Influencia de Cursos de Agua, con casi 15 kilómetros aproximadamente.

Específicamente para los Núcleos, la mitad de los parches que lo componen presentan una tendencia a distancias más cortas entre sí, al concentrarse la mayoría de los valores en un rango intercuartil (RIC) estrecho, lo cual se refleja en la corta amplitud de la caja. Adicionalmente, pese a que los valores máximos se sitúan a distancias extremas, Q3 o el 75% de los datos se sitúan a una distancia igual o menor a 85 metros aproximadamente, por lo que es posible indicar que los Núcleos en su mayoría se encuentran relativamente próximos, presentando una asimetría positiva. Esto mismo se refleja con los Corredores Secundarios; Corredores Principales; Áreas de Influencia de Cursos de Agua; y las Zonas de Amortiguación para Núcleos, Corredores Principales para ambos metros y Corredores Secundarios de 200 metros; cuyos rangos intercuartiles presentan valores de bajos a intermedios, sin embargo, en casos particulares como en los Corredores Secundarios, el valor de RIC es igual a 0, lo que hace referencia a estructuras que encuentran un Corredor del mismo tipo a una distancia corta igual o inferior a 67 metros, mientras que el 25% de los datos superiores restantes que tienen valores mayores a lo indicado por el tercer cuartil revelan distancias mayores entre un parche y otro, alcanzando un máximo de casi 14 kilómetros.

De igual forma, para el resto de las clases o estructuras mencionadas, en la mayoría de las clases la mediana tiende a acercarse al primer cuartil (Q1), señalando que al menos la mitad de las teselas están próximas entre sí; no obstante, al ser datos positivamente asimétricos, el 50% restante de los fragmentos tiende a distancias intermedias a largas al estar concentrados en la parte superior de la distribución.

En cuanto a los Nodos, Corredores Potenciales, Zonas de Amortiguación de Corredores Secundarios de 50 metros, Glaciares y Cuerpos de Agua, y Anillo Verde, sus parches se encuentran más dispersos, por lo que contemplan distancias intermedias-mayores entre sí. En

concreto, para todas estas clases a excepción del último mencionado la distancia mínima identificada entre teselas es de 60 metros, sin embargo, existe una mayor dispersión de datos hacia distancias más extensas, considerando la amplitud de la caja con su asimetría (positiva), las diferencias considerables existentes entre la mediana y los RIC de cada estructura.

Por último, los Parques Prioritarios son la única estructura o clase en donde existen largas distancias entre un parche y el siguiente más próximo.

Finalmente, en cuanto a métricas de paisaje, se utilizó el Índice de Diversidad de Shannon cuyo resultado es de 1,402. Dicho valor refleja el grado de diversidad de la Infraestructura en función del número de teselas existentes.

4.1.1.2. Infraestructura Ecológica Central

En cuanto a la Infraestructura Ecológica sin Zonas de Amortiguación, para el cálculo de las métricas de clase se obtuvo un incremento en la Densidad de Parches (ver Tabla N°3)

Tabla N°3: Métricas de Clase calculadas para la Infraestructura Ecológica Central

TYPE	CA	NP	PD	SHAPE_MN	FRAC_MN
NU	378913,05	725	0,15	2,22	1,07
NO	26252,28	372	0,08	2,42	1,12
CP	12916,71	602	0,13	2,43	1,14
CS	4551,75	1382	0,29	1,98	1,13
GCA	50205,33	1779	0,37	1,71	1,09
AICA	4545,72	22	0,00	2,04	1,08
CPOT	21,6	232	0,05	1,00	1,00
AV	5,85	64	0,01	1,01	1,00
PP	518,04	15	0,00	1,41	1,06

CA = Área Total

NP = Número de Parches

PD = Densidad de Parche

SHAPE_MN = Índice de Forma

FRAC_MN = Índice de Dimensión

Fractal

NU = Núcleos

NO = Nodos

CP = Corredores Principales

CS = Corredores Secundarios

CPOT = Corredores Potenciales

PP = Parques Prioritarios

GCA = Glaciares y Cuerpos de Agua

AICA = Área de Influencia de Cursos de Agua

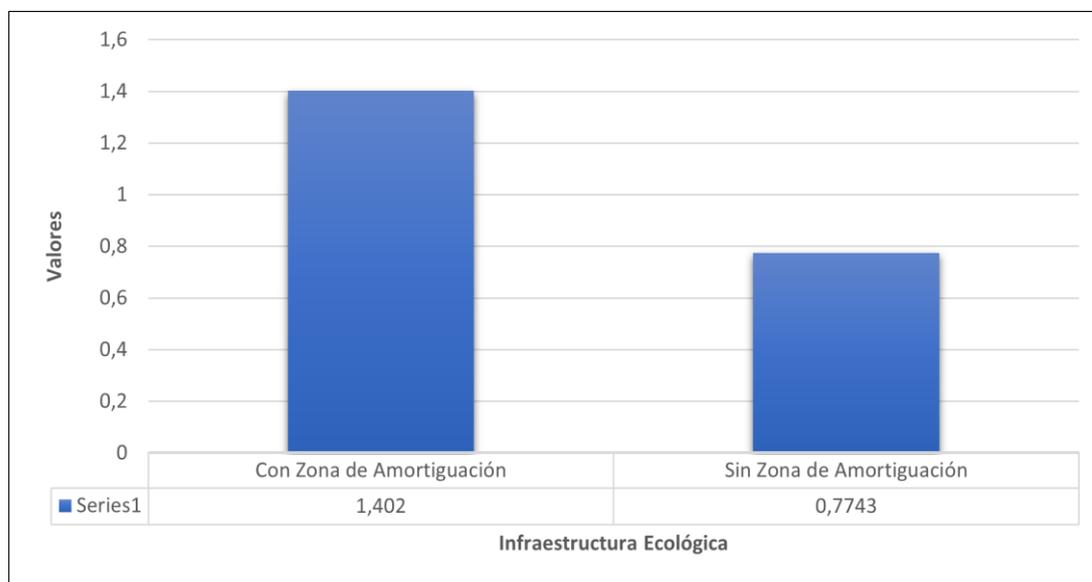
AV = Anillo Verde

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Si bien muchos valores respecto a la composición de la Infraestructura Ecológica se mantienen intactos en diversos aspectos tales como el Área Total, el Número de Parches o el Índice de forma; al eliminar entidades o “coberturas” implica que los fragmentos asociados también fueron excluidos; por lo tanto, existe un aumento de la densidad de los parches de cada elemento ya que se da un aumento en la heterogeneidad del paisaje.

Respecto al Índice de Diversidad de Shannon también existen diferencias en los valores (ver Figura N°6).

Figura N°6: Índice de Diversidad de Shannon para Infraestructura Ecológica con y sin Zona de Amortiguación



Fuente: Elaboración Propia, 2023.

Para la Infraestructura Ecológica sin Zona de Amortiguación, el valor de este índice fue de 0,7743. A partir de la información reflejada en la Figura N°6, la Infraestructura Ecológica sin las Zonas de Amortiguación presenta una caída en su valor en un casi 50%. Esto quiere decir, que en el primer caso (con Zonas de Amortiguación), al presentar una mayor cantidad de clases o elementos, existe un aumento en la diversidad del paisaje, al tener una mayor cantidad y variedad de teselas, lo que teóricamente sugiere un aumento en la funcionalidad del paisaje al tener una diversidad mayor, no obstante, en este caso al medir clases y no coberturas asociadas a riqueza ecológica; esta diversidad sería sólo un número que procede a medir la heterogeneidad de la IE. En el caso de la IE sin las Zonas de Amortiguación, esta da cuenta de un paisaje más simple en su estructura con menor diversidad.

4.1.2. Incendios Forestales y afectaciones en zona de Infraestructura Ecológica durante los años 2002 - 2017

En primera instancia se obtuvo que durante el año 2002 y 2017, ocurrieron 629 siniestros, que dejaron un total de 1210 cicatrices. La distribución de cicatrices por año y región se pueden apreciar en la siguiente tabla:

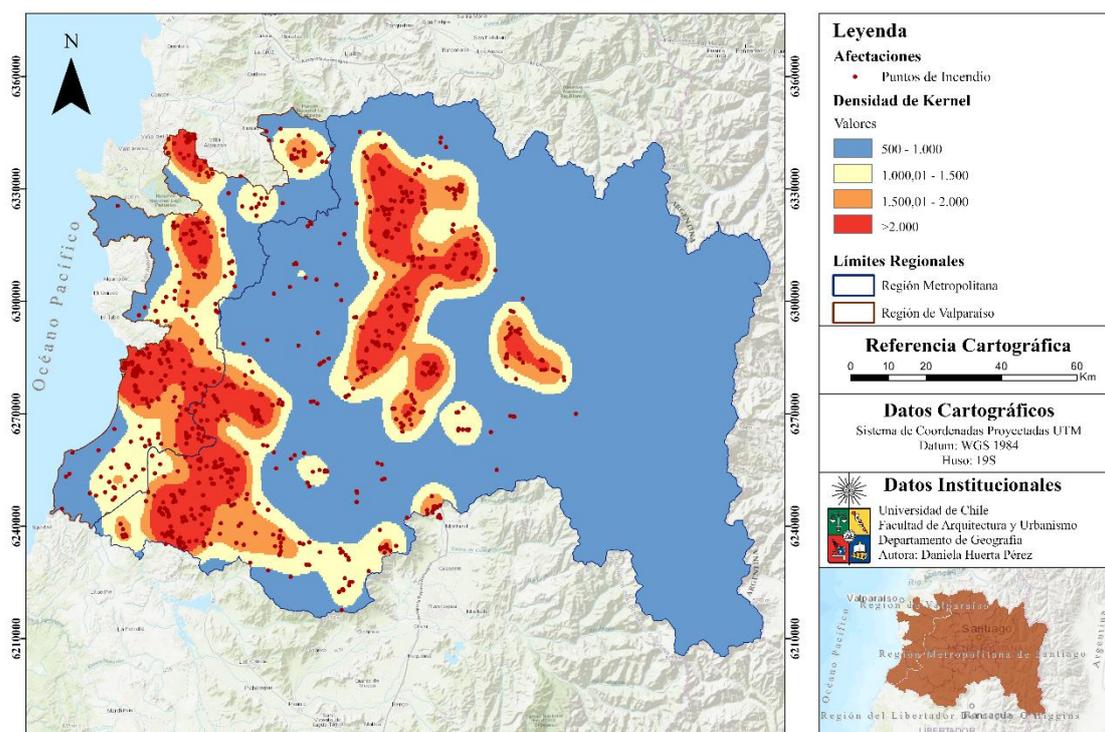
Tabla N°4: Número de cicatrices registradas por Incendios Forestales durante los años 2002-2017

Año	Metropolitana	Valparaíso	Total general
2002	40	57	97
2003	50	38	88
2004	48	70	118
2005	35	19	54
2006	39	33	72
2007	26	8	34
2008	17	18	35
2009	33	17	50
2010	32	37	69
2011	84	16	100
2012	22	9	31
2013	47	35	82
2014	100	32	132
2015	37	0	37
2016	0	21	21
2017	85	105	190
Total general	695	515	1210

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

Históricamente, existe una fuerte tendencia de concentración de cicatrices en el área de la Región Metropolitana, sin embargo, durante el año 2017 hubo un fuerte incremento en los eventos en el área de las 6 comunas de la Quinta Región que pertenecen al área de estudio. Estos focos de incendios se concentraron principalmente en la zona limítrofe sur entre ambas regiones, así como también en gran parte de las comunas del poniente de la Región Metropolitana y en las comunas de Casablanca y Cartagena, lo cual se reflejó en una mayor densidad de Incendios Forestales, alcanzando valores superiores a 2.000 (ver Figura N°7).

Figura N°7: Densidad de Concentración de Incendios Forestales



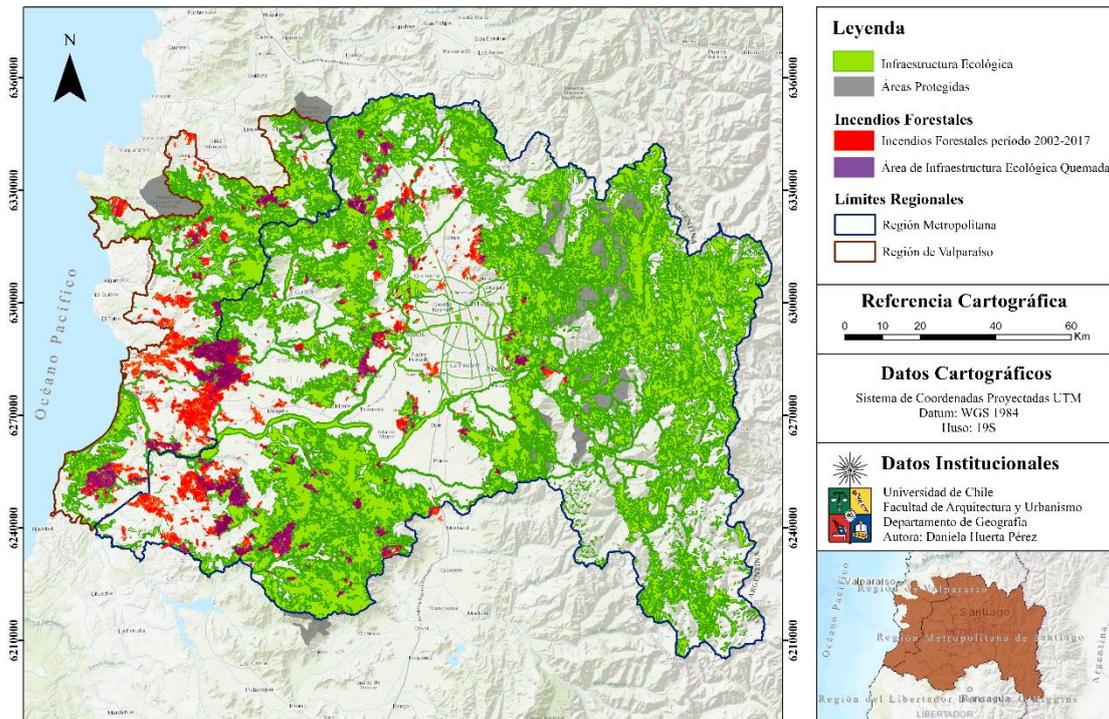
Fuente: Elaboración Propia, 2023.

Respecto a las afectaciones, al superponer estas cicatrices antiguas sobre el área correspondiente a la Infraestructura Ecológica, se obtiene que existe una pérdida de lo que es la superficie que en un futuro conformaría parte de la IE.

Adicionalmente, cabe señalar que en cuanto a las zonas afectadas en el área de IE con y sin Zonas de Amortiguación, estas áreas afectadas se mantienen.

