



Universidad de Chile  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Escuela de Pregrado  
Carrera de Geografía

ANÁLISIS DE LA FRAGMENTACIÓN DEL PAISAJE ASOCIADA AL PROYECTO  
“AUTOPISTA ORBITAL NORPONIENTE” SOBRE LA ZONA DE INFLUENCIA  
ECOLÓGICA DEL SANTUARIO DE LA NATURALEZA QUEBRADA DE LA PLATA,  
COMUNA DE MAIPÚ

Memoria para optar al título profesional de Geógrafa

VANESSA ANDREA ROJAS BUSTOS

Profesor guía: Gino Sandoval Verdugo

SANTIAGO - CHILE  
2023

## **Agradecimientos**

En primer lugar me gustaría agradecer a mis padres, Luis y Flavia, quienes han sido mis pilares fundamentales a lo largo de mis 23 años. Gracias a su esfuerzo, dedicación y constante apoyo que me han brindado, tanto en los buenos como en los malos momentos. Gracias por inculcarme valores e incentivar me a estudiar siempre. Los amo y espero se sientan orgullosos de mí.

Agradezco a mi profesor guía, Gino Sandoval, por el gran apoyo, preocupación y por la paciencia infinita que me brindó a lo largo de mi proceso de memoria. Por lejos el mejor profesor que tiene la FAU, que con su tremenda vocación y dedicación fue posible llegar hasta el final de esto. Gracias totales.

A mis hermanos, Diego y Camilo, les agradezco por el cariño y enseñanzas que me han entregado. Gracias por las risas y buenos momentos juntos y por tener que aguantar las mañas y caprichos de su hermanita chica. A mis sobrinos Matías, Alondra y Violeta por ser la alegría de la familia desde que llegaron a nuestras vidas.

A mi perrito Omar que hoy en día está en el cielo, pero que durante 14 años movió su colita cada vez que me veía llegar a la casa. Y por supuesto a mi perrito Koda que hace un año vino a alborotar la vida de todos, gracias por ser la contención de mi día a día y por llevarme tus pelotas para jugar cuando más estresada estaba.

Quiero agradecer a mis mejores amigas de toda la vida Nicole, Alejandra y Carolina, quienes sin ellas mi vida no sería igual. Gracias por cruzarse en mi camino hace más de 10 años, por la lealtad, el cariño y las risas infinitas que siempre me entregan, las amo por siempre y sé que esta amistad perdurará.

Gracias a Quebrada de La Plata y su tremendo equipo por permitirme trabajar con ustedes, agradezco a este lugar por ayudarme a encontrar mi rumbo en la Geografía y a las personas maravillosas que conocí, siempre los llevaré en mi corazón. Y todos aquellos que fueron y son parte de mi vida, simplemente muchas gracias.

## Resumen

El Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata ubicado en la Cordón montañoso de la Cordillera de la Costa, específicamente el extremo poniente de la comuna de Maipú es una de las Áreas Protegidas más cercana a la ciudad de Santiago, considerado como uno de los 35 “hotspot” de conservación a nivel mundial. A lo largo de los años ha sido afectada por diversas acciones antrópicas como incendios forestales, emplazamiento de mineras ilegales y el ingreso no controlado de ciclistas y motociclistas.

Actualmente existe una potencial amenaza asociada al proyecto “Autopista Orbital Norponiente” dirigido por el Ministerio de Obras Públicas (MOP), el cual se emplazaría entre las Comunas de Colina, Lampa, Pudahuel, Maipú, Padre Hurtado y Peñaflores, comprendiendo un tramo de 46 km. Sin embargo, una de las zonas más significativas por donde pasa el trazado corresponde a los límites del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata y de la Estación Experimental Greve, cuya intervención afectaría importantes quebradas y cordones de cerros pertenecientes al Sitio Prioritario “El Roble”, los cuales son fundamentales para la conectividad ecológica en la Zona de Influencia del Santuario.

Dado ese contexto, la finalidad de esta investigación está orientada en el análisis de la fragmentación del paisaje asociada al potencial proyecto “Autopista Orbital Norponiente” sobre la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata, considerando el escenario actual y dos escenarios contrafactuales, donde se integran elementos que potencialmente podrían fragmentar los componentes ecológicos y a su vez se incorporan elementos que eventualmente podrían mitigar dicha fragmentación.

A partir de ello, se llega a la conclusión de que en el escenario actual la Zona de Influencia Ecológica presenta una muy baja fragmentación, en comparación con el segundo escenario donde se aumentan los niveles de fragmentación al integrar la potencial Autopista Orbital Norponiente como elemento fragmentador. Por otro lado, al incorporar potenciales corredores biológicos que atraviesen parte del trazado de la autopista se da cuenta de la disminución en los niveles de fragmentación del paisaje, siendo una alternativa beneficiosa para la recuperación de la conectividad ecológica de la Zona de Influencia Ecológica.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN</b> .....	7
<b>1.1 Introducción</b> .....	7
<b>1.2 Planteamiento del problema</b> .....	8
<b>1.3 Estado del asunto</b> .....	12
1.3.1 Estudio del Paisaje.....	12
1.3.2 Zonas de Influencia Ecológica.....	13
1.3.3 Fragmentación del paisaje.....	14
1.3.4 Fragmentación del paisaje por infraestructuras viales .....	15
1.3.5 Formas de abordar los efectos producidos por obras viales.....	16
<b>1.4 Área de estudio</b> .....	18
<b>1.5 Objetivos de investigación</b> .....	21
1.5.1 Objetivo General.....	21
1.5.2 Objetivos específicos.....	21
<b>CAPÍTULO 2: MARCO METODOLÓGICO</b> .....	22
<b>2.1 Definir la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata.</b> .....	22
<b>2.2 Caracterizar a nivel de paisaje la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata.</b> .....	25
2.2.1 Descripción de los usos y coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica .....	25
2.2.2 Análisis de las métricas clásicas de fragmentación del paisaje para la Zona de Influencia Ecológica .....	28
<b>2.3 Caracterizar los potenciales efectos ecológicos por fragmentación a nivel de paisaje, asociados al proyecto "Autopista Orbital Norponiente" en la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata.</b> .....	29
2.3.1 Aplicación de las métricas de fragmentación del paisaje considerando tres escenarios distintos para el área de estudio .....	29
2.3.2 Aplicación de las métricas de fragmentación del paisaje según los usos y coberturas de suelo del área de estudio, considerando tres escenarios distintos .....	32
<b>CAPÍTULO 3: RESULTADOS</b> .....	34
<b>3.1 Delimitación zona de influencia ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata</b> .....	34
<b>3.2 Caracterización a nivel de paisaje de la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata.</b> .....	40
3.2.1 Descripción de los usos y coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica .....	40

3.2.2 <i>Análisis de las métricas clásicas de fragmentación del paisaje para la Zona de Influencia Ecológica</i> .....	44
<b>3.3 Caracterización los potenciales efectos ecológicos por fragmentación a nivel de paisaje asociados al proyecto "Autopista Orbital Norponiente" en la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata, Comuna de Maipú.</b> .....	48
3.3.1 <i>Aplicación de las métricas de fragmentación del paisaje considerando tres escenarios distintos para el área de estudio</i> .....	48
3.3.2 <i>Aplicación de las métricas de fragmentación del paisaje según los usos y coberturas de suelo del área de estudio, considerando tres escenarios distintos</i> .....	52
<b>CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b> .....	64
4.1 <b>Discusión</b> .....	64
4.2 <b>Conclusiones</b> .....	67
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b> .....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Proyecto Orbital Norponiente a Santiago .....	11
<b>Figura 2.</b> Ubicación del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata, comuna de Maipú. ....	19
<b>Figura 3.</b> Esquema metodológico del Objetivo 1. ....	23
<b>Figura 4.</b> Representación del índice de fragmentación "Tamaño efectivo de malla" (MSIZ). ....	29
<b>Figura 5.</b> Representación del índice Método de conexión transfronteriza (CBC) .....	30
<b>Figura 6.</b> Niveles de fragmentación según Métricas CBC .....	31
<b>Figura 7.</b> Elementos fragmentadores del paisaje .....	31
<b>Figura 8.</b> Mapa de la actual Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata, comuna de Maipú, Sector Rinconada. ....	34
<b>Figura 9.</b> Propuesta de extensión de la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata, comuna de Maipú, Sector Rinconada. ....	35
<b>Figura 10.</b> Mapa de criterios utilizados para delimitar nueva extensión de la Zona de Influencia Ecológica .....	38
<b>Figura 11.</b> Mapa de pendiente de la Zona de Influencia Ecológica.....	39
<b>Figura 12.</b> Catastro de los Usos y Coberturas de Suelo correspondiente a la Zona de Influencia Ecológica .....	41
<b>Figura 13.</b> Tamaño promedio de parches (MPS) de la Zona de Influencia Ecológica. ....	45
<b>Figura 14.</b> Comparación entre número de parches (NP) y la densidad de parches (DP) en relación con los Usos y Coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica.....	47
<b>Figura 15.</b> Aplicación de las métricas de fragmentación del paisaje para el escenario actual de la Zona de Influencia Ecológica .....	49

<b>Figura 16.</b> Aplicación de las métricas de fragmentación del paisaje para la Zona de Influencia Ecológica considerando la potencial Autopista Orbital Norponiente como elemento de fragmentación .....	50
<b>Figura 17.</b> Prototipo de corredor biológico, estructura tipo Box con pasarelas bajas .....	51
<b>Figura 18.</b> Aplicación de las métricas de fragmentación del paisaje para la Zona de Influencia Ecológica considerando potencial infraestructura vial como elemento de fragmentación e incorporando corredores biológicos. ....	52
<b>Figura 19.</b> Aplicación de métricas de fragmentación del paisaje según los usos y coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica.....	53
<b>Figura 20.</b> Aplicación de métricas de fragmentación del paisaje según los usos y coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica, considerando la potencial Autopista Orbital Norponiente como elemento de fragmentación.....	56
<b>Figura 21.</b> Aplicación de métricas de fragmentación del paisaje según los usos y coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica, considerando infraestructura vial como elemento de fragmentación e incorporando corredores biológicos. ....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tipología de uso y cobertura de suelo .....	26
<b>Tabla 2.</b> Tabla de Atributos de las Estadísticas por Categorías .....	33
<b>Tabla 3.</b> Datos estadísticos de los Usos y Coberturas de Suelo de la Zona de Influencia Ecológica.....	42
<b>Tabla 4.</b> Métricas clásicas de la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata .....	44
<b>Tabla 5.</b> Estadísticas de las métricas de fragmentación del paisaje según usos y coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica, considerando escenario actual. ....	54
<b>Tabla 6.</b> Aplicación de métricas de fragmentación del paisaje según los usos y coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica, considerando la potencial Autopista Orbital Norponiente como elemento de fragmentación. ....	57
<b>Tabla 7.</b> Estadísticas de las métricas de fragmentación del paisaje según usos y coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica, considerando infraestructura vial como elemento de fragmentación e incorporando corredores biológicos.....	61
<b>Tabla 8.</b> Resumen de las estadísticas por categoría de las métricas de paisaje para tres escenarios distintos .....	63

# CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

## 1.1 Introducción

El crecimiento y desarrollo urbano experimentado en las últimas décadas en las principales metrópolis de América Latina ha revelado un evidente proceso de expansión urbana de carácter difuso y fragmentado, el cual ha comenzado a transformar la forma en la cual había sido concebida la ciudad hasta ahora (Mansilla, 2011). Conjuntamente la ciudad de Santiago ha experimentado transformaciones significativas que modificarán considerablemente su estructura urbana (Greene y Mora, 2005), en ese contexto, uno de los principales cambios impulsados por el Gobierno nacional ha sido el plan de modernización del sistema de transporte, tanto público como privado, destacando la construcción de un sistema de autopistas al interior de la ciudad, en donde los espacios sujetos a drásticas transformaciones corresponden principalmente a la periferia urbana, la cual en su condición de transición entre lo rural y lo urbano, se ha vuelto cada vez más difuso y difícil de delimitar (Mansilla, 2011).

Actualmente, el Ministerio de Obras Públicas está desarrollando como parte de la planificación estratégica un proyecto vial denominado “Autopista Orbital Norponiente” el cual se divide en un primer tramo de 24 kms que recorre las comunas de Peñaflor, Calera de Tango y San Bernardo y un segundo tramo de 46 kms que conecta las comunas de Colina, Lampa, Pudahuel, Maipú y Padre Hurtado. El proyecto Orbital Norponiente es concebido bajo criterios de transporte que datan del Plan Regulador Metropolitano de Santiago 100 del año 1997, desviándose notoriamente de los actuales Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU (López, 2023), por lo cual, no considera que parte del trazado atravesaría extensas áreas rurales e incluso áreas silvestres protegidas como el Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata y parte del Sitio Prioritario El Roble. A pesar de que las redes viales mejoran la vialidad circundante de las comunas y permiten el traslado de carga y pasajeros de un lugar a otro con mayor facilidad, la construcción, operación y mantenimiento de esta infraestructura genera impactos ambientales directos e indirectos de diversos tipos que deben ser identificados y analizados para darles un manejo adecuado (Correa, 2020).

La ampliación de las vías de transporte en sectores rurales y periurbanos constituye una de las principales causas de la fragmentación, tanto por la pérdida física de la superficie como también por la ruptura en el funcionamiento del territorio, percibido como un sistema integral. El emplazamiento de infraestructuras viales ocasiona cambios en el territorio, tanto estructurales (urbanización) como funcionales (incremento del volumen de tráfico) que multiplican el efecto fragmentador en el paisaje (MARM, 2010 citado en Gallardo y Contreras, 2016). Por todo lo anterior se vuelve importante estudiar la fragmentación de los territorios a escala de paisaje, ante eventuales agentes fragmentadores. En vista de eso, en la presente investigación se busca analizar la potencial fragmentación del paisaje asociada al proyecto Orbital Norponiente sobre la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata, mediante la descripción e identificación de sus usos y coberturas de suelo, sumado a la aplicación de métricas de fragmentación del paisaje para tres escenarios distintos en el área de estudio.

## 1.2 Planteamiento del problema

Durante las últimas décadas del siglo XX y principios del siglo XXI han ocurrido importantes cambios socioeconómicos y urbanos, los cuales han ocasionado numerosas transformaciones ambientales a diferentes escalas espacio-temporales que han modificado la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, afectando negativamente a la biodiversidad (Gallardo y Contreras, 2016). Las transformaciones más importantes en el paisaje han ocurrido como consecuencia de la utilización de los hábitats naturales para el aprovechamiento de los seres humanos (Vallecillo Rodríguez, 2009 citado en Gallardo y Contreras, 2016). Debido a lo anterior, diversos ecosistemas se han visto afectados por fuertes alteraciones, donde muchos de ellos llegan a ser completamente destruidos por acciones antrópicas (Orellana, 2006), así se demostró en Brasil a través de un análisis de fotografías aéreas y satelitales en donde las carreteras construidas en la Amazonía contribuyeron a acelerar la deforestación a gran escala, convirtiendo los bosques en pastizales y generando amenazas a los asentamientos humanos más próximos, además de graves pérdidas de suelo y biodiversidad.

Siguiendo la idea anterior, cabe señalar que el porcentaje de suelo deforestado entre los años 1973 y 1980 luego de la apertura de la ruta BR-364 en Amazonía, aumentó de un 6% a un 50% (Smith y Armesto, 2002). Una situación similar se ha evidenciado en territorio nacional, según el estudio realizado por Gallardo y Contreras (2016) el emplazamiento de la autopista Valle Biobío (comuna de Concepción) comprende poblados que rodean la laguna Pineda, un humedal de tipo lacustre, en el cual durante los últimos diez años se ha observado el crecimiento de procesos de fragmentación del paisaje asociados al aumento de zonas urbanas, la construcción de la autopista Biobío y otros procesos de tala y deforestación, generando un descenso en la biodiversidad de dicha zona en donde el cambio más significativo ha sido la pérdida de superficie de praderas (Gallardo y Contreras, 2016).

Diversos ecosistemas del territorio nacional han experimentado transformaciones en el paisaje debido al incremento demográfico y a los procesos de urbanización, causando importantes repercusiones geográficas relacionadas a la degradación ambiental (García, 1997). Uno de los ecosistemas que más se ha visto afectados es el ecosistema mediterráneo, el cual se extiende entre el sur de Coquimbo y la región del Ñuble, este ecosistema posee una alta diversidad de especies tanto de flora como de fauna, convirtiéndose en uno de los 35 hotspots de biodiversidad reconocido a nivel mundial producto de su alto nivel de endemismo, pero a la vez se destaca por el alto grado de amenaza de actividades antrópicas (Fundación Terram, 2020) tales como la presión forestal, agrícola e inmobiliaria. Dicho esto, la ecorregión mediterránea se encuentra escasamente protegida por lo cual se ha visto afectada principalmente en la pérdida de hábitat, estimándose que más del 80% de la superficie del bosque y matorral esclerófilo original ha sido transformado por el ser humano, posicionando a este ecosistema como uno de los que corre más riesgo de desaparecer en toda Sudamérica (Fernández, Riquelme, Robledo & Koplów, 2020).

La disminución de las áreas boscosas en las zonas mediterráneas de Chile se relaciona principalmente con el significativo empobrecimiento de los espacios naturales ubicados en las proximidades de grandes zonas urbanas y que son utilizados por la población para el esparcimiento y la recreación (Tapia, 2005 citado en Facultad de Ciencias Agronómicas. (2020). Como se mencionó en el párrafo anterior, a lo largo de la zona central de Chile se encuentran mayormente los ecosistemas mediterráneos, los cuales han sido transformados a través de la construcción de infraestructuras viales, provocando graves efectos en el entorno natural. A pesar de que las carreteras y autopistas son un factor fundamental para el desarrollo socioeconómico (Saavedra et al., 2018) y conectividad entre ciudades, es posible señalar algunos efectos que generan dichas infraestructuras tales como la alteración en la dinámica hidrológica, cambios en el microclima, producción de material particulado, contaminación acústica, cambio en el uso de suelo, entre otros (Arroyave et al., 2006). Junto con lo anterior, según AEMA (2013) el enlace entre zonas urbanizadas mediante infraestructuras lineales, como las carreteras, las vías férreas u otros corredores de transporte tienen como consecuencia la fragmentación del paisaje. Este proceso de fragmentación es el resultado de la transformación de grandes extensiones de hábitats en fragmentos más pequeños y aislados, en donde suelen ser más evidentes en regiones urbanizadas o de uso intensivo. Además está considerado como una de las principales amenazas para la conservación de los organismos y los ecosistemas debido al riesgo de extinción de las poblaciones de sus hábitats originales (Forman y Godron, 1981 citado en Gallardo y Contreras, 2016).

Bajo ese contexto, la fragmentación del paisaje provocada por las infraestructuras viales y las zonas urbanizadas tiene una serie de efectos negativos. Concretamente, una de las consecuencias directas de la fragmentación es la reducción de la cobertura boscosa, lo que a su vez genera una disminución de la biodiversidad, sin embargo, no solo afecta a las especies que habitan en ese espacio, sino que también a otras comunidades que requieren hábitats continuos para desplazarse y mantener su población de especies (Navarro et al., 2015), lo que reduce la conectividad entre las poblaciones. De la misma manera, el fenómeno de fragmentación aísla poblaciones reduciendo la probabilidad de supervivencia de las especies, así mismo modifica el proceso de interacción entre ellas, por lo que aumenta el riesgo de extinción de los individuos (Navarro et al., 2015). Dado que la fragmentación del paisaje contribuye a la destrucción de los lazos ecológicos establecidos entre zonas adyacentes del paisaje también afecta a comunidades y ecosistemas enteros (AEMA, 2013), y ante esta situación se reduce la movilidad de diversos organismos y especies, lo que trae como consecuencia la limitación de su dispersión, colonización y obtención de alimentos.

Paralelamente cuando un ecosistema es fragmentado por obras viales se cambian significativamente las condiciones bióticas y abióticas de los fragmentos y matriz circundante (Kattan, 2002 citado en Arroyave et al., 2006) originándose nuevas condiciones en el hábitat de las especies, tales como la variación en las temperaturas, menor humedad, mayor radiación y susceptibilidad al viento. Sumado a lo anterior, existe un conjunto de efectos negativos que las infraestructuras viales generan sobre la fauna silvestre, como por ejemplo la pérdida de hábitat, efecto barrera, perturbaciones, funciones ecológicas de los bordes, siendo uno de los más significativos la mortalidad por atropello (MMA, 2006 citado en Saavedra et al., 2018).

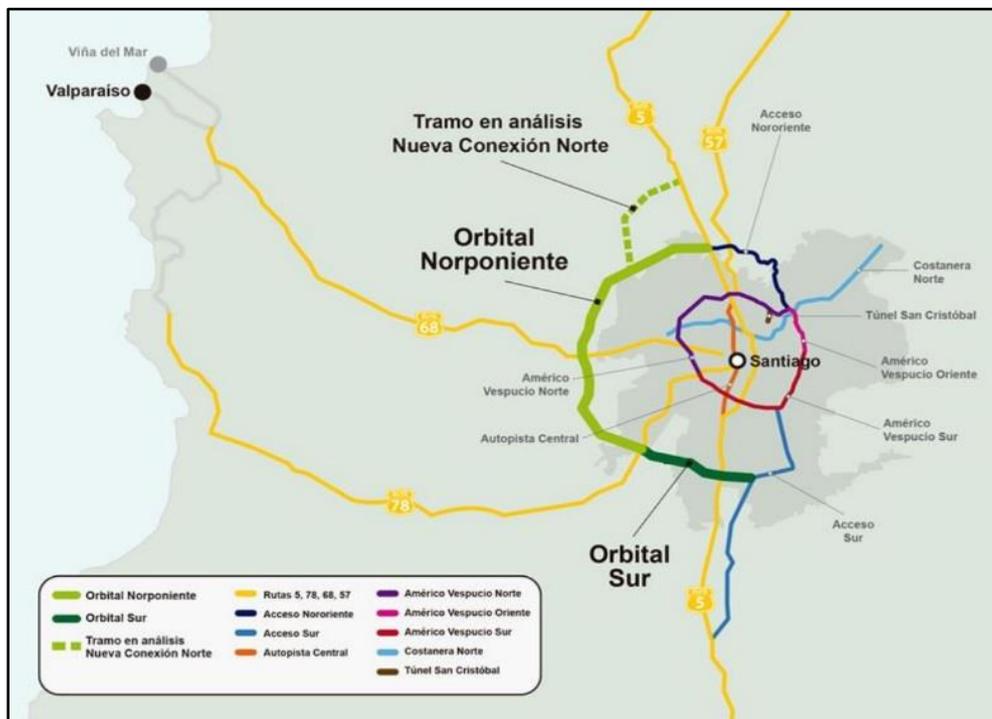
A pesar de que en Chile es escasa la bibliografía donde se reportan las estimaciones que permiten evidenciar el verdadero impacto de la mortalidad por atropello, existen estudios sistemáticos como por ejemplo el realizado por Cañoles et al (2019) en relación con los atropellos de fauna en la ruta que une las localidades de Lo Orozco y Los Molles, en las comunas de Casablanca y Quilpué, provincia del Marga Marga, Región de Valparaíso. A partir de ello, en el área de estudio se registraron alrededor de 382 animales atropellados, correspondientes a mamíferos, aves, reptiles y arácnidos, identificando un total de 56 especies, entre ellas 5 especies introducidas, evidenciando el nivel de exposición al cual se encuentran las distintas poblaciones de animales.

El continuo crecimiento urbano experimentado por la ciudad de Santiago durante los últimos años ha ocasionado numerosos desajustes medioambientales (Frick, 2007), dejando en evidencia importantes efectos en el entorno natural, donde se destaca la degradación del suelo, recurso el cual cumple con importantes funciones ambientales que influyen en la calidad de vida de los habitantes. Junto con esto, existen áreas de gran interés ecológico las cuales podrían estar expuestas a amenazas antrópicas a medida que dicha expansión urbana se aproxime a ellas (Campillay, 2008). Por ejemplo, hacia el sector Oriente de Santiago existen sitios con alto valor ecológico como el Parque Comunitario Panul, el cual ya ha sido alcanzado por la ciudad, encontrándose relativamente cercano a ello. Otro ejemplo de esta situación es la Quebrada de La Plata, ubicada en la comuna de Maipú, la cual a pesar de ser nombrada Santuario de la Naturaleza, no se asegura su protección debido a múltiples actividades ilegales y actividades recreativas no reguladas, sumado al desconocimiento de la importancia del valor ecosistémico que este posee (Campillay, 2008).

Como se mencionó anteriormente, la Quebrada de La Plata es un Santuario de la Naturaleza (en adelante referido como el Santuario), el cual abarca aproximadamente 1.111 hectáreas y se ubica dentro de la Estación Experimental Germán Greve Silva (3.200 ha), en el sector de Rinconada, comuna de Maipú, siendo parte del Sitio Prioritario para la Conservación de la Biodiversidad "El Roble". El Santuario posee un alto grado de endemismo, en relación con las especies de flora presentes en el lugar 137 son endémicas del cono sur del continente, representando el 43% del total de las especies presentes en el lugar (Facultad de Ciencias Agronómicas Universidad de Chile, 2016), en cuanto a la fauna del lugar de un total de 120 especies, 19 están clasificadas como endémicas (Facultad de Ciencias Agronómicas, 2020). Conjuntamente, el Santuario provee diversos servicios ecosistémicos y conforme a sus características socio-naturales se transformó en un espacio para la docencia, extensión, investigación, educación ambiental, conservación y restauración, no obstante, ha sufrido históricamente de diversas alteraciones antrópicas tales como minería ilegal, incendios forestales, motociclismo, ciclismo, camping y caza no regulada, entre otros (Facultad de Ciencias Agronómicas, 2020). Sumándose hoy en día, el potencial desarrollo del proyecto "Autopista Orbital Norponiente", cuyo trazado actualmente se considera a unos 80-100 metros del límite del Santuario, así como también abarca una parte de las dependencias de la Estación Experimental, provocando una latente fragmentación en el paisaje y que a su vez generaría un quiebre en la conectividad ecológica del lugar.

Conforme lo anterior, el Ministerio de Obras Públicas, a través de la Dirección General de Concesiones de Obras Públicas (DGC), está impulsando un potencial proyecto vial denominado “Concesión Orbital Norponiente” (ver Figura 1), el cual corresponde a una autopista concesionada que permitiría conectar la actual Concesión Acceso Nororiente a Santiago con la Ruta 78 y también con la futura concesión Orbital Sur Santiago, lo cual permitiría generar el tramo poniente de una nueva circunvalación en torno a la ciudad de Santiago (Ministerio de Obras Públicas, Dirección General De Concesiones De Obras Públicas, 2022). El trazado del potencial proyecto se desarrollaría desde el enlace Ruta 5 de la Concesión Acceso Nororiente a Santiago, hasta la Ruta 78 en las proximidades del límite norte de la comuna de Peñaflores, pasando por la Ruta 68 en la comuna de Pudahuel. Junto con esto, dicho proyecto considera la materialización de una doble calzada de dos o tres pistas por sentido, con accesos controlados, calles de servicio, pasarelas, puentes, túneles, entre otras obras, con una extensión de 46 kilómetros aproximadamente emplazándose a través de las comunas de Lampa, Pudahuel, Padre Hurtado, Peñaflores y Maipú.

**Figura 1** Proyecto Orbital Norponiente a Santiago



Fuente: Dirección General de Concesiones, Ministerio de Obras Públicas, 2022.