En la siguiente cartografía, se visualizan los incendios con su respectiva área afectada y el área de la estructura que resultó quemada (ver Figura N°8 y Anexo N°3).

Figura N°8: Incendios Forestales ocurridos durante el período 2002-2017 en área de Infraestructura Ecológica



Fuente: Elaboración propia, 2023.

En cuanto a las zonas afectadas por los Incendios Forestales ocurridos durante los años 2002 – 2017, se identificaron afectaciones en área de Infraestructura Ecológica en todas las comunas pertenecientes a la red, a excepción de Vitacura y Huechuraba, en donde cerca del 90% de las calcinaciones se generaron en zonas de uso de bosque (principalmente nativo) y de pradera y matorral. Muchas de estas áreas fueron calcinadas por incendios ocurridos los años 2010 y 2017.

Por otro lado, al situar estas afectaciones en la Infraestructura Ecológica (Ver Anexo N°4), se obtiene que los Núcleos cuentan con una mayor cantidad de superficie calcinada, con un total de 30.516 hectáreas que equivale al 8,1% del total de estos. Paralelamente, su Zona de Amortiguación también se vio afectada, comprometiendo el 5,8% del área.

Respecto al área que hoy corresponde a los Nodos, se quemó un 17% de su superficie (casi 4600 hectáreas), de la cual casi 2.000 hectáreas se atribuyen a los eventos acontecidos durante el año 2010.

Para los Corredores, las áreas de las rutas Principales, Secundarias y Potenciales también sufrieron perturbaciones. En concreto, el territorio en donde se emplaza el primer tipo de Corredor mencionado sufrió la quema de 465 hectáreas aproximadamente, equivalente al 4% del total de su superficie, mientras que los restantes no tuvieron afectaciones significativas, ya que su superficie calcinada en ninguno de los dos casos superó el 1% del total.

En adición, para el área que hoy pertenece a las Zonas de Amortiguación, se desglosa que el área correspondiente a ZA de Corredores Potenciales de 200 y 50 metros sumado a la de Núcleos fueron las que presentaron una mayor cantidad de hectáreas calcinadas, mientras que el resto se quemó en bajas cantidades.

Finalmente, en cuanto a las Áreas Protegidas y Parques Prioritarios, estas sufrieron afectaciones que no fueron significativas o derechamente el área sobre la cual estos se emplazan no fue quemada.

4.2. Infraestructura Ecológica e Incendios Forestales período 2018-2022

4.2.1. Infraestructura Ecológica afectada por Incendios Forestales durante el período 2018-2022

Durante los años 2018 y 2022, ocurrieron una serie de siniestros que afectaron a la Infraestructura Ecológica ya existente. En concreto, se registraron 76 eventos aproximadamente en la zona que comprende el área de estudio, generando un total de 105 cicatrices, los cuales se distribuyeron de la siguiente forma (ver Tabla N°5).

Tabla N°5: Número de cicatrices registradas por Incendios Forestales durante los años 2018-2022

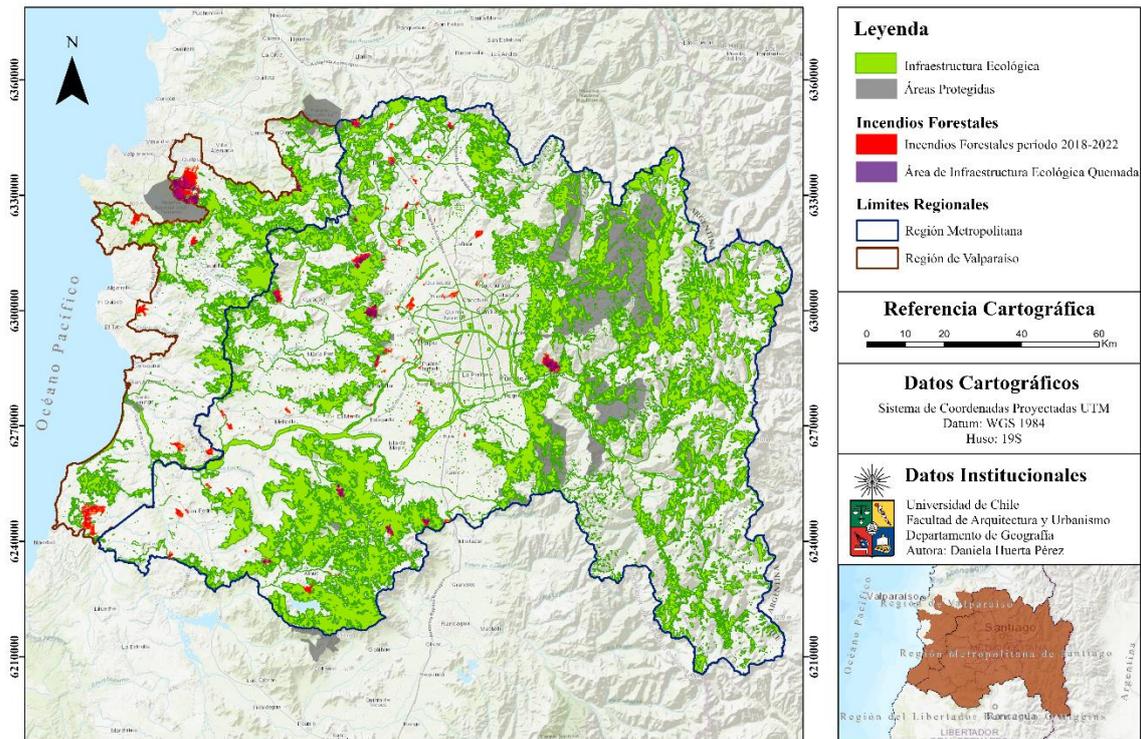
Season	Metropolitana	Valparaíso	Total general
2018-2019	87	3	90
2019-2020	4	4	8
2020-2021	1	3	4
2021-2022	2	1	3
Total general	94	11	105

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

Durante el período en que se generó una mayor cantidad de siniestros fue el que abarca los años 2018-2019, con un total de 90 eventos. Posterior a ello, se presenta un fuerte descenso en un más del 90% en la cantidad de Incendios Forestales registrados en cada año.

En la Figura N°9 se espacializa la localización de los incendios que tuvieron ocurrencia durante el período mencionado y las zonas de la Infraestructura Ecológica que fueron afectadas.

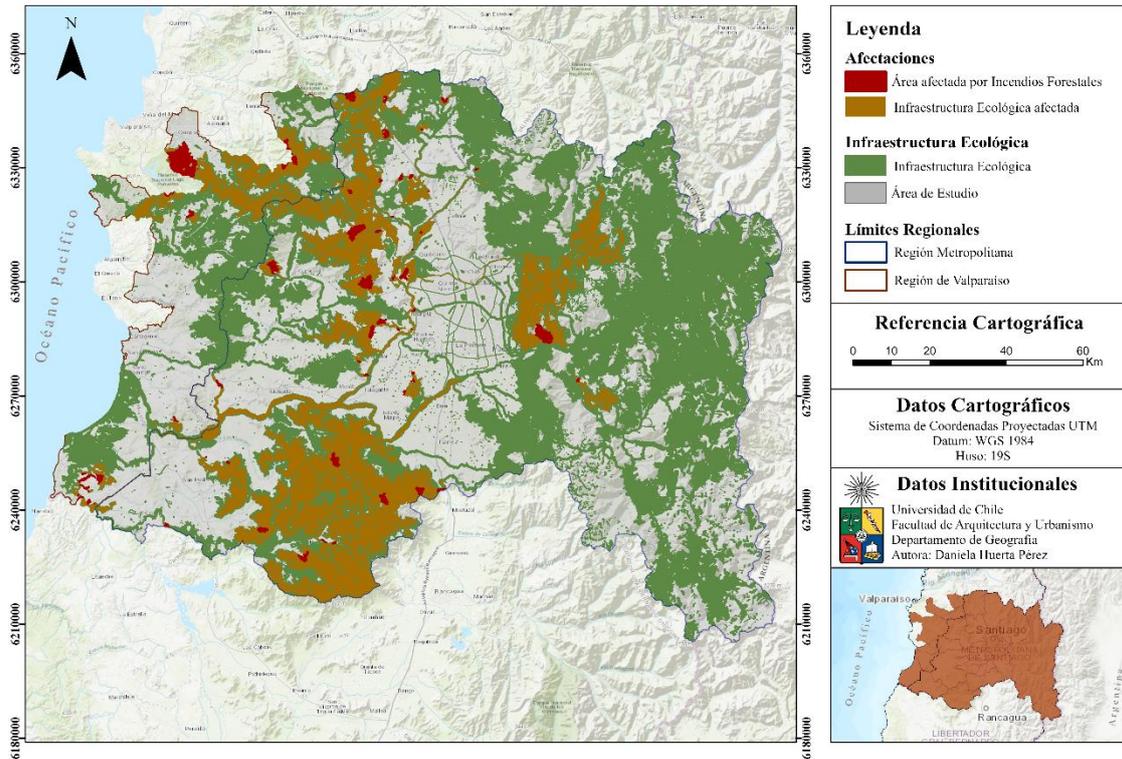
Figura N°9: Incendios Forestales ocurridos durante el período 2018-2022 en área de Infraestructura Ecológica.



Fuente: Elaboración Propia, 2023.

De igual manera, se presenta la Infraestructura Ecológica a partir de los Incendios Forestales ocurridos durante los años mencionados. A diferencia de la Figura N°9, la Figura N°10 refleja el área quemada por los siniestros asociados a los fragmentos de la infraestructura que fueron realmente afectados.

Figura N°10: Infraestructura Ecológica quemada y fragmentos afectados por Incendios ocurridos durante el período 2018-2022



Fuente: Elaboración propia, 2023.

En añadidura de la información anterior, la superficie afectada generó afectaciones tanto en Núcleos como en sus respectivas Zonas de Amortiguación. Complementariamente, a nivel general la región con mayor cantidad de cicatrices y, por tanto, zona quemada fue la Región Metropolitana, superando a la Región de Valparaíso en casi 2000 hectáreas afectadas.

En el caso de la Región Metropolitana, todos los componentes de la IE, a excepción de los Corredores Potenciales y Parques Prioritarios, presentaron áreas de superficie quemada; mientras que en las seis comunas de la Región de Valparaíso el área calcinada fue evidentemente menor en varias clases, a excepción de los Corredores Secundarios, Zonas de Amortiguación de Corredores Principales de 50 metros, Parques Prioritarios y Corredores Potenciales que no se vieron perjudicados por ningún evento en particular (ver Tabla n°6).

Tabla N°6: Superficie de IE afectada en hectáreas por Incendios Forestales durante el período 2018-2022

IE	Metropolitana	Valparaíso	Total general
Corredores Principales	41,15	9,50	50,65
Corredores Secundarios	5,07	0,00	5,07
Glaciares y cuerpos de agua	0,19	1,76	1,94
Nodos	130,73	114,55	245,27
Nucleos	2537,10	2012,19	4549,29
ZA de Corredores Principales de 200m	213,55	30,94	244,49
ZA de Corredores Principales de 50m	70,81	0,00	70,81
ZA de Corredores Secundarios de 200m	70,13	19,04	89,17
ZA de Corredores Secundarios de 50m	13,93	1,59	15,52
ZA Nucleos	2144,16	1403,09	3547,25
Total general	5226,81	3592,64	8819,45

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

En cuanto a la localización de los fragmentos afectados, estos se emplazan mayoritariamente sobre quebradas y lugares cercanos a la red hidrográfica en 19 de las 36 comunas de la Infraestructura Ecológica, correspondiente a las comunas de Melipilla, Quilpué, Paine, San José de Maipo, Alhué, San Antonio, Santo Domingo, San Pedro, Talagante, Peñaflo, Calera de Tango, Casablanca, Olmué, Lampa, Padre Hurtado, Maipú, Pudahuel, Til Til y Colina; concentrándose la mitad de los fragmentos dentro de las primeras cuatro comunas mencionadas. El 66% de las clases afectadas se encuentra en zonas de uso de bosque; seguido por zonas de praderas y matorrales en aproximadamente un 28%, mientras que el 6% restante se distribuye entre terrenos agrícolas, cuerpos de agua asociados a ríos, lagos y embalses, áreas urbanas e industriales y áreas desprovistas de vegetación.

4.2.2. Infraestructura Ecológica y métricas del paisaje post afectaciones por Incendios Forestales durante el período 2018-2022

4.2.2.1. Infraestructura Ecológica

En relación al análisis de paisaje mediante métricas para el período establecido, estas se visualizan en la siguiente Tabla:

Tabla N°7: Métricas de Clase calculadas para la Infraestructura Ecológica post afectaciones de Incendios Forestales durante el período 2018-2022

TYPE	CA	NP	PD	SHAPE_MN	FRAC_MN
NU	374361,48	899	0,11	2,05	1,07
NO	26001,9	425	0,05	2,25	1,11
CP	12866,85	625	0,07	2,38	1,14
CS	4547,25	1387	0,16	1,97	1,13
CPOT	21,6	232	0,03	1,00	1,00
ZACP200	22690,17	862	0,10	2,19	1,12
ZACP50	7894,35	623	0,07	3,18	1,17
ZACS200	20849,76	860	0,10	2,16	1,11
ZACS50	7920,36	432	0,05	3,09	1,15
ZANU	311271,21	5221	0,62	2,06	1,09
PP	518,04	15	0,00	1,41	1,06
GCA	50203,62	1779	0,21	1,71	1,09
AICA	4545,72	22	0,00	2,04	1,08
AV	5,85	64	0,01	1,01	1,00

CA = Área Total

NP = Número de Parches

PD = Densidad de Parche

SHAPE_MN = Índice de Forma

FRAC_MN = Índice de Dimensión Fractal

NU = Núcleos

NO = Nodos

CP = Corredores Principales

CS = Corredores Secundarios

CPOT = Corredores Potenciales

ZACP200 = Zonas de Amortiguación de Corredores Principales de 200 metros

ZACP50 = Zonas de Amortiguación de Corredores Principales de 50 metros

ZACS200 = Zonas de Amortiguación de Corredores Secundarios de 200 metros

ZACS50 = Zonas de Amortiguación de Corredores Secundarios de 50 metros

ZANU = Zonas de Amortiguación de Núcleos

PP = Parques Prioritarios

GCA = Glaciares y Cuerpos de Agua

AICA = Área de Influencia de Cursos de Agua

AV = Anillo Verde

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

Tras la serie de incendios ocurridos, existe una disminución del área total de casi todos los componentes, a excepción de los Corredores Potenciales, Parques Prioritarios, Áreas de Influencia a Cursos de Agua y Anillo Verde, los cuales no se vieron perjudicados por los siniestros y, adicionalmente, mantienen sus valores en el resto de las métricas.

Siguiendo con las métricas restantes, respecto al Número de Parches se dan dos situaciones en concreto; en primer lugar, se da la particularidad de que la cantidad de parches disminuye a raíz de la serie de fragmentos que han sido quemados por el fuego, no obstante, también se da un segundo caso correspondiente a componentes o clases que presentan un incremento en el

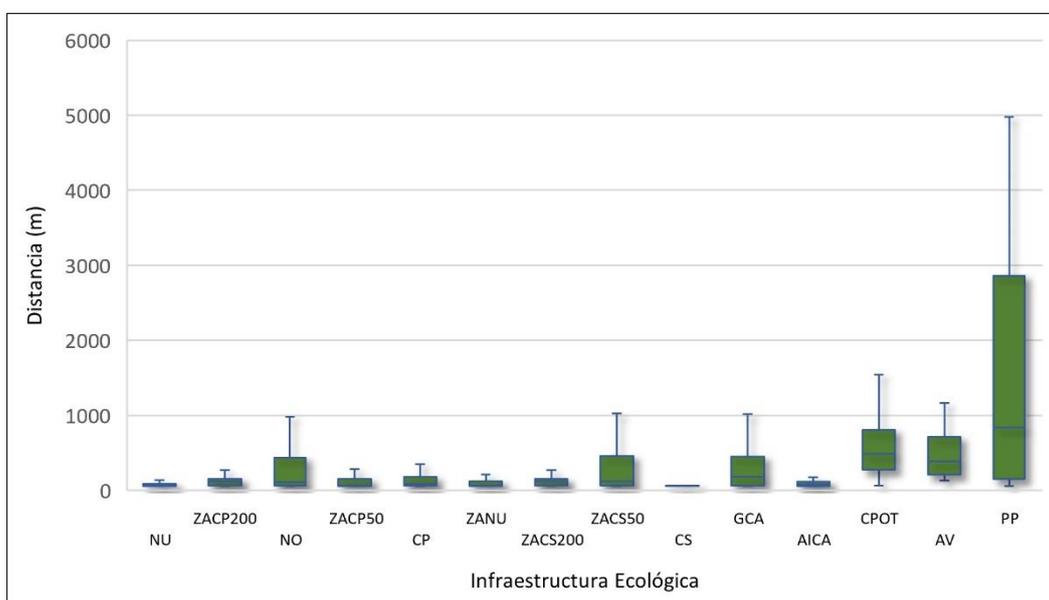
número de parches debido a que el fuego subdividió las teselas, originando nuevos parches aislados.

En cuanto a la Densidad de Parches, existe un aumento en la densidad a raíz de la división de los componentes en más unidades, aumentando su complejidad. Por otro lado, en casos como el de los Nodos que presentan una disminución en el área total acompañada de una menor cantidad de parches pero con mayor densidad, esto se puede atribuir a la posibilidad de que las zonas quemadas estaban insertas en fragmentos de área pequeña (que en este caso fueron aproximadamente 200 hectáreas en contraste de las 26.000 que en un comienzo conforman los Nodos dentro de la Infraestructura Ecológica), por lo que las teselas no quemadas pueden tener una superficie mayor, generando en consecuencia valores de densidad mayor. En la misma línea, en las Zonas de Amortiguación (a excepción de la ZA asociada a los Núcleos y a los Corredores Principales de 200 m) mantienen una densidad constante pese a estar más fragmentados, lo que puede resultar de una subdivisión de la superficie en unidades más pequeñas de manera proporcional al paisaje no fragmentado.

El Índice de Forma para los componentes afectados presentan una disminución en sus valores en contraste de los resultados obtenidos exhibidos en la Tabla N°2. En este contexto, al estar más fragmentado, particularmente en elementos del paisaje donde los incendios crearon una mayor cantidad de teselas, se generan nuevos bordes, lo que aumenta la complejidad de la estructura, en adición a que los parches quemados presentan formas cada vez más irregulares en la medida en que se van fragmentando.

Consiguientemente, respecto al Índice de Dimensión Fractal, los valores tienden a la disminución y/o se mantienen constantes, lo que espacialmente hace referencia a que existen teselas que siguen teniendo una forma simple y poco compleja. Esto puede generarse a raíz de la subdivisión del paisaje en fragmentos poco complejos.

Figura N°11: Distancia al Vecino más Cercano para Infraestructura Ecológica afectada por Incendios Forestales durante el período 2018-2022



Fuente: Elaboración Propia, 2023.

En lo referente a la métrica de Distancia al Vecino más Cercano (Ver Anexo N°5), en los Núcleos; Corredores Principales y Secundarios; Área de Influencia a Cursos de Agua y las Zonas de Amortiguación para Núcleos, Corredores Principales de 50 y 200 metros y Corredores Secundarios de 200 metros la distancia entre sus parches tiende a ser corta. En todos ellos la distancia mínima identificada es de 60 metros, mientras que en cuanto a la distribución de sus datos, el 75% de las teselas de cada clase se encuentran próximos entre sí. No obstante, existen casos, como los Núcleos, en donde la distancia máxima entre teselas presentó un fuerte descenso en sus valores, al igual que en la mayoría de las Zonas de Amortiguación, esto a raíz de la cantidad de fragmentos quemados.

Por otra parte, los fragmentos pertenecientes a Nodos, Corredores Potenciales, Anillo Verde y Zonas de Amortiguación para Corredores Secundarios de 50 metros pese a existir una disminución de la amplitud de sus cajas, las distancias entre cada tesela tienden a valores intermedios-altos. En concreto, para cada estructura o clase mencionada el RIC expresa valores altos, hablando de una mayor dispersión de dichos valores.

Los Parques Prioritarios constituyen la clase o estructura que presenta una mayor distancia entre sus fragmentos. Ahora bien, así como se mencionó con anterioridad, ningún Parque Prioritario sufrió afectaciones o la quema de su superficie, por lo que estas distancias se mantienen. Junto a ello, cabe señalar que el 75% de las teselas se encuentran dentro de un rango de distancia igual o inferior a 2.3 kilómetros, sin embargo, ello no descarta que la cercanía entre fragmentos sea distante, lo cual se refleja en el RIC y la amplitud de la caja.

Por último, es importante destacar que cada una de las estructuras presenta una asimetría positiva, lo cual respalda la dispersión de los datos mencionados.

Para finalizar, respecto al Índice de Diversidad de Shannon, este arrojó un valor de 1,4048; cuyo valor es superior a los otros dos calculados con anterioridad. Esto se puede relacionar con el hecho de que al fragmentarse la Infraestructura Ecológica, dichos fragmentos se subdividieron al ser interceptados por el fuego, generando un aumento de parches. Este aumento, entonces, derivaría en una mayor diversidad de clases. En el caso de los núcleos, la fragmentación de estos propició una mayor cantidad de fragmentos que teóricamente siguen actuando como núcleos con un alto valor ecológico, no obstante, esta fragmentación nace de la reducción de los tamaños de parche originales, los cuales tienden a aislarse en la medida que el parche se fragmenta.

4.2.2.2. Infraestructura Ecológica Central

Para la Infraestructura Ecológica sin Zonas de Amortiguación, se generaron métricas las cuales arrojaron los siguientes resultados:

Tabla N°8: Métricas de Clase calculadas para la Infraestructura Ecológica Central post afectaciones de Incendios Forestales durante el período 2018-2022

TYPE	CA	NP	PD	SHAPE_MN	FRAC_MN
NU	374361,48	899	0,19	2,05	1,07
NO	26001,9	425	0,09	2,25	1,11
CP	12866,85	625	0,13	2,38	1,14
CS	4547,25	1387	0,29	1,97	1,13
CPOT	21,6	232	0,05	1,00	1,00
PP	518,04	15	0,00	1,41	1,06
GCA	50203,62	1779	0,38	1,71	1,09
AICA	4545,72	22	0,00	2,04	1,08
AV	5,85	64	0,01	1,01	1,00

CA = Área Total

NP = Número de Parches

PD = Densidad de Parche

SHAPE_MN = Índice de Forma

FRAC_MN = Índice de Dimensión

Fractal

NU = Núcleos

NO = Nodos

CP = Corredores Principales

CS = Corredores Secundarios

CPOT = Corredores Potenciales

PP = Parques Prioritarios

GCA = Glaciares y Cuerpos de Agua

AICA = Área de Influencia de Cursos

de Agua

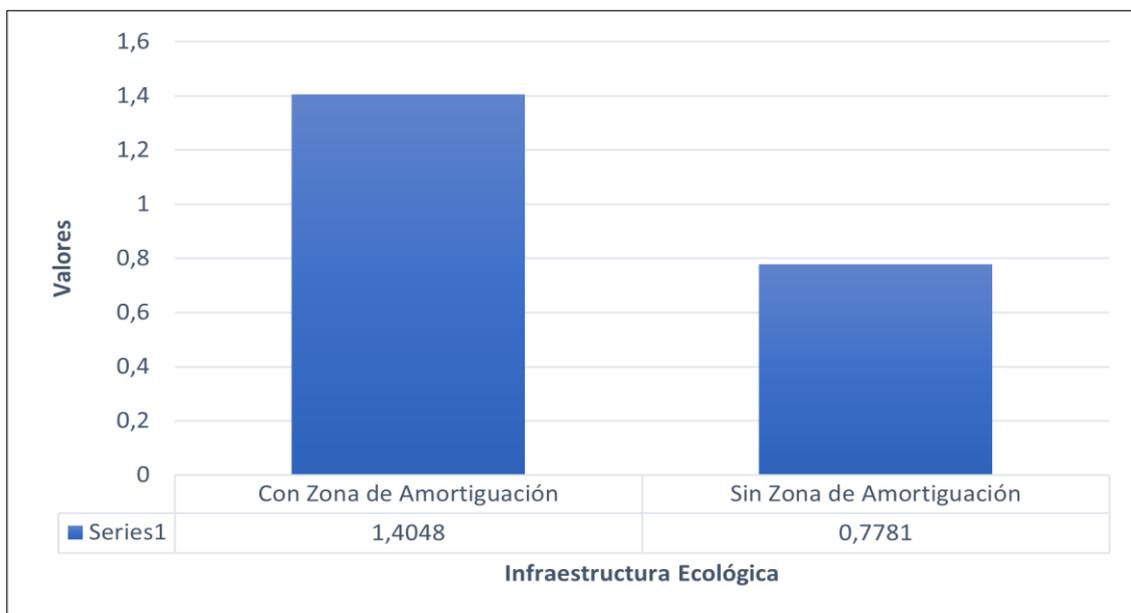
AV = Anillo Verde

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

Nuevamente, al igual que en la Tabla N°3 las métricas de Clase, Número de Parches, Índice de Forma y el Índice de Dimensión Fractal mantienen sus valores, sin embargo, la métrica de Densidad de Parches presenta valores que en su mayoría son superiores en comparación a los otros tres procesos de métricas calculados anteriormente. Bajo esta premisa, al ser un paisaje más heterogéneo aún con una menor cantidad de clases/elementos al no contar con Zonas de Amortiguación, pero con una mayor cantidad de teselas a raíz de la fragmentación ocasionada por los incendios, esta infraestructura presenta una densidad mayor.

Como último punto, respecto al Índice de Diversidad de Shannon, ésta se encuentra representada en el siguiente gráfico.

Figura N°12: Índice de Diversidad de Shannon para Infraestructura Ecológica con y sin Zona de Amortiguación post afectaciones de Incendios Forestales durante el período 2018-2022



Fuente: Elaboración Propia, 2023.

En esta figura nuevamente se repite el patrón de que la Infraestructura Ecológica con Zonas de Amortiguación presenta un índice de diversidad mayor. No obstante, la red mencionada presenta una particularidad, ya que el valor de este índice es superior al de todas las IE calculadas. Esto ocurre por dos motivos; en primer lugar y tal como se mencionó para el índice de la estructura anterior, al tener una mayor cantidad de clases que contienen, por tanto, más fragmentos, este presenta un valor de índice mayor al ser un paisaje más heterogéneo y; en segundo lugar, esta Infraestructura se encuentra quemada y afectada, lo que transforma a la IE original en una con mayor número de parches y, por tanto, más fragmentada.

4.2.3. Efecto de los Incendios Forestales sobre componentes

4.2.3.1. Efecto de los Incendios sobre Núcleos

Desglosando las afectaciones en los diversos componentes de la Infraestructura Ecológica, en primer punto se obtiene que para el caso de los Núcleos se vieron afectadas una totalidad de 37 teselas de esta clase, las cuales suman un total de 4554,77 hectáreas, comprometiendo un total de un 1,2% de la estructura. La distribución espacial y por año son indicadas en la Tabla N°9 y Figura N°13.

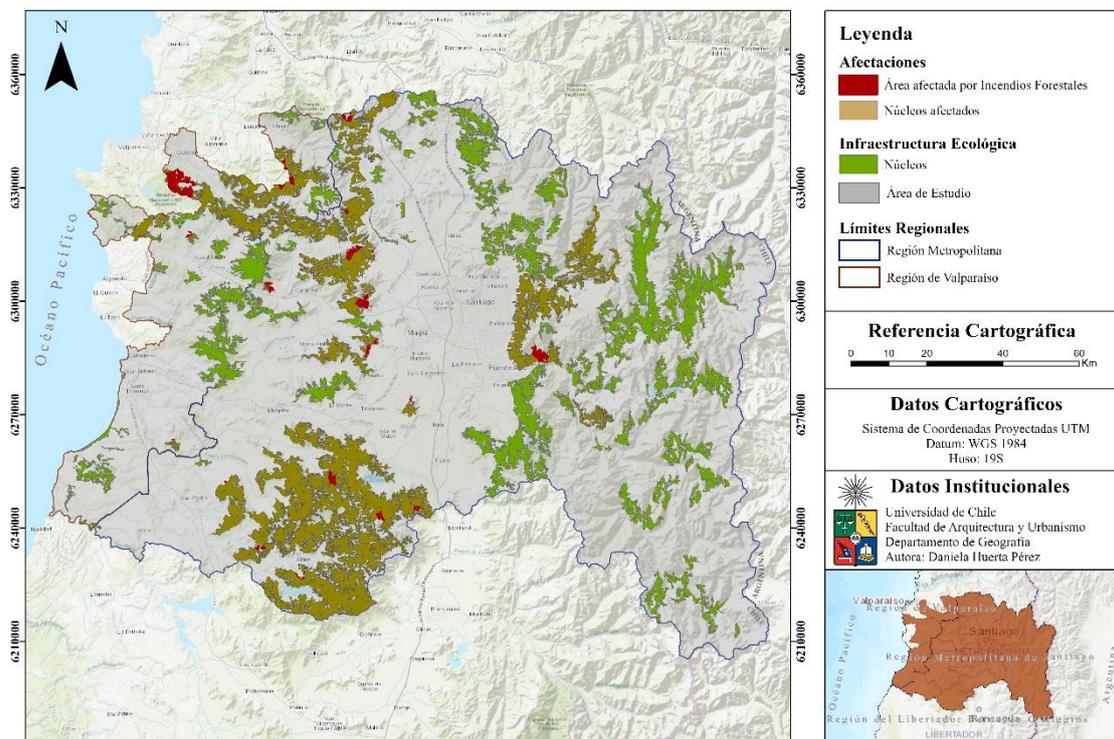
Tabla N°9: Núcleos afectados por Incendios Forestales durante el período 2018-2022

Año	Cantidad de Núcleos Afectados	Superficie Afectada Total (ha)	%
2018-2019	20	1214,07	0,3%
2019-2020	5	1256,82	0,3%
2020-2021	8	1850,56	0,5%
2021-2022	4	233,32	0,1%
Total	37	4554,77	1,2%

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

Si bien durante el período 2018-2019 fue donde los incendios se intersectan con una mayor cantidad de Núcleos, en los años siguientes ocurre la peculiaridad de que, pese a que la cantidad de Núcleos afectados disminuye en un más del 50%, la superficie afectada entre los períodos 2019-2020 y 2020-2021 supera a la del 2018-2019. Esto se asocia a incendios de mayor magnitud que arrasaron con una mayor superficie.