Para esta investigación el área de interés es Quebrada de La Plata, específicamente se utilizará la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata, y en base a ello se pretenden analizar los potenciales efectos ecológicos por fragmentación del paisaje asociados al proyecto de autopista “Concesión Orbital Norponiente”, de tal manera se dará cuenta de la importancia de mantener la conectividad del paisaje la cual permite la funcionalidad de los ecosistemas a través del intercambio y conexión de los flujos ecológicos (Leija y Mendoza, 2021).

### 1.3 Estado del asunto

En la siguiente sección se presentarán los principales estudios realizados en torno a los conceptos que guiarán esta investigación.

#### 1.3.1 Estudio del Paisaje

Durante las últimas décadas la ecología del paisaje ha surgido como campo de estudio interdisciplinario, en donde el concepto de “paisaje” ha alcanzado un estatus destacado en la literatura, siendo un término clave en diversas áreas como las ciencias sociales, las ciencias geográficas y ecológicas (Wu, 2013). No obstante, las dos disciplinas más importantes que han abordado este concepto ha sido la Ecología y la Geografía, en donde el concepto “paisaje” ha adquirido distintos significados e interpretaciones, según señala Rojas (2016) desde la Ecología se pensaba al paisaje desde un aspecto funcional, mientras que en la Geografía se entendía desde un ámbito estructural y espacial. Uno de los precursores de la corriente del pensamiento ecológico que acuñó el término “paisaje” fue el geógrafo y botánico Carl Troll, el cual define el paisaje geográfico como una parte de la superficie terrestre con una configuración espacial determinada, resultante de su aspecto exterior, de la actuación conjunta de sus elementos y de sus relaciones tanto internas como externas, por lo que su carácter específico se distingue de otros paisajes por los límites geográficos y naturales (Troll, 1950 citado en González, 2012).

Junto con lo anterior, Troll (1950 en Yáñez, 2018) plantea la premisa de que el paisaje tiene un carácter holístico, lo cual quiere decir que no está compuesto solo por la suma de componentes biofísicos y antrópicos, sino que posee un funcionamiento más complejo donde cada una de sus partes cumplen un rol específico y, en consecuencia, debe estudiarse como un sistema. Siguiendo esta misma línea, entre los principios básicos en que se fundamenta la Ecología del Paisaje, se incluye la premisa de que el paisaje es considerado como una entidad espacio-temporal integrada, cuya expresión morfológica y funcional se debe principalmente a las relaciones que se dan entre sus componentes, y no a la suma de las cualidades de estos, incluso el ser humano también se considera como uno de los factores formadores del paisaje, en especial de los paisajes culturales o transformados (Etter, 1991).

A pesar de que la noción de paisaje ha sido incorporada en diversas disciplinas científicas, fue en la Geografía donde el concepto tuvo su origen, incluso ha tomado diversas interpretaciones. Según Rodríguez y da Silva (2009) el paisaje natural es concebido como una realidad cuyos elementos están dispuestos de tal manera que subsisten como conexiones armónicas de estructura y función. Dichos autores plantean que el paisaje ha sido analizado desde una perspectiva sistémica, donde sus componentes naturales se encuentran interactuando constantemente con la sociedad humana. Junto con esto, el paisaje se concibe como un geosistema, el cual es entendido como un espacio físico y un sistema de recursos naturales en donde se integran las sociedades, siendo inseparable la relación entre la Sociedad y la Naturaleza. Paralelamente, esto ha implicado aceptar la materialidad del paisaje, es decir, la existencia de una estructura y funcionamiento propio de los cuerpos naturales y por otro lado,

el estatus paisajístico es determinado por sistemas de producción económica y cultural, cuyos efectos son distintos según las producciones y los grupos sociales (Rodríguez y da Silva, 2009).

### *1.3.2 Zonas de Influencia Ecológica*

Las Zonas de Influencia Ecológica corresponden a zonas que colindan con áreas protegidas, en donde ocurren procesos naturales relacionados con los componentes ambientales del área protegida y cuya consideración ayudará a garantizar la estabilidad de los ecosistemas al interior de esta (CONAF, 2014). En las Zonas de Influencia Ecológica se pueden desarrollar diversas estrategias para disminuir las amenazas que puedan afectar al área protegida, así como también mitigar potenciales problemas que el área protegida pueda causar a las comunidades locales cercanas a ella (Facultad de Ciencias Agronómicas, 2020). Según Núñez (2010) las Zonas de Influencia Ecológica se caracterizan en la práctica por presentar territorios de vital importancia ecológica, tales como los **corredores biológicos**, que permiten la interconexión, el mantenimiento y la dispersión de flujos genéticos entre poblaciones de flora y fauna. Así como también se consideran los **espacios vitales** para la continuidad hacia el exterior de las áreas protegidas, de ecosistemas y procesos evolutivos. Adicionalmente, se incluyen los **hábitat de especies** que son prioritarias para la conservación al interior de las áreas protegidas y **espacios de alta sensibilidad ecológica** relacionados con el área silvestre protegida y de interés para su conservación y recuperación fuera de ella, como por ejemplo un cuerpo de agua, incluyendo sus bordes y riberas, los cuales comúnmente son zonas utilizadas para la nidificación, crianza y alimentación de especies de aves (Corporación Nacional Forestal, 2014).

En ese sentido, se debería contemplar dentro de los criterios para delimitar la Zona de Influencia Ecológica los cursos hídricos cercanos al área protegida, ya que los corredores fluviales son de suma importancia para el funcionamiento del paisaje debido a que actúan como hábitat y corredores biológicos, sobre todo en ambientes mediterráneos (Montes et al., 1987; Sterling, 1990 citados en Castro et al., 2002), además la existencia de cursos hídricos en el territorio podría indicar la presencia de hábitat y refugios de distintas especies. Considerando aquello, la conectividad fluvial es fundamental tanto para animales acuáticos como también para otras especies que se alimentan o se refugian en este tipo de hábitat durante la estación seca como por ejemplo las mariposas, aves u otras especies que utilizan los ríos para su desplazamiento (Castro et al., 2002). Por otro lado, entre las funciones que cumplen los flujos hídricos superficiales en los ecosistemas se encuentra la regulación micro climática, procesos de erosión, transporte y sedimentación, disponibilidad de nutrientes, dispersión de especies, entre otros (Castro et al., 2002). Cabe señalar que en regiones mediterráneas los ecosistemas acuáticos se caracterizan principalmente por ser cambiantes, su distribución localizada y su reducida superficie, por lo que la conectividad hídrica en ambientes mediterráneos suele ser fundamentales para los demás flujos ecológicos.

En ese sentido, el Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata está catalogado como un área natural protegida, la cual está inserta en el primer cordón montañoso de la Cordillera de la Costa, representa al ecosistema mediterráneo ubicado en la Región del Matorral y del Bosque Esclerófilo. El Santuario protege ecosistemas de gran relevancia global y es considerado como

un ejemplo de gestión por su enfoque territorial, adaptativo y colaborativo (Facultad de Ciencias Agronómicas, 2020). Dentro de un contexto territorial más amplio, el Santuario al ser un área silvestre protegida supone la existencia de diversos tipos de relaciones las cuales se pueden definir espacialmente, siendo posible desarrollar una serie de acciones que beneficien tanto el entorno como la misma área protegida (Núñez, 2010). Dado eso, la gestión de las áreas protegidas se puede ampliar a los territorios adyacentes y según sus características físicas, socioculturales, ecológicas y/o político-administrativas se denomina la zona de influencia.

De esta manera, el Santuario y su zona de influencia ecológica son estudiados como un sistema, en donde los flujos de materia, energía e información que tienen lugar en el paisaje se pueden ocasionar por factores físicos como el viento o corrientes de agua, o incluso por la propia movilidad de los animales (Castro et al., 2002). Conjuntamente, la conectividad del paisaje en una red ecológica, como el Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata, viene definida por la capacidad de mantener esos flujos ecológicos y las conexiones entre los distintos espacios o elementos de la red (Castro et al., 2002). Por ello, la conectividad es clave en el funcionamiento de los ecosistemas, pues la continuidad del hábitat favorece a los movimientos migratorios, dispersivos, la polinización, los flujos de nutrientes, entre otros. No obstante, dicha conectividad y su funcionalidad dependen de las estructuras fisiográficas y espaciales del paisaje como también de la permeabilidad del paisaje, la presencia de corredores y los puntos de paso (Quesada et al., 2009; Smith et al., 2011 citados en Leija y Mendoza, 2021).

### *1.3.3 Fragmentación del paisaje*

Las ciudades metropolitanas han experimentado un acelerado crecimiento económico, en donde a su vez se ha evidenciado una importante expansión física del área urbana. De esta manera, autores como Romero y Vásquez (2005 citados en Rojas, 2016) señalan que dicha expansión física de las ciudades actúa como uno de los mayores causantes de los cambios de uso y cobertura de los suelos transformando espacios naturales o seminaturales en urbanos. En ese sentido, el resultado de estas transformaciones se ha evidenciado en las coberturas naturales, donde han quedado comprometidas enormes superficies que previamente estaban cubiertas por cultivos y por vegetación abundante y dispersa (Romero et al, 2007, p. 17 citado en Sandoval, 2009). Como se mencionó anteriormente, los cambios en los usos y coberturas del suelo generan alteraciones en la configuración del paisaje natural, las cuales a su vez tienen efectos sobre el comportamiento de las funciones y servicios ecosistémicos, en el abastecimiento y regulación de agua superficial y subterránea, el control de la erosión y retención de sedimentos, los procesos de formación del suelo, entre otros (Rojas, 2016). En ese contexto, entre los efectos que se generan sobre el medio ambiente, debido a los cambios de uso y cobertura de suelo inventados por el crecimiento urbano, se destaca la intensiva reducción de espacios con vegetación natural incluyendo terrenos de cultivo, áreas naturales y humedales, la pérdida de biodiversidad y reducción de hábitats, corredores y parches de vida silvestre, cambios en las dinámicas hídricas, contaminación del aire, agua y suelos, así como también en la transformación del paisaje generando el aumento de la fragmentación del paisaje y disminuyendo la conectividad entre parches de vegetación (Rojas, 2016).

Como se mencionó anteriormente, el proceso de fragmentación del hábitat es incentivado por el cambio de uso y cobertura de suelo, como por ejemplo, la transformación de espacios naturales a terrenos agrícolas o la transformación de pastizales a terrenos urbanos (Santo y Telleria, 2006 en Yáñez, 2018). Dicha fragmentación del hábitat es definida como el proceso donde una gran superficie de hábitat es dividida en diferentes parches más pequeños llamados fragmentos, los cuales se encuentran aislados unos con otros y contenidos dentro de una matriz diferente a la que originalmente presentaba el hábitat (Fahrig, 2003 citado en Yáñez, 2018), luego que el hábitat es fragmentado se produce en este un cambio en la configuración de su paisaje. Por otro lado, la fragmentación generalmente se asocia a actividades productivas donde se genera un cambio en los usos del suelo, pero también ocurre cuando el área natural es atravesada por obras viales como carreteras, canales, líneas de transmisión u otro tipo de infraestructuras que dividen el área (Primack, 1998 citado en Arroyave et al., 2006). En ese sentido, la fragmentación de hábitat generalmente está asociada a efectos negativos derivados de acciones antrópicas que conllevan a una modificación intensa del territorio y de las coberturas y usos del suelo, lo que se traduce en una pérdida importante de hábitats naturales, en la disminución e incluso en la extinción de especies (Gómez, Anaya y Álvarez, 2005). Conforme a ello, la fragmentación es considerada a nivel mundial como uno de los principales factores que inciden en la pérdida de biodiversidad y según la prospectiva medioambiental de la OCDE indican que para el año 2030 dicha fragmentación de los ecosistemas será un problema medioambiental que se agudizará (OCDE 2008, citado en Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2013).

Por otro lado, a menudo se asocia la fragmentación del hábitat con la pérdida de hábitat, sin embargo, estos son procesos independientes (Turner y Gardner, 2015). La fragmentación del hábitat es un proceso que se aborda a escala de paisaje, el cual involucra la pérdida del hábitat (Fahrig, 2003), es decir, una de las principales consecuencias de la fragmentación es la pérdida y degradación del hábitat. Además de ello, con la reducción en el tamaño de los parches comienza una progresiva pérdida de especies, la cual se vuelve más intensa a medida que el tamaño del parche es menor (Santo y Telleria, 2006 en Yáñez, 2018), de modo que los efectos negativos de la pérdida de hábitat están relacionados directamente con la disminución en la riqueza de especies, diversidad genética, abundancia y distribución de la población de especies, pero también se ha demostrado que la pérdida de hábitat reduce la longitud de la cadena trófica (Komonen et al., 2000 citado en Fahrig, 2003), altera las interacciones entre especies (Taylor y Merriam, 1995 citado en Fahrig, 2003) y reduce el número de especies de gran tamaño (Gibbs y Stanton, 2001 citado en Fahrig, 2003). Paralelamente, afecta en el éxito reproductivo y de dispersión, en la tasa de depredación y algunos aspectos del comportamiento de los animales.

#### *1.3.4 Fragmentación del paisaje por infraestructuras viales*

En primer lugar, es necesario tener en consideración que según el Decreto Supremo N° 40 se entenderá por autopistas a las vías diseñadas con dos o más pistas unidireccionales por calzada separadas físicamente por una mediana, las cuales están diseñadas para una velocidad de

circulación igual o superior a 120 km/h), con prioridad absoluta al tránsito, con control total de los accesos, segregadas físicamente de su entorno y que se conectan a otras vías a través de enlaces. (Ministerio del Medio Ambiente, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, 2012).

Ahora bien, respecto a los efectos de la fragmentación por infraestructuras viales que se producen durante la fase de construcción de las autopistas y carreteras, estos corresponden a la destrucción de los hábitats y a la disminución del tamaño de los hábitats (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010). Por otro lado, en la fase de operación, la cual corresponde a la etapa de funcionamiento de la vía, algunos de los efectos que se identifican son el efecto borde dentro del cual se encuentra la difusión de contaminantes, el ruido, la contaminación lumínica, frecuentación antrópica, y otros procesos relacionados a la pérdida de calidad de hábitat, así como también procesos del margen de las infraestructuras los cuales están relacionados a la creación de nuevos hábitats, canalización de movimientos de organismos (incluidas las especies exóticas), acumulación y canalización de flujos de agua y sedimentos, efectos de barrera y filtro, mortalidad por atropello y desarrollo urbano inducido (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010).

Como ya se mencionó, la fragmentación del paisaje se ve acelerada por actividades humanas como la expansión urbanística y de infraestructuras viarias, dicha fragmentación conlleva una modificación intensa del territorio, lo que conduce a una pérdida importante de hábitats naturales (Merino, 2016). Este proceso de cambio paisajístico ha dado lugar a alteraciones en el ecosistema, el más evidente ha sido la pérdida de hábitat, cuyo resultado deriva en la reducción del área del paisaje para cada especie, ya sea por la disminución del tamaño de los fragmentos de los hábitats existentes o bien por la desaparición completa de algunos de estos fragmentos. Según Valdés (2011) la pérdida de hábitat en un paisaje conduce irremediablemente a la fragmentación de dicho hábitat, entendiendo que la fragmentación es la división progresiva del hábitat el cual tiene como resultante un conjunto de fragmentos aislados entre sí, que pueden presentar diferencias cualitativas respecto al hábitat original (Haila, 2002 citado en Valdés, 2011).

### *1.3.5 Formas de abordar los efectos producidos por obras viales*

Conforme a la normativa ambiental en Chile, el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (Decreto Supremo N° 40) plantea que el titular de un proyecto o actividad deberá presentar un Estudio de Impacto Ambiental si dicho proyecto genera o presenta efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire.

Sumado a lo anterior, según el Artículo 6 del Decreto N° 40 se considerará que el proyecto o actividad provoca un efecto adverso significativo en la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire, si como consecuencia de la extracción de estos recursos, el emplazamiento de sus partes, obras o acciones; o sus emisiones, efluentes o

residuos, afecta en la permanencia del recurso. Así como también se ve afectada su disponibilidad, utilización y aprovechamiento racional futuro, se altera la capacidad de regeneración o renovación del recurso, o bien, se alteran las condiciones que hacen posible la presencia y desarrollo de las especies y ecosistemas (Ministerio del Medio Ambiente, 2012). Por tanto, aunque en el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental se exige un estudio de los impactos sobre los recursos naturales de un territorio, estos se estudian como elementos individuales en lugar de considerarlos de manera integral como un sistema. Además de ello, se deben evaluar los impactos de manera cuantitativa y cualitativamente para determinar si es significativo o no (Servicio de Evaluación Ambiental, 2017).

Por otro lado, conforme al Artículo 8 del Decreto N° 40, se establece que el titular de un proyecto y/o actividad deberá presentar un Estudio de Impacto Ambiental, en el caso que dicho proyecto se localice en las proximidades de comunidades, recursos y áreas protegidas, sitios prioritarios para la conservación, humedales protegidos y glaciares, que puedan ser susceptibles de ser afectados, así como también se considera el valor ambiental del territorio en que se pretende emplazar el proyecto, cuando éstas se encuentren en el **área de influencia del proyecto o actividad**.

De acuerdo con lo anterior, en el Artículo 18 se establecen los contenidos mínimos de los Estudios de Impacto Ambiental, en donde se debe determinar y justificar el área de influencia del proyecto o actividad, incluyendo una descripción general de la misma. El área de influencia se definirá y justificará para **cada elemento afectado del medio ambiente**, tomando en consideración los impactos ambientales potencialmente significativos sobre ellos y al mismo tiempo el espacio geográfico en el cual se emplazan las partes, obras y/o acciones del proyecto o actividad (Ministerio del Medio Ambiente, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, 2012). La línea de base correspondiente deberá describir detalladamente el área de influencia del proyecto o actividad, al igual que aquellos elementos ambientales que se encuentren en el área de influencia del proyecto o actividad y que dan origen a la necesidad de presentar un Estudio de Impacto Ambiental.

Para definir y justificar el área de influencia deben tener en consideración los impactos ambientales potencialmente significativos sobre los elementos afectados. Esto implica que en la determinación del área de influencia, la extensión del espacio geográfico se debe limitar a aquel donde potencialmente se podrían presentar impactos significativos y no necesariamente cualquier impacto (Servicio de Evaluación Ambiental, 2017). De acuerdo con lo anterior es posible dar cuenta que una forma de evaluar los impactos que provoca un proyecto de carácter vial se realiza mediante la definición de áreas de influencia para dichos proyectos y a partir de ello se identifican cada uno de los componentes ambientales afectados del área.

No obstante, respecto al estudio de impacto ambiental a nivel de paisaje, es posible dar cuenta que para el Servicio de Evaluación Ambiental si bien el paisaje constituye un componente del medio ambiente, éste se considera un objeto de protección siempre y cuando se encuentre en una zona con valor paisajístico (Servicio de Evaluación Ambiental, 2019). En ese sentido, una zona con valor paisajístico es aquella que, siendo perceptible visualmente, posee atributos

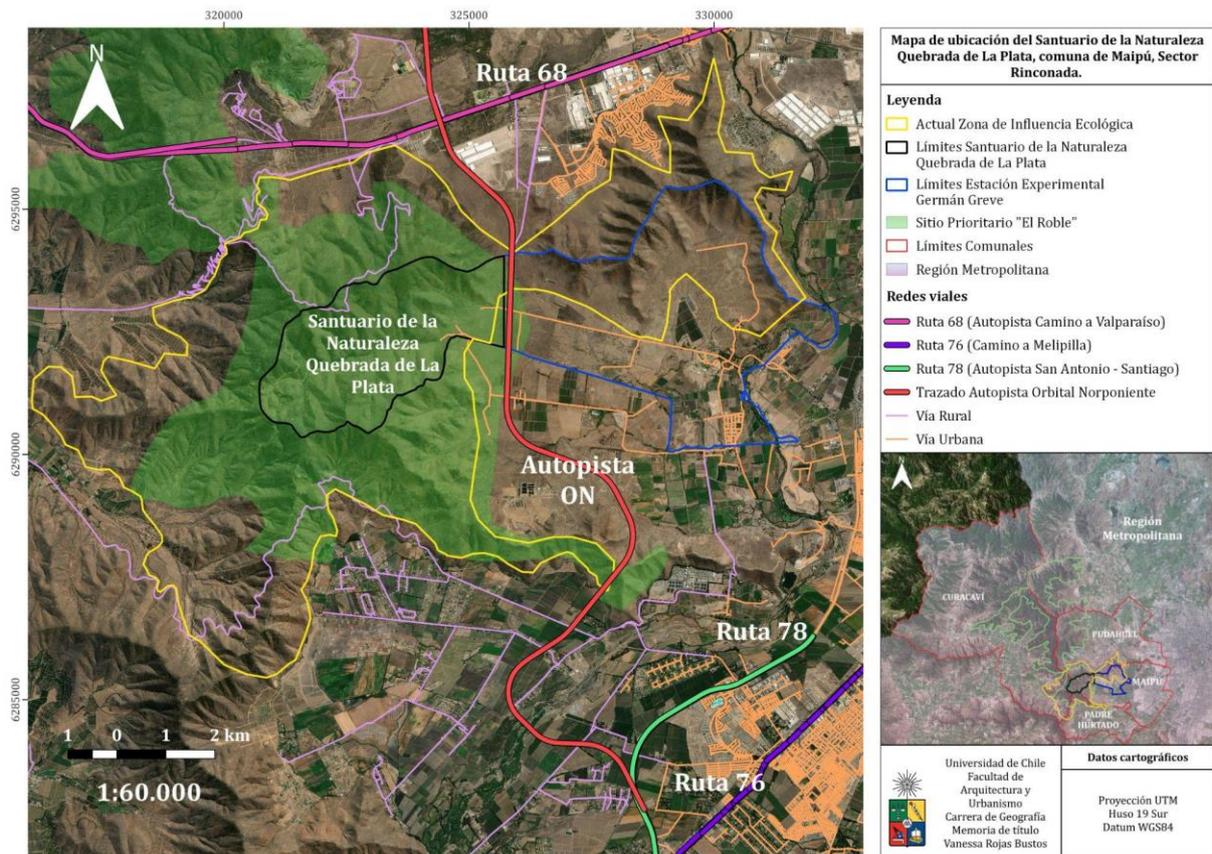
naturales que le otorgan una calidad que la hace única y representativa. Por otro lado, para determinar el valor paisajístico se realiza en base al reconocimiento del carácter del paisaje, que es en función a los niveles jerárquicos del paisaje según escalas cartográficas, tales como la macrozona (1:500.000 a 1:250.000) y subzona (1:200.000 a 1:100.000) de paisaje, donde se ubican las partes y obras del proyecto y la dominancia de algunos atributos biofísicos visuales (Servicio de Evaluación Ambiental, 2019).

Otra forma de evaluar los cambios e impactos en los elementos medioambientales es a través de la cuantificación del paisaje. Se realiza mediante la aplicación de métodos cuantitativos los cuales se agrupan en los denominados “índices de paisaje”. Estos índices están relacionados al área, la superficie, la densidad y la variabilidad, y pueden aplicarse a diferentes niveles, ya sea a nivel de fragmento, nivel de clase o nivel de paisaje (Ibáñez, 2009). Los índices de paisaje proporcionan datos numéricos importantes respecto a la composición y configuración de los paisajes, además de la proporción de cada tipo de uso y cobertura de suelo, la superficie y la forma de los elementos paisajísticos. Además, los índices de paisaje posibilitan una útil comparación entre diferentes configuraciones paisajísticas, la misma área en distintos momentos temporales o la definición de escenarios futuros (Gustafson, 1998 citado en Ibáñez, 2009).

#### **1.4 Área de estudio**

El Santuario de la Naturaleza de Quebrada de la Plata (en adelante referido como Santuario), se ubica a 30 kilómetros al suroeste de la ciudad de Santiago, específicamente en el extremo poniente de la comuna de Maipú (Universidad de Chile, 2014 citado en Pinilla, 2022). En ella el área propuesta como Santuario tiene una extensión de 1.110,7 hectáreas representando el 36% de un total de 3.200 hectáreas que componen la Estación Experimental Germán Greve Silva, propiedad de la Universidad de Chile y administrado por la Facultad de Ciencias Agronómicas. El Santuario se ubica dentro del Sitio Prioritario para la Conservación El Roble, en el primer cordón montañoso de la Cordillera de la Costa, limitando el cordón Norte con la Cuesta Lo Prado y el cordón Sur con la Cuesta Barriga, mientras que por el Oeste limita con la Comuna de Curacaví (Facultad de Ciencias Agronómicas, 2016). Por otro lado cabe señalar que si bien el área de estudio se localiza en el sector rural de la comuna de Maipú, esta se encuentra próximo a áreas urbanizadas y a ejes viales de alta confluencia, tales como la Ruta 68 ubicada hacia el sector Norte y hacia el sector Sur-Oriente la Ruta 78 y la Ruta 76 (ver Figura 2).

**Figura 2.** Ubicación del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata, comuna de Maipú.



Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2023, Facultad de Ciencias Agronómicas, 2023.

En relación con los suelos existentes en Quebrada de La Plata estos provienen principalmente de secuencias volcánicas y sedimentarias marinas, lavas basálticas y andesíticas, roca volcánica y sedimentaria, arenisca y caliza, por lo que forma una micro cuenca dentro del cordón montañoso de la Cordillera de la Costa (Facultad de Ciencias Agronómicas, 2020). Son suelos de carácter fértil, bien drenados, sin nivel freático, con materia orgánica moderada en la superficie, pendientes simples y complejas. Están categorizados con uso forestal y conservación, los cuales presentan cierto riesgo de erosión, siendo más propensos en sectores de mayor pendiente y lomas. (Facultad de Ciencias Agronómicas, 2020). Por otro lado, también hay presencia de suelo de origen aluvio coluvial ocupando una posición de piedmont, se caracterizan por ser suelos fértiles con alto contenido de materia orgánica, bien drenados, pendientes moderadas y ligeras, son categorizados con uso agrícola y forestal (Facultad de Ciencias Agronómicas, 2020).

Respecto a la hidrología, el área de estudio se ubica en la cuenca del río Maipo, específicamente en la subcuenca del río Mapocho Bajo, en donde el cauce más cercano es el río Mapocho (Facultad de Ciencias Agronómicas, 2016). La subcuenca del río Mapocho es de régimen mixto, por lo cual los máximos caudales del río Mapocho y sus afluentes se producen en dos épocas del año, por un lado, en los meses estivales producto de los deshielos y por otro lado,

en los meses de invierno producto de las precipitaciones. Junto con esto, la disponibilidad hídrica natural de Quebrada de la Plata varía según los escurrimientos superficiales de características intermitentes que se forman en las zonas de quebradas, de tal manera que los mayores escurrimientos se presentan entre los meses de junio y septiembre, desarrollándose escurrimientos menores o incluso nulos en la época estival (Tapia, 2005 citado en Facultad de Ciencias Agronómicas, 2016). Por otro lado, los flujos generados por afloramientos de aguas subterráneas son poco relevantes en términos de disponibilidad hídrica (Tapia, 2005 citado en Facultad de Ciencias Agronómicas, 2016). No obstante, la composición de los suelos de Rinconada permite la infiltración y con esto la acumulación de aguas subterráneas, las que se encuentran a profundidades que varían de los 0 a 15 metros (CADE-IDEPE, 2004 citado en Facultad de Ciencias Agronómicas, 2016).