Figura N°13: Área y Núcleos afectados por Incendios Forestales ocurridos durante el período 2018-2022



Fuente: Elaboración Propia, 2023.

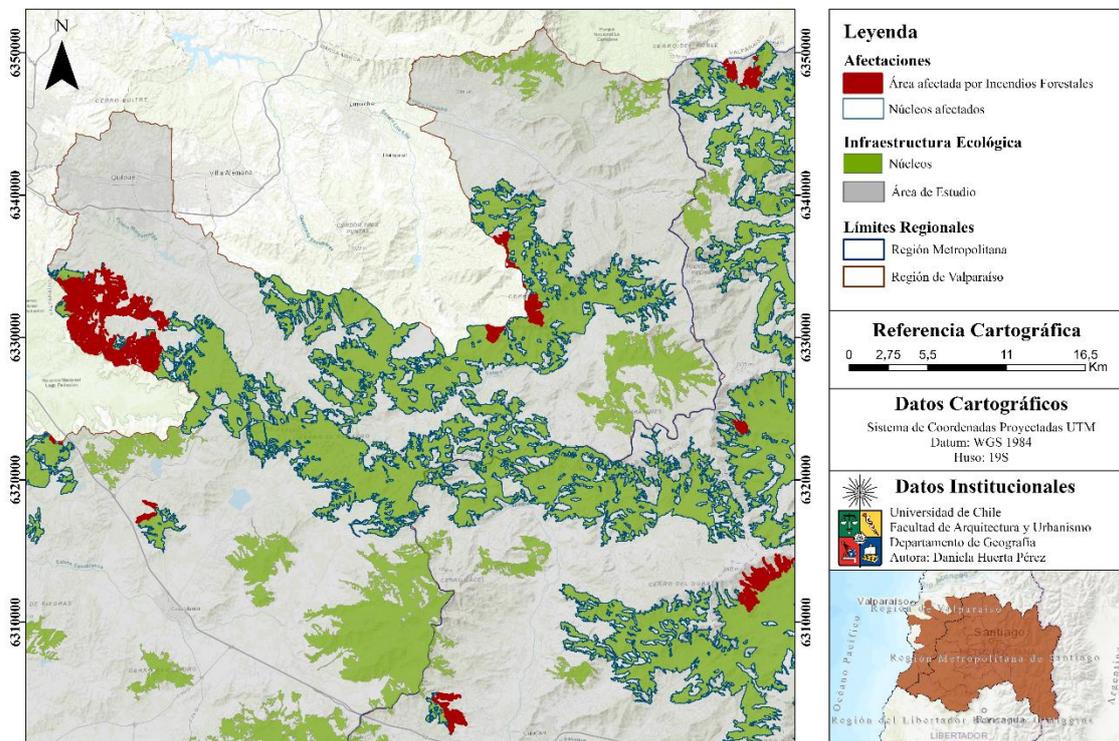
La Figura N°13, tal como se mencionó, expresa la distribución espacial que tuvieron estos incendios, por lo que es posible ver el área quemada y los Núcleos comprometidos.

En cuanto a la superficie quemada, estos siniestros tuvieron lugar en zonas con características de uso de suelo de bosque y matorral principalmente, así como también en áreas desprovistas de

vegetación, localizados mayoritariamente en comunas con presencia de zonas rurales como Lampa, Til Til, Olmué, San José de Maipo y Melipilla.

Los siniestros afectaron a Núcleos de gran superficie, los cuales algunos de ellos se encuentran dentro de un Área Protegida, específicamente en los Santuarios de la Naturaleza El Roble y Horcón de Piedra, sufriendo la quema de 0,38 y 3,62 hectáreas respectivamente. Por otro lado, también se identificaron fragmentos afectados que no están insertos dentro de un Área Protegida, sin embargo, si conectan con una. En efecto, en la Quinta Región se vio calcinado parte de un Núcleo que conecta con la Reserva Nacional Lago Peñuelas, mientras que en la región Metropolitana se identificaron otros que abarcan parte de los Santuarios de la Naturaleza El Roble, Fundo Yerba Loca, Horcón de Piedra, Altos de Cantillana, San Juan de Piche, Quebrada de La Plata, Fundos San Francisco de Lagunilla y Quillayal, y la Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha. Finalmente, es posible indicar que teselas presentaron una disminución en su superficie en suma de la subdivisión originada por la fragmentación que generó el paso del fuego (ver Figura N°14).

Figura N°14: Fragmentación de Núcleos a partir de los Incendios Forestales ocurridos durante el período 2018-2022



Fuente: Elaboración Propia, 2023.

4.2.3.2. Efecto de los Incendios sobre Nodos

Respecto a los Nodos, durante el período 2018-2022 se vieron afectadas una cantidad total de 14 teselas, abarcando una suma de 277,51 hectáreas quemadas, correspondiente al 1,05% del total de la estructura de esta clase. El período que sufrió una mayor cantidad de afectaciones tanto en la cantidad de Nodos y superficie fue el de 2018-2019, con una totalidad de 260 hectáreas que comprometió alrededor del 1% de la estructura de Nodos principalmente. En la Tabla N°10 se exponen las afectaciones de manera más detallada.

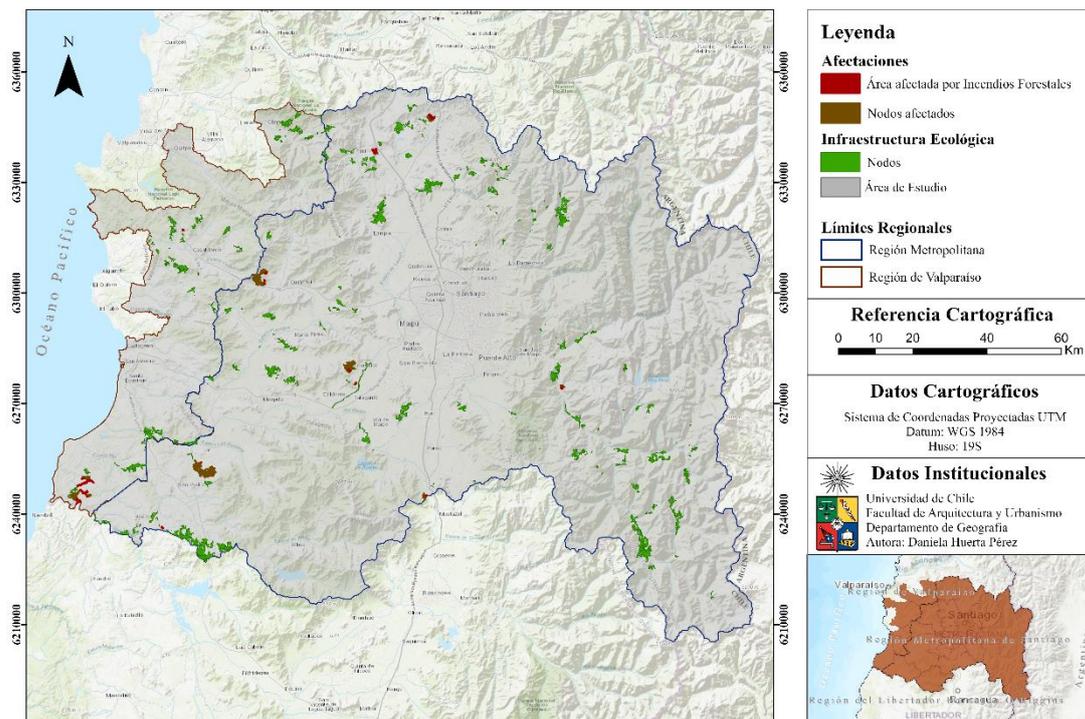
Tabla N°10: Nodos afectados por Incendios Forestales durante el período 2018-2022

Año	Cantidad de Nodos Afectados	Superficie Afectada Total	%
2018-2019	11	260,04	0,99%
2019-2020	2	6,78	0,03%
2020-2021	1	10,69	0,04%
2021-2022	0	0	0,00%
TOTAL	14	277,51	1,05%

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

El área y Nodos afectados por los siniestros se especializan en la Figura N°15. Respecto al área afectada, es posible enfatizar que esta generó impactos principalmente en áreas de bosque y matorral emplazadas principalmente en comunas con áreas rurales tales como Curacaví, Til Til, Casablanca, San José de Maipo, San Pedro, Peñaflor y Calera de Tango. Adicionalmente también existen nodos afectados en localidades como Santo Domingo y Melipilla.

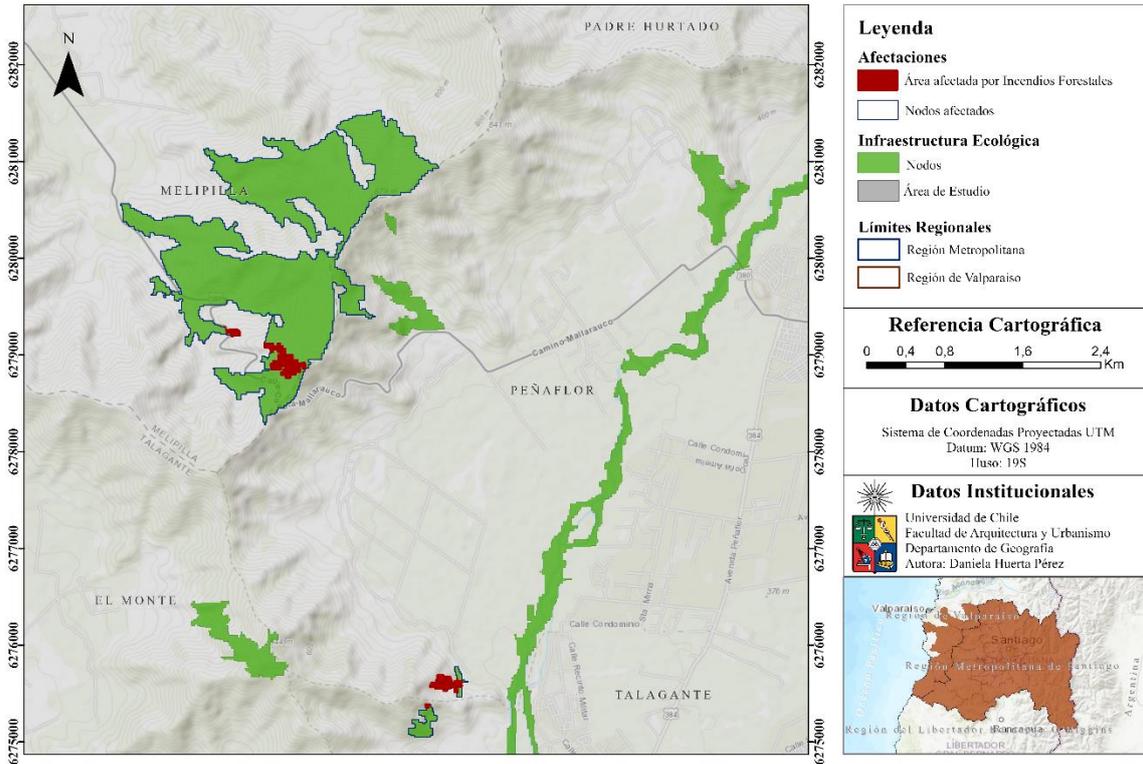
Figura N°15: Área y Nodos afectados por Incendios Forestales ocurridos durante el período 2018-2022.



Fuente: *Elaboración Propia, 2023.*

En este contexto, y tal como se expuso en las métricas de Número de Parches de la Tabla N°7, los Nodos al igual que los Núcleos sufrieron una subdivisión de sus fragmentos, incrementando el número de los mismos, pero disminuyendo el tamaño de ellos. La Figura N°16 constituye una representación de una tesela de Nodo cuya afectación generó un aislamiento de los fragmentos que fueron separados.

Figura N°16: Fragmentación de Nodos a partir de los Incendios Forestales ocurridos durante el período 2018-2022.



Fuente: Elaboración Propia, 2023.

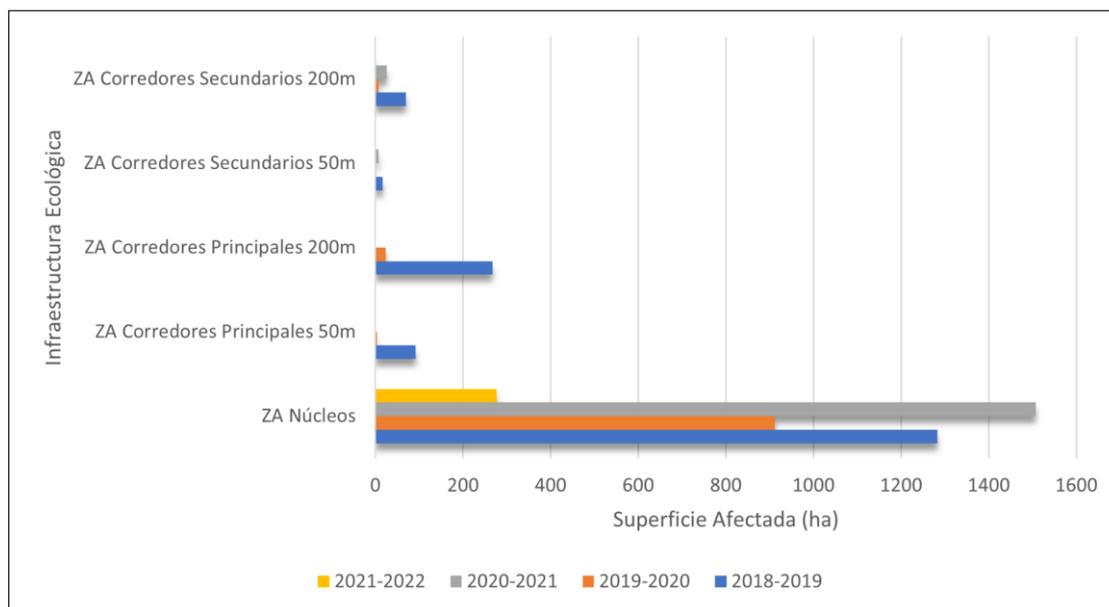
4.2.3.3. Efecto de los Incendios sobre las Zonas de Amortiguación

Para las Zonas de Amortiguación, la mayor cantidad de incendios (y que por tanto generó una mayor cantidad de afectaciones) tuvo lugar en el período que comprende los años 2018 y 2019. A nivel general, la Zona de Amortiguación más afectada fue la correspondiente a los Núcleos, con casi 4000 hectáreas quemadas que es equivalente a un 1,21% de su estructura.