En cuanto a la flora y vegetación de Quebrada de La Plata, ésta pertenece al ecosistema mediterráneo, el cual se ubica en la zona del secano interior, se caracteriza principalmente por poseer vegetación de tipo boscosa y de matorrales esclerófilos. Respecto a la clasificación vegetacional esta zona corresponde a la Región del Matorral y el Bosque Esclerófilo, predominan los árboles y arbustos de hojas esclerófilas, pero además se encuentran arbustos bajos xerofíticos, arbustos espinosos y suculentas (Gajardo, 1994 citado en Facultad de Ciencias Agronómicas, 2020). En la zona se documentan alrededor de 245 especies que corresponden a especies nativas (77,8%) y 70 a especies exóticas (22,2%). Por otro lado, 254 (80,6%) especies son herbáceas, 47 (14,9%) son arbustivas y 5 (1,6%) son arbóreas (Schlegel, 1963 citado en González de Luca, 2020). Por otro lado, las formaciones vegetacionales dominantes en la zona corresponden a Matorral Espinoso de la Cordillera de la Costa y la formación de Bosque Espinoso Abierto. Según Gajardo (1994 citado en Facultad de Ciencias Agronómicas, 2020) el Matorral Espinoso de la Cordillera de la Costa se caracteriza por matorrales cerrados, espinosos, de alta densidad, entre las especies de dicha formación se pueden encontrar el colliguay (*Colliguaja odorifera*), el tevo (*Retanilla trinervia*), boldo (*Peumus boldus*), litre (*Lithraea caustica*), entre otros. Por otro lado, la formación de Bosque Espinoso Abierto se caracteriza por la presencia de arbustos altos y árboles espinosos, por lo que algunas especies que corresponden a dicha formación son el algarrobo (*Prosopis chilensis*) y el espino (*Acacia Caven*).

## **1.5 Objetivos de investigación**

### *1.5.1 Objetivo General*

Identificar la potencial fragmentación del paisaje asociada al proyecto Autopista Orbital Norponiente sobre la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata, Comuna de Maipú.

### *1.5.2 Objetivos específicos*

- Definir la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata.
- Caracterizar a nivel de paisaje la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata.
- Caracterizar los potenciales efectos ecológicos por fragmentación a nivel de paisaje, asociados al proyecto "Autopista Orbital Norponiente" en la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata.

## **CAPÍTULO 2: MARCO METODOLÓGICO**

Para la realización de los objetivos propuestos en el presente proyecto de memoria se llevó a cabo una metodología principalmente de carácter mixta, en donde se analizaron e integraron datos cuantitativos y cualitativos.

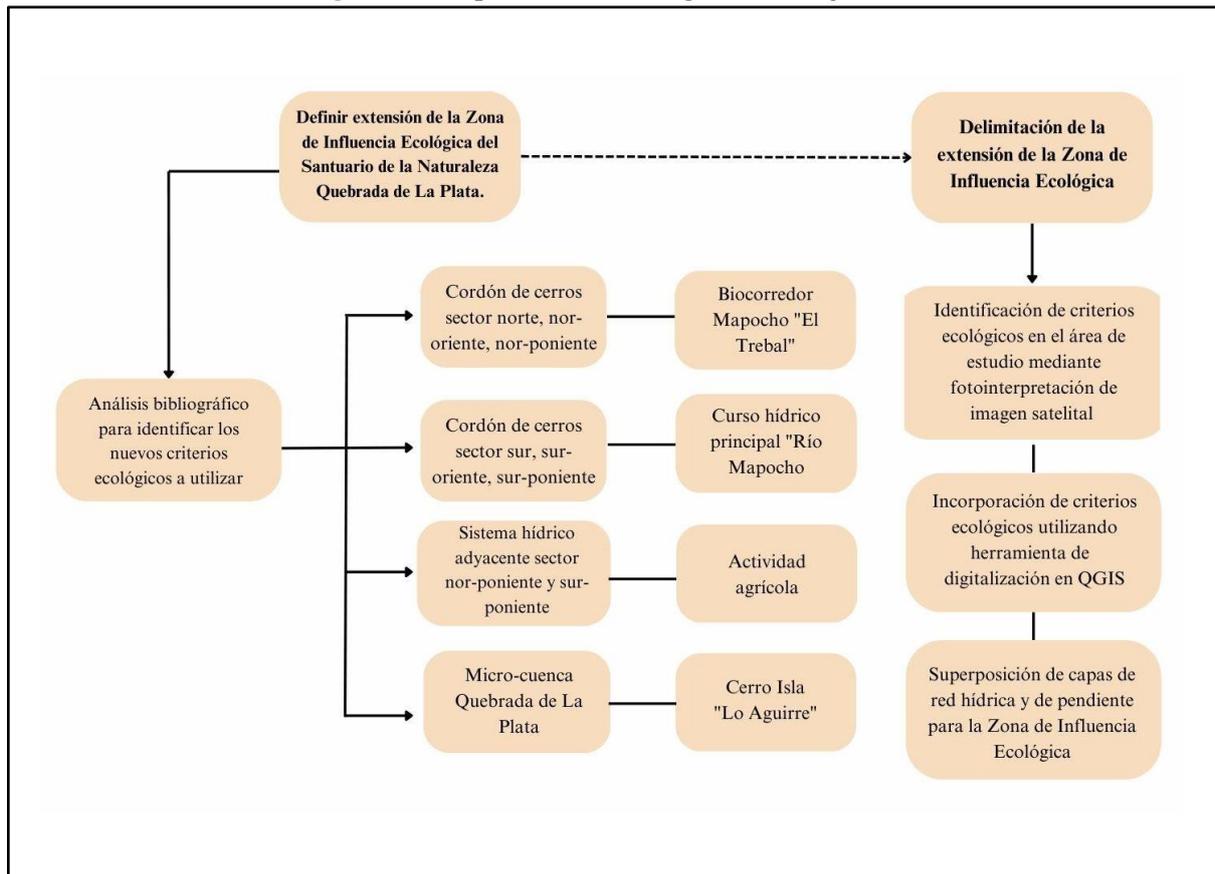
### **2.1 Definir la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata.**

Para el objetivo n°1 se definió una nueva extensión de la Zona de Influencia Ecológica establecida hoy en día en el Plan de Manejo del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata del año 2020. Desde una perspectiva metodológica, la Zona de Influencia Ecológica hace referencia a los entornos donde se llevan a cabo procesos naturales que guardan relación con los componentes ambientales presentes en el Área Protegida (Corporación Nacional Forestal, 2009). Específicamente la actual Zona de Influencia Ecológica incluye exclusivamente paisajes de importancia ecológica con características similares a las que protegen el Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata, tales como el Sitio Prioritario para la conservación El Roble y a sectores con baja intervención antrópica y con conectividad al Santuario, tales como Quebrada Pajarito y Cerro Lo Aguirre en su conjunto (Facultad de Ciencias Agronómicas, 2020).

Conforme a ello, una de las consideraciones para extender los límites de la actual Zona de Influencia Ecológica se fundamenta en la evaluación de los efectos ecológicos desde la perspectiva de conectividad de paisaje, considerando la ampliación hacia los territorios adyacentes al Santuario. De manera que en este estudio no solo se tiene en cuenta el área protegida, sino que también se contemplan las áreas ubicadas fuera los límites del Santuario, pero que están aledañas a este. Estas zonas colindantes si bien presentan un grado de transformación u ocupación humana que motivaron su exclusión de los límites de las áreas determinadas para su protección y conservación (Domínguez, 2009), aun así son elementos importantes en la dinámica ecológica y movimiento de recursos naturales hacia el interior del Santuario y fuera de este.

Por tanto, esta modificación de la actual Zona de Influencia se propuso con la finalidad de incluir todos los componentes ecológicos, así como elementos con baja actividad antrópica, los cuales son parte del paisaje y que eventualmente podrían ser afectados a causa de la fragmentación del paisaje, asociada al potencial emplazamiento del proyecto "Autopista Orbital Norponiente".

. **Figura 3.** Esquema metodológico del Objetivo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Para llevar a cabo este objetivo en primer lugar se realizó un análisis bibliográfico para dar cuenta de los criterios ecológicos (ver Figura 3) que se deben tener en consideración para delimitar la extensión de la actual Zona de Influencia Ecológica de un área protegida, como el Santuario.

En este caso los criterios que se consideraron están asociados a la conectividad ecológica que existe entre el Santuario y el exterior de esta área protegida, según Núñez (2010) los criterios que aplicados para definir la actual Zona de Influencia Ecológica corresponden en primeramente a los **corredores biológicos** ya que estos permiten los flujos genéticos entre poblaciones de flora y fauna. Conjuntamente, otro criterio utilizado por Núñez (2010) son los **espacios vitales** para la continuidad de los ecosistemas y procesos evolutivos, los **hábitat de especies** que son **prioritarias** para la conservación y **espacios de alta sensibilidad ecológica**. Por otro lado, también se consideró el **Sitio Prioritario "El Roble"**, el cual abarca parte de la actual área de influencia ecológica del Santuario.

Junto con lo anterior, para la nueva extensión de la Zona de Influencia Ecológica se contemplaron ocho criterios acordes a los criterios anteriormente definidos por Núñez (2010). En ese sentido, uno de los nuevos criterios seleccionados corresponde primeramente a la **microcuenca Quebrada de La Plata**, la cual se caracteriza por ser la quebrada principal de la Zona de Influencia Ecológica y cumpliendo la función de conector biológico entre el Santuario

y la Estación Experimental, permitiendo la migración, dispersión y flujo genético de las poblaciones de flora y fauna.

Conjuntamente, se consideraron los **cursos hídricos y cuerpos de agua** cercanos a la zona de influencia ecológica del Santuario, para ello se hizo un análisis de la red hídrica utilizando el shapefile de los cursos hídricos del Instituto Geográfico Militar (IGM) junto con la capa vectorial correspondiente a la red hidrográfica proporcionada por la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). A partir de ello, se identificó la **red de quebradas, canales y curso hídrico (Río Mapocho)** presentes en la Zona de Influencia Ecológica. Esta red hídrica tanto superficial como subsuperficial mantiene procesos ecológicos relevantes, entre ellos proveer hábitat a diversas especies y constituye un componente vital para la sostenibilidad de los ecosistemas (Facultad de Ciencias Agronómicas, s.f.). Además de ello, otro criterio establecido es el **sistema hídrico adyacente del sector Nor-Poniente y Sur-Poniente**, no obstante, es necesario destacar que su flujo superficial es intermitente, el cual se observa especialmente en periodos invernales debido a los aportes pluviales. En la actualidad, la red hídrica se ve altamente amenazada por efectos del cambio climático.

Al mismo tiempo, se tomaron en cuenta como parte de los criterios ecológicos el **cordón de cerros del sector Norte, Nor-Poniente y Nor-Oriente** donde destaca el **Cerro Isla “Lo Aguirre”**, así como también se considera el cordón de cerros del sector Sur, Sur-Oriente y Sur-Poniente, los cuales simultáneamente pertenecen del Sitio Prioritario “El Roble”. Estos cordones de cerros al ser parte de la Cordillera de la Costa mantienen ecosistemas importantes a nivel nacional y que, a su vez, destacan por presentar un alto grado de endemismo de especies de flora y fauna. Junto con ello, esta red de cerros proporciona la conectividad de los hábitats para las diversas especies presentes en la zona y de esta manera se mantengan los flujos ecológicos.

Por otra parte, se consideró como criterio ecológico el **Biocorredor Mapocho “El Trebal”**, correspondiente a una zona ribereña del Río Mapocho, la cual se localiza en el extremo Sur-Oriente de la Zona de Influencia Ecológica. En el límite urbano entre las comunas de Maipú y Padre Hurtado, a los pies de los Cerros Puntilla de viento (parte del Sitio Prioritario El Roble) se encuentra el sistema de humedales Mapocho El Trebal, compuesto por el Río Mapocho, Laguna El Trebal, Humedal El Bosque y Humedal La Máquina (Vallejos, 2022). Esta zona alberga diversas especies de flora, funga y fauna (sobre todo de avifauna), así como también especies xerofíticas y mediterráneas, por lo cual, este lugar es de gran importancia en términos reproductivos, migratorios, de preservación y conservación de la biodiversidad (Vallejos, 2022).

Por último, dentro de los criterios se incluye la **actividad productiva agrícola** presente en la Zona de Influencia Ecológica. Si bien este criterio está relacionado a actividades antrópicas, en base a la perspectiva de ecología del paisaje, este último está compuesto por el funcionamiento de los componentes biofísicos como de los componentes antrópicos, entendiéndose como un sistema. Junto con esto, según la Ordenanza del Plan Regulador Metropolitano de Santiago este tipo de territorio está emplazado fuera de áreas completamente urbanizadas, comprendiendo

áreas de interés natural o paisajístico que presentan vegetación y fauna silvestre, cursos o vertientes naturales de agua y que constituyen un patrimonio natural o cultural que debe ser protegido o preservado (Secretaría Ministerial Metropolitana de Vivienda y Urbanismo, 2007). En el artículo 8.3.1.2. las Áreas de Protección Ecológica con Desarrollo Controlado corresponden a aquellas áreas en las cuales se podrá desarrollar, además de las actividades silvoagropecuarias y/o agropecuarias, determinadas actividades de carácter urbano, en tanto se conserve las características del entorno natural y las intervenciones que ellas generen, contribuyan al mejoramiento de la calidad del medioambiente o incrementen sus valores paisajísticos. (Secretaría Ministerial Metropolitana de Vivienda y Urbanismo, 2007)

Luego del análisis bibliográfico, se llevó a cabo la delimitación de la nueva extensión de la Zona de Influencia Ecológica, utilizando los criterios ecológicos presentados en la Figura 3. Mediante Sistemas de Información Geográfica, utilizando específicamente el software QGIS, se utilizó como base el shapefile de la zona de influencia ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata, el cual es proporcionado por la administración del Santuario, al igual que las capas vectoriales del sitio prioritario El Roble, los límites del Santuario y la Estación Experimental Germán Greve. Paralelamente, se usaron las capas vectoriales de la red hídrica y cursos hídricos mencionados en el párrafo anterior. Considerando todos estos elementos, se procedió a delimitar la nueva extensión, para ello usó la herramienta de digitalización “Conmutar Edición”, en donde se editó específicamente con el método de remodelación de objetos, paralelamente se utilizó como apoyo el software Google earth para la fotointerpretación de imágenes satelitales del área que se pretende ampliar. Cabe mencionar que, el área que se incluyó en la nueva extensión de la Zona de Influencia Ecológica abarca entre 5 y 10 kilómetro aproximadamente, e incluye usos y coberturas de suelo que corresponden a terrenos agrícolas, praderas y matorrales, bosque y en menor medida a “áreas urbanas” las cuales están asociadas a villas y pueblos de la zona rural de Rinconada de Maipú.

## **2.2 Caracterizar a nivel de paisaje la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata.**

### *2.2.1 Descripción de los usos y coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica*

Con el fin de llevar a cabo el objetivo n°2 propuesto en la presente investigación se dividió en dos etapas el proceso de este objetivo. La primera etapa consistió en describir los usos y coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica, para ello a través del Software QGIS se utilizó la capa vectorial correspondiente al Catastro de Uso y Cobertura de suelo de la Región Metropolitana proporcionado por CONAF del año 2013. Luego mediante el geoprocso cortar se superpuso la capa vectorial de la Zona de Influencia Ecológica delimitada en el primer objetivo, para así obtener el catastro de suelo específicamente del área de estudio. Posteriormente, se procedió a actualizar el Catastro de Uso y Cobertura de Suelo del año 2013, esto mediante fotointerpretación de imágenes satelitales de Google Earth del presente año 2023. Conjuntamente, para el reconocimiento de los usos y coberturas de los suelos del área de estudio, se confeccionó una Tipología de Usos y Coberturas de Suelo (ver Tabla 1), basada en la investigación de Sandoval (2009) y en la categoría de “SUBUSO” de suelo del catastro de

CONAF. Cabe señalar que los usos de suelo están definidos por la función humana que se da a estas áreas, mientras que las coberturas de suelo corresponden a las características físicas de tales superficies (Pauleit et al, 2005 citado en Sandoval, 2009).

**Tabla 1.** Tipología de uso y cobertura de suelo

Uso/Cobertura	Definición	Criterios de identificación
<b>Cuerpos de agua</b>	Corresponden a las acumulaciones artificiales de agua en un determinado lugar, son de tamaño pequeño o mediano. Se localizan cerca de zonas agrícolas.	Formas redondas y rectangulares, claramente definidas, de colores azules y verdes en tonalidades oscuras.
<b>Plantaciones agrícolas</b>	Actividad primaria llevada a cabo en el área rural y en algunos casos dentro del continuo urbano.	Áreas que forman estructuras cuadradas y rectangulares, de colores homogéneos, principalmente verdes claros, oscuros y cafés claros debidos a suelos desnudos. Textura: poseen una textura homogénea
<b>Plantaciones forestales</b>	Corresponden a aquellos bosques que se han originado a través de la plantación de árboles de una misma especie o combinaciones con otras, efectuadas por el ser humano.	Formas longitudinales, homogéneas, de colores verdes y tonalidades oscuras y claras.
<b>Cursos de agua</b>	Cursos lineales de agua presentes en una cuenca, incluyendo el cauce adyacente (llanura de inundación)	De forma alargada. Colores azules y tonalidades oscuras. Textura: Lisa Homogeneidad cromática
<b>Vegetación dispersa</b>	Formación vegetal compuesta principalmente por especies esclerófilas arbustivas, arbóreas, cactáceas y suculentas, distribuidas con media y baja cobertura vegetal	Color, forma y textura Heterogeneidad cromática. Colores predominantes de la gama del verde, aunque intercalados con colores de la gama del café. Forma irregular. Textura Rugosa.
<b>Vegetación densa</b>	Superficies vegetadas sin intervención antrópica, poseen una alta cobertura. Están compuestas principalmente por bosque esclerófilo (árboles y arbustos donde cada individuo está cercano al otro)	Se presentan como formas irregulares, con píxeles de colores verdes de diferentes tonalidades. Poseen una estructura rugosa y textura gruesa.

<b>Praderas</b>	Superficie llana cubierta con hierbas, matorrales y árboles escasos. Baja cobertura vegetal.	De forma irregular, colores predominantes de la gama del café, aunque intercalados con color verde oscuro.
<b>Infraestructura de transporte</b>	Corresponden a caminos sin pavimentar: ejes viales sin pavimentar, generalmente de una vía. Se localizan en sectores rurales. (línea) Además de caminos pavimentados de dos o más vías: ejes viales principales, avenidas y calles de doble vía (polígono)	Vías de transporte de una vía por sentido, de color café claro (aplica para camino sin pavimento).  vías de transporte de dos o más vías por sentido, de coloración gris oscuro o negro (aplica para camino pavimentado).
<b>Áreas de actividades mineras y extractivas</b>	Corresponden a actividades mineras en superficie y extracción de áridos localizados fuera de la trama urbana. Se caracterizan por tener asociada una estructura artificial destinada a la clasificación de los materiales.	Formas definidas, tonalidades claras café y grises brillantes. Estructura sinuosa
<b>Infraestructura sanitaria</b>	Corresponde a un relleno sanitario, el cual es un depósito de basura de gran tamaño con infraestructura asociada para la recepción de la carga. Se localizan fuera de la trama urbana.	Formas difusas, estructura rugosa y textura media. Tonalidades oscuras y claras. Requiere para su identificación información adicional a la entregada por imágenes satelitales.
<b>Asentamientos humanos</b>	Se consideran asentamientos menores: superficie continúa de viviendas pequeñas localizadas en zonas rurales conformando pequeñas agrupaciones menores y que generalmente en el valle se encuentran entre paños de cultivos	Áreas continuas, cromática y estructuralmente homogéneas, de tonalidades muy claras (gris, blanco), brillantes y límites claramente definidos. Se encuentran sobre una matriz más oscura, verdosa. En falso color la matriz se presenta con colores rojos y las estructuras grises y azules
<b>Zona militar</b>	Centro de formación militar, se localiza en zona rural, está conformado por edificaciones de baja altura, presenta espacios variables entre una edificación y otra, además de áreas verdes	Áreas continuas, de estructura homogénea, límites claramente definidos, se caracteriza por diferentes tonalidades, tanto claros como opacos, entre ellos colores grises, café y verdes.

Fuente: Elaborada en base a Catastro de Uso y Cobertura de Suelo de CONAF (2013) y Sandoval (2009).

Una vez que se reconocieron los usos y coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica, se procedió a obtener los datos estadísticos respectivos. Para ello, los datos de la tabla de atributos del catastro de suelo del área de estudio se llevaron a Excel, en donde se insertó una tabla dinámica a partir de la superficie de cada clase de suelo, obteniendo la superficie total (hectáreas), el número de parches de los usos y coberturas de suelo, el promedio de superficie, máximo y mínimo de superficie (ha) y por último la desviación estándar de Superficie (ha). Conforme a ello, se describe cuantitativamente cada uso y cobertura de suelo presente en la Zona de Influencia Ecológica.

### *2.2.2 Análisis de las métricas clásicas de fragmentación del paisaje para la Zona de Influencia Ecológica*

Posteriormente, en la segunda etapa para complementar la caracterización a nivel de paisaje planteada en el objetivo n°2, se llevó a cabo la aplicación de métricas clásicas de paisaje. Lo anterior se realizó con la finalidad de dar cuenta de la forma en que conectan espacialmente los parches que componen la Zona de Influencia Ecológica. En ese sentido, se aplicaron índices de paisajes correspondientes a Número de Parches (NP), Tamaño Promedio del Parche (MPS) y Densidad de Parche (DP), estas fueron calculadas a partir de los datos estadísticos que se muestran en la Tabla 2. Por un lado, el Número de Parches calcula el número de parches existentes según clase y/o paisaje (Sandoval, 2016). Este índice se obtiene a partir del recuento de superficie en la tabla dinámica aplicada en Microsoft Excel.

Por otro lado, el Tamaño Promedio del Parche corresponde al área ocupada por una clase de parche dividido por el número de parches de esa clase (Sandoval, 2016). Este índice mide que tan dividido se encuentra un tipo de cobertura y la unidad de medida es en hectáreas (Correa et al., 2014). Los valores de MPS para cada uso y cobertura de suelo se obtuvieron en función del promedio de superficie resultante de la tabla dinámica utilizada en Excel. Finalmente, para tener los resultados de la Densidad de Parches se midió el número de parches cada 100 hectáreas según uso y cobertura de suelo de la Zona de Influencia Ecológica, además de esto, cabe señalar que este índice también corresponde a una medida simple de fragmentación. Por último, Este tipo de índices está enfocado en las características de dimensión y en el número de fragmentos que conforman el área de estudio, por lo cual, permite tener una primera aproximación general a las características morfológicas de un determinado paisaje (McGarigal et al., 1995; Botequilha et al., 2006 citados en Vila et al., 2006).

La caracterización para el objetivo 2 se analizó desde un punto de vista de conectividad del paisaje estructural y funcional. Por un lado, la conectividad estructural se refiere a las relaciones de continuidad y adyacencia entre los fragmentos de un tipo de cobertura, mientras que la conectividad funcional se refiere a la continuidad de los flujos ecológicos que se dan a través del paisaje (Taylor et al., 2006 citado en Correa et al., 2014). En ese sentido, la métrica del paisaje proveerá de información útil respecto a las relaciones espaciales en el paisaje, tales como la proximidad, la agregación y el aislamiento entre fragmentos que conforman un tipo de cobertura en particular (Botequilha et al., 2006 citado en Correa et al., 2014).

## 2.3 Caracterizar los potenciales efectos ecológicos por fragmentación a nivel de paisaje, asociados al proyecto "Autopista Orbital Norponiente" en la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata.

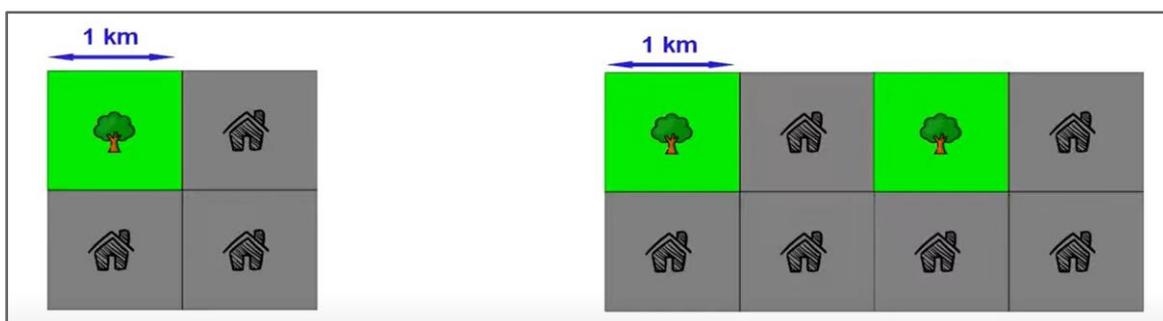
### 2.3.1 Aplicación de las métricas de fragmentación del paisaje considerando tres escenarios distintos para el área de estudio

Para lograr el tercer objetivo propuesto en relación con la caracterización del nivel de fragmentación del área de estudio, la metodología aplicada se separó en dos etapas. Primeramente, para ambas etapas se consideraron tres escenarios distintos, por un lado se contempló la actual condición en la que se encuentra la Zona de Influencia Ecológica, sin elementos externos que provoquen fragmentación del paisaje. En segundo lugar se consideró un escenario contrafactual, el que corresponde a la incorporación de la potencial Autopista Orbital Norponiente como elemento de fragmentación en la Zona de Influencia Ecológica. Y en tercer lugar se tuvo en cuenta el área de estudio junto con la potencial autopista, pero esta vez incorporando potenciales corredores biológicos como pasos de fauna.

Bajo ese contexto, se utilizó la herramienta FragScape, el cual es un complemento del Software QGIS que calcula métricas de fragmentación del paisaje definidas en papel "*Landscape División*, índice de división y tamaño de malla efectivo: nuevas medidas de fragmentación del paisaje" (Jaeger 2000 citado en Chailloux, Amsallem y Chéry, 2020).

Entre estas métricas, se presenta un indicador de fragmentación territorial llamado **Tamaño efectivo de malla (m o MSIZ)** el cual denota el tamaño de las áreas cuando la región se divide en S áreas (cada una del mismo tamaño  $A_t/S$ ) con el mismo grado de división del paisaje que para la configuración inicial. A modo de representación, en la Figura 4 se muestran dos configuraciones del paisaje, por un lado, el paisaje presentado a la derecha se compone de dos veces el paisaje de la izquierda (cabe señalar que podría ser N cantidad de veces), sin embargo, el valor del tamaño efectivo de malla sigue siendo el mismo para ambas configuraciones del paisaje, mientras que el grado de fragmentación aumenta (UMR TETIS, 2020).

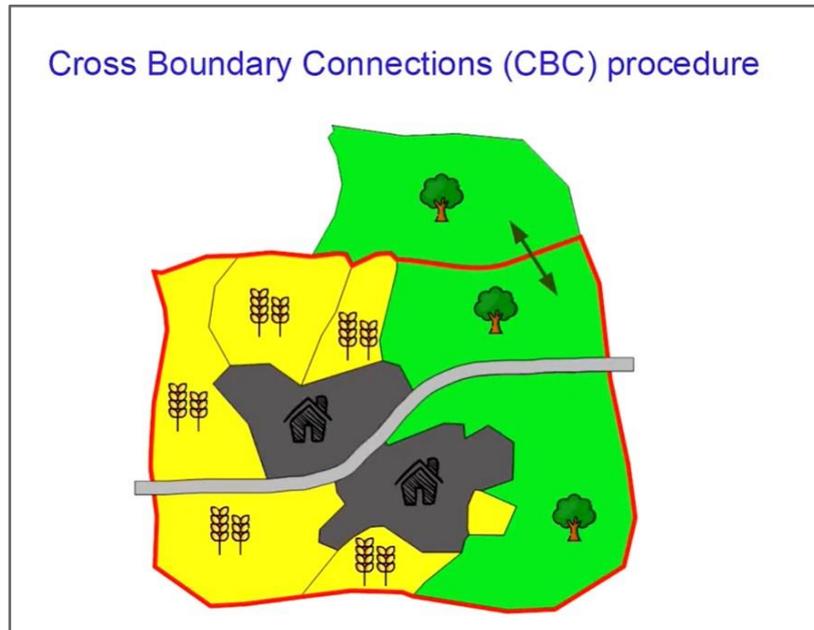
**Figura 4.** Representación del índice de fragmentación "Tamaño efectivo de malla" (MSIZ).



Fuente: UMR TETIS, 2020.

Por otro lado, se considera el **Método de conexión transfronteriza (CBC)**, el cual al igual que otras métricas de paisaje basadas en parches, pueden estar sesgadas por los límites y la extensión de una unidad informante si los límites fragmentan parches (Chailloux, Amsallem y Chéry, 2020), esto se denomina "problema de límites", de manera que el nuevo método CBC incluye conexiones (áreas) más allá de los límites administrativos del territorio (UMER TETIS, 2020), tal como se ve representado en la Figura 5.

**Figura 5.** Representación del índice Método de conexión transfronteriza (CBC)



Fuente: UMR TETIS, 2020.

Por tanto, para el primer escenario se incorporó la aplicación del FragScape, en donde se utilizó como cobertura terrestre (Land Cover) el Shapefile del Catastro de Uso y Cobertura de Suelo de la Zona de Influencia Ecológica. Luego, en base a esta última capa vectorial se seleccionaron los campos que potencialmente podrían ser fragmentados, tales como "Curso de agua", "Vegetación dispersa", "Vegetación densa" y "Praderas". Conjuntamente, en el tercer paso del FragScape se seleccionó como dato adicional el área de estudios con la red vial correspondiente a los actuales caminos urbanos y rurales, incluyendo un buffer de 15 metros a cada lado del eje vial. En el cuarto paso se incluyeron las métricas CBC y finalmente al ejecutar el cálculo de métricas se tuvo como resultado los valores de fragmentación correspondientes a la columna "CBC\_MSIZ" de la tabla de atributos, las cuales se categorizaron en cuatro niveles de fragmentación correspondientes a "Muy alta", "Alta", "Media", "Baja" y "Muy baja a nula", tal como aparece en la Figura 6.

**Figura 6.** Niveles de fragmentación según Métricas CBC

CBC_MSIZ	NIVEL FRAG
7528,17179	Muy baja a nula
575,20846	Baja
373,92832	Baja
265,33102	Media
13,68223	Media
8,15444	Alta
3,1387	Alta
2,93271	Alta
0,56731	Muy alta
0,39609	Muy alta
0,2311	Muy alta
0,13763	Muy alta
0,09344	Muy alta
0,08948	Muy alta
0,03594	Muy alta
0,0048	Muy alta
0,00237	Muy alta
0,00198	Muy alta
0,00121	Muy alta

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, para el segundo escenario contrafactual, se aplicaron los mismos pasos 1 y 2 del proceso anteriormente descrito. No obstante, en el tercer paso de este complemento se seleccionó como dato adicional tanto el área de estudios con la red vial correspondiente a los actuales caminos urbanos y rurales (incluyendo buffer de 15 metros), como la capa vectorial del trazado de la Autopista Orbital Norponiente, en donde se determinó un buffer de 70 metros a cada lado del eje para la potencial autopista (ver Figura 7). Es necesario mencionar que se definió este buffer de 70 metros tomando como guía la Ruta 78, siendo este valor tentativo debido a que aún no existe formalmente la determinación del buffer para la Autopista Orbital Norponiente.

**Figura 7.** Elementos fragmentadores del paisaje

Rank selections (bottom selections will be erased in case of overlay)				
INPUT	SELECT_EXPR	BUFFER_EXPR	NAME	FRAGM
../trazado autopista orbital ...		70	autopista	true
../area con red vial.shp		15	vías	true

Fuente: Elaboración propia

En el cuarto paso nuevamente se seleccionaron las métricas CBC. Posteriormente al ejecutar el cálculo de estas métricas se tuvo como resultado los valores de fragmentación correspondientes a la columna “CBC\_MSIZ” de la tabla de atributos. Para los valores obtenidos a partir de la aplicación de métricas de paisaje, se utilizó el método de clasificación

correspondiente a las “Rupturas Naturales” de Jenks. En este método se identifican puntos de interrupción o patrones de grupos exclusivos de los datos (Flores y Flores, 2020). Las rupturas de clase se crearon de manera que los valores similares se agrupan mejor y simultáneamente se maximizan las diferencias entre clases. Por ende, las entidades se dividen en clases cuyos límites quedan establecidos dónde hay diferencias considerables entre los valores de los datos (ArcGis Pro, s.f). Bajo ese contexto, a partir de la clasificación por Quiebres Naturales, las clases obtenidas se categorizaron en cinco rangos. Por un lado los rangos “**Muy alta**”, “**Alta**”, corresponden a valores que representan una fragmentación elevada, seguidamente del nivel de fragmentación “**Media**” la cual equivale a valores de fragmentación intermedia. Por último, los rangos “**Baja**” y “**Muy baja a nula**” representan valores de baja fragmentación, en donde la superficie de las distintas coberturas se encuentra escasamente divididas.

Respecto al tercer escenario, se consideran como corredores biológicos tanto los canales como las quebradas cercanas al área donde se emplaza el trazado de la Autopista Orbital Norponiente. Dichos corredores de conectividad ecológica son una franja de territorio al interior de las cuales se mantiene el movimiento y la dispersión de las especies de flora y fauna silvestres, el intercambio genético y otros flujos ecológicos de materia y energía, que hacen parte de paisajes naturales en los que dicha conectividad ha sido afectada (Correa, 2020). En base a ello, se aplicó nuevamente el complemento de FragScape, en donde el paso 1 y 2 fueron los mismos que en los dos escenarios anteriormente descritos. No obstante, en el tercer paso se aplicó como dato adicional las redes viales ya mencionadas y junto con ello, ahora se incorporó la capa vectorial que considera los cursos hídricos (canales y quebradas) como corredores biológicos. Luego en el paso 4 se volvieron a contemplar las métricas CBC y al llevar a cabo la ejecución del cálculo de métricas se tuvo como resultado los valores de fragmentación correspondientes a la columna “CBC\_MSIZ” de la tabla de atributos, las cuales se categorizaron en cinco niveles de fragmentación correspondientes a “**Muy alta**”, “**Alta**”, “**Media**”, “**Baja**” y “**Muy baja a nula**”.

### *2.3.2 Aplicación de las métricas de fragmentación del paisaje según los usos y coberturas de suelo del área de estudio, considerando tres escenarios distintos*

Ahora bien, en la segunda etapa para completar el objetivo 3, se aplicaron las métricas de fragmentación del paisaje **según los usos y coberturas de suelo** del área de estudio, considerando los tres escenarios distintos. En primer lugar, se implementó el geoproceto de intersección, en donde la capa de entrada corresponde al Catastro de Uso y Cobertura de Suelo de la Zona de Influencia Ecológica y luego en la capa de superposición se utilizó el Shapefile de las métricas obtenidas a partir del complemento FragScape para el escenario 1.

Esto da como resultado el nivel de fragmentación según los usos y coberturas de suelo del área de estudio. Junto con lo anterior, se utilizó la herramienta “Estadística por Categoría” con la finalidad de obtener los datos estadísticos de las métricas de paisaje específicamente para las categorías de suelo que podrían ser fragmentadas, tales como el “Curso de agua”, “Vegetación densa”, “Vegetación dispersa” y “Praderas”. En la aplicación de las Estadísticas por Categoría

la capa vectorial de entrada que se incorporó fue el Shapefile correspondiente al resultado de la Intersección entre el Catastro de suelo y las métricas de fragmentación del escenario 1. En base a lo anterior, se obtuvieron los datos cuantitativos para las coberturas de suelo potencialmente fragmentadas, entre las estadísticas obtenidas se tiene el Número de Parches, Mínimo y Máximo de superficie, Superficie total, Media, Promedio y Desviación Estándar de la superficie, no obstante, para efectos prácticos de esta investigación, se utilizaron el **Número de Parches, la Superficie Total y la Superficie promedio (ver Tabla 2).**

**Tabla 2.** Tabla de Atributos de las Estadísticas por Categorías

TIPO	NIVEL_FRAG	count	unique	min	max	range	sum	mean	median	stddev
Curso de agua	Alta	2	2	0,993	98,17	97,177	99,163	49,5815	49,5815	48,5885
Curso de agua	Muy baja a nula	2	2	3,255	41,786	38,531	45,0410000000...	22,5205000000...	22,5205000000...	19,2655
Curso de agua	Muy alta	5	1	98,17	98,17	0	490,85	98,17	98,17	0
Curso de agua	Baja	1	1	98,17	98,17	0	98,17	98,17	98,17	0
Praderas	Muy baja a nula	13	13	0,004	65,138	65,134	117,127	9,00976923076...	0,895	17,4620616641...
Vegetacion densa	Muy alta	2	1	138,553	138,553	0	277,106	138,553	138,553	0
Vegetacion densa	Muy baja a nula	54	52	0	1071,975	1071,975	2048,58200000...	37,9367037037...	5,09099999999...	146,524802591...
Vegetacion densa	Baja	16	16	1,299	176,987	175,688	512,970999999...	32,0606874999...	3,402	52,6471655335...
Vegetacion densa	Media	2	2	0,043	145,715	145,672	145,758	72,879	72,879	72,836
Vegetacion dispersa	Baja	7	7	0,002	5082,847	5082,84499999...	5561,303	794,471857142...	33,089	1753,33920062...
Vegetacion dispersa	Muy baja a nula	26	23	0	5082,847	5082,847	5973,238	229,739923076...	5,5325	973,530367285...
Vegetacion dispersa	Alta	2	2	2,291	5082,847	5080,556	5085,138	2542,569	2542,569	2540,278
Vegetacion dispersa	Media	2	2	13,983	5082,847	5068,864	5096,83	2548,415	2548,415	2534,432
Vegetacion dispersa	Muy alta	4	3	0,294	5082,847	5082,553	5249,512	1312,378	83,1855	2177,93315488...

Fuente: Elaboración propia

Para el escenario 2 se aplicaron los mismos procedimientos anteriormente descritos, en donde primeramente se aplicó el geoprocésamiento de Intersección entre el Catastro de Uso y Cobertura de suelo de la Zona de Influencia Ecológica y las métricas de fragmentación obtenidas en el complemento FragScape para el segundo escenario contrafactual. Luego de eso se aplicó la Estadística por Categorías, utilizando la capa vectorial de la intersección anterior, dando como resultado el número de parches, la superficie total y el promedio de superficie para las coberturas de suelo correspondientes a “Curso de agua”, “Vegetación densa”, “Vegetación dispersa” y “Praderas”, las cuales podrían recibir eventualmente el mayor efecto ecológico de la potencial autopista.

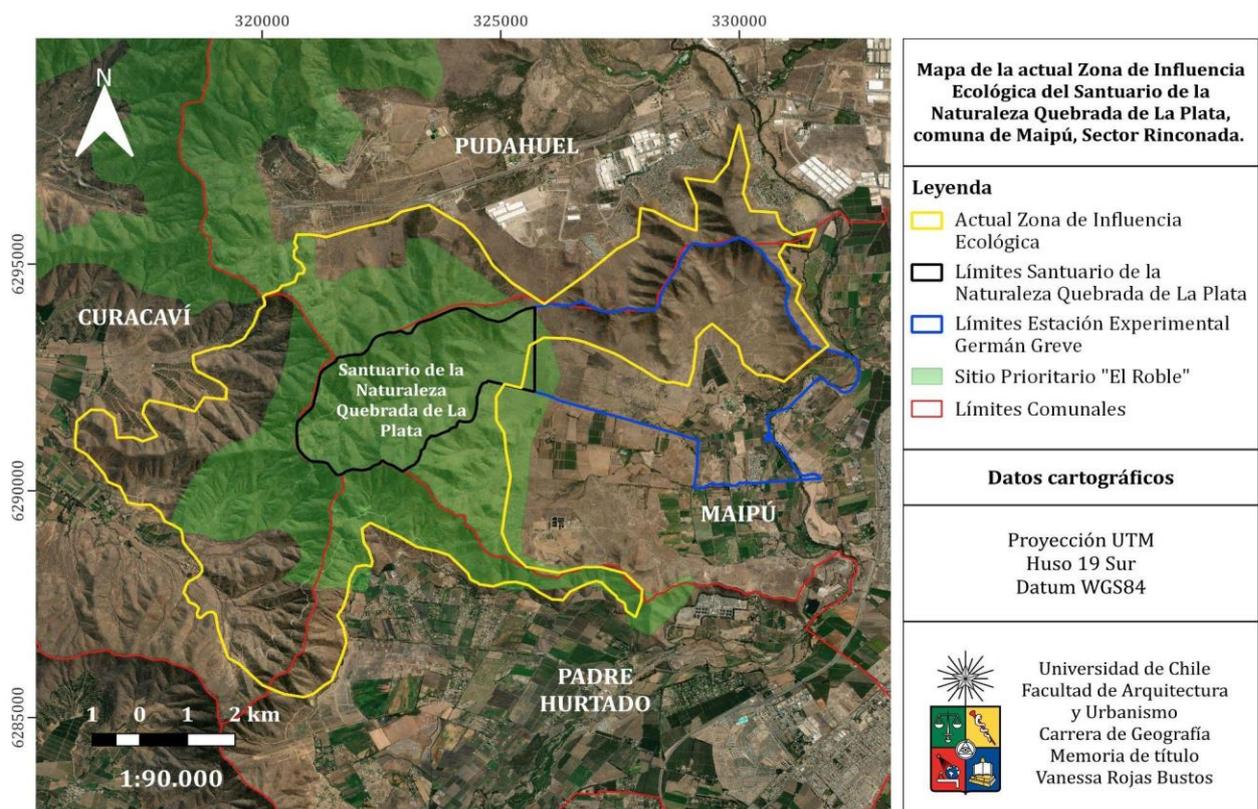
Por último, respecto al tercer escenario, se genera nuevamente la Intersección entre el Catastro de Uso y Cobertura de suelo de la Zona de Influencia Ecológica y las métricas de fragmentación obtenidas en el complemento FragScape para el tercer escenario contrafactual. Seguido a ello, se obtiene la Estadística por Categorías, incorporando la capa vectorial de intersección para el escenario 3 y a partir de esto se obtiene el número de parches, la superficie total y la superficie promedio de las coberturas naturales posiblemente fragmentadas por la autopista.

## CAPÍTULO 3: RESULTADOS

### 3.1 Delimitación zona de influencia ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata

En el Plan de Manejo del Santuario se encuentra delimitada la zona de influencia ecológica, la cual corresponde a áreas de gran importancia ecológica, donde la conservación garantiza el cumplimiento de los objetivos y la estabilidad de los ecosistemas protegidos en el Santuario (Núñez, 2010 citado en Facultad de Ciencias Agronómicas, 2020). Esta zona incluye específicamente el sitio prioritario para la conservación El Roble el cual está ubicado en el área norponiente de la Cordillera de la Costa, abarca alrededor de 88.520 hectáreas y comprende el sector poniente de las comunas de Til Til, Lampa, Pudahuel y Maipú y la parte norte de las comunas de Padre Hurtado y Curacaví (CONAMA, 2005), además de ello, la actual zona de influencia ecológica del Santuario (ver Figura 8) incluye a sectores con baja intervención antrópica y con conectividad al Santuario, entre ellos la Quebrada Pajarito y el Cerro Lo Aguirre en su conjunto (Facultad de Ciencias Agronómicas, 2020).

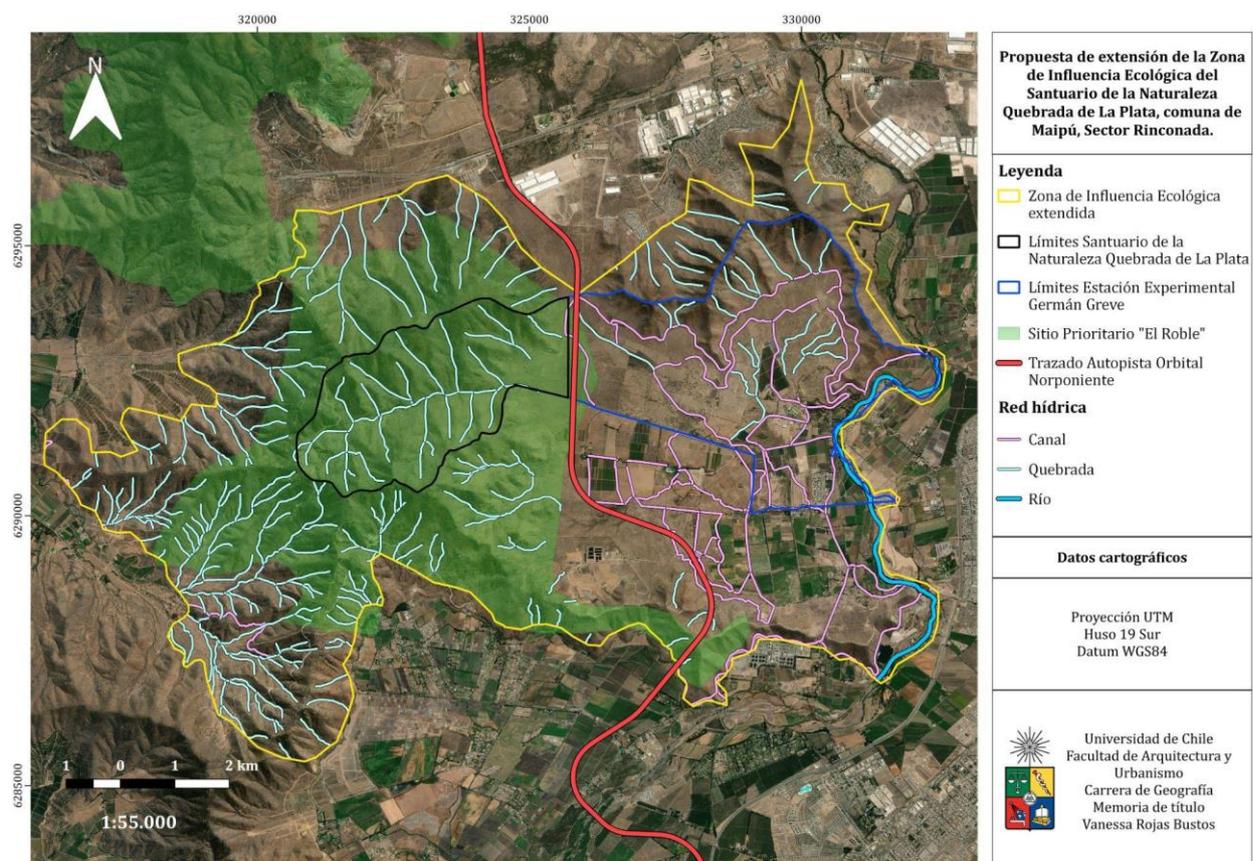
**Figura 8.** Mapa de la actual Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata, comuna de Maipú, Sector Rinconada.



Fuente: IDE, 2021, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2023, Facultad de Ciencias Agronómicas, 2023.

Según lo descrito en el Plan de Manejo del Santuario los criterios utilizados para definir la actual Zona de Influencia Ecológica fueron establecidos por Núñez (2010 citado en Facultad de Ciencias Agronómicas, 2020). Inicialmente, el primer criterio utilizado corresponde a los corredores biológicos, los cuales permiten la interconexión, el mantenimiento y la dispersión de flujos genéticos entre poblaciones de flora y fauna. Otro criterio por considerar son los espacios vitales para la continuidad hacia el exterior de las áreas protegidas, de ecosistemas y procesos evolutivos, así como también se consideran los hábitats de especies que en particular son prioritarias para la conservación al interior de las áreas protegidas y por último los espacios de alta sensibilidad ecológica, relacionados con el área protegida y de interés para su conservación fuera de ella. No obstante, en el marco de esta investigación se propone extender la delimitación de la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata (ver Figura 9), con el objetivo de garantizar la estabilidad y conectividad de los ecosistemas al interior del área protegida (en este caso el Santuario).

**Figura 9.** Propuesta de extensión de la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata, comuna de Maipú, Sector Rinconada.



Fuente: IDE, 2021, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2023, Facultad de Ciencias Agronómicas, 2023.

En ese sentido, para delimitar la nueva extensión de la Zona de Influencia Ecológica del Santuario se consideraron nuevos criterios (ver Figura 10), para ello inicialmente se incluyó el

**cordón de cerros del sector sur-oriente** ya que una parte de él, la cual se encuentra considerada dentro del Sitio Prioritario “El Roble”, queda fuera de la actual Zona de Influencia Ecológica. Por ello, en la nueva extensión de la Zona de Influencia Ecológica se contempla este brazo del cordón de cerros del sector Sur-Oriente (Ver Figura 10) ya que actúa como corredor biológico para la movilidad y desplazamiento de fauna entre los cerros más altos, bosques, pastizales, incluso hacia ecosistemas más humanizados (Castro et al., 2002), lo cual favorece el transporte de distintas especies de animales, agua, minerales, nutrientes, materia orgánica, semillas, esporas y micro organismos. Cabe señalar que el cordón de cerros Sur-Oriente alcanza pendientes sobre los 25° y a su vez colinda con extensas áreas de pendientes igual o menores a 10°, las cuales corresponden a suelos de uso agrícola. Por otro lado, en el lado Este del cordón de cerros sur-oriente se encuentra el principal curso hídrico correspondiente al Río Mapocho, este tramo del afluente presenta pendientes igual o menores a 10°.

Conjuntamente, como parte de los criterios ecológicos también se consideró el cordón de cerros del sector Norte y del sector Nor-oriente de la Zona de Influencia Ecológica, dicho enlaces de cerros limitan entre las comunas de Pudahuel y Maipú. En lo que respecta al cordón de cerros del sector Norte, este se caracteriza por presentar pendientes sobre los 25° hasta pendientes mayores a 55° (Ver Figura 11). Paralelamente, en el **cordón de cerros del sector Nor-oriente** se identifican pendientes entre los 10° a 25° y pendientes entre los 40° y 55°, en donde se destaca el **Cerro Isla “Lo Aguirre”**, el cual se encuentra próximo a áreas mayormente urbanizadas y cercano a la Ruta 68. Dicho cerro isla se considera dentro de los criterios ecológicos para extender la Zona de Influencia Ecológica debido a la gran importancia para la conectividad de áreas naturales ya que provee diversos servicios ambientales para estas zonas alteradas antrópicamente. Entre las funciones del cerro isla se destaca la protección de acuíferos, el control de escurrimiento, la regulación térmica, además sirven como hábitats para conservar diversas especies de flora y fauna nativa (Fernández, 2011)

Por otro lado, hacia el sector sur-oriente del Cerro Isla “Lo Aguirre” se encuentra el principal **curso hídrico** correspondiente al **Río Mapocho**, el cual también se consideró como uno de los nuevos criterios para la delimitación de la nueva extensión de la Zona de Influencia Ecológica. Este es el cauce más próximo a la Zona de Influencia Ecológica, el cual presenta una longitud de 9 km aproximadamente en el área considerada como Zona de Influencia. Además de ello, el Río Mapocho estructura los escurrimientos superficiales del área de estudio (Ilustre Municipalidad de Maipú, 2012 citado en Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile, 2016), y conjuntamente, actúa como corredor fluvial siendo de suma importancia para el funcionamiento de los ecosistemas sobre todo en ambientes mediterráneos (Montes et al., 1987; Sterling, 1990 citados en Castro et al., 2002) donde el déficit hídrico se acentúa mayormente en periodo estival.

Junto con ello, dentro de este criterio también se consideró la totalidad de la Quebrada de La Plata (quebrada principal) y sus múltiples sub quebradas (ver Figura 9 y 10), las cuales permiten que la red hídrica superficial se active en períodos invernales debido a los aportes pluviales (Facultad de Ciencias Agronómicas, 2020). La microcuenca Quebrada de La Plata y sus sub

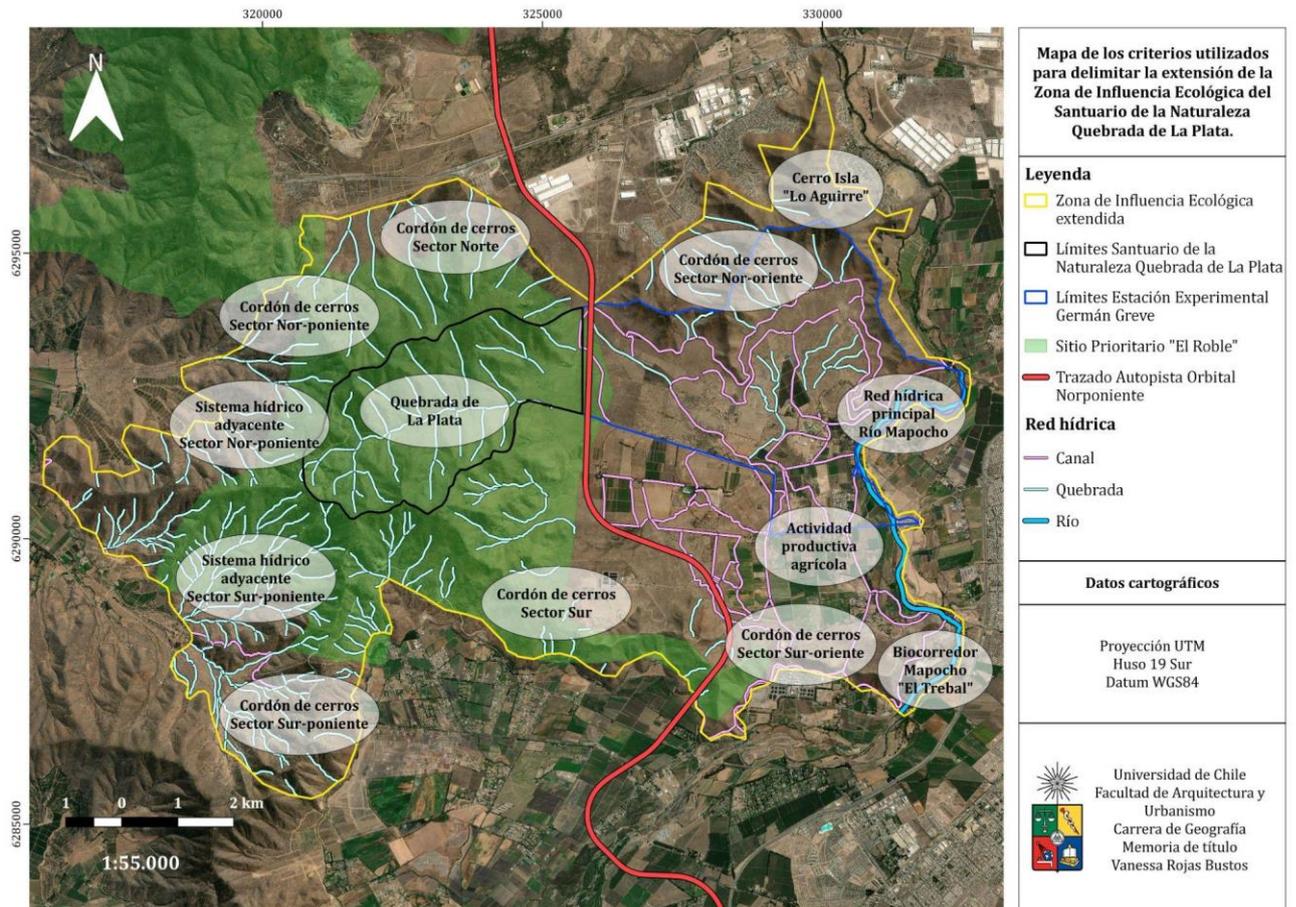
quebradas se encuentran en pendientes que varían entre los 10 y 25°, alcanzando incluso los 40° de pendiente, cuyas áreas que conforman los inicios de la Quebrada principal presentan las primeras formaciones vegetacionales, en donde las comunidades de flora que abarcan esta zona corresponden a *Acacia caven* (espino), *Senna candolleana* (quebracho) y *Porlieria chilensis* (guayacán), los cuales proveen hábitat a múltiples especies de aves, roedores y reptiles gracias a su denso dosel.