Respecto al resto de las Zonas de Amortiguación, ambos Corredores de 200 metros perdieron mayor superficie en comparación a los de 50 metros, llegando incluso a cuadruplicar la superficie quemada (Ver Anexo N°6).

En la Figura N°17 se visualiza el contraste de Zonas de Amortiguación quemadas por año.

Figura N°17: Superficie quemada en Zonas de Amortiguación afectadas por Incendios Forestales ocurridos durante el período 2018-2022

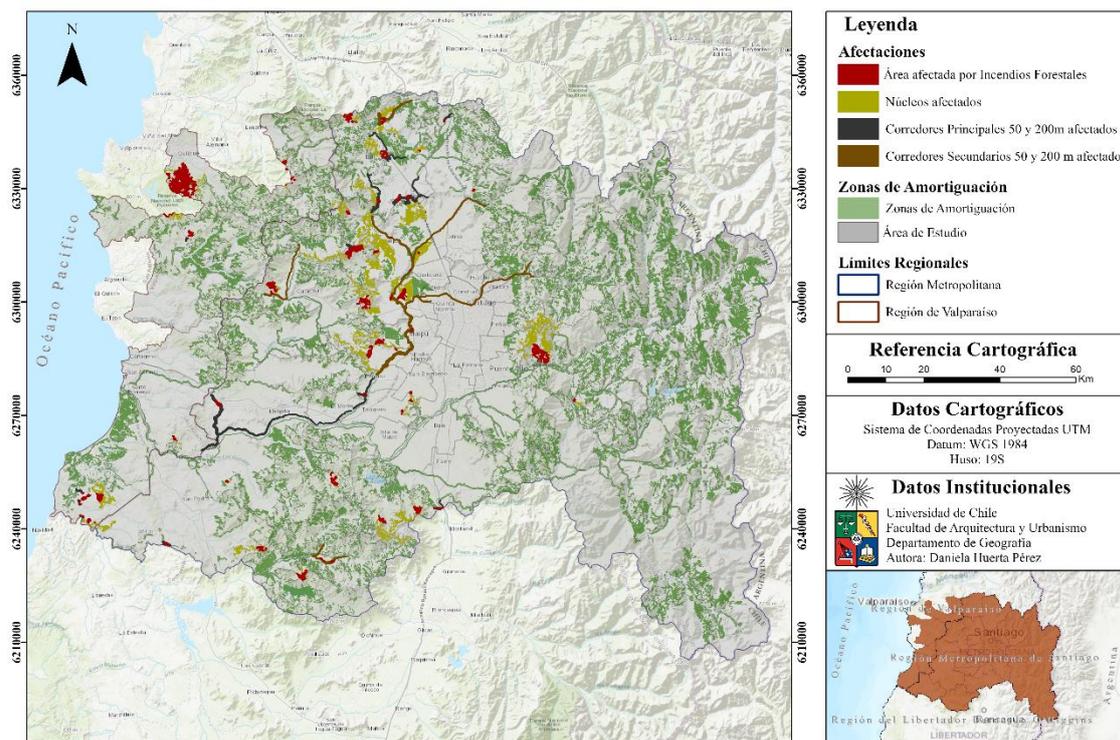


Fuente: Elaboración Propia, 2023.

En la Figura N°18, es posible contemplar las Zonas de Amortiguación afectadas y el área quemada. En total, se quemaron 105 zonas pertenecientes a las ZA, en donde algunas áreas calcinadas se encuentran dentro del anillo urbano, no obstante, la gran mayoría está situada en comunas con alto porcentaje de áreas rurales, como San Pedro, Til Til, Olmué, Alhué o San José de Maipo.

Finalmente, la distribución de las áreas quemadas se localizó en su gran mayoría en zonas de bosque y de praderas y matorrales. También, se quemaron áreas que ya estaban desprovistas de vegetación y se identificaron incendios en áreas urbanizadas con usos industriales, aunque estas fueron en menor medida.

Figura N°18: Zonas de Amortiguación afectadas por Incendios Forestales ocurridos durante el período 2018-2022



Fuente: Elaboración Propia, 2023.

4.2.3.4. Efecto de los Incendios sobre Parques Prioritarios y Áreas Protegidas

Tal como se mencionó en apartados anteriores, durante el período 2018-2022 los Parques Prioritarios no sufrieron ningún tipo de repercusión a raíz de los eventos.

En cuanto a las Áreas Protegidas, sólo tuvieron afectaciones durante los períodos 2018-2019 y 2021-2022, sumando en total una cantidad de 4 hectáreas afectadas aproximadamente a partir de dos incendios los cuales tuvieron lugar en los Santuarios de la Naturaleza El Roble en la comuna de Til Til y Horcón de Piedra en Melipilla.

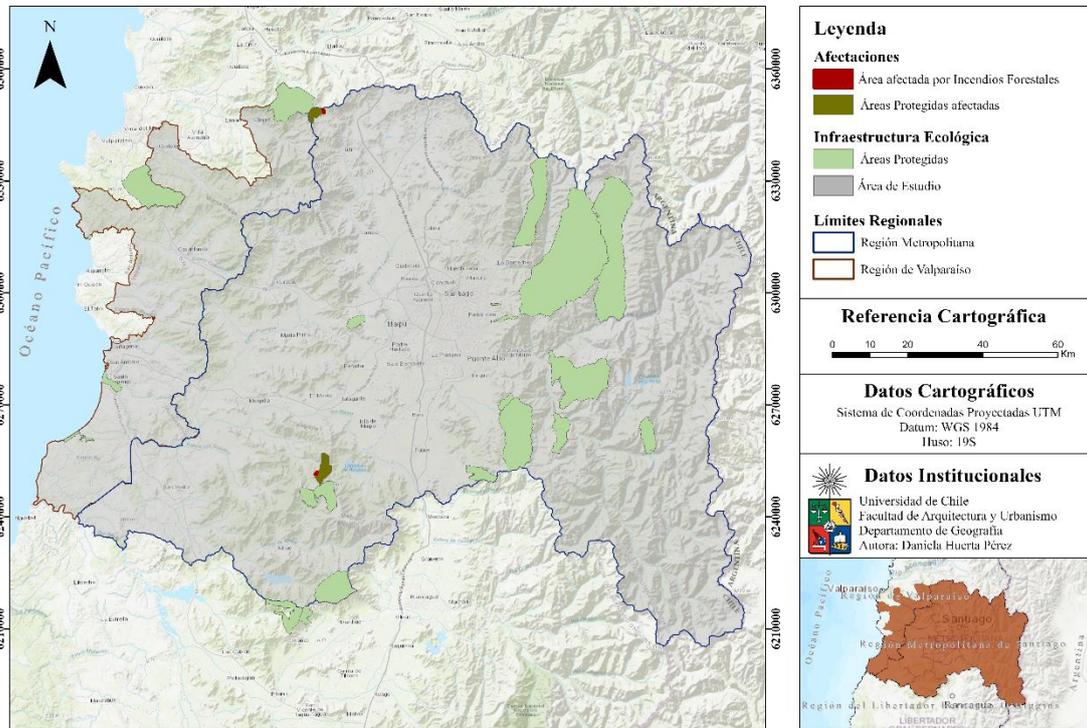
Tabla N°11: Áreas Protegidas afectadas por Incendios Forestales durante el período 2018-2022

Año	Áreas Protegidas Afectadas	Superficie Afectada Total (ha)	%
2018-2019	1	3,625226	0,002%
2019-2020	0	0	0%
2020-2021	0	0	0%
2021-2022	1	0,388879	0,0003%
TOTAL	2	4,014105	0,0026%

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

A diferencia de las otras estructuras o clases que componen la Infraestructura Ecológica, los incendios se generaron en los límites de las Áreas Protegidas. Ello sólo implicó una reducción en sus superficies, ya que no se generaron subdivisión de parches. Las zonas quemadas con las Áreas Protegidas afectadas son expuestas en la Figura N°19.

Figura N°19: Áreas Protegidas afectadas por Incendios Forestales ocurridos durante el período 2018-2022



Fuente: Elaboración Propia, 2023.

4.3. Efecto de los Incendios sobre las rutas de Conectividad

A nivel general, los Corredores Principales evitan las zonas con alta densidad de actividades rurales y urbanas, en especial el área del Gran Santiago que constituye una zona urbana consolidada. Dicho esto, estos Corredores cruzan a través de los cordones montañosos y las redes hidrográficas principales (MMA & ONU Medio Ambiente, 2020).

En torno a los eventos ocurridos en el período descrito es probable indicar que, pese a que las áreas quemadas no fueron de gran tamaño (en contraste con el área total de los Corredores), si tienen importantes impactos para la Infraestructura Ecológica ya que influye desfavorablemente en la conectividad de las distintas estructuras al originar una separación de las rutas. En este sentido, los Corredores Principales y Secundarios sufrieron efectos negativos en los períodos 2018-2019 y 2019-2020, más no tuvieron repercusiones en los años siguientes. Por el contrario, los Corredores Potenciales no se vieron afectados durante ningún período, por lo que su estructura mantiene su funcionalidad (ver Tabla N°12).

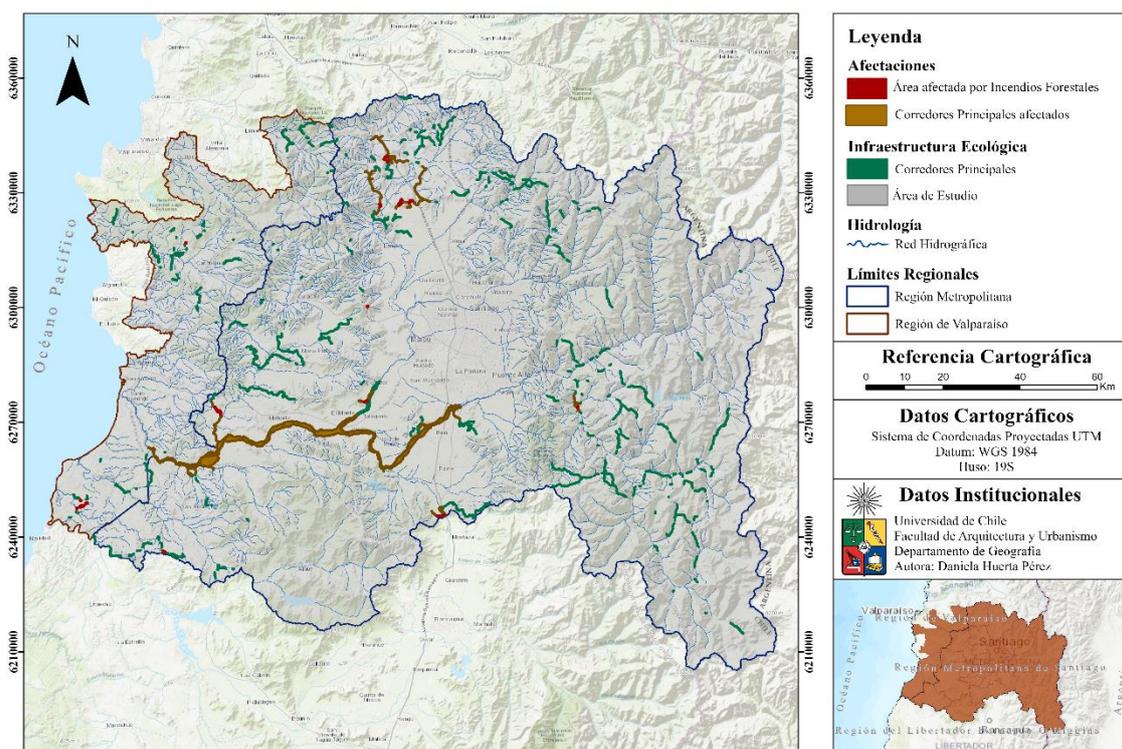
Tabla N°12: Corredores afectados por Incendios Forestales durante el período 2018-2022

Corredores	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	Superficie Total Afectada (ha)	%
Principales	49,61	4,19	0,00	0,00	53,80	0.41%
Secundarios	5,07	0,00	0	0	5,07	0.1%
Potenciales	0,00	0,00	0	0	0,00	0%

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

Profundizando en lo anterior, respecto a los Corredores Principales estos sufrieron durante el período 2018-2019 13 eventos que involucraron la quema de casi 50 hectáreas y en la temporada siguiente sólo un evento que comprometió 4 hectáreas aproximadamente (ver Anexo N°7). Su estructura afectada se asocia preliminarmente a la red hidrográfica definida por el IGM el año 2016, en donde las afectaciones se dieron principalmente en los Corredores ligados al Estero San Diego y Quebrada Santo Tomás en la zona limítrofe entre ambas regiones; el Río Maipo a la altura de San José de Maipo y Valparaíso; Estero Til Til en la comuna del mismo nombre; Río Mapocho en el límite comunal de Peñaflores y Talagante; Estero Nihue en la comuna de San Pedro; y las Quebradas Agua Fría y Los Arrayanes en suma del Estero Maitenlahue en la comuna de Santo Domingo. Adicionalmente, se identificaron otros corredores perjudicados en las comunas de Lampa, Casablanca, Paine y Pudahuel (ver Figura N°20).