Al adentrarse en la Quebrada principal, se encuentran las laderas de exposición norte las cuales se caracterizan por la presencia de matorrales, presentando en algunos casos estratos combinados de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas con coberturas vegetacionales que van desde muy abierto a semidenso. Las principales especies de flora presente son *Retanilla trinervia* (tevo), *Colliguaja odorifera* (colliguay), *Baccharis linearis* (romerillo), *Flourensia thurifera* (maravilla de campo), *Proustia cuneifolia* (huañil), *Puya berteroniana* (chagual) (Tapia, 2005 citado en Facultad de Ciencias Agronómicas, 2020). Por otro lado, la ladera de exposición sur se caracteriza por su contenido de humedad en el suelo lo que permite la presencia de bosques en las laderas de exposición sur, predominando las coberturas semidensas y densas. Encontrando especies de *Peumus boldus* (boldo), *Lithraea caustica* (litre), *Acacia caven* (espino), *Cryptocarya alba* (peumo), *Quillaja saponaria* (quillay) y *Senna candolleana* (quebracho) (Tapia, 2005 citado en Facultad de Ciencias Agronómicas, 2020).

Conforme a ello, Quebrada de La Plata y sus sub quebradas colindantes albergan distintas formaciones vegetacionales, en donde estos diversos ecosistemas interactúan entre sí y con el paisaje que los rodea, entregando una serie de servicios ecosistémicos. A su vez, cumple la función de proporcionar refugio, movimiento y dispersión de un gran número de especies silvestres, pertenecientes a distintos grupos taxonómicos. Otra función importante de la micro cuenca Quebrada de La Plata tiene relación con la captura de material particulado y la regulación atmosférica, así como también la regulación del ciclo hidrológico y la recarga de acuíferos (Lobos, 2022).

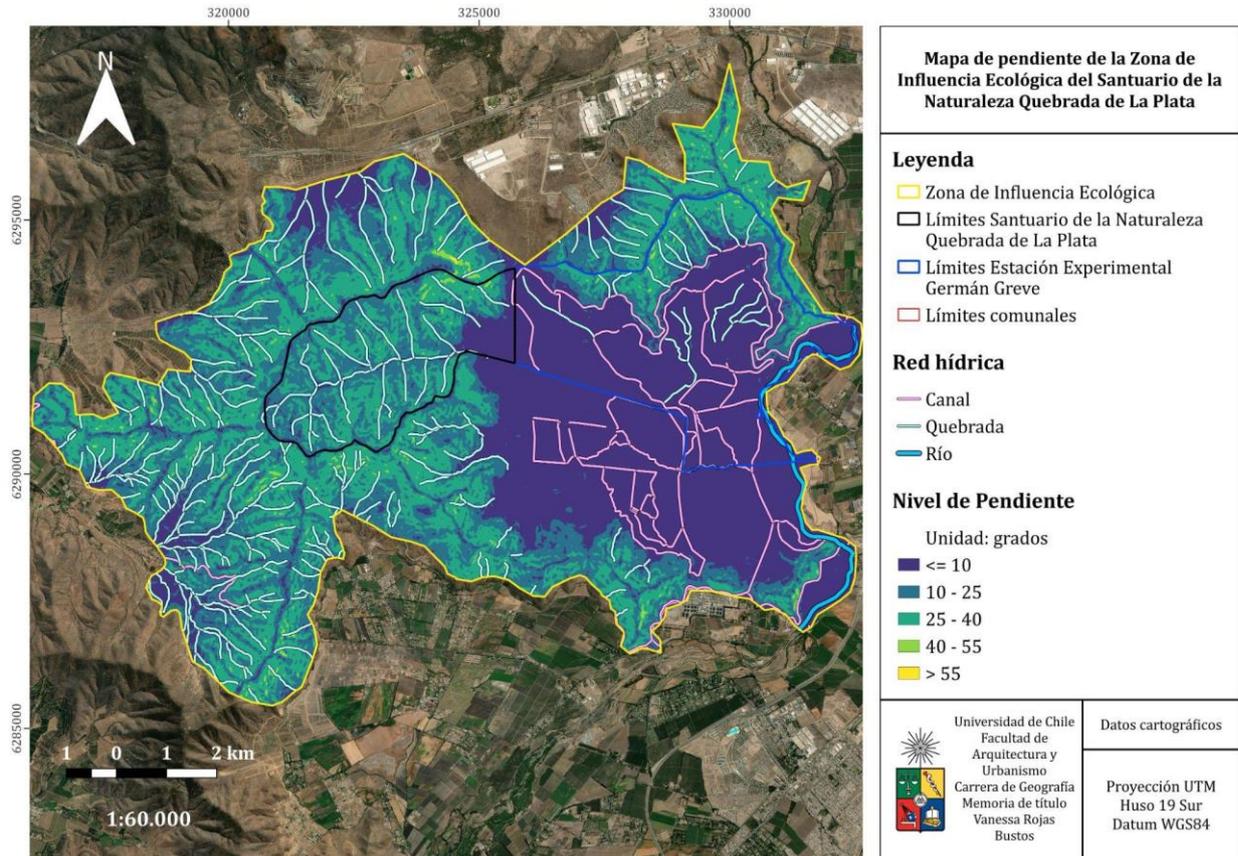
Adicionalmente, se consideraron los sistema hídricos Sur-Poniente, Poniente y Nor-Poniente que conecta entre el límite de la comuna Curacaví y Maipú (ver Figura 10), en donde también se encuentra el límite del Santuario. Estos sistemas hídricos adyacente si bien no son afluentes de la Quebrada de La Plata, de igual manera se incluyeron como parte de los criterios utilizados para delimitar la Zona de Influencia Ecológica, pues son flujos hídricos que mantienen la conectividad de los hábitat para las distintas especies de flora y fauna.

**Figura 10.** Mapa de criterios utilizados para delimitar nueva extensión de la Zona de Influencia Ecológica



Fuente: IDE, 2021, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2023, Facultad de Ciencias Agronómicas, 2023.

**Figura 11.** Mapa de pendiente de la Zona de Influencia Ecológica



Fuente: IDE Chile, 2021, 2016, Facultad de Ciencias Agronómicas, 2023.

Conjuntamente, el potencial trazado de la infraestructura vial también atravesaría 740 metros aproximadamente del cordón de cerros Sur-Oriente (ver Figura 10). Sin embargo, autores como Arroyave et al (2006) plantean que cuando un área es atravesada por infraestructuras viales causan la fragmentación de un hábitat grande y continuo, en donde se reduce y subdivide en dos o más fragmentos aislados entre sí, por lo que la falta de conectividad paisajística de dichos fragmentos influye negativamente ya que impiden la movilidad de los organismos, lo que a su vez afecta en la capacidad de supervivencia y colonización de las especies (Szek, 2012).

Cabe señalar que muchas especies de insectos, aves y mamíferos no cruzan estos fragmentos, por lo tanto, las plantas que tienen frutos o semillas que se dispersan por animales también se verán afectadas (Arroyave et al., 2006). Junto con esto, cuando un ecosistema es fragmentado por una infraestructura vial también cambian las condiciones bióticas y abióticas de los fragmentos y de la matriz circundante (Kattan, 2002). Ahora bien, como se mencionó en el planteamiento del problema existe un proyecto de autopista que pretende ser construido a 80-100 metros aproximadamente del límite del Santuario, en donde además parte del trazado de la autopista recorrería alrededor de 800 metros en el sector centro-norte de la Zona de Influencia Ecológica del Santuario.

### **3.2 Caracterización a nivel de paisaje de la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata.**

#### *3.2.1 Descripción de los usos y coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica*

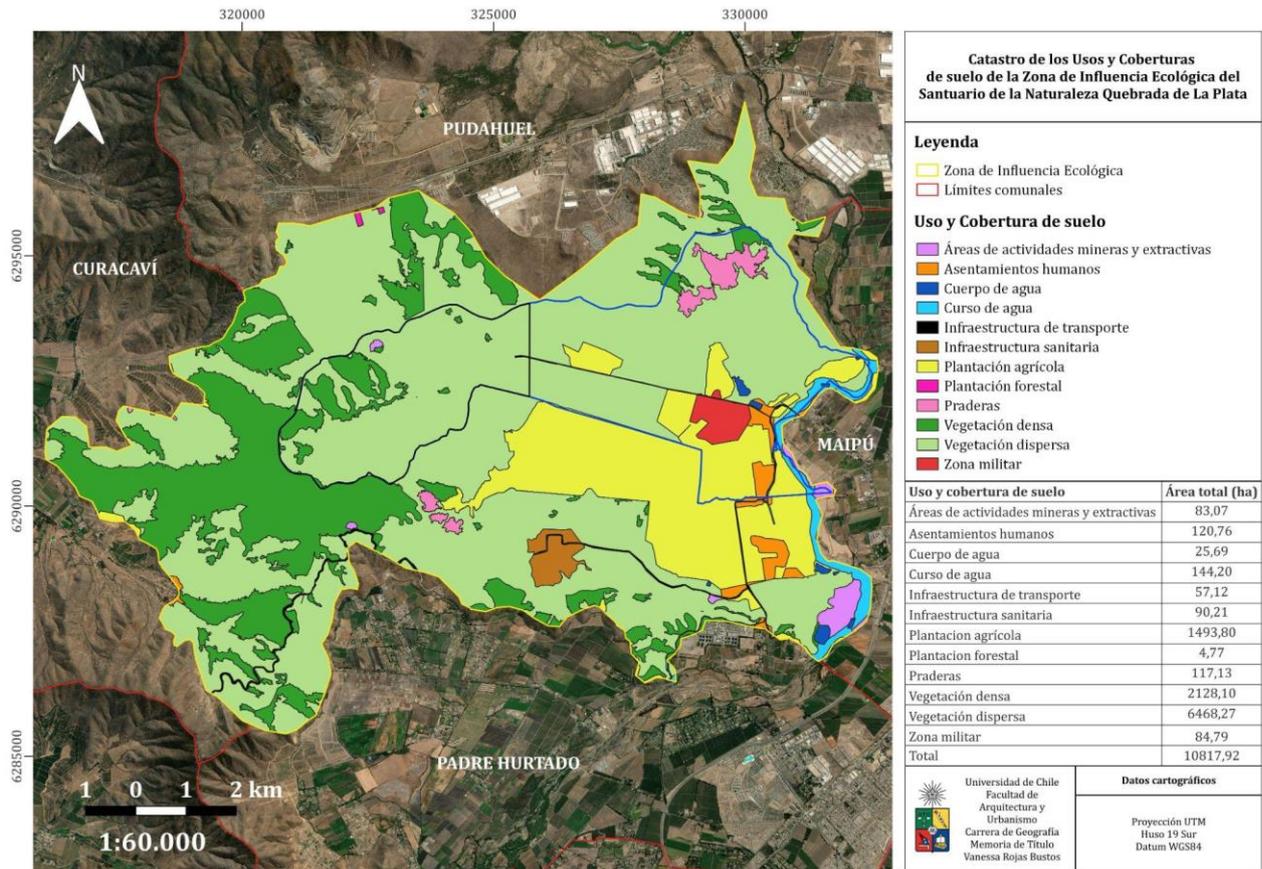
Respecto a la caracterización realizada para los usos y coberturas de suelo del área de estudio, al analizar la Figura 12 se observa que dicha área delimitada como Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata comprende un total de 10.817,92 hectáreas (ha), en donde la mayor cobertura de suelo corresponde a **vegetación dispersa** con 6.468,27 hectáreas (**59,79%**), esta cobertura natural está compuesta por diversos tipos de matorrales con presencia de especies nativas y endémicas, a ello le sigue la **vegetación densa** con 2.128,10 hectáreas (**19,67%**) la cual está compuesta principalmente por bosque esclerófilo. A su vez, en la Figura 12 se visualiza la presencia de **praderas** en el sector sur y noreste de la Zona de Influencia Ecológica, abarcan **117,13 hectáreas** las cuales representan tan solo **1,08%** del total de la superficie, no obstante se encuentran cubiertas con distintas hierbas, matorrales y árboles escasos.

Por otro lado, los usos de suelo presentes dentro de la Zona de Influencia Ecológica corresponden mayormente a **plantaciones agrícolas** con un total de 1.493,80 hectáreas (**13,81%**) debido a que este sector es parte de la zona rural de la comuna de Maipú, estas actividades agrícolas se concentran en el sector este y sureste del área de estudio. Junto con esto, en la Figura 12 se distinguen **asentamientos humanos (129,76 ha, 1,12%)** que se caracterizan por ser de uso residencial, los cuales colindan con las áreas de plantaciones agrícolas. Además de ello, existe una **zona militar (84,79 ha, 0,78%)** en donde se ubica la Escuela de Suboficiales del Ejército de Chile.

Siguiendo con el análisis respectivo, se observa la presencia de **infraestructura sanitaria (90,21 ha, 0,83%)** correspondiente al Relleno Sanitario Santiago Poniente, el cual se encuentra dentro del área con vegetación dispersa. A su vez, se visualizan **áreas de uso minero y extractivo (83,07 ha, 0,77%)**, en donde aún existen remanentes de dichas actividades. Dentro de las extensas áreas de vegetación dispersa, específicamente en el sector norte de la Zona de Influencia, es posible encontrar **plantaciones forestales** con un total de 4,77 hectáreas (**0,04%**). Sumado a ello, alrededor de 57,12 hectáreas (**0,53%**) corresponden a **infraestructuras de transporte**, en donde se consideran tanto los caminos sin pavimento como los pavimentados de una o dos vías. Dichos caminos se ubican en el sector suroeste y sureste del área de estudio, cercanos a los asentamientos humanos.

Por último, hacia el sector este y sureste se observan algunos **cuerpos de agua** los que comprenden un total de 25,69 hectáreas (**0,24%**), cabe señalar que estos cuerpos de agua son de carácter artificial, los cuales corresponden a embalses y tranques de regadío. Asimismo, en el sector este de la Zona de Influencia Ecológica se ubica el principal **curso de agua** correspondiente al Río Mapocho, el cual tiene una gran extensión de 144,20 hectáreas (**1,33%**).

**Figura 12.** Catastro de los Usos y Coberturas de Suelo correspondiente a la Zona de Influencia Ecológica



Fuente: Elaborado en base al Catastro de Uso y Cobertura de Suelo de CONAF (2013)

A partir de los datos presentados en la Tabla 3 es posible señalar que dentro de la Zona de Influencia Ecológica destacan las **coberturas naturales**, específicamente **vegetación dispersa** (6.468,27 ha), **vegetación densa** (2.128,10 ha), y **praderas** (117,13 ha). En primer lugar, respecto al área total de la **vegetación dispersa** esta se divide en 35 parches, en donde a superficie máxima corresponde a 5.082,85 hectáreas, siendo el parche más grande de toda la Zona de Influencia Ecológica, lo cual también es posible visualizar en la Figura 12. Por otro lado, en la Tabla n°3 se muestra que el mayor índice de desviación estándar corresponde a la **vegetación dispersa** con 856,14 hectáreas, de tal manera que dicha cobertura de suelo presenta una superficie con alto índice de dispersión.

Paralelamente, también se destaca la **vegetación densa** dado que presenta la mayor cantidad de parches (66) en relación al área total (2.128,10 ha), lo cual indica que esta superficie se encuentra dividida en un mayor número de fragmentos en comparación con las otras clases de uso y cobertura de suelo. Al mismo tiempo la desviación estándar equivale a 135,20 ha, siendo la segunda clase con más dispersión entre parches. Por otro lado, la vegetación densa se caracteriza por tener un máximo de superficie de 1.071,98 hectáreas, considerándose como otro de los parches que comprende más área dentro de la Zona de Influencia Ecológica.

En cuanto a las superficies clasificadas como **praderas**, estas abarcan 117,13 hectáreas las cuales se dividen en 13 parches a lo largo de toda el área de estudio. Adicionalmente, la desviación estándar de esta cobertura natural es de 18,18 hectáreas, por lo que sus parches no se encuentran tan dispersos en comparación a las demás clases de suelo anteriormente descritas.

**Tabla 3.** Datos estadísticos de los Usos y Coberturas de Suelo de la Zona de Influencia Ecológica

Uso y Cobertura de suelo	Superficie total (ha)	Número de parches	Promedio de superficie	Máximo de Superficie (ha)	Mínimo de Superficie (ha)	Desviación estándar de Superficie (ha)
Áreas de actividades mineras y extractivas	83,07	10	8,31	52,77	0,004	15,98
Asentamientos humanos	120,76	15	8,05	36,31	0,109	11,37
Cuerpo de agua	25,69	9	2,85	9,10	0,278	3,04
Curso de agua	144,20	4	36,05	98,17	0,993	45,45
Infraestructura de transporte	57,12	11	5,19	18,38	0,173	6,49
Infraestructura sanitaria	90,21	2	45,11	67,55	22,661	31,74
Plantaciones agrícolas	1493,80	31	48,19	1313,96	0,001	235,23
Plantaciones forestal	4,77	3	1,59	3,15	0,331	1,43
Praderas	117,13	13	9,01	65,14	0,004	18,18
Vegetación densa	2128,10	66	32,24	1071,98	0,001	134,20
Vegetación dispersa	6468,27	35	184,81	5082,85	0,001	856,14
Zona militar	84,79	4	21,20	82,03	0,005	40,57

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, en lo que respecta a los **usos de suelo** las **plantaciones agrícolas** contemplan el mayor número de hectáreas correspondiente a 1.493,80. Su superficie máxima es de 1.313,96

hectáreas, siendo el segundo parche más grande de la Zona de Influencia Ecológica. Sin embargo, presenta una alta dispersión la cual corresponde a 235,23 ha. Por su parte 120,76 hectáreas corresponden a **asentamientos humanos** presentes en el área de estudio, distribuidos en 15 parches, en donde la dispersión de dichos parches es de 11,37 ha, la cual se considera un valor bajo por tanto es posible decir que las áreas de esta clase de suelo se encuentran cercanas entre sí.

Otro uso de suelo presente en la Zona de Influencia Ecológica son las **actividades mineras y extractivas** que se reparten en un total de 10 parches y los cuales suman 83,07 hectáreas, en donde el parche más grande abarca 52,77 hectáreas. Sin embargo, la desviación estándar es de 15,98 ha, lo que equivale a una baja dispersión de la superficie de los parches. Cabe recalcar que las mineras existentes ya no se encuentran en funcionamiento, aun así permanecen los remanentes de dichas actividades. Junto con lo anterior, también es posible encontrar **infraestructura sanitaria** correspondiente al Relleno sanitario Santiago Poniente, el cual tiene un total de 90,21 ha, de la cual su superficie máxima comprende 67,55 ha y la dispersión es de 31,74 ha.

En la Zona de Influencia Ecológica se encuentra la **zona militar** la cual presenta 84,79 hectáreas, donde su superficie máxima es de 82,03 ha, por lo que prácticamente esta área se concentra en un mismo parche de gran extensión, además cabe señalar que la dispersión de la superficie es de 40,57 ha. Adicionalmente, hay 57,12 hectáreas que corresponden a **infraestructura de transporte**, es decir, vías de transporte, las cuales tienen un máximo de superficie de 18,38 ha, presentan baja dispersión (6,49 ha), lo que indica que las hectáreas de este uso de suelo se encuentran cercanas entre sí. Por otro lado, las **plantaciones forestales** son considerado el uso de suelo más pequeño ya que tan solo abarca 4,77 hectáreas, en donde la superficie promedio es de 1,59 ha y a la vez su distribución es de 1,43 ha, lo que quiere decir que la ubicación de los parches está próximos entre ellos.

Por último, los **cuerpos de aguas** existentes en el área de estudio suman un total de 25,69 hectáreas y su superficie máxima es de 9,10 ha, por lo cual se divide en reducidas hectáreas respecto al total de superficie. Conjuntamente, su dispersión también es baja (3,04 ha), de modo que los cuerpos de agua se encuentran cercanos. Finalmente, el **curso de agua** principal de esta Zona de Influencia Ecológica comprende un alto valor de 144,20 hectáreas, cuyo parche más grande es de 98,17 ha respecto al total de superficie. Conjuntamente, la dispersión es de 45,45 ha lo que se considera un valor alto respecto a las clases de suelo mencionadas anteriormente.

### 3.2.2 Análisis de las métricas clásicas de fragmentación del paisaje para la Zona de Influencia Ecológica

A continuación se describen los resultados de la configuración del paisaje de la Zona de Influencia Ecológica, en base a las métricas clásicas las cuales consideran el número de parches (NP), el tamaño promedio de los parches (MPS) y la densidad de los parches (DP).

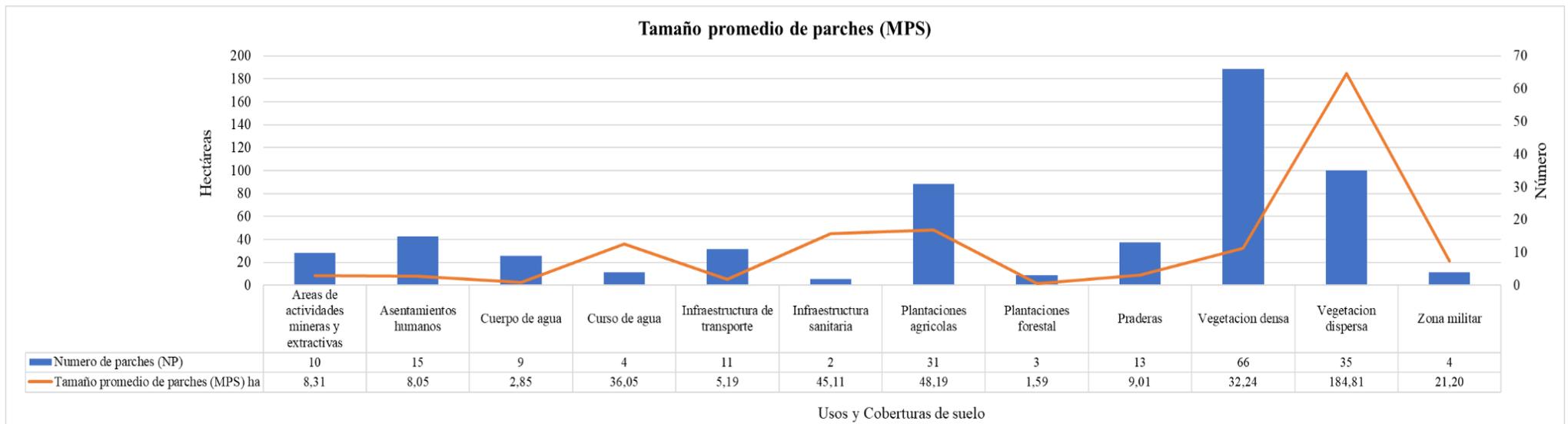
**Tabla 4.** Métricas clásicas de la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata

Uso y Cobertura de suelo	Número de parches (NP)	Tamaño promedio de parches (MPS) ha	Densidad de parches (DP)
Áreas de actividades mineras y extractivas	10	8,31	1203818,51
Asentamientos humanos	15	8,05	1863138,02
Cuerpo de agua	9	2,85	3152855,09
Curso de agua	4	36,05	110953,93
Infraestructura de transporte	11	5,19	2118347,34
Infraestructura sanitaria	2	45,11	44340,00
Plantaciones agrícolas	31	48,19	643324,02
Plantaciones forestales	3	1,59	1886792,45
Praderas	13	9,01	1442878,24
Vegetación densa	66	32,24	2046899,18
Vegetación dispersa	35	184,81	189385,98
Zona militar	4	21,20	188694,82

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con las métricas presentadas en la Tabla n°4 se observa que la cobertura de suelo correspondiente a **vegetación dispersa** presenta un índice MPS de 184,81 ha, siendo el valor más alto entre todos los usos y coberturas de suelo, lo cual da cuenta que es la superficie con el mayor núcleo. A esto le siguen las **plantaciones agrícolas** con 48,19 ha, luego la **infraestructura sanitaria** con 45,11 ha, en cuarto lugar el **curso de agua** con 36,05 ha y por último la **zona militar** con 21,20 ha. En base a lo mencionado anteriormente, es posible señalar que estos usos y coberturas de suelo son los que presentan menor grado de fragmentación, ya que el número de parches es menor en relación con su índice MPS. Sin embargo, se distingue que la **vegetación densa** presenta un elevado número de parches y un valor bajo de MPS (**ver Figura 13**), por tanto se considera como la superficie con mayor índice de fragmentación dentro del área de estudio.

**Figura 13.** Tamaño promedio de parches (MPS) de la Zona de Influencia Ecológica.



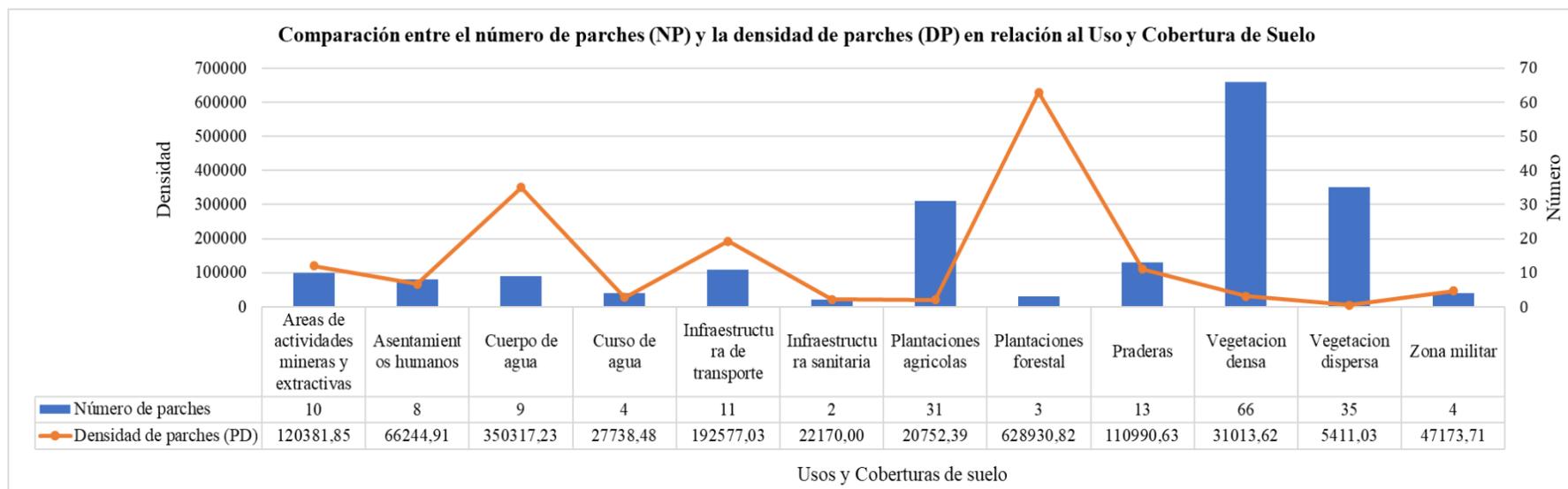
Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta la métrica de **densidad de parches (DP)**, la cual es comparada con el número de parches (NP) de los usos y coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica. En base a la Figura 14 se señala que las **plantaciones forestales** presentan el mayor índice DP correspondiente a 643.324,02, este alto valor de densidad se debe a que la máxima superficie de este uso de suelo es de 3,15 ha respecto al área total que equivale a 4,77 ha (ver Tabla 3), las cuales se dividen en un número de 3 parches, por lo tanto casi el total de esta área es dominado por un solo fragmento en donde se concentra la mayor superficie y a su vez presenta la mayor densidad.

Junto con lo anterior, los **cuerpos de agua** se dividen en 9 fragmentos los cuales presentan un total de densidad de parches de 350.317,23, siendo el segundo valor más alto (ver Figura 14). En ese sentido, vale decir que los cuerpos de agua al tener una superficie total menor a 100 ha (25,69 ha, ver Tabla 3) la densidad será mayor pues la superficie se concentrará en una menor cantidad de fragmentos. Por otro lado, la **infraestructura de transporte** ocupa el tercer lugar con el índice DP más alto (192.577,03), en donde el área total (57,12 ha) es menor a 100 ha y se divide en 11 parches, de manera que ocurre una situación similar a la de los cuerpos de agua, en donde la densidad es alta ya que la superficie se agrupa en una menor cantidad de fragmentos.

En cuanto a las coberturas naturales, tanto la **vegetación densa** como la **vegetación dispersa** presentan un bajo índice DP (31.013,62 y 5.411,03 respectivamente). Esto ocurre ya que el número de parches de ambas coberturas es muy alto al igual que el área total, por ende las superficies de la vegetación densa y dispersa se encuentran mayormente distribuidas y de manera homogénea a lo largo de toda el área. Conjuntamente, las **plantaciones agrícolas** también tienen un valor inferior de índice DP (20.752,39) debido a la misma situación explicada anteriormente, pues el área total de este uso de suelo está dividida en una alta cantidad de parches, por lo que la dispersión de su superficie es mayor y no se concentra en un parche en específico.

**Figura 14.** Comparación entre número de parches (NP) y la densidad de parches (DP) en relación con los Usos y Coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica



Fuente: Elaboración propia

Los indicadores expuestos anteriormente corresponden a una base cuantitativa, la cual tiene un enfoque descriptivo. En ese sentido, respecto al índice MPS (tamaño promedio de parche) se utiliza para describir la distribución del tamaño de los parches de diferentes tipos de usos y coberturas de suelo presentes en un paisaje. De tal forma, un paisaje que presente un valor del MPS más alto, indica que más grandes son los parches promedio de una determinada cobertura de suelo. Por tanto, los paisajes que presentan fragmentos más grandes corresponden a hábitats más estables y continuos, albergando diversas poblaciones de especies de flora y fauna. Los índices de paisaje aportan interesantes datos numéricos sobre la composición y la configuración de los paisajes, la proporción de cada cubierta del suelo o la superficie y la forma de los elementos del paisaje. Además, los índices de paisaje permiten una útil e interesante comparación entre distintas configuraciones paisajísticas, la misma área en distintos momentos temporales o la definición de escenarios futuros (Gustafson, 1998 citado en Ibáñez, 2009)

### **3.3 Caracterización los potenciales efectos ecológicos por fragmentación a nivel de paisaje asociados al proyecto "Autopista Orbital Norponiente<sup>1</sup>" en la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata, Comuna de Maipú.**

#### *3.3.1 Aplicación de las métricas de fragmentación del paisaje considerando tres escenarios distintos para el área de estudio*

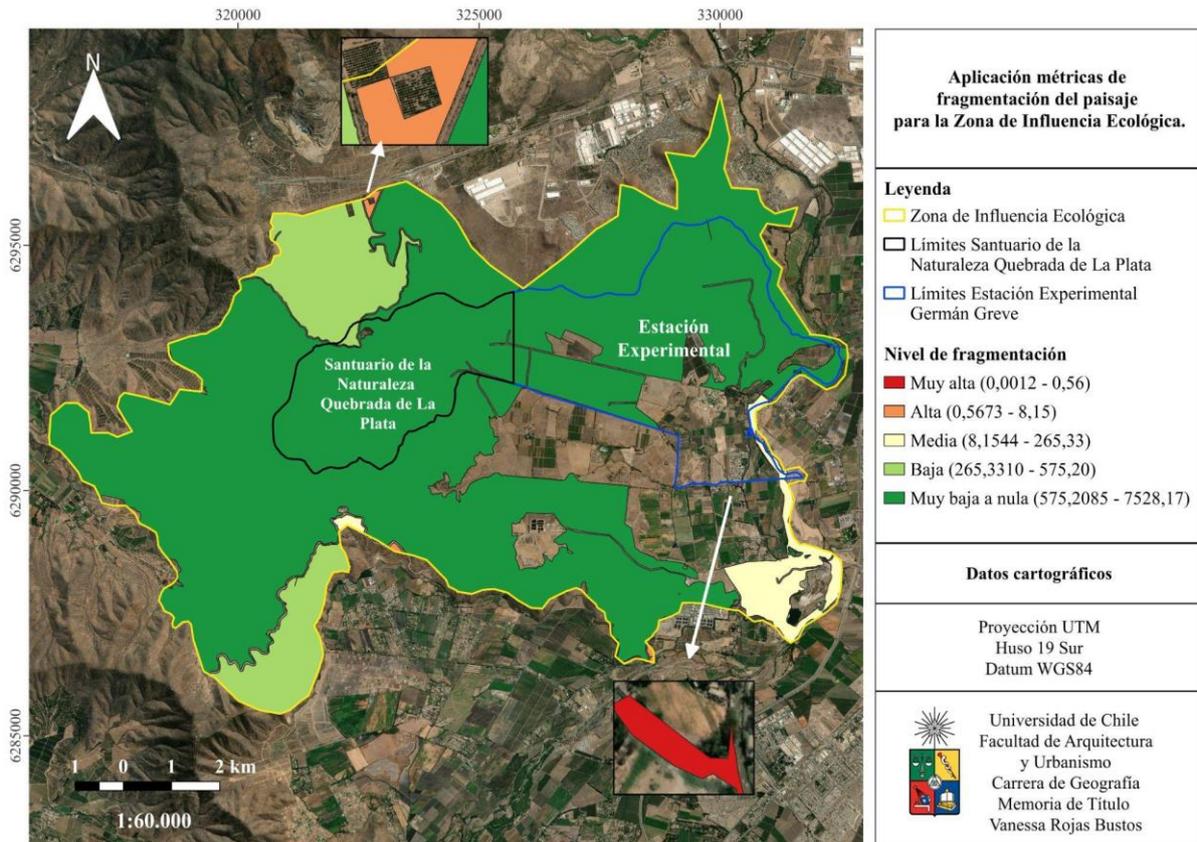
A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de las métricas de fragmentación a nivel de paisaje, considerando tres escenarios distintos para el área de estudio. En primer lugar, para la aplicación de las métricas de paisaje se contempla el escenario actual de la Zona de Influencia Ecológica, sin integrar como factor de fragmentación a la potencial Autopista Orbital Norponiente. En ese sentido, en la Figura 15 se observa que a escala de paisaje el nivel de la fragmentación es **muy baja a nula**, abarcando mayoritariamente el sector Poniente, Nor-Oriente y Sur de la Zona de Influencia Ecológica. Por otro lado, en el sector Nor-Poniente se presenta un gran parche con nivel de fragmentación **baja**, el cual colinda con un parche más pequeño el cual presenta **alta fragmentación**.

Hacia el sector Sur-Oriente, en donde se encuentra el principal curso hídrico, el nivel de la fragmentación es **media**. Mientras que en la parte sur del límite de la Estación Experimental Germán Greve se destaca un parche con un nivel de fragmentación **muy alta**. A partir de la aplicación de la métrica de paisaje para este escenario es correcto decir que actualmente la Zona de Influencia Ecológica se caracteriza por tener muy baja fragmentación, por lo cual la conectividad del paisaje es continua y homogénea, lo que permite que el área de estudio sea un entorno con mayor capacidad para mantener las funciones ecológicas de las distintas especies.

---

<sup>1</sup> El proyecto considera la materialización de una doble calzada de dos o tres pistas por sentido, con accesos controlados, calles de servicio, enlaces, pasarelas, puentes, túneles, entre otras obras, con una extensión aproximada de 46 kilómetros, emplazándose a través de las comunas de Lampa, Pudahuel, Maipú, Padre Hurtado y Peñaflores de la Región Metropolitana.

**Figura 15.** Aplicación de las métricas de fragmentación del paisaje para el escenario actual de la Zona de Influencia Ecológica



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, se aplicó nuevamente la métrica de fragmentación del paisaje pero esta vez para un segundo escenario, en donde se considera la potencial Autopista Orbital Norponiente como elemento de fragmentación del paisaje para la Zona de Influencia Ecológica. En ese sentido, en la Figura 16 se expone el resultado obtenido en donde es posible visualizar que ahora el nivel de la fragmentación **muy baja a nula** se concentra en un gran parche hacia el sector Poniente y parte del sector Sur del área de estudio. Por otro lado, hacia el sector Nor-Oriente el nivel de la fragmentación es **baja**, identificando un cambio en este parche al compararlo con la Figura 15.

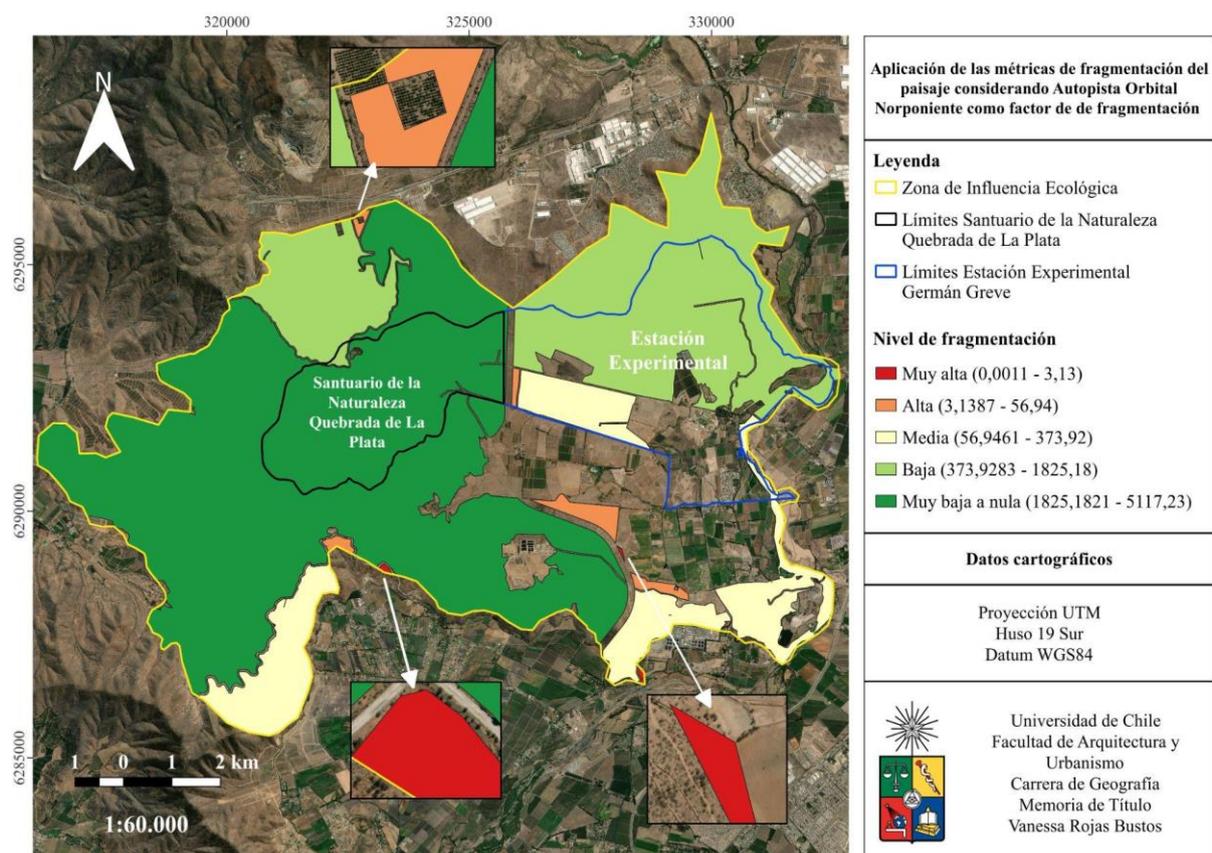
A partir de la incorporación de la potencial autopista, en este escenario el nivel de fragmentación comienza a aumentar, pues en la Figura 16 se observa que entre el límite del Santuario de la Naturaleza y la Estación Experimental (en donde pasaría parte del trayecto de la autopista) hay dos parches de **media y alta fragmentación** (color amarillo y naranja respectivamente), los cuales en el primer escenario presentaban una muy baja a nula fragmentación (ver Figura 15). Por otro lado, hacia el sector Sur de la Zona de Influencia Ecológica aparecen tres parches con una **alta fragmentación** (color rojo).

Adicionalmente, sector Sur-Oriente, es posible determinar que se incorpora un nuevo parches con nivel de **fragmentación media y alta** (color amarillo y rojo respectivamente), lo cual estaría fragmentando parte del Cordón de Cerros Sur-Oriente perteneciente al sitio prioritario

El Roble, el Biocorredor El Trebal y el curso hídrico principal, pues se localizan precisamente en este sector.

En cuanto al sector Sur-Poniente también se observa un cambio (comparar Figuras 15 y 16), ya que en este segundo escenario el parche que antes tenía baja fragmentación ahora aumenta a un nivel de **fragmentación media** (color amarillo). Conjuntamente, el parche que colinda hacia la derecha presenta un nivel de **fragmentación alta** (color naranja), el cual anteriormente estaba en un nivel de fragmentación media (ver Figura 15).

**Figura 16.** Aplicación de las métricas de fragmentación del paisaje para la Zona de Influencia Ecológica considerando la potencial Autopista Orbital Norponiente como elemento de fragmentación



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se consideró un tercer escenario para la aplicación de las métricas de paisaje, en donde se contempla el área de estudio junto con el potencial trazado de la Autopista Orbital Norponiente y a su vez se integran potenciales corredores biológicos que conectan los parches divididos por la infraestructura vial. Cabe señalar que la propuesta de estos corredores son solo modelos referenciales y corresponden a estructuras tipo Box con pasarelas bajas (ver Figura 17). Este prototipo de corredores biológicos atiende fauna terrestre en general y fauna acuática cuando se cruzan cuerpos de agua evitando o minimizando su intervención (Correa, 2020). Las principales características de estos corredores biológicos es que son alcantarillas de sección cuadrada, generalmente de más de 1 metro de altura y ancho. Junto con ello, suelen ser muy

pequeñas como para incorporar una parte de la ronda de protección del cauce, razón por la cual, para ser consideradas como paso seguro de fauna terrestre, deben incluir una estructura adicional que actúe como paso seco permanentemente (Correa, 2020). Bajo ese contexto, se propone este tercer escenario para evaluar si los niveles de fragmentación cambian o se mantienen a partir de la incorporación de los potenciales corredores biológicos.

**Figura 17.** Prototipo de corredor biológico, estructura tipo Box con pasarelas bajas

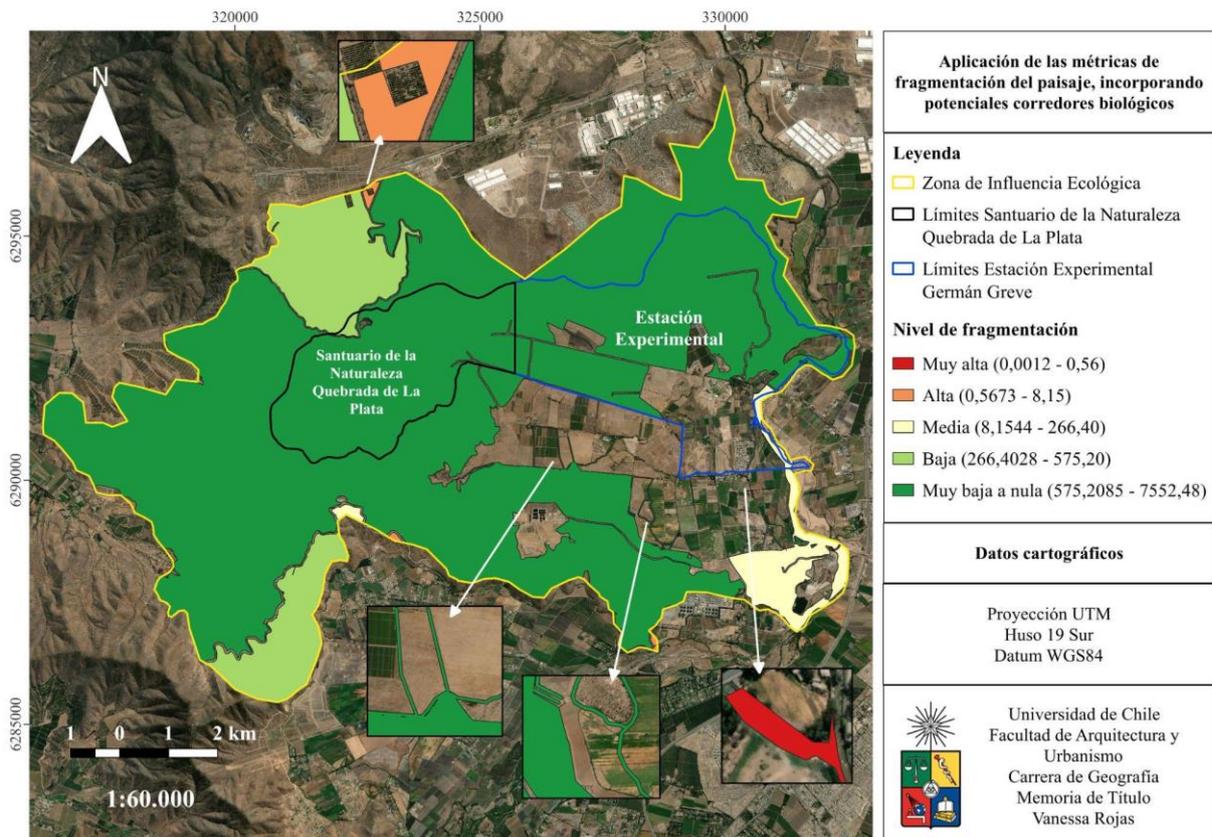


Fuente: Correa, 2020.

En ese sentido, en la Figura 18 se muestra el resultado obtenido de las métricas de paisaje para el tercer escenario, en donde se identifica un parche con **alta fragmentación** en el **sector Nor-Poniente**, el cual limita con un parche de **baja fragmentación**. Por otro lado, en el sector **Sur-Poniente** se visualiza un pequeño parche con **alta fragmentación**, mientras que a su izquierda se localiza un parche con nivel de **fragmentación media**. Simultáneamente, en el **extremo Sur-Poniente** también se encuentra un parche de mayor tamaño con **baja fragmentación**.

Por otra parte, en el extremo del **sector Sur-Oriente**, existe un parche con nivel de **fragmentación media**, en donde precisamente se localiza el curso hídrico principal y el Biocorredor Mapocho “El Trebal”. Dentro del sector Sur-Oriente también es posible encontrar pequeños parches con nivel de **fragmentación muy alta** (ver Figura 18). No obstante, en la Zona de Influencia Ecológica abarca gran parche con **muy baja a nula fragmentación**, el cual comprende parte del sector Norte, Nor-Oriente, Sur y Poniente del área de estudio. Incluso al comparar los valores del escenario n°1 (ver Figura 15) con los valores del escenario n°2 (ver Figura 16) y luego con los valores del escenario n°3 (ver Figura 18), es posible identificar que aumenta el valor del nivel de fragmentación “muy baja a nula” en el tercer escenario, pasando de 7.528,17 a 7.552,48. Lo anterior da cuenta que al incorporar corredores biológicos (pasos de fauna) en infraestructuras viales, se logra mitigar la fragmentación del paisaje y establece una óptima conexión entre los parches del área de estudio.

**Figura 18.** Aplicación de las métricas de fragmentación del paisaje para la Zona de Influencia Ecológica considerando potencial infraestructura vial como elemento de fragmentación e incorporando corredores biológicos.



Fuente: Elaboración propia

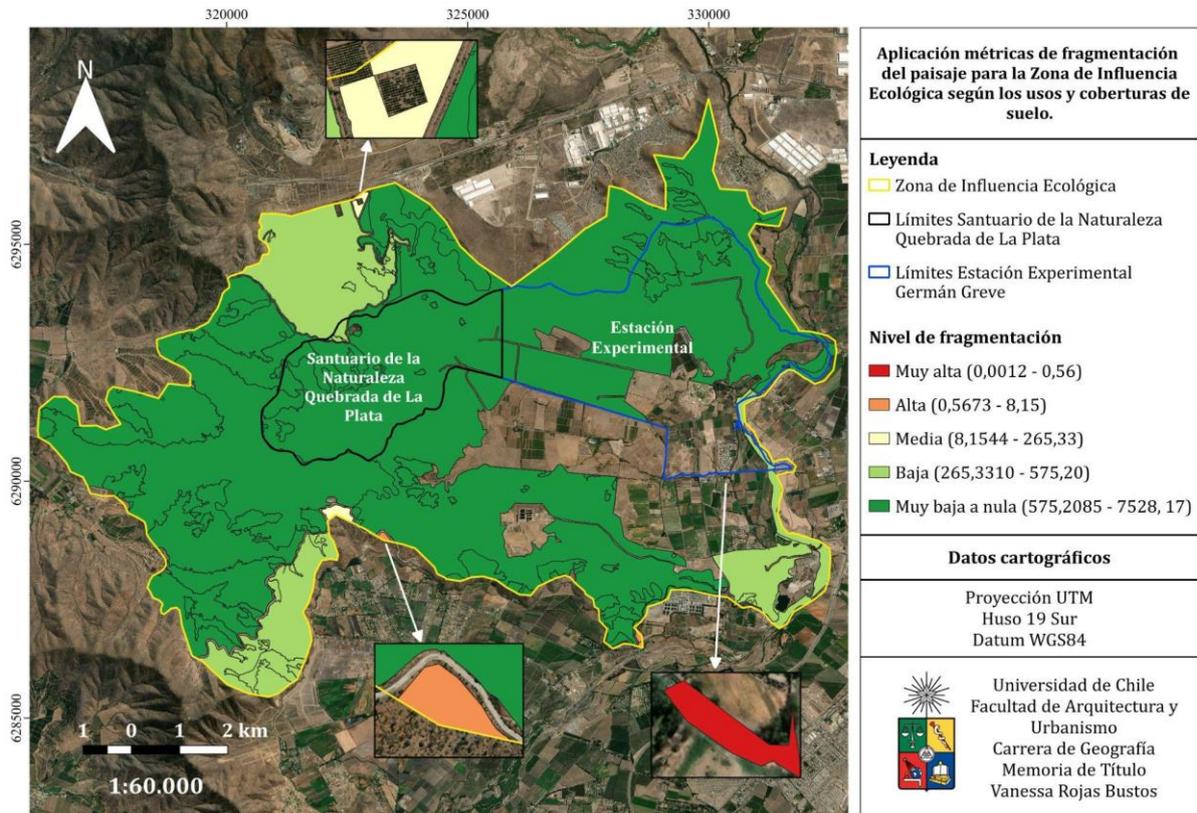
### 3.3.2 Aplicación de las métricas de fragmentación del paisaje según los usos y coberturas de suelo del área de estudio, considerando tres escenarios distintos

En este apartado se presenta la aplicación de métricas de fragmentación a nivel de paisaje según los usos y coberturas de suelo del área de estudio, considerando el escenario actual y dos escenarios contrafactuales (Zona de Influencia con potencial Autopista y con potenciales corredores verdes). Conjuntamente en la Tabla 5 se detalla el nivel de fragmentación según las coberturas de suelo. Inicialmente, se consideró el escenario actual de la Zona de Influencia Ecológica, en donde se obtiene como resultado la predominancia de una muy baja a nula fragmentación del paisaje (ver Figura 19).

Paralelamente, en la Tabla 5 se especifica que la cobertura de suelo correspondiente al **curso de agua**, el cual se localiza en el sector Oriente, presenta principalmente un nivel de **fragmentación baja** equivalente a 490,85 hectáreas. No obstante, presenta una **fragmentación muy baja a nula** la cual corresponde a un total de 45,04 hectáreas, en donde el promedio de hectáreas es de 22,52 ha. Sin embargo, de igual manera esta cobertura de suelo contempla una **fragmentación alta** la cual afecta a 98,17 ha, así como también un nivel de **fragmentación muy alto** alterando alrededor de 99,16 ha. En cuanto a la categoría de suelo correspondiente a

praderas el nivel de la **fragmentación es muy baja a nula**, abarcando 117,12 hectáreas en total, donde la superficie promedio es de 9,01 ha.

**Figura 19.** Aplicación de métricas de fragmentación del paisaje según los usos y coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica.



Fuente: Elaboración propia

Respecto a la **vegetación densa** presente en el área de estudio, esta tiene un nivel de **fragmentación muy baja a nula** correspondiente a 2.048,58 hectáreas en total las que se dividen en 54 parches, en donde el promedio de superficie es de 37,93 ha (ver Tabla 5). Adicionalmente, esta cobertura natural tiene 512,97 hectáreas divididas en 16 parches, presentando una superficie promedio de 32,06 ha y cuya **fragmentación es baja**. Por el contrario, la vegetación densa presenta un nivel de **fragmentación media** que corresponde a 145,75 hectáreas en total, las cuales se dividen en 2 parches con superficie promedio de 72,87 ha, mientras que 277,10 hectáreas se caracterizan por un nivel de **fragmentación muy alta**, siendo la superficie promedio de 138,55 ha.

Por consiguiente, en la Tabla 5 se presenta la **vegetación dispersa** con un valor de 5.973,23 hectáreas con **muy baja a nula fragmentación**, las cuales se dividen en 26 parches y cuyo promedio de superficie es de 229,74 ha. Seguido a esto, existen 5.561,30 hectáreas de esta cobertura natural (**distribuida en 7 parches**) que se caracterizan por tener una **baja fragmentación**. A pesar de que la vegetación dispersa tiene una buena conectividad entre sus parches, igualmente presenta alrededor de 5.249,51 hectáreas (**distribuidas en 4 fragmentos**) con una **muy alta fragmentación**. Asimismo, a partir de las estadísticas presentadas en la

Tabla 5 se obtuvo que 5.096,83 hectáreas de vegetación dispersa, la cual cuenta con una superficie promedio de 2.548,41 ha, tienen un nivel de **fragmentación media**. Por último, 5.085,13 hectáreas de esta cobertura tienen una **alta fragmentación** y se dividen en tan solo 2 parches con superficie promedio de 2.542,56 hectáreas.

**Tabla 5.** Estadísticas de las métricas de fragmentación del paisaje según usos y coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica, considerando escenario actual.