Figura N°20: Corredores Principales afectados por Incendios Forestales ocurridos durante el período 2018-2022

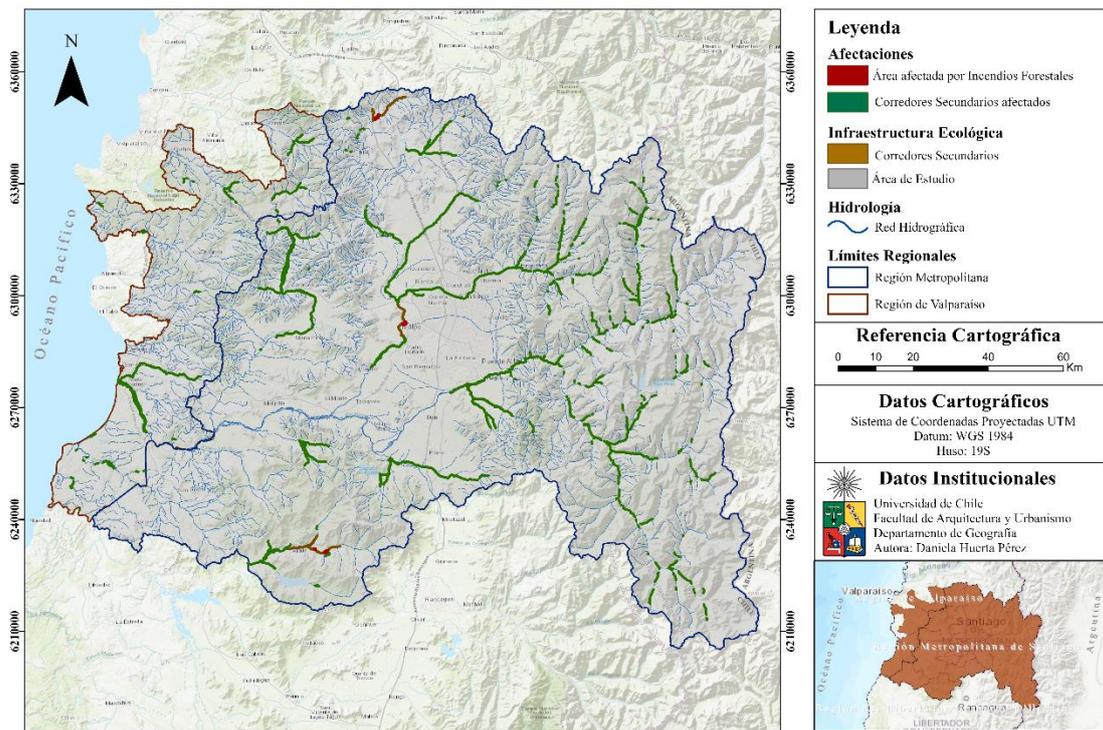


Fuente: Elaboración Propia, 2023.

Finalmente, en lo relativo a los Corredores Secundarios, es importante señalar que, a diferencia de los Corredores Principales, estos sí se presentan a lo largo del Valle Central, incluso, coinciden con parte de la red hidrográfica en la medida que cruzan por el área urbanizada (MMA & ONU Medio Ambiente, 2020).

De esta manera, se vieron afectados por cuatro focos de incendios ocurridos sólo en el período 2018-2019, afectando a una totalidad de 5 hectáreas aproximadamente (ver Anexo N°8), en donde las zonas quemadas corresponden a Corredores asociados a la red hidrográfica. En este sentido, se identificaron daños en Corredores situados en dos zonas del Estero Rungue en la comuna de Til Til; otro que pasa por el Río Mapocho a la altura de Maipú y el Estero Alhué en la comuna del mismo Nombre. La estructura afectada está representada por la Figura N°21.

Figura N°21: Corredores Secundarios afectados por Incendios Forestales ocurridos durante el período 2018-2022



Fuente: Elaboración Propia, 2023.

CAPÍTULO 5: DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

5.1. Discusiones

El análisis de la relación entre la Infraestructura Ecológica con los Incendios Forestales dan cuenta de una tendencia a la fragmentación del paisaje. En concreto, durante entre los años 2018-2022 se quemaron más de 9.000 hectáreas, en donde sólo durante la temporada 2018-2019 se concentra más de 1/3 del área de Infraestructura Ecológica quemada. Posteriormente, durante las siguientes temporadas se quemaron 2.216; 3.400 y 511 hectáreas respectivamente, lo que denota un proceso de quema que año tras año se perpetúa mayoritariamente en áreas con usos de bosque (nativo en su mayoría). La mayor cantidad de teselas afectadas se ubicaron en específico en las comunas de Quilpué, San José de Maipo, Paine y Melipilla, concentrando más del 50% de fragmentos calcinados (núcleos en su mayoría), que estaban emplazados sobre quebradas y cercanías a cursos de agua principalmente.

Ahora bien, los datos dan cuenta de que tanto los Núcleos como sus respectivas Zonas de Amortiguación sufrieron durante los años posteriores la calcinación de casi la misma cantidad de hectáreas en comparación a la temporada mencionada, pese a que existieron una menor cantidad de eventos registrados. Bajo este contexto, académicos como Andrés Weintraub especifican que esta disminución pudo estar relacionada con la pandemia y las medidas acordadas para la población (Fuentes, 2021), mientras que el director ejecutivo de CONAF Rodrigo Munita estimó una baja del 65% a nivel nacional, lo cual guarda estrecha relación con el aumento de las construcciones de cortafuegos y la generación de medidas en el marco del Fondo Verde para el Clima (Vera, 2021). No obstante, pese a que obtuvo un notable descenso en el número de eventos, los ocurridos especialmente durante las temporadas 2019-2020 y 2020-2021 comprometieron de igual manera una gran cantidad de hectáreas, atribuible a incendios de gran magnitud.

En esta línea, en primer lugar es importante destacar que la elaboración de una IE nace desde la propuesta de concentrar los esfuerzos enfocados en la preservación ecológica, y pese a que existe una estructura o clase que cumple una función vital en términos de planificación ecológica, estas no cuentan con una protección legal actual que asegure que esta red pueda cumplir su real función, ya que adicionalmente este instrumento es de carácter indicativo; que si bien contempla en él las políticas, estrategias y programas existentes competentes a la protección, recuperación y uso de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, este no comprende una ley como tal (MMA & ONU Medio Ambiente, 2020), lo cual es alarmante si las dinámicas existentes en el período 2018-2022 se siguen perpetuando con los años sin la existencia de algún dictamen que tienda a proteger realmente estas zonas que son imprescindibles para la conservación y provisión de servicios ecosistémicos.

Dicho esto, una vez creada la Infraestructura Ecológica y siendo cruzada con la información de registros históricos de Incendios Forestales, se halla que pese a existir zonas donde se concentraron estos eventos que por consecuencia, se transformaron en zonas quemadas en donde la vegetación y los suelos se vieron perturbados, fue posible la construcción de una Infraestructura Ecológica, esto debido los esfuerzos aplicados a través de la elaboración de

distintos planes de restauración ecológica que buscan acelerar la recuperación de sistemas nativos en términos de salud, integridad y sustentabilidad para recuperar la estructura y funcionalidad de los ecosistemas y, a su vez, mejorar su resiliencia al fuego. Estos han funcionado como medida paliativa para revertir los impactos provocados por incendios sobre ecosistemas naturales, generando efectos positivos en la recuperación de ecosistemas degradados y fragmentados (Fernández et al., 2010).

Es importante recalcar que, si bien estos planes son útiles y favorecen el proceso de cicatrización, muchas veces es difícil restaurar la cubierta vegetal en su totalidad, lo que en consecuencia implica que se dificulte el proceso de recuperar las comunidades originales dado a sus niveles de complejidad elevados (Fernández et al., 2010).

En el caso de regiones de Matorral y Bosque Esclerófilo, que es precisamente donde la Infraestructura Ecológica está inserta, Fernández et al (2010) especifica que dependiendo de la intensidad del siniestro el inicio de una sucesión vegetal post incendio se origina por la recolonización por parte de semillas colonizadoras o sobrevivientes, en conjunto del crecimiento vegetativo por parte de especies sobrevivientes. En caso de incendios severos, esto puede ser paliado por estructuras subterráneas como es el caso de los bulbos. De igual forma, se dan casos de crecimiento vegetativo a partir de secciones de tronco (tocones) de ciertas especies vegetativas que quedan en pie post perturbación, así como también de la llegada de especies pioneras establecidas a partir de semillas, las cuales permiten la creación de microclimas que favorecen el establecimiento y colonización de especies que inicialmente no soportan condiciones de umbrales de temperatura altos y de baja humedad en suelos desnudos (Armesto & Piquett, 1985). Esto ha devuelto, de cierto modo, la riqueza a áreas que hoy son catalogadas de alta relevancia a nivel de ecosistemas y ecológico.

Desde la promulgación de la ley 19.300 en 1994 en adelante, se han generado diversos planes en términos de gestión medio ambiental y protección de la naturaleza. En esta línea, la Estrategia Nacional de Biodiversidad propuesta por CONAMA en el año 2003 contempla dentro de sus lineamientos la restauración de ecosistemas y el establecimiento de corredores biológicos mediante la recuperación de ecosistemas degradados (Fernández et al., 2010). Asimismo, otras políticas como la Estrategia Regional para la Conservación de la Biodiversidad publicada el 2013 incluyeron lineamientos de acción de restauración de hábitats, mediante la reintroducción y recuperación de poblaciones de vegetación nativa, facilitación de conectividad entre fragmentos de vegetación natural para la recuperación de la vegetación nativa (principalmente en la Región Metropolitana), y así conectar los diversos fragmentos existentes en diversos sistemas naturales, productivos y urbanos (GORE-RMS & SEREMI MMA RMS, 2013).

En contraste con lo anterior, respecto a los eventos ocurridos durante el período 2018-2022 y tal como se mencionó al comienzo de las discusiones, la Infraestructura Ecológica presenta una clara tendencia a la fragmentación, de tal modo que los fragmentos que la componen se subdividieron al ser interceptados por el fuego, generando un aumento de parches y, por ende, una mayor diversidad de clases, lo que a su vez se traduce en un incremento de la densidad de estas (como es el caso de los Núcleos y sus Zonas de Amortiguación), complejizando la estructura del paisaje. Adicionalmente, en los Núcleos la fragmentación de estos propició una mayor cantidad de fragmentos que teóricamente “siguen” actuando como teselas con un alto

valor ecológico, no obstante, esta fragmentación nace de la reducción de los tamaños de parche originales, los cuales tienden a aislarse en la medida que el parche se fragmenta.

De igual forma, lo acontecido con los Núcleos se replica con la mayoría de los componentes o clases, a excepción de los Parques Prioritarios que no sufrieron ningún tipo de afectación. Cabe destacar que varios fragmentos están situados al interior de un área protegida, o en su defecto, están localizados en zonas en las que se sugiere protección; y si bien, los valores de fragmentación no son extremadamente altos, el hecho de tener una reducción del área de los fragmentos seguido de la división del paisaje en una mayor cantidad de parches, en suma del aislamiento por las barreras (incendios y zonas quemadas que quedan desprovistas de vegetación), conducen a problemas de conectividad a raíz del aislamiento de los parches, generando una potencial pérdida tanto de los ecosistemas como hábitats en la medida de que la biodiversidad se ve limitada en cuanto a la provisión de servicios ecosistémicos debido a esta nueva configuración paisajística (Santos & Tellería, 2006).

Esto se complementa con los efectos de las cicatrices sobre los corredores, aspecto que es preocupante y que requiere especial atención, ya que el corte de estas repercute en cada fragmento y, más aún, sobre las áreas protegidas que de por sí la conectividad entre estas ya es escasa. Junto a ello, de verse afectadas las rutas de conectividad implica que las especies que habitan los Núcleos, Nodos o Áreas Protegidas deban buscar alternativas que muchas veces por el alto costo que implica la nueva ruta no logran dispersarse, quedando aisladas. En esos casos, la disminución de corredores disponibles para las poblaciones puede impactar incluso a nivel genético, derivando en casos extremos en procesos endógamos (reproducción entre parientes), conduciendo finalmente a las especies a su extinción (MMA, 2020).

En la misma línea, otro de los efectos evidentes es la alteración de la abundancia y distribución de las especies que se benefician de esta Infraestructura Ecológica, lo cual tiene efectos perjudiciales hacia la dinámica de poblaciones en el marco del desarrollo de los procesos ecológicos y condicionamiento en la movilidad de especies, lo que por consecuencia las teselas de Núcleos presentan una serie de limitaciones que reducen el valor ecológico que estos poseen (Gurrutxaga & Valencia, 2012; Forman & Godron, 1981; Lawrence, 1966).

Ahora bien, en cuanto a la Zonas de Amortiguación, es concebido que su función recae en la protección y resguardo de áreas adyacentes tanto a los Núcleos como a los Corredores, por lo que existe una creciente preocupación por su incorporación en la política pública al ser vitales para amortiguar los efectos negativos de diversos procesos como la expansión urbana de las ciudades (MMA & ONU Medio Ambiente, 2020). Si bien muchos valores respecto a la composición de la Infraestructura Ecológica se mantienen intactos en diversos aspectos tales como el Área Total, el Número de Parches o el Índice de forma; al eliminar entidades o “coberturas” implica que los fragmentos asociados también fueron excluidos; por lo tanto, existe un aumento de la densidad de los parches de cada elemento ya que se da un aumento en la heterogeneidad del paisaje. En términos de funcionalidad del paisaje esto podría ser perjudicial en el caso de que origine un incremento en las perturbaciones sobre los núcleos y los corredores, ya que estos son claves para amortiguar y mitigar amenazas (Alvarado, 2021), fragmentando aún más el paisaje. En resumen, al eliminar las Zonas de Amortiguación tanto de la IE como las zonas que cuentan con una Zonas de Amortiguación se vuelven más vulnerables ante la posibilidad de algún tipo de evento o siniestro.

Es en este sentido, que surge la importancia de proteger dichas Zonas de Amortiguación. Ante ello, durante el presente año se promulgó y publicó la ley de Creación de Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, la cual tiene por objeto conservar la diversidad biológica y proteger el patrimonio natural del país mediante acciones de preservación, restauración y uso sustentable de genes, especies y ecosistemas. Para efectos de la ley se encuentran dentro de las áreas a proteger las Zonas de Amortiguación, en donde se establecen prácticas sustentables en ellas y se expresa la importancia de integrar y conectar los procesos ecológicos mediante estas zonas y Corredores. No obstante, en su articulación se especifica una separación en cuanto a sus afectaciones, prevención y combate de incendios forestales, ya que estas deben regirse por sus respectivas normas legales (BCN, 2023)

Para finalizar, es imprescindible enfatizar en que la protección de las Zonas de Amortiguación si bien es necesaria, no es suficiente. Comprendiendo el rol que cumple una Infraestructura Ecológica y la relevancia de su instauración, sería óptimo que a raíz de los resultados y considerando el progresivo aumento de eventos que perturban la red bajo el contexto del cambio climático, se implementen proyectos y políticas que destinen recursos y acciones a la protección de estas estructuras y patrimonios naturales que ayudan a preservar lo que hoy forma parte de uno de los 35 hotspots de la biodiversidad a nivel mundial.

5.2. Conclusiones

En vista de lo anterior, luego de los análisis realizados en la presente memoria es factible destacar que existe una evidente afectación en lo que constituye la Infraestructura Ecológica para la zona Central. Si bien, los eventos y sus consecuencias en términos gráficos no explicitan grandes diferencias, en términos de funcionalidad tanto los fragmentos como la red en sí presentan importantes cambios que pueden conllevar a graves consecuencias a futuro en términos de conservación.

La metodología empleada ha permitido establecer una relación entre los eventos históricos registrados y la Infraestructura Ecológica existente, en términos de construcción de la misma y los impactos que ésta ha sufrido una vez puesta en marcha la propuesta. Del mismo modo, se han caracterizado las zonas afectadas y las repercusiones que ha generado a nivel de parche, así como de clase y paisaje, adicional a las rutas de conectividad.

Dicho esto, las zonas calcinadas y más afectadas constituyen precisamente áreas de mayor relevancia. En concreto, las áreas de Núcleos y Nodos perjudicadas fueron aquellas que estaban ubicadas en áreas rurales con coberturas asociadas a bosque y matorral, emplazadas mayoritariamente sobre quebradas y zonas alledañas a cursos de agua. Adicionalmente, existieron afectaciones en Áreas Protegidas con altos niveles de riqueza, generando daños en sus respectivos ecosistemas; y en Corredores (Principales y Secundarios) situados en zonas de alta relevancia como es el caso de aquellos Corredores que intersectan los cuerpos principales de la Red Hidrográfica, como lo es el Río Maipo y Mapocho con sus desembocaduras y humedales correspondientes. Todo lo anterior conlleva a problemas de estructura y conectividad, en vista de que dichos parches cumplen una función importante al permitir que las especies lleven a cabo su rol ecológico. No obstante, como la urbanización repele mayoritariamente los procesos

ecológicos en suma de las áreas fragmentadas, se genera un aislamiento de las teselas, tendiendo a pérdidas ecológicas indudables.

En este sentido, la Infraestructura Ecológica resultante es el efecto de un proceso de fragmentación el cual se va acrecentando en la medida que ocurren incendios años tras año y que se espera que dado el contexto de la crisis climática vayan aumentando tanto en número como en magnitud. No obstante, existen otros factores que paralelamente pueden contribuir a la segmentación del paisaje, como la expansión urbana y los cambios de usos de suelo.

Esta transformación del paisaje fue medida con métricas aplicadas al paisaje, cuyos resultados son propios de una matriz que es cada vez más heterogénea a raíz de las perturbaciones; con una menor cantidad de hábitats disponibles, una mayor distancia entre ellos y rutas primordiales alteradas, lo que dificulta cada vez más la conectividad entre fragmentos y, por tanto, entre especies que se benefician de ella.

Adicionalmente, la posibilidad de suprimir coberturas como las Zonas de Amortiguación despierta un nuevo interés sobre su importancia de la consideración permanente de estructuras ecológicas de este tipo. Ante el análisis sin dichas zonas la densificación de la Infraestructura en sí presentó cambios negativos, sumado al consecutivo aumento de parches fragmentados, limitando los procesos ecosistémicos especialmente en áreas de alto valor ecológico como los Núcleos, que constituyen el pilar principal de la red.

Asimismo, es posible indicar que la utilización de métricas como medida complementaria de análisis espacial otorgan información verídica e importante respecto a las relaciones paisajísticas que, bajo otros medios, como el análisis de capas, es difícil de obtener. La aplicación de este tipo de instrumentos es clave y conciso para describir los patrones de un paisaje y ver su posible inclinación con el paso de los años. Ello permite replantear la importancia y la utilización de este tipo de herramientas que a su vez permite aplicar otras metodologías como el análisis estadístico, el cual fue primordial para describir los patrones de distancias y la distribución espacial de los fragmentos.

Al fin y al cabo, el tipo de estudio y los hallazgos de la presente memoria son interesantes de replicar ante el panorama que cada vez es más frecuente y normalizado, para así pensar en nuevas medidas que se adapten al contexto y mantener en lo posible la funcionalidad y conectividad de los paisajes y bienes ecosistémicos.

BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, R. (2021). *Estudio identifica zonas de alto valor ecológico información clave para las políticas de conservación.* Universidad de Chile. <https://uchile.cl/noticias/176669/estudio-identifica-zonas-de-alto-valor-ecologico-informacion-clave->

Aravena, J. P., et al. (2005). Manual con Medidas para la Prevención de Incendios Forestales: Región Metropolitana, CONAF.

Armesto, J. J., & Pickett, S. T. A. (1985). A mechanistic approach to the study of succession in the Chilean matorral, Un enfoque mecanicista para el estudio de la sucesión en el matorral chileno. *Revista Chilena de Historia Natural*, 58, 9-17. https://rchn.biologiachile.cl/pdfs/1985/1/Armesto_&_Pickett_1985.pdf

BCN. (2023). *Ley Chile - Ley 21600 - Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.* BCN. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1195666>

BCN. (s.f.). *Clima y vegetación Región de Valparaíso* —. BCN. <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region5/clima.htm>

BCN. (s.f.). *Clima y Vegetación Región Metropolitana de Santiago* —. BCN. <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region13/clima.htm>

BCN. (s.f.). *Mapas vectoriales.* BCN. https://www.bcn.cl/siit/mapas_vectoriales/index_html

Bizama, G., Torrejón, F., Aguayo, M., Muñoz, M., Echeverría, C., & Urrutia, R. (2011). Pérdida y fragmentación del bosque nativo en la cuenca del río Aysén (Patagonia-Chile) durante el siglo XX. *Revista de geografía Norte Grande*, (49), 125-138. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022011000200008>

Botequilha-Leitão, A., & Ahern, J. (2002). Applying Landscape Ecological Concepts and Metrics in Sustainable Landscape Planning. *Landscape and Urban Planning*, 59, 65-93. [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00005-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00005-1)

CEPAL. (s.f.). *Daño y pérdida de biodiversidad.* Naciones Unidas. <https://www.cepal.org/es/temas/biodiversidad/perdida-biodiversidad>

Chapa Bezanilla, D., Sosa Ramírez, J., & De Alba Ávila, A. (2008). *Estudio multitemporal de fragmentación de los bosques en la Sierra Fría, Aguascalientes, México.* Madera y Bosques, 14(1),37-51. ISSN: 1405-0471. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61714104>

CONAF. (2022). *Estadística por incendios forestales 1977-2021.* <http://bcn.cl/2vibr>

CONAF. (s.f.). *Incendios Forestales en Chile.* CONAF. <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/>

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, (387), 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>

Cushman, S., Neel, M. C., Ene, E., & McGarigal, K. S. (2002). *FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for categorical maps*. https://www.researchgate.net/publication/259011515_FRAGSTATS_Spatial_pattern_analysis_program_for_categorical_maps

de Groot, R.S. 1992. *Functions of nature: evaluation of nature in environmental planning, management and decision making*. Wolters-Noordhoff BV, Groningen , Holanda.

Dickson, B. G., Roemer, G. W., McRae, B. H., & Rundall, J. M. (2014). *Correction: Models of regional habitat quality and connectivity for pumas (Puma concolor) in the southwestern United States*. PLOS ONE, 9(1). <https://doi.org/10.1371/annotation/3e4cab4a-23b1-4912-b943-9119cb2401aa>

Echeverría, C., Aguayo, M., & Premoli, A. (2014). Ecología de Paisajes Forestales. In G. Bolados & J. Rodríguez (Eds.), *Ecología forestal: bases para el manejo sustentable y conservación de los bosques nativos de Chile* (pp. 583-604). Ediciones Universidad Austral de Chile.

Fernández, I., Morales, N., Olivares, L., Salvatierra, J., Gómez, M., & Montenegro, G. (2010). *Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales*. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Dirección de Investigación y Postgrado, Dirección de Extensión. https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1363716217res_baja.pdf

Forman, R. T. (1995). *Land Mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press.

Forman, R. T. T., & Godron, M. (1981). Patches and Structural Components for a Landscape Ecology. *BioScience*, 31(10), 733-740. <https://doi.org/10.2307/1308780>

Fuentes, C. (2021). *Expertos advierten peligro de incendios forestales para este verano pese a baja ocurrencia registrada a la fecha*. Universidad de Chile. <https://uchile.cl/noticias/172645/expertos-advierten-peligro-de-incendios-forestales-para-este-verano>

González, P. (2017). Impacto de los incendios forestales en suelo, agua, vegetación y fauna. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Departamento de estudios, extensión y publicaciones*, Valparaíso. <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONCUENTA&prmID=39186#:~:text=Los%20principales%20impactos%20de%20los,org%C3%A1nica%2C%20alteraci%C3%B3n%20de%20la%20vegetaci%C3%B3n>

GORE-RMS - SEREMI MMA RMS. (2013). *Estrategia Regional para la Conservación de la Biodiversidad en la Región Metropolitana de Santiago 2015-2025*. Gobierno Regional Metropolitano de Santiago y Secretaría Regional Ministerial del Ministerio del Medio Ambiente, Región Metropolitana de Santiago. https://www.google.com/url?q=https://www.gobiernosantiago.cl/wp-content/uploads/2014/doc/estrategia/Estrategia_Regional_para_la_Conservacion_de_la_Biodiversidad_RMS_2015-2024_2014.pdf&sa=D&source=docs&ust=1696830854687283&usg=AOvVaw34lWWbegsIqi4LDJ6clNEI

Gurrutxaga, M. (2004). *Conectividad ecológica del territorio y conservación de la biodiversidad: nuevas perspectivas en ecología del paisaje y ordenación territorial*. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. https://www.researchgate.net/publication/302252844_Conectividad_ecologica_del_territorio_y_conservacion_de_la_biodiversidad_Nuevas_perspectivas_en_ecologia_del_paisaje_y_ordenacion_territorial

Gurrutxaga, M., & Lozano Valencia, P. J. (2012). Efectos de la fragmentación de hábitats y pérdida de conectividad ecológica dentro de la dinámica territorial =Effects of habitat fragmentation and loss of ecological connectivity within territorial dynamics. *Polígonos. Revista De Geografía*, (16), 35-54. <https://doi.org/10.18002/pol.v0i16.410>

IDE Chile. (2019). *Catastros de uso de suelo y vegetación*. IDE Chile. <https://www.ide.cl/index.php/flora-y-fauna/item/1513-catastros-de-uso-de-suelo-y-vegetacion>

IDE Minagri. (2019). *Desastres*. IDE minagri. <https://ide.minagri.gob.cl/geoweb/2019/11/21/desastres/>

Instituto para la Resiliencia ante Desastres & Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia. (2022). *Cicatrices Históricas de Incendios*. Plataforma de Datos. <https://www.plataformadedatos.cl/login>

Larrotta, L., González, J., & Rodríguez, A. (2016). *Primates en un paisaje fragmentado de los Montes de María, Colombia: Distribución y estado poblacional de primates en la ecorregión de Montes de María, Colombia*. Editorial Académica Española. https://www.researchgate.net/publication/297238358_Primates_en_un_paisaje_fragmentado_de_los_Montes_de_Maria_Colombia

Lawrence, G. E. (1966). Ecology of Vertebrate Animals in Relation to Chaparral Fire in the Sierra Nevada Foothills. *Ecology*, 47, 278-291. <https://doi.org/10.2307/1933775>

Lombardo, R. R. (2005). ESTUDO DA RECORRÊNCIA DE QUEIMADAS E PERMANÊNCIAS DE CICATRIZES DO FOGO EM ÁREAS SELECIONADAS DO CERRADO BRASILEIRO, UTILIZANDO IMAGENS TM/LANDSAT. Informe de Maestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35395461/2005_Lombardi_Estudo_recorrencias_MSc_INPE2003-libre.pdf?1415029516=&response-content-

disposition=inline%3B+filename%3DMuniro_Avelino_Amad_Sultan.pdf&Expires=1698513811&Signature=T3L5yu8ulpKR~f0Voom08CeYC-75f

Manzur, M. I. (2005). *Situación de la biodiversidad en Chile: Desafíos para la sustentabilidad.* Programa Chile Sustentable. https://www.researchgate.net/publication/327212139_Situacion_de_la_biodiversidad_en_Chile_Desafios_para_la_sustentabilidad

Márquez C, G., & Valenzuela, E. (2008). ESTRUCTURA ECOLÓGICA Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL AMBIENTAL: APROXIMACIÓN CONCEPTUAL Y METODOLÓGICA A PARTIR DEL PROCESO DE ORDENACIÓN DE CUENCAS. *Gestión y Ambiente*, 11(2), 137-148. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169420291010>

Martín, M., & Pascual, C. (2000). *Los ecotonos como indicadores de biodiversidad en los ecosistemas forestales* [Actas del Congreso de Ordenación y Gestión Sostenible de Montes: Santiago de Compostela, 4-9 de octubre de 1999]. España, Santiago de Compostela. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8386262>

Matteucci, S. (2010). El paisaje desde la ecología de paisajes. *Universidad de Buenos Aires. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Grupo de Ecología del Paisaje y Medio Ambiente; Fronteras*, 9(9), 32-35. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/90701>

McGarigal, K., & Marks, B. (1995). *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure.* <https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-351>

Medina, A. (2021). *Incendios forestales y cambio climático.* INECOL. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1424-incendios-forestales-y-cambio-climatico>

Ministerio del Medio Ambiente. (2020). Capítulo 7: Biodiversidad. In *Informe del estado de Medio Ambiente* (p. 857). <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/04/7-biodiversidad.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente & ONU Medio Ambiente. (2020). *Planificación Ecológica a escala local 1:25.000, para todos los municipios pertenecientes al área del proyecto GEF Montaña.* Dr. Alexis Vásquez, Dr. Emanuel Giannotti, Dr. Álvaro G. Gutiérrez, Dr. Ezio Costa, Elizabeth Galdámez, Ms. Ignacio Núñez, Camila Muñoz, Aaron Hebel, Macarena Martinic y Héctor Yáñez.

MMA, SEREMI Biobío, & Universidad de Concepción. (2016). *Resumen de la Metodología para el Diseño de una Infraestructura Ecológica* [Conferencia]. https://www.u-cursos.cl/fau/2016/1/GEO-802/1/material_docente/bajar?id_material=1361721

MMA - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. (2018). *Planificación ecológica de la infraestructura ecológica de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos y programa regional de prioridades de restauración ecológica en el contexto de los incendios de la temp. 2016-2017: aplicación en Reg. de Valparaíso.* <http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=2cd4e880-9b2d->

4ce9-8a70-
c1887c923681&fname=Informe%20Final%20Planificaci%C3%B3n%20Ecologica%20Regi%C3%B3n%20de%20Valpara%C3%ADso%20(1).pdf&access=public

Morláns, M. C. (2005). *Introducción a la Ecología del Paisaje*. Editorial Científica Universitaria - Universidad Nacional de Catamarca. <http://editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/Ecologia/imagenes/pdf/001-Introduccion-del-paisaje.pdf>

Morláns, M. C. (2013). *Estructura del paisaje (matriz, parches, bordes, corredores), sus funciones, fragmentación del hábitat y su efecto borde*. Universidad Nacional de Catamarca, Área Ecología. <http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/Ecologia/imagenes/pdf/004-estructuradepaisaje.pdf>

Myers, N., Mittermeier, R., Mittermeier, C., da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853-858. <https://doi.org/10.1038/35002501>

Novoa Galaz, F. J. (2019). *Efectos de los incendios forestales sobre los gremios de aves del bosque templado andino del sur de Chile*. <https://doi.org/10.7764/tesisUC/AGR/23015>

O'Neill, R. O., Krummel, J. R., Gardner, R. H., Sugihara, G., Jackson, B., DeAngelis, D., Milne, B. T., Turner, M. G., Zygmunt, B., Christensen, S. W., Dale, V. H., & Graham, R. L. (1988). Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1, 153-162. <https://doi.org/10.1007/BF00162741>

Pais, C., Carrasco, J., Martell, D. L., Weintraub, A., & Woodruff D. L. (2021). *Cell2Fire: A Cell-Based Forest Fire Growth Model to Support Strategic Landscape Management Planning*. *Front. For. Glob. Change* 4:692706. doi: 10.3389/ffgc.2021.692706

García, F., & Abad, J. (2014). *Los corredores ecológicos y su importancia ambiental: Propuestas de actuación para fomentar la permeabilidad y conectividad aplicadas al entorno del río Cardeña (Ávila y Segovia)*. 17: 253.

Romero, H., & Vásquez, A. (2009). El crecimiento espacial de las ciudades intermedias chilenas de Chillán y Los Ángeles y sus impactos sobre la ecología de paisajes urbanos. In *América Latina: Sociedade e meio Ambiente* (CLACSO Livros, Departamento de geografía, Universidad de Sao Paulo ed., pp. 109-136). A. Geraiges, J. Sánchez y A. Luchiari. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/118088/EI%20crecimiento%20espacial%20de%20las%20ciudades%20intermedias%20chilenas%20de%20Chillan%20y%20Los%20Angeles%20y%20sus%20impactos%20sobre%20la%20ecologia%20de%20p.pdf?sequence=1>

Santos, T., & Telleria, J. L. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas*, 2, 3-12. https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-33471/2006_Ecosistemas_2_3.pdf

Scott, A. C., et al. (2013). *Fire on earth: an introduction*. John Wiley & Sons.

Seremi del Medio Ambiente y Gobierno Regional del Biobío. (2022). *Política Pública Regional para la Conservación de la Biodiversidad de la Región del Biobío, 2022-2035.* <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/06/Politica-de-Biodiversidad-Region-del-Biobio-27-07-2022.pdf>

Silva Varela, A. M. (2022). *Cálculo de métricas de fragmentación para las coberturas naturales presentes en el Municipio de Chía Cundinamarca, a partir del uso de imágenes satelitales Landsat para los años 2003 y 2022.* <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/43676/SilvaVarelaAngelicaMaria2022.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sukachev, V., & Dylis, N. (1964). *Fundamentals of forest biogeocoenology.* Traducido [del Ruso] por J. M. MacLennan. Oliver & Boyd.

Torreblanco Davila, S., & Fuentes Nay, H. (2014). Estimación de la tasa de áreas quemadas (cicatrices de quemadas) en el departamento de Pando periodo 2005-2010. Trabajo de Grado. Obtenido de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/21459/CICATRICES%20DE%20QUEMAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Troll, C. (2003). Ecología del paisaje. *Gaceta Ecológica*, 68, 71-84. <https://www.redalyc.org/pdf/539/53906808.pdf>

Valdés, A. (2011). *Modelos de paisaje y análisis de fragmentación: de la biogeografía de islas a la aproximación de paisaje continuo.* *Ecosistemas*, 20(2-3). <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/19>

Vega, J. (2007). *Bases ecológicas para la restauración preventiva de zonas quemadas. Thematic Session 8- Restauración de zonas quemadas-Vega, J.A.* https://gfmcc.online/doc/cd/INTRODUCTORIAS_ST/Vega_ST3.pdf

Vera, D. (2021). Hectáreas afectadas por incendios forestales disminuyeron un 65% este verano en comparación a 2020. *BioBioChile.* <https://www.biobiochile.cl/especial/aqui-tierra/noticias/2021/03/04/hectareas-afectadas-por-incendios-forestales-disminuyeron-un-65-este-verano-en-comparacion-a-2020.shtml>

Vergara, P., Pérez-Hernández, C., Hahn, I., & Soto, G. (2013). Deforestation in central Chile causes a rapid decline in landscape connectivity for a forest specialist bird species. *Ecological Research*, 28, 481–492. <https://doi.org/10.1007/s11284-013-1037-x>

Vila, J., Varga, D., Llausàs, A., & Ribas, A. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 48, 151-166. https://www.researchgate.net/publication/39107731_Conceptos_y_metodos_fundamentales_en_ecologia_del_paisaje_landscape_ecology_Una_interpretacion_desde_la_geografia

ANEXOS

Anexo N°1: Comunas pertenecientes al proyecto de Infraestructura Ecológica

Región	Comuna	
Metropolitana	Alhué	Melipilla
	Buín	Padre Hurtado
	Calera de Tango	Paine
	Colina	Peñafor
	Curacaví	Peñalolén
	El Monte	Pirque
	Huechuraba	Pudahuel
	Isla de Maipo	Puente Alto
	La Florida	Quilicura
	La Reina	San Bernardo
	Lampa	San José de Maipo
	Las Condes	San Pedro
	Lo Barnechea	Talagante
	Maipú	Til Til
	María Pinto	Vitacura
Valparaíso	Cartagena	Quilpué
	Casablanca	San Antonio
	Olmué	Santo Domingo

Fuente: Elaboración propia en base a los datos otorgados por MMA - ONU Medio Ambiente (2020), 2023.

Anexo N°2: Distancia al Vecino más Cercano para Infraestructura Ecológica

	AICA	AV	CP	CPOT	CS	GCA	NO	NU	PP	ZACP200	ZACP50	ZACS200	ZACS50	ZANU
Min	60,00	127,28	60,00	67,08	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
Max	14970,12	2473,86	11148,54	3448,04	13879,50	13032,89	13051,10	11718,49	4980,00	8158,07	11287,06	12947,67	13244,99	2357,05
Q1	60,00	211,60	67,08	276,59	67,08	67,08	67,08	60,00	150,00	67,08	60,00	67,08	67,08	60,00
Q3	104,84	713,09	187,92	806,38	67,08	451,00	504,67	84,85	2349,17	150,00	180,00	150,00	480,93	120,00
RIC	44,84	501,49	120,84	529,79	0,00	383,92	437,59	24,85	2199,17	82,92	120,00	82,92	413,85	60,00
Q1-Min	0,00	84,32	7,08	209,50	7,08	7,08	7,08	0,00	90,00	7,08	0,00	7,08	7,08	0,00
Med-Q1	15,97	171,93	17,77	208,08	0,00	112,92	60,20	7,08	690,00	52,92	7,08	52,92	60,20	7,08
Q3-Med	28,87	329,57	103,07	321,71	0,00	271,00	377,39	17,77	1509,17	30,00	112,92	30,00	353,65	52,92
Max-Q3	14865,28	1760,77	10960,62	2641,67	13812,42	12581,89	12546,43	11633,63	2630,83	8008,07	11107,06	12797,67	12764,06	2237,05
Promedio	1042,27	556,68	429,06	575,87	120,44	564,10	652,53	136,47	1537,94	194,60	347,72	288,90	654,82	118,60
Mediana (Q2)	75,97	383,53	84,85	484,66	67,08	180,00	127,28	67,08	840,00	120,00	67,08	120,00	127,28	67,08
Límite Bigote	172,10	1465,33	369,19	1601,06	67,08	1026,87	1161,05	122,13	5647,93	274,38	360,00	274,38	1101,71	210,00
Valores Atípicos	3	5	113	5	255	205	54	71	0	57	88	137	63	551

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

Anexo N°3: Área de Infraestructura Ecológica afectada en hectáreas por Incendios Forestales por Región durante el período 2002-2017

IE	Metropolitana	Valparaiso	Total general
Área de influencia cursos de agua	177,32	0,00	177,32
Corredores potenciales	0,16	0,00	0,16
Corredores Principales	382,40	46,90	429,31
Corredores Secundarios	15,50	46,51	62,01
Glaciares y cuerpos de agua	35,93	33,59	69,52
Nodos	4131,17	1262,93	5394,10
Nucleos	28022,06	4443,54	32465,60
ZA Cor. Principales 200m	1563,39	261,77	1825,17
ZA Cor. Principales 50m	477,02	42,60	519,62
ZA Cor. Secundarios 200m	353,07	182,07	535,14
ZA Cor. Secundarios 50m	80,77	37,82	118,59
ZA Nucleos	16109,31	3023,93	19133,24
Total general	51348,10	9381,67	60729,77

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

Anexo N°4: Área de Infraestructura Ecológica afectada en hectáreas por Incendios Forestales por año durante el período 2002-2017

AÑO/IE	NÚCLEOS	NODOS	C. PRINCIPAL	C. SECUNDARIO	C. POTENCIAL	Á. PROTEGIDAS	ZANU	ZACP200	ZACP50	ZACS200	ZACS50
2002	237,60	10,06	16,67	0,16	0,06	0,00	673,20	78,70	27,00	0,90	3,50
2003	602,20	7,63	10,2	0,62	0,00	13,10	482,60	64,80	15,30	42,60	6,30
2004	1872,00	229,10	10,788	3,06	0,00	0,00	1392,70	58,40	17,90	112,60	17,30
2005	1090,50	313,50	34,9	1,03	0,00	0,00	544,60	90,90	32,00	9,80	3,60
2006	287,70	155,50	31,95	0,31	0,02	78,50	512,70	135,90	51,80	4,85	0,03
2007	47,70	26,09	0	0,00	0,00	14,97	204,20	0,00	0,00	10,48	0,40
2008	89,60	3,81	11,35	0,49	0,00	0,00	310,50	96,30	27,10	9,70	1,84
2009	1721,26	53,29	11	0,00	0,00	0,00	539,20	34,00	10,10	8,30	0,18
2010	3514,90	1925,75	49,97	2,07	0,04	0,00	1823,40	158,40	62,50	31,10	4,20
2011	2112,80	602,80	81,3	1,01	0,02	0,00	1719,10	226,20	89,80	32,00	0,38
2012	345,70	8,90	0,20	0,00	0,00	3,63	208,50	0,33	0,00	0,00	0,00
2013	166,20	60,00	0	1,17	0,00	16,20	211,80	5,92	0,31	45,00	4,30
2014	7801,30	337,60	50,2	0,49	0,00	166,46	7610,80	485,50	101,20	42,90	7,00
2015	388,40	51,20	13,8	8,00	0,00	0,00	271,20	70,30	15,30	55,70	21,70
2016	81,62	204,60	24,7	5,30	0,00	0,00	12,55	12,00	2,64	0,00	0,00
2017	10255,90	602,70	118,3	0,49	0,01	246,50	2612,40	307,10	66,70	129,00	31,00
TOTAL	30615,38	4592,53	465,34	24,21	0,16	539,36	19129,45	1824,75	519,65	534,93	101,73
%	8,10%	17,00%	4,00%	0,01%	0,00%	0,16%	5,80%	7,70%	5,90%	2,47%	1,19%

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

Anexo N°5: Distancia al Vecino más Cercano para Infraestructura Ecológica afectada por Incendios Forestales durante el período 2018-2022

	AICA	AV	CP	CPOT	CS	GCA	NO	NU	PP	ZACP200	ZACP50	ZACS200	ZACS50	ZANU
Min	60,00	127,28	60,00	67,08	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
Max	14970,12	2473,86	11148,54	3448,04	13879,50	13032,89	13051,10	5502,12	4980,00	8158,07	11287,06	12947,67	13244,99	2357,05
Q1	60,00	211,60	67,08	276,59	67,08	67,08	67,08	60,00	150,00	67,08	60,00	67,08	67,08	60,00
Q3	104,84	713,09	180,00	806,38	67,08	451,00	432,67	90,00	2349,17	150,00	152,97	150,00	454,97	120,00
RIC	44,84	501,49	112,92	529,79	0,00	383,92	365,58	30,00	2199,17	82,92	92,97	82,92	387,89	60,00
Q1-Min	0,00	84,32	7,08	209,50	7,08	7,08	7,08	0,00	90,00	7,08	0,00	7,08	7,08	0,00
Med-Q1	15,97	171,93	17,77	208,08	0,00	112,92	41,08	7,08	690,00	52,92	7,08	52,92	56,61	7,08
Q3-Med	28,87	329,57	95,15	321,71	0,00	271,00	324,50	22,92	1509,17	30,00	85,89	30,00	331,28	52,92
Max-Q3	14865,28	1760,77	10968,54	2641,67	13812,42	12581,89	12618,44	5412,12	2630,83	8008,07	11134,09	12797,67	12790,02	2237,05
Promedio	1042,27	556,68	417,37	575,87	120,43	564,10	578,17	119,43	1537,94	194,28	333,33	278,01	628,79	117,88
Mediana (Q2)	75,97	383,53	84,85	484,66	67,08	180,00	108,17	67,08	840,00	120,00	67,08	120,00	123,69	67,08
Límite Bigote	172,10	1465,33	349,38	1601,06	67,08	1026,87	981,04	135,00	5647,93	274,38	292,43	274,38	1036,80	210,00
Valores Atípicos	3	5	114	5	258	205	60	86	0	57	109	136	62	572

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

Anexo N°6: Superficie de Zonas de Amortiguación afectada por Incendios Forestales durante el período 2018-2022

Zonas de Amortiguación	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	Superficie Total Afectada (ha)	%
ZA Núcleos	1283,29	911,63	1507,61	276,56	3979,09	1.21%
ZA Corredores Principales 50m	91,38	3,68	0	0	95,05	1.08%
ZA Corredores Principales 200m	268,12	24,10	0	0	292,22	1.23%
ZA Corredores Secundarios 50m	17,02	1,42	7,09	0,00	25,53	0.30%
ZA Corredores Secundarios 200m	70,13	7,38	25,96	0,88	104,34	0.48%

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

Anexo N°7: Corredores Principales Afectados por Incendios Forestales durante el período 2018-2022

Año	Corredores Principales Afectados	Superficie Afectada Total (ha)	%
2018-2019	13	49,61	0,38%
2019-2020	1	4,19	0,03%
2020-2021	0	0	0,00%
2021-2022	0	0	0,00%
Total	14	53,80	0,41%

Fuente: Elaboración Propia, 2023.

Anexo N°8: Corredores Secundarios Afectados por Incendios Forestales durante el período 2018-2022

Año	Corredores Secundarios Afectados	Superficie Afectada total (ha)	%
2018-2019	4	5,07	0,1%
2019-2020	0	0	0,0%
2020-2021	0	0	0,0%
2021-2022	0	0	0,0%
Total	4	5,07	0,1%

Fuente: Elaboración Propia, 2023.