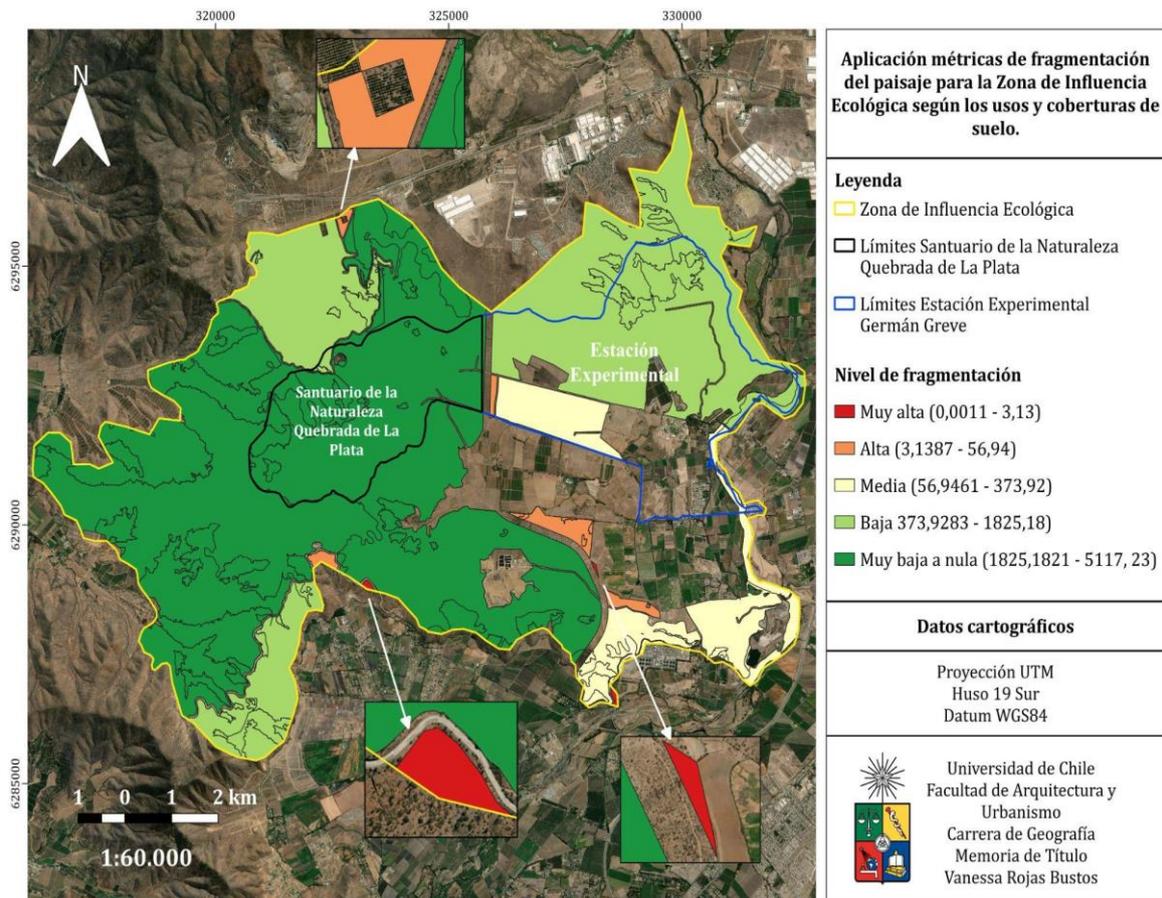
Nivel de fragmentación según usos y coberturas de suelo	Número de parches	Superficie total (ha)	Superficie promedio (ha)
<b>Curso de agua</b>	<b>10</b>	<b>733,22</b>	<b>268,44</b>
Alta	2	99,16	49,58
Baja	1	98,17	98,17
Muy alta	5	490,85	98,17
Muy baja a nula	2	45,04	22,52
<b>Praderas</b>	<b>13</b>	<b>117,12</b>	<b>9,01</b>
Muy baja a nula	13	117,12	9,01
<b>Vegetación densa</b>	<b>74</b>	<b>2984,41</b>	<b>281,42</b>
Baja	16	512,97	32,06
Media	2	145,75	72,87
Muy alta	2	277,10	138,55
Muy baja a nula	54	2048,58	37,93
<b>Vegetación dispersa</b>	<b>41</b>	<b>26.966,02</b>	<b>7427,57</b>
Alta	2	5085,13	2542,56
Baja	7	5561,30	794,47
Media	2	5096,83	2548,41

Muy alta	4	5249,51	1312,37
Muy baja a nula	26	5973,23	229,74
<b>Total general</b>	<b>138</b>	<b>30800,78</b>	<b>7986,45</b>

Fuente: Elaboración propia

En el segundo escenario se aplicaron las métricas de paisaje según los usos y coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica, incorporando como factor de fragmentación la potencial Autopista Orbital Norponiente. A partir de ello se obtiene como resultado la Figura 20, en donde se observa el aumento de parches con nivel de **fragmentación alta** en el sector Norte, Sur-Oriente y Sur-Poniente de la Zona de Influencia Ecológica. Paralelamente también se identifican parches con **fragmentación muy alta** en el sector Sur-Poniente y Sur-Oriente, mientras que en el extremo Nor-Oriente, Nor-Poniente y Sur-Poniente se visualiza una **baja fragmentación**. En el borde del sector Sur-Oriente se presenta un **nivel de fragmentación media**, al igual que en el límite de la Estación Experimental.

**Figura 20.** Aplicación de métricas de fragmentación del paisaje según los usos y coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica, considerando la potencial Autopista Orbital Norponiente como elemento de fragmentación.



Fuente: Elaboración propia.

A partir de lo mencionado anteriormente se obtuvieron las estadísticas de las métricas de paisaje aplicadas en el área de estudio bajo el contexto del segundo escenario. En la Tabla 6 se detallan los niveles de fragmentación según las categorías de usos y coberturas de suelo presentes en la Zona de Influencia Ecológica. En ese sentido, la categoría correspondiente al **curso de agua** está conformada por un total de 733,22 hectáreas, de las cuales 590,01 hectáreas se caracterizan por presentar un nivel de **fragmentación muy alto**, éstas se encuentran distribuidas en 7 parches, donde el promedio de superficie equivale a 84,28 ha. A su vez, del total de hectáreas hay 101,42 ha divididas en 2 parches, presentando un nivel de **fragmentación media** (ver Tabla 6). Mientras que de las 733,22 ha existe solo un parche correspondiente a 41,78 hectáreas que se encuentra con una **baja fragmentación**. Por tanto, es posible concluir que este contexto en donde se integra la potencial autopista como elemento de fragmentación, el curso de agua se encuentra mayoritariamente fragmentado, pues si se comparan los valores del primer escenario (ver Tabla 5) con los datos del segundo escenario (ver Tabla 6) se muestra que esta categoría de suelo en el primer escenario presenta mayor cantidad de hectáreas con un nivel de fragmentación muy baja a nula (45,04 ha) y con baja fragmentación (98,17 ha).

Ahora bien, respecto a las **praderas** estas también presentan un aumento en el nivel de fragmentación, ya que en la Tabla 5 se muestra que el total de la superficie (117,12 ha) están agrupadas en 13 parches, los cuales todos tienen **muy baja a nula fragmentación**. No obstante, al contemplar la Autopista Orbital Norponiente este total de 117,12 hectáreas ahora se divide en 90,53 hectáreas (equivalente a 7 parches) con una **fragmentación baja** y 26,59 hectáreas (distribuida en 6 parches) con **muy baja a nula fragmentación** (ver Tabla 6).

**Tabla 6.** Aplicación de métricas de fragmentación del paisaje según los usos y coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica, considerando la potencial Autopista Orbital Norponiente como elemento de fragmentación.

Nivel de fragmentación según usos y coberturas de suelo	Número de parches	Superficie total (ha)	Superficie promedio (ha)
<b>Curso de agua</b>	<b>10</b>	<b>733,22</b>	<b>176,78</b>
Baja	1	41,78	41,78
Media	2	101,42	50,71
Muy alta	7	590,01	84,28
<b>Praderas</b>	<b>13</b>	<b>117,12</b>	<b>17,36</b>
Baja	7	90,53	12,93
Muy baja a nula	6	26,59	4,43
<b>Vegetación densa</b>	<b>75</b>	<b>2996,03</b>	<b>256,33</b>
Alta	6	151,86	25,31
Baja	23	596,51	25,93
Media	13	66,51	5,11
Muy alta	2	277,10	138,55
Muy baja a nula	31	1904,04	61,42
<b>Vegetación dispersa</b>	<b>49</b>	<b>67628,79</b>	<b>9707,39</b>

Alta	5	20345,37	4069,07
Baja	7	10489,45	1498,49
Media	8	10356,56	1294,57
Muy alta	8	20500,34	2562,54
Muy baja a nula	21	5937,07	282,71
<b>Total general</b>	<b>147</b>	<b>71475,18</b>	<b>10157,88</b>

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la superficie total de la **vegetación densa** corresponde a **2.996,03 hectáreas** (ver Tabla 6), de las cuales **1.904,04 ha** presentan **muy baja a nula fragmentación**, este valor disminuye respecto al escenario n°1, ya que inicialmente contaba con 2.048,58 ha con fragmentación muy baja a nula (ver Tabla 5). En segundo lugar, esta cobertura natural tiene **596,51 hectáreas** con el nivel de **fragmentación baja**, distribuidas en 23 parches con superficie promedio de 25,93 ha, cabe señalar que este número de hectáreas con fragmentación baja aumenta al compararlo con el primer escenario (ver Tabla 5 y 6). Por otro lado, **66,51 hectáreas** de vegetación densa con superficie promedio de 5,11 ha, presentan nivel de **fragmentación media**, dicho valor disminuye en relación con los valores de la Tabla 5.

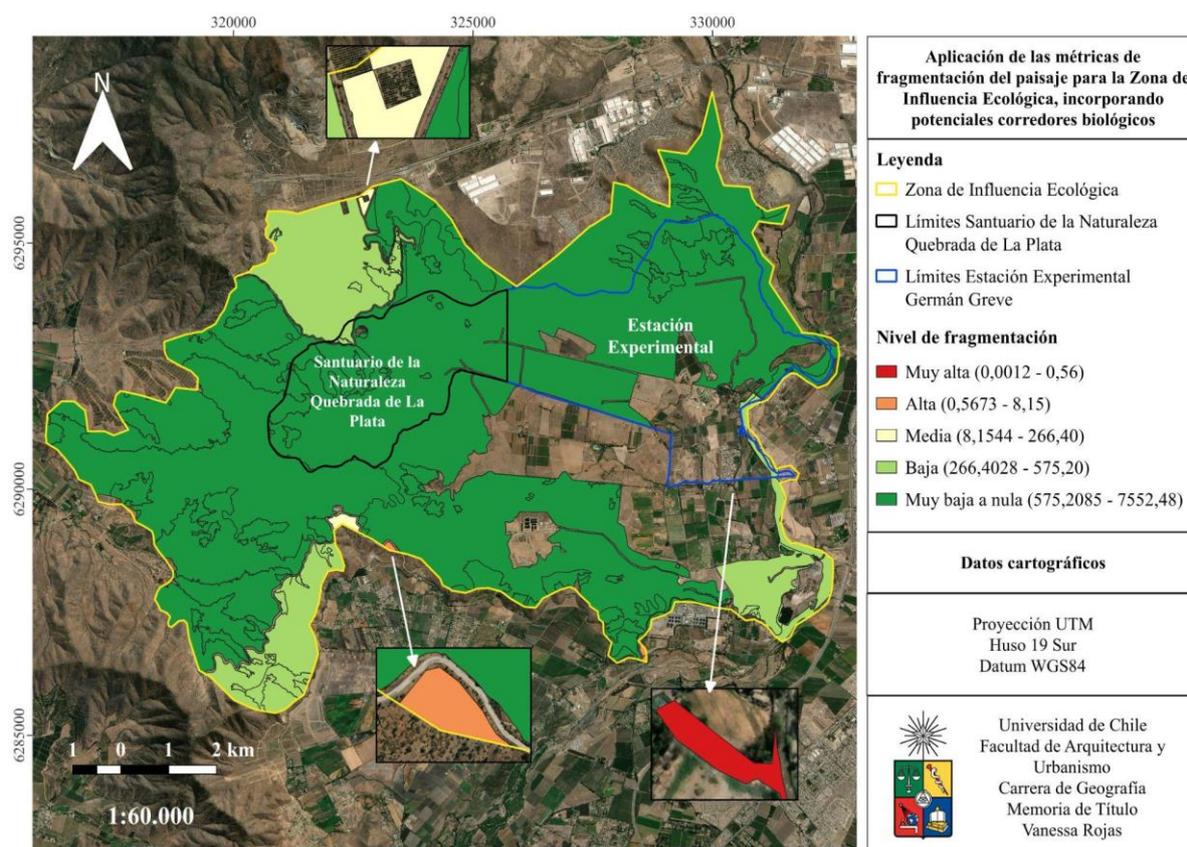
Ahora bien, la cantidad de hectáreas (**277,10 ha**) con nivel de **fragmentación muy alta** se mantiene tanto en el escenario n°1 como en el escenario n°2. No obstante, al analizar la Tabla n°5 es posible dar cuenta que en este segundo escenario hay **151,86 hectáreas** de vegetación densa que pasan a tener una **fragmentación alta**, dicho nivel de fragmentación no está presente en el primer escenario (ver Tabla 5). Al analizar los datos anteriores de la vegetación densa es correcto afirmar que esta cobertura natural presenta mayor fragmentación de la superficie en contraste a los datos de la Tabla 6.

En la Tabla 6 se presentan los valores de la **vegetación dispersa** la cual abarca 67.628,79 hectáreas en total (**distribuidos en 49**), de ellas 5.937,07 ha tienen una **muy baja a nula fragmentación**, divididas en 21 parches con superficie promedio de 282,71 ha, es necesario señalar que en este segundo escenario la cantidad de hectáreas correspondiente a este nivel de fragmentación disminuye levemente. Luego, hay 10.489,45 hectáreas de esta cobertura natural que tiene una **baja fragmentación**, distribuyéndose en 7 fragmentos donde el promedio de superficie es de 1.498,49 ha. En relación con lo anterior, si se compara la cantidad de hectáreas con nivel de fragmentación baja del escenario n°1 (ver Tabla 5) con los valores del escenario n°2 (ver Tabla 6), es posible dar cuenta que en el segundo escenario aumenta considerablemente la cantidad de hectáreas con baja fragmentación, debido a que se presencia un aumento en el total de parches que comprende la superficie de vegetación dispersa.

No obstante, hay 20.500,35 hectáreas de esta cobertura de suelo que presenta **fragmentación muy alta**, esta cantidad de hectáreas ha presentado un incremento, ya que en el primer escenario la vegetación dispersa contaba tan solo con 5.249,51 hectáreas con muy alta fragmentación. Conjuntamente, se destacan 20.345,37 hectáreas con una **alta fragmentación**, las cuales se dividen en 5 parches con superficie promedio de 4.069,07 ha. En tanto **10.356,56** hectáreas (distribuidas en 8 parches) tienen un nivel de **fragmentación media**, donde el promedio de superficie es de 1.294,57 ha. En base a la información estadística presentada en la Tabla 6, se concluye que en el escenario n°2 la vegetación dispersa registra un incremento en los niveles de fragmentación, por lo que la superficie total pierde la continuidad entre sus parches.

Por otra parte, en el tercer escenario (véase Figura 21) se observa que sigue predominando un nivel de **fragmentación muy baja a nula** en comparación con los dos escenarios anteriormente descritos. Al mismo tiempo se destacan tres grandes parches con **baja fragmentación**, localizados en el extremo Sur-Oriente, extremo Sur-Poniente y en la zona Nor-Poniente. Mientras que en menor cantidad se encuentran parches con **nivel de fragmentación media**, ubicados en el sector Nor-Poniente y Sur-Poniente. Por último, hacia el **sector Oriente**, limitando al sur con la Estación Experimental Germán Greve, existen pequeños parches con **fragmentación muy alta**.

**Figura 21.** Aplicación de métricas de fragmentación del paisaje según los usos y coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica, considerando infraestructura vial como elemento de fragmentación e incorporando corredores biológicos.



Fuente: Elaboración propia

Para ampliar el análisis anterior, en la Tabla 7 se muestran los resultados estadísticos de los usos y coberturas de suelo, los cuales se obtuvieron a partir de las métricas de paisajes aplicadas en el área de estudio, en donde se consideran los potenciales corredores biológicos para la Autopista Orbital Norponiente. En primer lugar, el **curso de agua** cuenta con un total de **733,224 hectáreas** divididas en 10 parches, siendo el promedio de superficie 268,442 hectáreas. Ahora bien, del total de superficie mencionado anteriormente, el curso de agua presenta **45,04 hectáreas** con una **muy baja a nula fragmentación**, distribuidos en 2 parches y con superficie promedio de 22,52 hectáreas. Es importante destacar este resultado, ya que en el escenario n°2 donde solo se considera la infraestructura vial sin corredores biológicos, no existen hectáreas con muy baja a nula fragmentación,

En la Tabla 7 se especifica que el curso de agua solamente un parche con **baja fragmentación** equivalente a **98,17 hectáreas** del total de superficie. En ese sentido, si comparamos este valor con la cantidad de hectáreas con baja fragmentación del segundo escenario (ver Tabla 6) es posible dar cuenta que hay un aumento en el número de hectáreas con baja fragmentación, siendo un resultado beneficioso en cuanto a la conectividad del curso de agua. Por otro lado, esta categoría también presenta **490,85 hectáreas** (distribuidas en 5 parches) con un nivel de **fragmentación muy alta** y **99,16 hectáreas** (divididas en 2 parches) con **alta fragmentación**.

Los resultados obtenidos ahora dan cuenta que disminuye el número de hectáreas con fragmentación alta y muy alta en contraste con el escenario n°2. Por último, respecto a las **praderas** estas abarcan un total de 117,12 hectáreas las cuales en el segundo escenario presentaron niveles de fragmentación baja y muy baja a nula, mientras que ahora en el escenario n°3 el total de la superficie presenta solamente **muy baja a nula fragmentación**.

**Tabla 7.** Estadísticas de las métricas de fragmentación del paisaje según usos y coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica, considerando infraestructura vial como elemento de fragmentación e incorporando corredores biológicos.

Nivel de fragmentación según usos y coberturas de suelo	Número de parches	Superficie total (ha)	Superficie promedio (ha)
<b>Curso de agua</b>	<b>10</b>	<b>733,22</b>	<b>268,44</b>
Alta	2	99,16	49,58
Baja	1	98,17	98,17
Muy alta	5	490,85	98,17
Muy baja a nula	2	45,04	22,52
<b>Praderas</b>	<b>13</b>	<b>117,12</b>	<b>0,89</b>
Muy baja a nula	13	117,12	0,89
<b>Vegetación densa</b>	<b>74</b>	<b>2984,41</b>	<b>219,92</b>
Baja	16	512,97	3,40
Media	2	145,75	72,87
Muy alta	2	277,10	138,55
Muy baja a nula	54	2048,58	5,09
<b>Vegetación dispersa</b>	<b>41</b>	<b>26966,02</b>	<b>5212,79</b>
Alta	2	5085,13	2542,56

Baja	7	5561,30	33,08
Media	2	5096,83	2548,41
Muy alta	4	5249,51	83,18
Muy baja a nula	26	5973,23	5,53
<b>Total general</b>	<b>138</b>	<b>30800,78</b>	<b>5702,05</b>

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la **vegetación densa** esta comprende una superficie total de **2.984,41 hectáreas**, distribuidas en 74 parches con 219,92 hectáreas promedio. Presenta **2.048,58 hectáreas** (divididas en 54 parches) **con muy baja a nula fragmentación** (ver Tabla 7), mientras que en el segundo escenario tenía 1.904,04 hectáreas con muy baja a nula fragmentación (ver Tabla 6), por lo que existe un aumento de la superficie con este nivel de fragmentación. Junto con ello, **512,97 hectáreas** presentan **baja fragmentación**, las que se distribuyen en 16 parches con 3,40 hectáreas promedio. Cabe señalar que en el escenario n°3 tanto la cantidad de hectáreas como el número de parches disminuyen respecto al escenario n°2 (comparar Tabla 6 y 7).

Por otro lado, **145,75 hectáreas** (distribuidas en 2 parches, 72,87 ha superficie promedio) de **vegetación densa** se encuentran en un nivel de **fragmentación media**, mientras que **277,10 hectáreas** (distribuidas en 2 parches) tienen **muy alta fragmentación** (ver Tabla 7). En base a ello y al comparar los datos de la Tabla 6, se evidencia un aumento en la cantidad de hectáreas con nivel de fragmentación media y a su vez una disminución en el número de parches. Mientras que, tanto en el segundo escenario como en el tercer escenario la cantidad de hectáreas con fragmentación muy alta se mantiene constante. Por último cabe mencionar que para esta categoría no se obtuvo un nivel de fragmentación alta, en cambio para el escenario n°2 la vegetación densa si presenta cierta cantidad de hectáreas con alta fragmentación.

Finalmente, la **vegetación dispersa** se concentra en un total de 26.966,02 hectáreas, segmentadas en 41 parches, donde el promedio de superficie es de 5.212,79 ha. Dentro de esta categoría predomina una **muy baja a nula fragmentación** con una superficie de 5.973,23 hectáreas (distribuidas en 26 parches), la cual tiene 5,53 hectáreas promedio. En segundo lugar, de la superficie total hay 5.561,30 hectáreas divididas en 7 parches, que se caracterizan por tener una **baja de fragmentación**. Paralelamente, hay 5.249,51 ha de vegetación dispersa con **muy alta fragmentación**, las cuales se distribuyen en 4 parches (ver Tabla 7). También se obtuvo que 5.085,13 hectáreas (divididas en 2 parches) cuentan con una **alta fragmentación**, mientras que 5.096,83 hectáreas poseen un nivel de **fragmentación media** y tienen una superficie promedio de 2.548,41 ha.

En base a estos últimos datos presentados en la Tabla 7, se destaca que la superficie total de vegetación dispersa disminuye al igual que el número total de parches. Por otro lado, es posible determinar que en comparación con los valores obtenidos en la Tabla 5, en este escenario n°3 aumenta levemente el número de hectáreas con muy baja a nula fragmentación. Además de ello, la cantidad de superficie con muy alta fragmentación disminuye notoriamente, al igual que la superficie con niveles de fragmentación media, alta, y baja. No obstante, en este escenario sigue prevaleciendo una fragmentación muy baja a nula, mientras que en el segundo escenario predomina una muy alta fragmentación, por ende se concluye que mediante la incorporación de corredores biológicos se reducen los niveles de fragmentación en el paisaje. Finalmente, en la Tabla 8 se muestra el resumen de los resultados anteriormente descritos, en donde se destacan los principales cambios en los niveles de fragmentación para las coberturas de suelo.

**Tabla 8.** Resumen de las estadísticas por categoría de las métricas de paisaje para tres escenarios distintos

Usos y coberturas de suelo	Niveles de fragmentación según usos y coberturas de suelo	Escenario n°1 (actual)			Escenario n°2 (contrafactual con autopista)			Escenario n°3 (con potenciales corredores biológicos)		
		Número de parches	Superficie total (ha)	Superficie promedio (ha)	Número de parches	Superficie total (ha)	Superficie promedio (ha)	Número de parches	Superficie total (ha)	Superficie promedio (ha)
Curso de agua	Alta	2	99,16	49,58	0	0	0	2	99,16	49,58
	Muy alta	5	490,85	98,17	7	590,01	98,17	5	490,85	98,17
	Media	0	0	0	2	101,43	50,71	0	0	0
	Baja	1	98,17	98,17	1	41,79	41,79	1	98,17	98,17
	Muy baja a nula	2	45,04	22,52	0	0	0	2	45,04	22,52
Praderas	Alta	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Muy alta	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Media	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Baja	0	0	0	7	90,53	0,58	0	0	0
	Muy baja a nula	13	117,13	9,01	6	26,59	3,00	13	117,13	0,90
Vegetación densa	Alta	0	0	0	6	151,86	1,55	0	0	0
	Muy alta	2	277,11	138,55	2	277,11	138,55	2	277,11	138,55
	Media	2	145,76	72,88	13	66,51	2,46	2	145,76	72,88
	Baja	16	512,97	32,06	23	596,51	5,49	16	512,97	3,40
	Muy baja a nula	54	2048,58	37,94	31	1904,05	8,4	54	2048,58	5,09
Vegetación dispersa	Alta	2	5085,14	2542,57	5	20345,37	5082,85	2	5085,14	2542,57
	Muy alta	4	5249,51	1312,38	8	20500,34	2624,46	4	5249,51	83,19
	Media	2	5096,83	2548,42	8	10356,56	12,34	2	5096,83	2548,42
	Baja	7	5561,30	794,47	7	10489,45	33,09	7	5561,30	33,09
	Muy baja a nula	26	5973,24	229,74	21	5937,07	6,09	26	5973,24	5,53

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

### **4.1 Discusión**

La consideración de la Zona de Influencia Ecológica como área de estudio para la presente investigación permite evaluar los efectos ecológicos a escala de paisaje, pues actualmente la fragmentación de los ecosistemas naturales altera el paisaje y sus componentes ecológicos, aumentando el riesgo de extinción de especies endémicas y nativas del territorio (Gallardo y Contreras, 2016), provocando a su vez la pérdida de hábitat lo cual afecta significativamente la dinámica de las poblaciones de diversas especies, la estructura de las comunidades y la continuidad en los flujos ecológicos entre dichas especies (Gallardo y Contreras, 2016). En consecuencia, a medida que los fragmentos de las coberturas naturales se vuelven más pequeños, la densidad de las poblaciones disminuye.

En ese sentido, a partir de la determinación de la Zona de Influencia Ecológica en el presente estudio, la cual se caracteriza por ser una zona que colinda con áreas protegidas, en donde ocurren procesos naturales que garantizan la estabilidad de los ecosistemas al interior de ella (CONAF, 2014), se permitió considerar distintos elementos ecológicos que interactúan entre sí, tales como cuerpos y cursos de agua junto con sus riberas, sistemas hídricos de las quebradas, cordones de cerros, entre otros, los cuales posibilitan la continuidad del entorno natural tanto dentro como fuera de la Zona de Influencia Ecológica.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que para evaluar los efectos ecológicos de un área existen distintas alternativas, por un lado, el aspecto normativo correspondiente a una serie de normas planteadas en el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), la cual tiene ciertas desventajas pues los efectos negativos en los componentes naturales son evaluados de manera independiente y no en su conjunto como sistema. Además de lo anterior, otra implicancia que presenta el Reglamento del SEIA es que se establece la determinación de una área de influencia pero específicamente para el proyecto y/o actividad en cuestión, en donde el análisis de los impactos se realiza particularmente para los elementos ambientales que se encuentran dentro de dicha área de influencia, sin considerar los que se encuentran fuera de ella y que funcionan como un sistema mayor.

Por otro lado, otra manera de abordar el estudio de los impactos ambientales según el Servicio de Evaluación Ambiental (2019) es a escala de paisaje, a pesar de que definen el paisaje como un componente del medio ambiente, éste se considera un objeto de protección siempre y cuando se encuentre en una zona con valor paisajístico. Y para la determinación de dicho valor paisajístico se realiza en función a ciertos niveles

jerárquicos del paisaje según escalas cartográficas, entre ellos la macrozona (1:500.000 a 1:250.000) y subzona (1:200.000 a 1:100.000) de paisaje, donde se localizan las partes y obras del proyecto y el predominio de algunos atributos biofísicos visuales (Servicio de Evaluación Ambiental, 2019). Por tanto, si bien este método logra identificar y evaluar los efectos ecológicos, no se considera completamente óptimo para evaluar el grado de fragmentación del paisaje.

Considerando lo anterior, es necesario incorporar la perspectiva de ecología del paisaje en los estudios de impactos ambientales, de manera que se consideren los territorios como un sistema integral y no cada uno de los elementos de manera individual, ya que dichos componentes naturales se encuentran interactuando constantemente entre sí y simultáneamente con la sociedad humana. En relación a esto último, en el presente trabajo se da cuenta de la aplicación de métricas de paisaje con la finalidad de evaluar los niveles de fragmentación del paisaje que presenta la Zona de Influencia Ecológica para el escenario actual y para dos escenarios hipotéticos.

Como se mencionó previamente, un factor importante de transformación del territorio es la fragmentación del paisaje por infraestructuras de transporte, presentándose como una gran problemática en los últimos tiempos, tanto a nivel nacional como internacional. Según lo planteado por Martins et al (2022) este fenómeno ha desencadenado cambios significativos en la configuración del paisaje y en diversos ecosistemas, causando principalmente la segregación y aislamiento de hábitats naturales, así como también la pérdida de numerosas especies de flora y fauna. En ese sentido, inicialmente se utilizaron las métricas clásicas para evaluar la distribución espacial de los usos y coberturas de suelos presentes en la Zona de Influencia Ecológica, en donde los resultados obtenidos mediante la aplicación de estos métodos cuantitativos en ecología del paisaje se agrupan en los denominados “índices de paisaje” (Ibáñez, 2009).

Los índices de paisaje proporcionan datos numéricos que describen la composición y configuración de los paisajes, abarcando aspectos como la proporción de cada tipo de cobertura de suelo, la distribución de la superficie y la forma de los elementos del paisaje. Además, los índices de paisaje permiten una útil e interesante comparación entre distintas configuraciones paisajísticas, permitiendo analizar la misma área en distintos momentos temporales o la definición de escenarios futuros (Gustafson, 1998 citado en Ibáñez, 2009). Sin embargo, a pesar de su utilidad, estos índices no logran dimensionar en su totalidad la estructura existente. Esto se debe principalmente a que generan un solo valor por cada tipo de cobertura de suelo, sin mostrar cómo se distribuyen espacialmente los valores a lo largo del área de estudio (Sandoval, 2016).

Considerando lo anterior, se utilizaron métodos adicionales para complementar el análisis de fragmentación del paisaje, específicamente se implementó la herramienta FragScape del Software QGIS, el cual tiene como principal fundamento el análisis de fragmentación del paisaje a partir de unidades de cobertura de suelo, siendo una ventaja frente a las métricas clásicas, ya que en estas métricas se caracteriza la irrupción antropogénica de paisajes desde un punto de vista geométrico y se calculan a partir de la función de distribución del parche restante (Jaeger 2000), además mediante este complemento se posibilita el monitoreo de los territorios considerando distintas situaciones. En base a estas métricas se caracterizó el estado actual y la evaluación de dos escenarios

contrafactuales, correspondiente uno de ellos a la incorporación de la potencial Autopista Orbital Norponiente en el área de estudio y por otro lado, la integración de una potencial red de corredores propuesta.

La principal ventaja de este método es que los resultados obtenidos aportan información espacial de la forma en que se distribuyen los parches presentes en el área de estudio. Junto con ello, entrega información cuantitativa respecto a los número de parches y la superficie que abarcan, a su vez, da cuenta de los valores del nivel de fragmentación para cada parche permitiendo generar rangos para su evaluación. Otra ventaja es que se pueden generar escenarios hipotéticos incluyendo elementos fragmentadores del paisaje y elementos que ayuden a disminuir la fragmentación, tal como los corredores biológicos.

Uno de los aspecto que puede ser discutible es que esta investigación se llevó a cabo en el marco del estudio del paisaje, en donde se propuso extender la Zona de Influencia Ecológica en función de las coberturas naturales y los usos de suelo de carácter productivo existentes en el área, ya que desde la perspectiva de la ecología del paisaje el territorio se compone de áreas en distintos estados de sucesión ecológica y productiva, incluso de áreas en conflicto, donde los límites del paisaje pueden coincidir en una cuenca hidrográfica, en áreas naturales, así como también con límites artificiales (Irastorza, 2006). Sin embargo, en ecología del paisaje el territorio es un sistema, el cual es considerado como el espacio donde se desarrollan las actividades humanas y los procesos ecológicos. Por tanto, se integra tanto el estudio del medio como el de la sociedad, además de las estructuras originadas a partir de la interacción entre ellos (Irastorza, 2006).

Si bien en el Plan de Manejo del Santuario ya existía una delimitación de la Zona de Influencia Ecológica para el Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata, este polígono deja fuera elementos ecológicos importantes tales como el Cordón de Cerros del sector Sur-Oriente, perteneciente al Sitio Prioritario El Roble, el Río Mapocho (principal curso hídrico) y el Biocorredor Mapocho El Trebal. Siendo esto una desventaja para el estudio a nivel de paisaje es por ello que se decidió proponer la extensión de dicha Zona de Influencia a partir de distintos criterios ecológicos sugeridos, los cuales se basan en los criterios planteados en el Plan de Manejo por Núñez (2010). Sin embargo, estos nuevos criterios propuestos pueden ser discutibles debido a que los estudios para impacto ambiental en Chile no se realizan a nivel de paisaje, sino que se analizan en base a la implementación de buffers de las zonas afectadas. Respecto a esto último, se recomienda que en potenciales estudios y/o investigaciones se incluya el análisis a escala de paisaje para dar cuenta de los impactos en la conectividad de los territorios.

Por otro lado, resulta importante señalar que una de las limitaciones de este estudio radica en la escasa información disponible acerca del proyecto Autopista Orbital Norponiente, debido a que no dispone de datos sustanciales pues recién en el año 2024 entrará en etapa de licitación. De manera que la presente investigación es un estudio tentativo de los potenciales efectos ecológicos asociados a la fragmentación del paisaje de la Zona de Influencia Ecológica, por lo cual tanto los métodos como los resultados obtenidos pueden ser discutibles.

## 4.2 Conclusiones

A partir del análisis realizado a lo largo de esta investigación queda en evidencia que al utilizar las métricas clásicas de paisaje si posible evaluar la presencia de fragmentación de las coberturas de suelo de la Zona de Influencia Ecológica, sin embargo, no proporciona los rangos de cada nivel de fragmentación, además de ello, no entregan una expresión espacial tan evidente como el método FragScape. En vista de los resultados descritos, se concluye que los datos de las métricas clásicas solo dan cuenta de la configuración del paisaje según los usos y coberturas de suelo, sin embargo, se dificulta identificar la distribución espacial de dichas categorías de suelo.

Aun así proporciona información relevante, en donde se comprueba que la vegetación densa es la cobertura natural mayormente fragmentada, debido a que presenta el número de parches más altos en relación con la superficie total (ha). Conjuntamente, los usos de suelo correspondientes a las plantaciones agrícolas, infraestructura sanitaria y zona militar se encuentran bajamente fragmentadas, ya que el número de parches de cada uno de ellos es menor en relación con su índice Tamaño Promedio de Parches (MPS). Simultáneamente, el curso de agua (considerado como cobertura natural) también se considera poco fragmentado, pues el índice MPS es inferior al número de parches.

En cuanto al índice de Densidad de Parches (DP) se obtuvo que de manera significativa las plantaciones forestales presentan la densidad más alta, dado que son pocos los parches de este uso de suelo y se agrupan en un mismo sector dentro del área de estudio. Paralelo a esto, los cuerpos de agua (artificiales) además de poseer poca fragmentación, estos presentan el segundo índice de Densidad de Parches más alto, de manera que su superficie se encuentra altamente concentrada en los parches de esta categoría. Por otro lado, tanto la vegetación densa como la vegetación dispersa presentan bajos índices DP, por lo cual es correcto afirmar que se encuentran mayoritariamente distribuidas a lo largo de la Zona de Influencia Ecológica. A partir de lo anterior, cabe señalar que las categorías mayormente fragmentadas corresponden a coberturas naturales. Mientras que los usos de suelo son los menos fragmentados, debido a que se consideran como elementos fragmentadores del paisaje, pues están determinados por la función antrópica.

Por otro lado, respecto al análisis de los niveles de fragmentación para los tres escenarios propuestos, es posible determinar que en el estado actual en el que se encuentra la Zona de Influencia Ecológica los niveles de fragmentación son muy bajos a nulos tanto en el Sector Norte, Sur y Poniente de esta zona. Mientras que hacia Sur-Oriente de la Zona de Influencia Ecológica el nivel de la fragmentación media, ya que es donde limita el área rural y urbana de las comunas de Maipú y Padre Hurtado, por lo que existen elementos externos tales como vías rurales y/o urbanas o asentamientos humanos que eventualmente influyen en la conectividad del paisaje.

Luego, considerando el hipotético escenario n°2, en donde se incorpora a la potencial Autopista Orbital Norponiente, es posible afirmar que la Zona de Influencia Ecológica presenta un evidente aumento en los niveles de fragmentación del paisaje, afectando el sector Nor-Oriente en donde se localiza el Cerro Isla “Lo Aguirre”, el Sur-Oriente compuesto por el Biocorredor Mapocho El Trebal, el principal curso hídrico Río Mapocho y el cordón de cerros perteneciente al Sitio Prioritario El Roble, el Sur-Poniente zona donde se encuentran importantes cordones de cerros y sistemas hídricos adyacentes. Así mismo incide negativamente entre los límites del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata y la Estación Experimental Greve, ya que ahora presenta una fragmentación media, en contraste con el escenario n°1 donde tenía una muy baja a nula fragmentación.

Para la propuesta del tercer escenario contrafactual, en el cual se integran los potenciales corredores biológicos, queda demostrado que existe la posibilidad de mitigar los niveles de fragmentación en el área de estudio a partir de la incorporación de dichos corredores, dando cuenta de una mejora significativa en la fragmentación de los parches. Conforme a ello, el parche que representa muy baja a nula fragmentación vuelve a predominar por toda la extensión de la Zona de Influencia Ecológica. Mientras que la fragmentación muy alta, alta y media quedan aislados en sectores específicos del área de estudio, correspondiente al sector Sur-Oriente, Nor-Poniente y en menor medida en el sector Sur-Poniente. Es importante destacar el alto potencial que presenta la red hídrica como conector ecológico dentro de la Zona de Influencia Ecológica.

Respecto al análisis de las métricas de paisaje según las coberturas naturales que potencialmente pueden ser fragmentadas, se concluye que en el actual escenario las categorías mayormente fragmentadas corresponden a la vegetación dispersa y el curso de agua, pues se encuentran cercanos a vías rurales y urbanas, asentamientos humanos y áreas extractivas. Seguido a ello, la vegetación densa también tiene una muy alta fragmentación, mientras que la superficie total de praderas solo presenta muy baja a nula fragmentación.

En el segundo escenario la situación cambia, el curso de agua ya no presenta muy baja a nula fragmentación, sino que aumenta considerablemente el nivel de fragmentación media y muy alta. Por otro lado, la vegetación densa anteriormente (en el primer escenario) no consideraba niveles altos de fragmentación, no obstante, para el segundo escenario hay una notable transformación en donde aparece con alta fragmentación parte de la superficie total. Simultáneamente, para el escenario n°2, en esta categoría de suelo se destaca la disminución de la superficie que presentaba muy baja a nula fragmentación.

Por último, dentro de la categoría de la vegetación dispersa, en ella aumenta la superficie con alta fragmentación, así como también la superficie que presenta muy alta fragmentación. A su vez, también se incrementa la superficie total con baja fragmentación. A modo de síntesis, se concluye que si se llegase a construir la potencial Autopista Orbital Norponiente, existiría un efecto negativo en los elementos del paisaje,

cuyo nivel de fragmentación es alto para las coberturas naturales presentes a lo largo de toda la extensión del área de estudio.

En el tercer escenario los valores de fragmentación se restablecen y el estado de la Zona de Influencia Ecológica vuelve a las condiciones normales que caracterizan al escenario n°1, en donde predomina una muy baja a nula fragmentación. Lo cual reafirma que en caso de implementar potenciales corredores biológicos ante situaciones donde se altera el paisaje, se origina un escenario óptimo para la continuidad de los flujos ecológicos entre las distintas especies de flora y fauna.

Finalmente, esta investigación aporta como estudio base de caracterización ante la potencial amenaza de fragmentación del paisaje, asociada al proyecto de Autopista Orbital Norponiente, el cual parte del trazado se emplazaría en la Zona de Influencia Ecológica del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata. Conjuntamente, este trabajo contribuye en proporcionar una metodología novedosa utilizada para analizar dicha fragmentación a escala de paisaje, considerando el territorio como un sistema que funciona de manera íntegra. De manera que se analiza en detalle tanto las métricas clásicas de paisaje como nuevas métricas de fragmentación del paisaje desde un punto de vista geométrico. Profundizando el método mediante la incorporación de elementos externos que afecten negativamente el paisaje, sumado a la modelación de potenciales corredores biológicos a través de SIG. Esto proporciona una justificación ecológica de base más completa ante la inminente realización del proyecto de Autopista Orbital Norponiente. Así como también, el presente estudio proporciona nuevos antecedentes para la discusión sobre la manera en que se abordan los estudios de impacto ambiental a nivel nacional.

## BIBLIOGRAFÍA.

- AEMA. Agencia Europea de Medio Ambiente. (2013). *Fragmentación del paisaje en Europa*. Madrid: TAU Consultora Ambiental. [https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/FRAGMENTACION%20PAISAJE%20EUROPA\\_tcm30-185089.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/FRAGMENTACION%20PAISAJE%20EUROPA_tcm30-185089.pdf)
- ArcGis Pro. (s. f.). *Métodos de clasificación de datos*. ESRI. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/mapping/layer-properties/data-classification-methods.htm>
- Arroyave, M. del P., Gómez, C., Gutiérrez, M. E., Múnera, D. P., Zapata, P. A., Vergara, I. C., Andrade, L. M., & Ramos, K. C. (2006). Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *Revista EIA*, 3(5), 45–57. Recuperado a partir de <https://revistas.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/146>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). (2023). *Mapas Vectoriales Red Vial: polilíneas de los caminos de Chile*. [https://www.bcn.cl/siit/mapas\\_vectoriales/index\\_html](https://www.bcn.cl/siit/mapas_vectoriales/index_html)
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). (2023). *Mapas Vectoriales Red Vial: polilíneas de los drenes de todo Chile*. [https://www.bcn.cl/siit/mapas\\_vectoriales/index\\_html](https://www.bcn.cl/siit/mapas_vectoriales/index_html)
- Campillay, C. (2018). *Valoración de los Servicios Ecosistémicos en el Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata. Repensando la Quebrada*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile.
- Cañoles, R., Bravo, V., Fernández, B., Célis, C. y Piñones, C. (2019). *Atropellos de la Fauna en Lo Orozco-Los Molles, Región de Valparaíso, Chile*. II Seminario de iniciativas de Conservación de la Biodiversidad en la Zona Norte de Chile. Póster. La Serena, Chile.
- Castro, H., Molina, F. y García, M. (2002). La fragmentación del paisaje como principal amenaza a la integridad del funcionamiento del territorio. En: Castro, H. (Eds.). *Integración territorial de espacios naturales protegidos y conectividad ecológica en paisajes mediterráneos*. Documento técnico. Integra Territorial. Sevilla, Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, p. 27-99.

[http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos\\_tecnicos/integra\\_territorial/integr2.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos_tecnicos/integra_territorial/integr2.pdf)

- Chailloux, M., Amsallem, J. y Chéry, J. (2020). *FragScape v2.03 User Guide*. [https://github.com/MathieuChailloux/FragScape/blob/master/docs/FragScape\\_UserGuide\\_en.pdf](https://github.com/MathieuChailloux/FragScape/blob/master/docs/FragScape_UserGuide_en.pdf)
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). (2005). Plan de acción “El Roble” 2005-2010 para la implementación de la estrategia para la conservación de la biodiversidad en la Región Metropolitana de Santiago. Santiago, Chile: CONAMA. 12 p.
- Corporación Nacional Forestal, Ministerio de Agricultura. (2009). *Plan de Manejo Reserva Nacional Coyhaique*. Documento de Trabajo N° 525. [https://www.conaf.cl/wp-content/files\\_mf/1382467991RNCoyhaique.pdf](https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1382467991RNCoyhaique.pdf)
- Corporación Nacional Forestal. (2013). *Catastro de Usos de la Tierra y Recursos Vegetacionales de Chile*. <https://sit.conaf.cl/>
- Corporación Nacional Forestal, Ministerio de Agricultura. (2014). *Plan de Manejo Monumento Natural Laguna de Los Cisnes*. <http://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/3382>
- Correa, C., Mendoza, M. y López, E. (2014). Análisis del cambio en la conectividad estructural del paisaje (1975-2008) de la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán, México. *Revista de Geografía Norte Grande*, 59, 7-23. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022014000300002>
- Correa, D. (2020). *Pasos de fauna en infraestructura lineal: Cartilla de referencia para la toma de decisiones*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/07/18.-Cartilla-pasos-de-fauna-en-infraestructura-lineal.pdf>
- Domínguez, E. (2009). *Conectividad biológica y social, Zonas de influencia de las áreas naturales protegidas* (Documento Número 5). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. [https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/versiones\\_digitales/C5\\_Conectividad.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/versiones_digitales/C5_Conectividad.pdf)
- Etter, Andres. (1991). *Introducción a la Ecología del Paisaje: Un Marco de Integración para los Levantamientos Ecológicos*. 10.13140/2.1.4464.5121.

- Facultad de Ciencias Agronómicas. (2020). Plan de Manejo del Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata. Universidad de Chile. 157 pp.
- Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile (Ed.). (2016). Solicitud de declaración de Monumento Nacional en la categoría de Santuario de la Naturaleza: Santuario de la Naturaleza.
- Facultad de Ciencias Agronómicas - Universidad de Chile. (s. f.). *Santuario de la Naturaleza - Red Hídrica* <https://agronomia.uchile.cl/facultad/Quebrada-de-La-Plata/santuario-de-la-naturaleza>
- Fernández, I. (2011). Los cerros islas como hábitats de fauna y generadores de servicios ambientales para la ciudad de Santiago de Chile. *Ciencia Ambiental*, 1(1), 1-7. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/33049/Cerros%20islas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fernández, I., Riquelme, J., Robledo, A., & Koplow, T. (2020). *Fondo de Investigación del Bosque Nativo 009/2020: Rol del cambio de uso de suelo, disturbios antrópicos y cambio climático en la degradación del hábitat y viabilidad de Belloto del Norte y Guayacán*. Centro de Modelación y Monitoreo de Ecosistemas - Universidad Mayor. Recuperado 10 de abril de 2023, de <https://cem.umayor.cl/proyectos/rol-del-cambio-de-uso-de-suelo-disturbios-antr%C3%B3picos-y-cambio-clim%C3%A1tico-en-la-degradaci%C3%B3n-del-h%C3%A1bitat-y-viabilidad-de-belloto-del-norte-y-guayac%C3%A1n>
- Flores Garnica, J. G., & Flores-Rodríguez, A. G. (2020). Análisis comparativo del número e intervalos de clases de riesgo de incendios forestales. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 11(62). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i62.775>
- Frick, J. (2007). *Efectos ambientales en los suelos del sector poniente de Santiago como consecuencia del proceso de expansión urbanas: comunas de Maipú y Pudahuel*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile.
- Fundación Terram. (2020). *La zona mediterránea y sus características*. Terram. Recuperado 5 de junio de 2023, de <https://www.terram.cl/2020/06/la-zona-mediterranea-y-sus-caracteristicas/>
- Gallardo, M., y Contreras, I. (2016). Fragmentación y biodiversidad del paisaje asociados a la construcción de la autopista Valle Biobío en Concepción.

*Tiempo Y Espacio*, (37), 52–69. Recuperado a partir de <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/TYE/article/view/3254>

García, E. (1997). Incremento demográfico y urbano y degradación medioambiental en Iberoamérica. *Espacio y Desarrollo*, 9. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/view/8026/8320>

Gómez Mora, AM, Anaya, JA, & Álvarez Dávila, E. (2005). Análisis de fragmentación de los ecosistemas boscosos en una región de la cordillera central de los andes colombianos. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 4 (7), 13-27.

González de Luca, C. (2020). *Evaluación de la comunidad de líquenes en matorral y bosque esclerófilo una temporada después de un incendio en el Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata* [Tesis de Pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio académico de la Universidad de Chile <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/183254>

González Trueba, J. J. (2012). Carl Troll y la geografía del paisaje: vida, obra y traducción de un texto fundamental. *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*, (59). Recuperado a partir de <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/1470>

Greene, M. y Mora, R. (2005). Las autopistas urbanas concesionadas: Una nueva forma de segregación. *ARQ (Santiago)*. (60), 56-58. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-69962005006000009>.

Ibáñez, J. (2009). *Ecología del Paisaje y las Métricas para su cuantificación. Madrid Blogs*. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2009/02/12/112749>

Infraestructura de Datos Geoespaciales. (2016). *DEM Alos Palsar Región Metropolitana*. <https://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/35439/DEM%20Alos%20Palsar%20Regi%C3%B3n%20Metropolitana>

Infraestructura de Datos Geoespaciales. (2021). *Hidrografía*. <https://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/35837/Hidrograf%C3%ADa>

Irastorza, P. (2006). *Integración de la Ecología del Paisaje en la planificación territorial. Aplicación a la comunidad de Madrid*. [Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo Digital UPM [https://oa.upm.es/468/1/PEDRO\\_IRASTORZA\\_VACA.pdf](https://oa.upm.es/468/1/PEDRO_IRASTORZA_VACA.pdf)

- Jaeger, J. A. (2000). Landscape division, splitting index, and effective mesh size: New measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology*, 15, 115–130.
- Leija, E. y Mendoza, M. (2021). Estudios de conectividad del paisaje en América Latina: retos de investigación. *Madera y Bosques*, 27, 1-21. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712032>
- Lobos, S. (2022). Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata: Un tesoro de la Cordillera de la Costa. *Ladera Sur*. <https://laderasur.com/destino/santuario-de-la-naturaleza-quebara-de-la-plata-un-tesoro-de-la-cordillera-de-la-costa/>
- López, A. (2023). La autopista orbital de Santiago, ¿un camino hacia el pasado?. *Invitro Hábitat residencial y Territorio, Blog del Instituto de Vivienda de la Universidad de Chile*. <https://invi.uchilefau.cl/la-autopista-orbital-de-santiago-un-camino-hacia-el-pasado/>
- Martins, R., Salinas, E. y Mirandola, H. (2022). La Geoecología de los paisajes como fundamento para la selección, planificación y gestión de Áreas Protegidas: Aspectos teórico-metodológicos. *Revista de Geografía Norte Grande*, (83), 305-229. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022022000300305>
- Mansilla, P. (2011). Autopistas, accesibilidad y desigualdad social: El impacto de la red de autopistas concesionadas sobre la dimensión temporal de las prácticas de movilidad en Santiago de Chile. *Revista Geográfica de América Central*, 1-12. <https://www.researchgate.net/publication/277830243>
- Merino, B. (2016). *Efectos de la fragmentación del hábitat sobre la biodiversidad de plantas gipsícolas*. [Tesis de grado, Universidad Miguel Hernández de Elche]. Repositorio académico Universidad Miguel Hernández de Elche <https://hdl.handle.net/11000/3581>.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2013). Desfragmentación de hábitats. Orientaciones para reducir los efectos de las infraestructuras de transporte en funcionamiento. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 5. O.A. Parques Nacionales. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 159 pp. Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2010). Indicadores de fragmentación de hábitats causada por infraestructuras lineales de

transporte. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 4. O.A. Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 133 pp. Madrid

Ministerio del Medio Ambiente. (2012). *Decreto 40 Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental*. Recuperado de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1053563>

Ministerio de Obras Públicas, Dirección General De Concesiones De Obras Públicas. (2022). *Proyecto Orbital Norponiente a Santiago*.

Navarro, M., González, L., Flores, G. y Amparán, R. (2015). *Fragmentación y sus implicaciones: Análisis y reflexión documental*. <http://www.cuc.udg.mx/sites/default/files/publicaciones/2015%20-%20Fragmentaci%C3%B3n%20y%20sus%20implicaciones.%20An%C3%A1lisis%20y%20reflexi%C3%B3n%20documental.pdf>

Núñez, E. 2010. Método para la Planificación del Manejo de Áreas Protegidas. Corporación Nacional Forestal, Santiago, Chile. 135 pp

Orellana, E. (2006). *Bases para el desarrollo ecoturístico de la Quebrada de La Plata, Región Metropolitana*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile.

Pinilla, C. (2022). *Impacto de un incendio sobre la comunidad de aves y el uso de las cajas anideras como medida de restauración en las aves nidificadoras secundarias de cavidades en el Santuario de la Naturaleza Quebrada de La Plata*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile.

Rodriguez, J., & da Silva, E. (2009). La geoecología del paisaje, como fundamento para el análisis ambiental. *REDE - Revista Eletrônica Do PRODEMA*, 1(1). Recuperado de <https://lageplan.ufc.br/wp-content/uploads/2022/10/LA-GEOECOLOGIA-DEL-PAISAJE.pdf>

Rojas, J. (2016). *Evaluación de las transformaciones en el paisaje y la provisión de servicios ecosistémicos en la provincia de Chacabuco entre 1984 y 2012*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Universidad de Chile

- Saavedra, B., Povea, P., Louit, C. y Chávez, C. (2018). Atropellos de fauna en la ruta D-705, sector: Illapel-Aucó-Los Pozos (Coquimbo, Chile), incluyendo la Reserva Nacional Las Chinchillas. *Biodiversidata*, 6, 20-26.
- Sandoval, G. (2009). “*Análisis del proceso de cambio de uso y cobertura de suelo en la expansión urbana del Gran Valparaíso, su evolución y escenarios futuros*”. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio académico de la Universidad de Chile.
- Sandoval, G. (2016). *Propuesta de corredores verdes potenciales en el Paisaje Metropolitano de Santiago de Chile mediante una modelación en Sistemas de Información Geográfica*. [Tesis de Magíster, Universidad de Santiago de Chile].
- Secretaría Ministerial Metropolitana de Vivienda y Urbanismo. (2007). *Ordenanza del Plan Regulador Metropolitano de Santiago*. <https://ciperchile.cl/pdfs/2015/03/mineria-maipu/PRMS.pdf>
- Servicio de Evaluación Ambiental. (2017). *Guía sobre el Área de Influencia en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental*. [https://sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2017/06/30/14314web\\_area\\_de\\_influencia.pdf](https://sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2017/06/30/14314web_area_de_influencia.pdf)
- Servicio de Evaluación Ambiental. (2019). *Guía para la evaluación de impacto ambiental del valor paisajístico en el SEIA*. [https://sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2019/03/13/guia\\_valor\\_paisajistico\\_websea.pdf](https://sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2019/03/13/guia_valor_paisajistico_websea.pdf)
- Smith, C. y Armesto, J. Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente (Chile). (2002). *Importancia biológica de los bosques costeros de la Décima Región :el impacto de la carretera costera sur*. *Ambiente y Desarrollo*, 18(1): 6-14, 2002. CIPMA. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/22909>
- Szek, M. (2012). *Fragmentación del paisaje en áreas protegidas*. [Tesis doctoral]. Universidad de Barcelona.
- Turner, M. y Gardner, R. (2015). *Ecología del paisaje en teoría y práctica Patrón y Proceso*. Springer Nueva York, Nueva York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2794-4>
- UMR TETIS. (2020). *La taille effective de maille*. [Archivo de Video]. YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=J\\_CHqKpcqG0&list=PLh9oFe6PuP](https://www.youtube.com/watch?v=J_CHqKpcqG0&list=PLh9oFe6PuP)

[CWe0pxV6i-Sd57coMfo\\_37p&index=3&t=236s&ab\\_channel=UMRTETIS](#)

- Valdés, A. (2011). *Efectos de la pérdida y fragmentación de hábitat en la ecología de poblaciones de Primula Vulgaris L. en bosques cantábricos*. [Tesis doctoral, Universidad de Oviedo]. Repositorio Institucional de la Universidad de Oviedo.
- Vallejos, R. (2022). Humedales de Maipú: Los tesoros escondidos de una de las comunas más grandes de Chile. *Ladera Sur*. <https://laderasur.com/articulo/humedales-de-maipu-los-tesoros-escondidos-de-una-de-las-comunas-mas-grandes-de-chile/>
- Vila, J., Varga, D., Llausas, A., y Ribas, A. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 48, 151–166. <https://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/1824/72657-83244-1-PB.pdf?sequence=1>
- Wu, J. (2013). Landscape Ecology. En: Leemans, R. (eds) *Ecological Systems*. Springer, Nueva York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5755-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5755-8_11)
- Yáñez, H. (2018). *Análisis de las dinámicas espacio temporales del paisaje y sus efectos en la conectividad ecológica en Algarrobo*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile.