UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento de Ingeniería Geográfica

Propuesta de corredores verdes potenciales en el Paisaje Metropolitano de Santiago de Chile mediante una modelación en Sistemas de Información Geográfica

Gino Sandro Sandoval Verdugo

Tesis de Grado presentada en conformidad a los requisitos para obtener el Grado de Magíster en Geomática

Profesor Guía:

Alexis Vásquez Fuentes

Santiago – Chile

2016

© Gino Sandro Sandoval Verdugo, 2016

Algunos derechos reservados.

Esta obra está bajo licencia Creative Commons Atribución (CC:BY): Se permite usar la obra sin restricciones y generar obras derivadas, incluso con fines comerciales, siempre que se reconozca al autor. Chile 3.0. Sus condiciones de uso pueden ser revisadas en:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/cl/>

RESUMEN

El presente trabajo propone una red potencial de corredores verdes multipropósito que conecten los espacios verdes presentes en el Paisaje Metropolitano de Santiago, tanto en el área circúndate a la mancha urbana como al interior de ella.

La propuesta se desarrolló mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), conjugando técnicas de lógica difusa para la obtención de las capas de costos o impedancia y modelación de rutas de menor costo.

Antes de la modelación, se identificó la estructura espacial actual de los espacios verdes existentes en el Paisaje Metropolitano de Santiago, mediante el cálculo de métricas de paisaje, análisis y distribución de superficies, además del cálculo y análisis de distancias entre los diferentes espacios verdes. Los resultados obtenidos muestran que en general los espacios verdes se distribuyen de forma aleatoria en el área de estudio, pero que existen ciertos elementos aislados asociados a tipos específicos de espacio verdes originándose algunas “zonas de vacíos”.

En cuanto a las redes potenciales de corredores verdes modeladas, primero se obtuvo una red potencial biológica para especies y una red potencial recreativa para personas, las cuales mostraron patrones y complejidades espaciales diferentes de acuerdo a su objetivo, aunque los elementos a conectar fueron los mismos.

La integración de ambas redes mediante análisis de densidad de Kernel produjo la estructura troncal básica de la red integrada, esta red disminuye significativamente el asilamiento y fragmentación de los espacios verdes existentes en el Paisaje Metropolitano de Santiago, y sobretodo de los espacios naturales, logrando conectar áreas naturales con elementos verdes al interior del área urbana de Santiago.

Palabras claves: Corredores verdes; Espacios verdes; Distribución espacial; Proximidad; Modelo de ruta de menor costo

ABSTRACT

This research proposes a potential network of multipurpose greenways that links the green spaces of Santiago's Metropolitan Landscape, around the urban area and within it.

The greenways was developed using Geographic Information Systems (GIS), combining fuzzy logic techniques for obtain layers of cost or impedance and least-cost path model.

Before the developed model, it was identified the spatial structure of the current green spaces in Santiago's Metropolitan Landscape, calculating landscape metrics, surface analysis and distribution, besides the calculation and analysis of distances between different green spaces. In general, the results show that the green spaces are randomly distributed in the studied area, but there are some remote elements associated to specific types of green spaces causing some "gap zones".

Regarding the potential networks of greenways developed, first it was obtained a potential biological network for species and a potential recreational network for people, which showed different patterns and spatial complexities according to their objective, although the connecting elements were the same.

The integration of both networks by Kernel density analysis produced the network basic backbone structure. This integrated network significantly reduces the isolation and fragmentation of current green spaces in Santiago Metropolitan Landscape, especially of the natural spaces, connecting natural areas with green elements inside Santiago's urban area.

Keywords: Greenways; Green spaces; Spatial distribution; Proximity; Least-cost path model

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer al proyecto FONDECYT 1130311 Corredores verdes urbanos multifuncionales: conectando ciudades ecológica y socialmente fragmentadas.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: PRESENTACIÓN 1
1.1. Introducción 1
1.2. Planteamiento del problema 2
1.3. Hipótesis 5
1.4. Objetivos 5
1.5. Revisión bibliográfica 6
1.5.1. Corredores verdes 6
1.5.2. Experiencias de corredores a nivel internacional 8
1.5.3. Modelación de corredores en SIG 12
1.6. Área de estudio 16
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA 18
2.1. Identificación de la estructura actual de los espacios verdes existentes en el Paisaje Metropolitano de Santiago 19
2.1.1. Obtención y actualización de información vectorial de espacios verdes 19
2.1.2. Aplicación de métricas del paisaje de los espacios verdes 21
2.1.3. Cálculo y análisis de superficies de los espacios verdes 22
2.1.4. Distribución espacial de espacios verdes 23
2.1.5. Cálculo y análisis de distancias entre espacios verdes 24
2.2. Modelación y evaluación de la red de corredores verdes potenciales en el Paisaje Metropolitano de Santiago 26
2.2.1. Definición de objetivos y variables según modelo de corredores potenciales 26
2.2.2. Estimación de superficies de costos mediante pertenencia difusa 27
2.2.3. Superposición de capas de costos mediante lógica difusa 34
2.2.4. Definición y selección de espacios verdes a conectar 34
2.2.5. Modelación de corredores potenciales mediante rutas de menor costo 36
2.2.6. Evaluación del impacto de los corredores potenciales obtenidos en la estructura de espacios verdes 37
CAPÍTULO III: RESULTADOS 39
3.1. Identificación de la estructura actual de los espacios verdes existentes en el Paisaje Metropolitano de Santiago 39
3.1.1. Identificación de los espacios verdes existentes 39

3.1.2. Métricas del paisaje en los espacios verdes existentes 42
3.1.3. Distribución de la superficie de los espacios verdes 47
3.1.4. Distribución espacial de las áreas verdes urbanas y los espacios verdes asociados a cursos hídricos 51
3.1.5. Análisis de distancias entre los espacios verdes 53
3.2. Modelación y evaluación de la red de corredores verdes potenciales en el Paisaje Metropolitano de Santiago 57
3.2.1. Espacios verdes a conectar 57
3.2.2. Coberturas de costos obtenidas mediante pertenencia y superposición difusa 60
3.2.3. Corredores biológicos potenciales para especies 61
3.2.4. Corredores potenciales recreativos 65
3.2.5. Estructura troncal básica de corredores multifuncionales potenciales 68
3.2.6. Evaluación de las distancias entre espacios verdes incluyendo los corredores potenciales 71
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN 86
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES 90
BIBLIOGRAFÍA 93
APÉNDICE 99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Métricas aplicadas a los espacios verdes AMS 21
Tabla 2.2. Variables según tipo de corredor 26
Tabla 2.3. Tipo pertenencia difusa según variable en modelo de corredor para especies 29
Tabla 2.4. Tipo pertenencia difusa según variable en modelo de corredor recreativo .. 30
Tabla 2.5. Valores de costos de fricción asignados según tipo de corredor a modelar 33
Tabla 3.5. Distancias entre espacios verdes, incluyendo corredores biologicos potenciales para especies 72
Tabla 3.6. Distancias entre espacios verdes, incluyendo corredores potenciales recreativos 76
Tabla 3.6. Distancias entre espacios verdes, incluyendo estructura troncal básica, corredores potenciales para especies y recreativo 81
Tabla 3.7. Resumen con distancias fijas entre espacios verdes, según corredor potencial 85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1.1. Distribución de cobertura vegetal según grupo socio-económico en Peñalolen 3
Figura 1.2. Modelo de componentes del paisaje 7
Figura 1.3. Atributos de la estructura externa de los corredores 8
Figura 1.4. Extracto mapa de vías verdes españolas 9
Figura 1.5. Plan actual del Emerald Necklace, Boston. 10
Figura 1.6. Red verde de Hamburgo (Grünes Netz Hamburg) 11
Figura 1.7. Análisis de densidad kernel para corredores en Wuhan (China) 14
Figura 1.8. Área de estudio Paisaje Metropolitano de Santiago 17
Figura 2.2. Obtención y preparación de información vectorial de espacios verdes 19
Figura 2.3. Edición y actualización de parches sobre Google™ Earth 20
Figura 2.4. Esquema diagrama de caja (box plot) 23
Figura 2.5. Grilla-vector o *fishnet* de 1km^2 utilizada 24
Figura 2.6. Cálculo y análisis de distancias entre espacios verdes 25
Figura 2.7. Histogramas de frecuencias y espacialización de las distancias 25
Figura 2.8. Aplicación de pertenencia difusa en variables de costos 28
Figura 2.9. Diagrama de costos relativos 32
Figura 2.10. Modelo infraestructura verde de Vitoria-Gasteiz 35
Figura 2.11. Criterios de selección de espacios verdes a conectar 36
Figura 2.12. Modelo ruta de mínimo costo ArcGIS 10.x 37
Figura 2.13. Histogramas de frecuencias y espacialización de distancias potenciales 38
Figura 3.1. Espacios verdes obtenidos en el paisaje Metropolitano de Santiago 41
Figura 3.2. Índice del parche más grande (LPI) 45
Figura 3.3. Relaciones entre métricas de espacios verdes 47
Figura 3.4. Distribución de espacios verdes según superficies (ha) 50
Figura 3.5. Distribución de superficie (ha) de espacios verdes por km^2 52
Figura 3.6. Frecuencias de distancias entre espacios verdes 56
Figura 3.7. Núcleos, nodos y sub-nodos del paisaje Metropolitano de Santiago 59
Figura 3.8. Coberturas de costos o impedancia obtenidas 60
Figura 3.9. Coberturas de costos obtenidas mediante superposición fuzzy 61
Figura 3.10. Corredores potenciales biológicos para especies, principalmente aves de hábitat suelo-árbol 64
Figura 3.11. Corredores potenciales para personas, principalmente recreativos 67

Figura 3.12. Ejemplo de conectores obtenidos 68
Figura 3.13. Estructura troncal básica de corredores verdes potenciales 70
Figura 3.14. Frecuencias de distancias entre espacios verdes con corredores para especies principalmente 74
Figura 3.15. Frecuencias de distancias entre espacios verdes con corredores para personas principalmente recreativos..... 78
Figura 3.16. Frecuencias de distancias entre espacios verdes con estructura troncal básica 82

CAPÍTULO I: PRESENTACIÓN

1.1. Introducción

Santiago, al ser una ciudad que se ha expandido de forma acelerada no escapa de los impactos negativos tales como perdida de biodiversidad o la perdida de conectividad de las áreas naturales circundantes con los remanentes de vegetación al interior de la mancha urbana (Henríquez *et al.*, 2006; Romero y López, 2007; Vásquez y Romero, 2007).

Sumado a esto existe una inequitativa distribución de áreas verdes y vegetación al interior de la mancha urbana de Santiago y que tiene relación con los distintos niveles socio-económicos (Escobedo *et al.*, 2006; Vásquez, 2008, Reyes y Figueroa, 2010), en donde los mayores niveles socio-económicos presentan una mayor concentración de áreas verdes y vegetación.

Como Santiago no es la única metrópolis en América Latina o en el resto del mundo que ha experimentado una expansión acelerada y constante por lo menos en los últimos 40 años, existen diversas experiencias y proyectos de recuperación y reconexión de la naturaleza y paisaje, un ejemplo de ellos es él *IBA Emscher Park* en la región de Ruhr en Alemania, donde a partir de los años 80 se genera un proyecto para la rehabilitación ecológica de una zona industrial abandonada y sobretodo la recuperación ecológica y paisajística del río Emscher (Ugalde, 2013).

De acuerdo a Vásquez (2016) en los años 90 toman relevancia en la planificación urbana los denominados corredores verdes, elementos lineales multipropósitos que por su geometría se transforman en una estrategia para conectar las áreas naturales fuera del área urbana y las áreas verdes aisladas dentro de ella, y así disminuir el aislamiento de los espacios verdes urbanos y mitigar las diferencias en su distribución.

En este contexto, resulta relevante modelar y proponer una red de corredores potenciales para el Paisaje Metropolitano de Santiago, que sea capaz de conectar las áreas naturales fuera del área urbana como también las áreas verdes aisladas dentro de ellas, esto utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG).

1.2. Planteamiento del problema

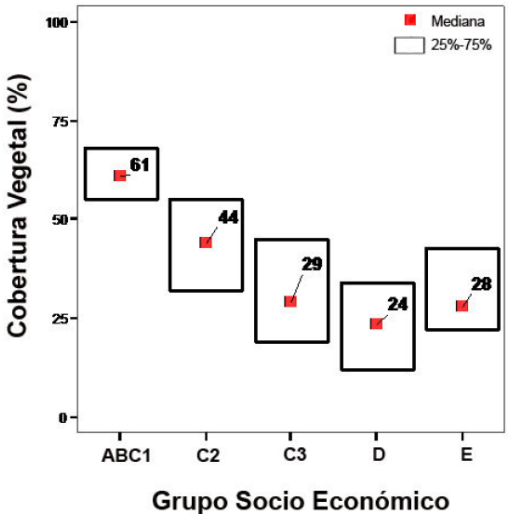
La ciudad de Santiago de Chile, se encuentra bajo un proceso de expansión urbana acelerada y constante (De Mattos, 2010), lo que constituye la principal característica de la reactivación de las ciudades en la economía de mercado actual.

Adicionalmente a este proceso de expansión urbana acelerada, se puede evidenciar la existencia de un gran número de estudios en diversas ciudades alrededor del mundo -incluida Santiago- que señalan los diferentes impactos negativos sobre el medio ambiente que genera el proceso de urbanización acelerada, tales como contaminación en el aire, agua y suelos (Henríquez *et al*., 2006), alteración del clima local (Molina, 2007; Sarricolea, 2008), perdida de vegetación nativa por remplazo de coberturas urbanas (Henríquez *et al.*, 2006; Romero *et al.*, 2007; Mahesh Kumar *et al.*, 2008), fragmentación de la vegetación con la respectiva perdida en la biodiversidad (Vásquez y Romero, 2007; Romero y López, 2007), cambios en el ciclo hidrológico (Withford *et al.*, 2001; Pauleit *et al.*, 2005; Fuentes, 2009).

Todos estos efectos son provocando mediante una drástica transformación del paisaje, la cual aumenta la fragmentación de los ambientes naturales y disminuye la conectividad entre los parches de vegetación existentes dentro y fuera del área urbana (Romero y López, 2007).

En Santiago se ha estudiado la distribución de los parches de vegetación urbana y sobretodo la relación de estos con los diferentes niveles socio-económicos (Escobedo *et al.*, 2006; Vásquez, 2008), donde, en términos generales, se ha encontrado que a mayor nivel socio-económico de la población existe una mayor cantidad de parches de vegetación urbana (Figura 1.1.), independiente de los años que lleve urbanizada el área de emplazamiento.

Figura 1.1. Distribución de cobertura vegetal según grupo socio-económico en Peñalolen



Fuente: Vásquez (2008)

Asimismo, Reyes y Figueroa (2010) investigaron la distribución, superficie y accesibilidad de áreas verdes públicas en Santiago, identificando que las cuatro comunas que poseen los más altos ingresos y niveles socio-económicos concentran más del 30% de la superficie total de áreas verdes públicas, en contraste con las cuatro comunas más pobres que sólo poseen alrededor de un 4%.

Cabe señalar la diferencia conceptual entre los conceptos de parche de vegetación urbana y área verde pública. Parche de vegetación urbana hace referencia a toda unidad espacial pública o privada cubierta por vegetación, ya sea de origen nativa o introducida, que se encuentre dentro o en los márgenes del área urbana, diversos trabajos han utilizado este concepto para el estudio de la estructura del arbolado urbano y vegetación en ciudades como Chicago (EE.UU.), Santiago (Chile) e inclusive en comunas como Peñalolén (Santiago, Chile) (Nowak y McPherson, 1993; Nowak, 1994; De la Maza, 2002; Hernández, 2008; Vásquez, 2008). Por otro lado, el concepto de área verde pública en Chile es un término normativo definido en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (MINVU, 2014 p. 13) donde indica que es una “superficie de terreno destinada preferentemente al esparcimiento o circulación peatonal, conformada generalmente por especies vegetales y otros elementos complementarios”, definición que implica que un área verde tiene un objetivo social. A diferencia del parche verde urbano, esta definición no involucra forzosamente que el área verde contenga especies vegetales (nativas o introducidas). Para este trabajo se

usará el término espacios verdes para referirse de manera conjunta a los parches de vegetación urbana o periurbana y áreas verdes públicas.

Hoy en día el tema de los espacios verdes urbanos en Santiago ha tomado un gran interés no solo desde la academia, sino también de diversos grupos ciudadanos trabajando activamente es este ámbito, por ejemplo, Fundación Mi Parque, Santiago Cerros Isla, Corredores Verdes y Mapocho 42k.

En base a los diferentes antecedentes planteados por Hernández (2008), Reyes y Figueroa (2010) y Vásquez (2008) respecto a la marcada distribución inequitativa, alta fragmentación y aislamiento de los espacios urbanos con vegetación en la metrópolis de Santiago, asoman estudios en otras ciudades, como por ejemplo Jinan (Kong *et al.,* 2010) o Wuhan (Teng *et al.,* 2011) en China, donde en ambas investigaciones proponen la necesidad de generar redes de corredores verdes como estrategia destinada a contrarrestar los efectos negativos derivados de esta situación.

Los corredores verdes propuestos por Kong *et al.* (2010) y Teng *et al.* (2011) para Jinan y Wuhan respectivamente, han sido resultado de la modelación en Sistemas de Información Geográfica (SIG), teniendo como objetivo principal la reconexión de espacios verdes aislados para el desplazamiento de especies.

Adicionalmente, a partir de los múltiples beneficios que otorgan los corredores verdes en un paisaje fragmentado se hace relevante evaluar la estructura actual de los espacios verdes en el Paisaje Metropolitano de Santiago y proponer una red de corredores verdes potenciales para múltiples propósitos (biológicos, ecológicos y sociales), mediante una modelación en plataforma SIG integrando y mejorando las aproximaciones existentes hasta ahora, las cuales han tenido una fuerte inclinación a la mejora en la movilidad de especies ya sean aves, mamíferos o reptiles, dejando de lado otros aspectos sociales por ejemplo.

1.3. Hipótesis

Hipótesis General

La estructura de los espacios verdes en el Paisaje Metropolitano de Santiago es altamente fragmentada y aislada, pero puede ser significativamente mejorada con la propuesta de corredores verdes modelados en Sistemas de Información Geográfica.

Hipótesis Específicas

Conjuntamente a la distribución asimétrica de espacios verdes dentro del Paisaje Metropolitano de Santiago existe una potencialidad disímil para la generación de corredores verdes multipropósito al interior de la ciudad dependiente de diferencias en la estructura y componentes urbanos, tales como la cercanía a cursos hídricos.

El número de corredores verdes y la complejidad estructural de la red integrada de ellos varían espacialmente desde el centro de la ciudad a los sectores más naturales.

1.4. Objetivos

Objetivo General

Proponer una red potencial de corredores verdes multipropósito que conecten los espacios verdes existentes en el Paisaje Metropolitano de Santiago.

Objetivos Específicos

- Identificar la estructura actual de los espacios verdes existentes en el Paisaje Metropolitano de Santiago.

- Modelar una red de corredores verdes potenciales en el Paisaje Metropolitano de Santiago y evaluar su impacto sobre la estructura

1.5. Revisión bibliográfica

1.5.1. Corredores verdes

Los corredores verdes son espacios o elementos lineales del paisaje con algún grado de presencia de vegetación y que pueden o no incluir infraestructuras como ciclo-vías, que tienen como idea principal la reconexión de espacios fragmentados de vegetación (Bueno *et al.*, 1995). Similar a lo que señala Ahern (1995, p. 134) "los corredores verdes son redes que contienen elementos lineales que se han planificado, diseñado y gestionado para múltiples propósitos, incluyendo servicios ecológicos, recreativos, culturales, estéticos, o para otros fines compatibles con el concepto de uso sostenible". Adicionalmente estas redes se vuelven una herramienta efectiva para mantener los componentes ecológicos en pro de un paisaje urbano sostenible (Sandström *et al.*, 2006; Kong *et al.*, 2010). Además, Teng *et al.* (2011) señala que la planificación de corredores verdes es una estrategia muy valiosa para satisfacer múltiples demandas y desarrollar las infraestructuras verdes necesarias para asegurar la sostenibilidad urbana.

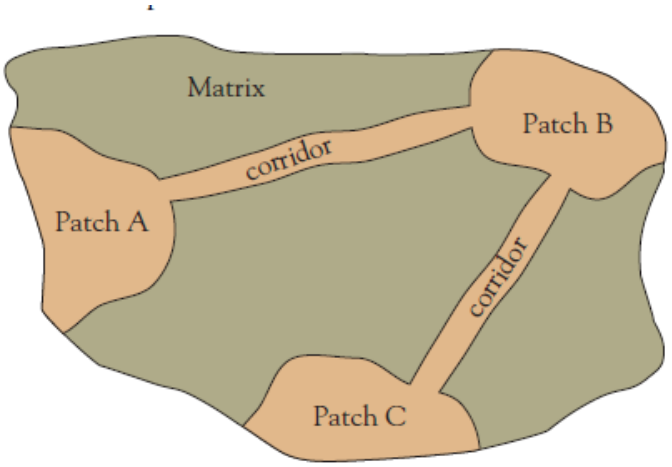
De acuerdo a lo planteado por Fabos (1995), Bueno *et al.* (1995), Kong *et al.* (2010) y Teng *et al.* (2011), las redes de corredores verdes otorgan funciones y servicios ecosistémicos tales como provisión de hábitat, regulador de inundaciones (en el caso de que sean corredores ribereños), servicios culturales, recreacionales y espirituales. Por lo anterior los corredores verdes se vuelven componentes multipropósito del paisaje y proporcionan múltiples beneficios dentro de un área urbana, tales como ecológicos, ambientales, culturales, recreativos y estéticos para la ciudad (Bueno *et al.*, 1995).

Dentro de la propuesta de corredores verdes de Kong *et al.* (2010) para la ciudad de Jinan (China), señalan de forma muy similar que la red de espacios verdes urbanos lineales es esencial para la conservación de la biodiversidad, y que se convierten en una parte importante del paisaje cultural en términos de que pueden integrar también objetivos económicos, históricos, culturales, estéticos y recreativos.

Estos elementos lineales denominados como corredores, dentro de la ecología del paisaje son un elemento esencial (Forman, 1995; Barnes, 2000), ya que permiten el

flujo e interacciones de materiales y energía en ambas direcciones entre los diversos parches a través de la matriz (Figura 1.2). De acuerdo a Barnes (2000) estos elementos se constituyen como una mixtura única de atributos físicos y bióticos de la matriz circundante y los parches que conectan.

Figura 1.2. Modelo de componentes del paisaje



Fuente: Barnes (2000)

El origen de los corredores verdes puede ser muy diverso, desde remanentes de parches de mayor tamaño producidos por algún disturbio o estar asociados a un cursos hídricos natural o artificial (Barnes, 2000). Estos corredores pueden tener diversas funciones (Forman y Godron, 1986; Forman, 1995), como conducción, hábitat, barrera o filtro, pero a la vez estas funciones también dependen de la geometría que posean en términos de su curvilinealidad, vacíos (*gaps)*, estrechez, nodos y conectividad (Barnes, 2000).

Estas últimas características son clave para el corredor, de hecho Forman (1995) las señala como atributos de la estructura externa del corredor (Figura 1.3) definiendo una tipología dependiendo de su (1) Relación con el entorno; (2) Curvilinealidad y ancho; (3) Conectividad y vacíos (*gaps*).

Además, Forman (1995) desglosa estos atributos en características más específicas, como por ejemplo, largo, gradiente ambiental a lo largo del corredor, curvilinealidad o sinuosidad del corredor (atributo que forma parte del análisis visual del presente

estudio) y su respectivo ancho o estrechez, conectividad y la existencia de vacíos o quiebres (*gaps - breaks)* a lo largo del corredor (Figura 1.3).

Figura 1.3. Atributos de la estructura externa de los corredores

Fuente: Forman (1995)

1.5.2. Experiencias de corredores a nivel internacional

Existen distintas y variadas experiencias internacionales de planificación y ejecución de corredores verdes o de sistemas integrados de infraestructura verde, de acuerdo a lo planteado por CEA (2014) ciudades como Bruselas, Helsinki, Londres, Chicago, Berlín, han contemplado la generación o rehabilitación de corredores verdes tanto dentro como en el entorno de dichas ciudades.

Otra experiencia de corredores es la llamada *Vías Verdes* en España (Figura 1.4), en la cual se reutilizan los antiguos trazados de ferrocarriles ahora en desuso para el recorrido a pie o en bicicleta. Este plan ha sido coordinado por la Gerencia de Vías Verdes y Medio Ambiente de la Fundación de los Ferrocarriles Españoles y hasta ahora ha significado la reutilización de 2.200 km de 7.600 km (FFE, 2015).

Figura 1.4. Extracto mapa de vías verdes españolas

Fuente: FFE (2015)

Dentro de España también existen experiencias locales como la de Vitoria-Gasteiz, capital verde europea 2012, donde se desarrolló un plan de infraestructura verde urbana que incluyó diversos elementos verdes tanto al interior como adyacentes al paisaje urbano. Dentro de estos elementos destaca los anillos verdes y sendas urbanas como elementos lineales, donde los primeros están acondicionados para el tránsito de ciclistas y peatones en torno a un arbolado continúo rodeando la ciudad de Vitoria-Gasteiz, mientras que las sendas urbanas tienen por objetivo enlazar los principales servicios socioculturales con los parques de la ciudad entre sí y con los parques periurbanos (CEA, 2014).

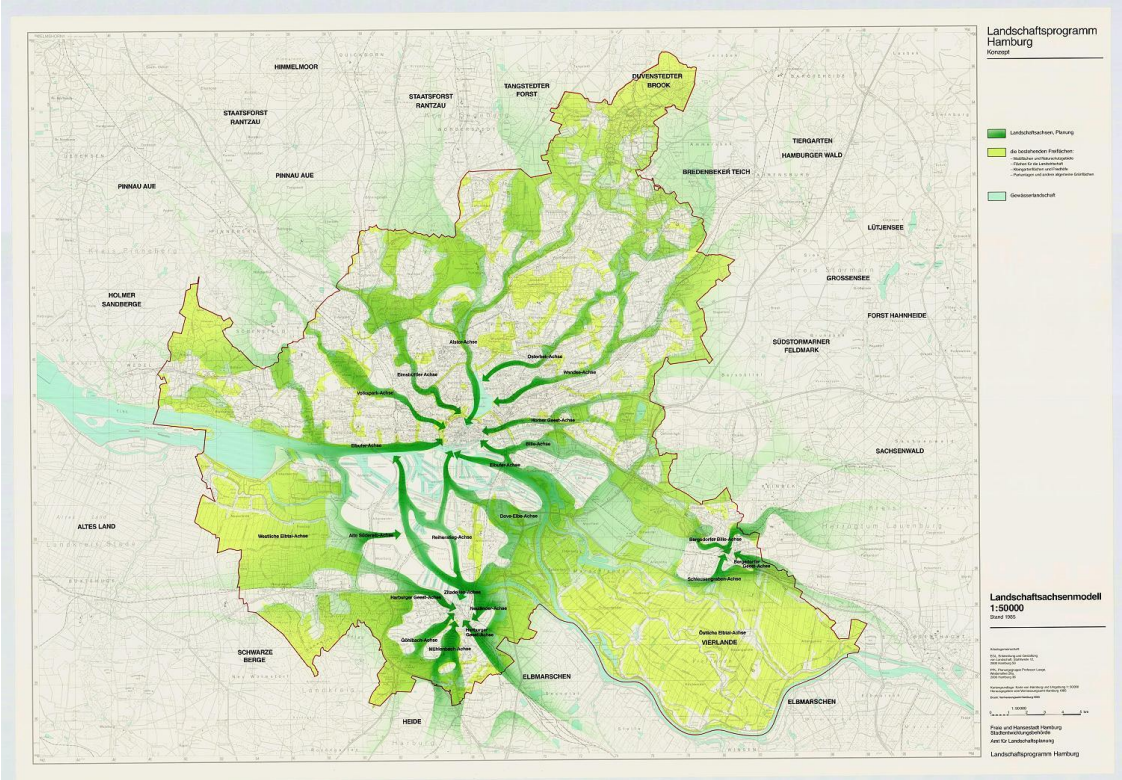
Otro sistema de infraestructura verde internacionalmente conocido es el *Emerald Necklace* en Boston (Figura 1.5), el cual es uno de los primeros sistemas integrados de parques ya que fue diseñado alrededor del 1894 por el botánico y arquitecto paisajista estadounidense Frederick Law Olmsted. El *Emerald Necklace* se basó básicamente en dos principios: 1) todo elemento verde (plaza, parque, cursos hídricos) debe formar un sistema integrado y articulado; 2) elementos pre-existentes se deben integrar y acoplar con los nuevos espacios verdes propuestos o generados (Stock, 2014).

Figura 1.5. Plan actual del Emerald Necklace, Boston.

Fuente: Stock (2014)

Otra ciudad de Europa que ha implementado un sistema integrado de espacios verdes ha sido Hamburgo en Alemania, el que es conocido como *"Grünes Netz Hamburg"* o como red verde de Hamburgo. Este consta de dos anillos verdes y conectores radiales que van desde el centro pasando por ambos anillos que terminan conectando el área urbana con su área rural (Figura 1.6) conectando parques, cultivos, bosques y espacios públicos (CEA, 2014).

Figura 1.6. Red verde de Hamburgo (Grünes Netz Hamburg)



Fuente: Disponible en http://www.hamburg.de/landschaftsachsen/

Dentro de las experiencias antes descritas, se logra identificar en los casos de Vitoria-Gasteiz, Boston y Hamburgo que existe una preocupación e interés por generar una red interconectada y articulada de espacios verdes a través de estos elementos lineales, en los cuales coexisten actividades de recreación, ya sea en bicicleta o caminando, con el interés de enverdecer la ciudades y conectarla con los espacios naturales alrededor de ellas.

Algo distinto es caso de las vías verdes, en donde se reutilizan vías férreas abandonadas, pero de igual forma estas pretenden ser elementos lineales que permitan el desplazamiento y recreación de personas a través de bicicletas o caminatas.

1.5.3. Modelación de corredores en SIG

El desarrollo y propuesta de corredores verdes en la actualidad han estado fuertemente ligadas con plataformas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de teledetección. Por ejemplo, Zhang y Wang (2006) han utilizado métodos que integran métricas de paisaje y análisis de redes en una plataforma SIG en la isla de Xiamen (China), evaluando los usos y coberturas de suelos en cuanto a sus patrones paisajísticos usando métricas de paisaje como densidad de parches y densidad de bordes.

Zhang y Wang (2006) evalúan la conectividad del paisaje y delinean escenarios o alternativas de corredores verdes mediante el uso de herramientas de análisis espacial del software ArcView 3.2. Lo anterior se basó principalmente en la jerarquización de los usos y coberturas existentes en la isla de Xiamen y teniendo como objetivo principal la reconexión de los parches vegetados para fines ecológicos. Cabe mencionar que sus análisis consideraron a todos los parches vegetados, independiente si se tratarán de vegetación natural o cultivos. El principal resultado da cuenta de una mayor conectividad y densidad de los espacios verdes al incluir la red de corredores verdes, demostrando de acuerdo a los autores que la integración de métricas del paisaje con análisis de redes permite evaluar cuantitativamente la situación actual o una situación planeada.

Conine *et al.* (2004) proponen la utilización de la técnica de Evaluación Multi-Criterio (EMC) para la generación de corredores verdes potenciales en Concord (EE.UU.). Ellos proponen siete pasos para la implementación de esta metodología, incluyendo (1) definir la meta y objetivos, (2) la evaluación de áreas potenciales de demanda, donde utilizan plataforma SIG para identificar las zonas de demanda de conectividad, (3) evaluación de aptitud como corredor, mediante plataforma SIG identifican las características naturales y artificiales que pueden ser utilizadas como recursos de conectividad, (4) delineación de corredores, mediante técnica de análisis jerarquizado (AHP) combinando las capas en SIG, obteniendo un mapa de aptitud y finalmente (5) evaluación de los corredores potenciales. Según los autores este método es de alta flexibilidad ya que se puede personalizar para condiciones y objetivos locales, pero que depende en gran medida del grado de desarrollo de corredores y parches verdes

urbanos existentes en el área de estudio. En este estudio no evalúan los efectos de la red propuesta.

Por su parte, Teng *et al.* (2011) utilizan y proponen una modelación de corredores verdes basado en la ruta de menor costo, que les permitió encontrar la ruta de menor costo acumulado en función de la distancia y una capa de impedancia, está última obtenida al asignarles costos relativos a cada uso y cobertura de suelo y cada variable o factor utilizado (por ejemplo, cobertura vegetal o topografía). Los costos asignados fueron obtenidos mediante revisión bibliográfica y la aplicación del modelo generó tres redes de corredores verdes potenciales asociada a cada uno de los tres objetivos planteados: (1) conservación de aves y animales pequeños (2) protección de agua superficial y (3) recreación. Teng *et al.* (2011) proponen que con el conjunto de redes generadas según objetivo, se identifique las coincidencias o la columna vertebral de una red integrada de corredores verdes multipropósito mediante el método de densidad de Kernel (Figura 1.7). Sin embargo, de acuerdo a los autores un tema deficiente corresponde al costo de construcción, ya que se hicieron ciertas analogías pero no representan exactamente los costos de construcción reales. Otro punto débil corresponde a la complejidad y profundidad disímil de los sub-modelos utilizados para definir los corredores asociados a cada objetivo, ya que pusieron un mayor énfasis y complejidad (análisis de costos, puntos de inicio-destino, cantidad de variables jerarquizadas) al tratamiento a los corredores verdes para la conservación de aves y animales pequeños, en comparación con los sub-modelos utilizados para los objetivos de protección de aguas superficiales y de recreación.

Figura 1.7. Análisis de densidad kernel para corredores en Wuhan (China)

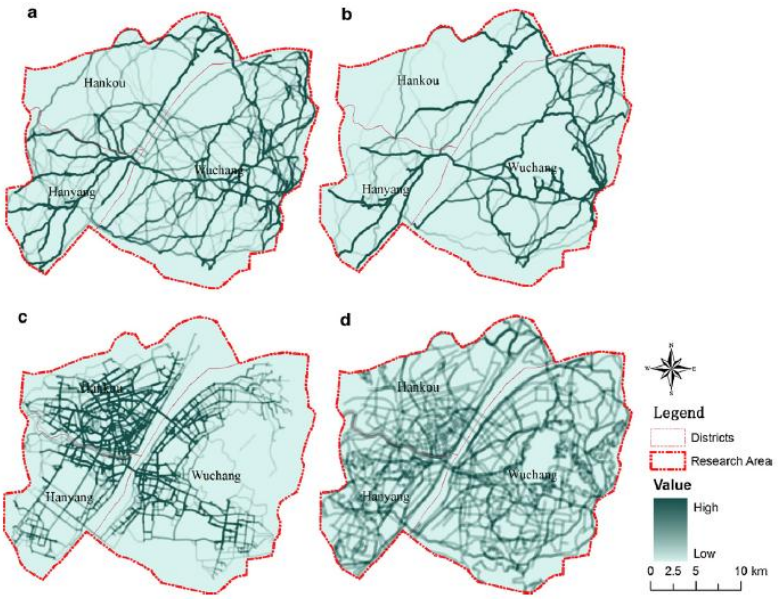


Fig. 4. The kernel density maps reflect potential utilisation of greenway corridors (a) kernel density of greenway for birds; (b) kernel density of greenway for small mammals; (c) kernel density of recreational corridors; and (d) kernel density of multipurpose greenway corridors.

Fuente: Teng *et al.* (2009)

El modelo de ruta de menor costo también ha sido utilizado por Kong *et al.* (2010) para la ciudad de Jinan (China), pero adicionalmente utilizaron métricas de paisajes para describir la estructura y conectividad del paisaje actual y del paisaje incluyendo los corredores verdes modelados. Esto último permitió evaluar el impacto de los corredores verdes propuestos sobre la estructura y conectividad del paisaje. Para la modelación de corredores, proponen la utilización de un método fusionado entre la teoría de grafos y el modelo de gravedad, lo que según ellos representa un enfoque innovador para el desarrollo de redes de espacios verdes urbanos para la conservación de la biodiversidad. Sin embargo, este trabajo no incluyó temáticas sociales y recreacionales dentro de los objetivos principales de forma explícita, asumiendo que la misma red modelada para la conservación biológica tendría también beneficios sociales.

Otro modelo para la generación de corredores es el usado en la herramienta *"CorridorDesign"*, que trabaja bajo ambiente del software ArcGIS de ESRI. Beier *et al.* (2008) han generado una serie de artículos denominados *"Arizona Missing Linkages"*, en los cuales proponen corredores para conectar diversos elementos relevantes del paisaje de Arizona, tales como *Mountain Granite* y *Black Hills.* El modelo utilizado

contempla tres grandes etapas: (1) Preparación de información; (2) Modelación de hábitats; (3) Desarrollo de corredor, mediante el método de ruta de menor costo. Este modelo se basa en factores de aptitud y de restricción, como la topografía, distancia a cuerpos hídricos o vialidad, lo que "Permite obtener una capa de viabilidad de hábitat, que es tomado como un análisis de permeabilidad en donde se obtiene el costo de moverse a través del paisaje" (Isaacs, 2011: 24). Sin embargo, este modelo es aplicable principalmente a zonas naturales y de gran extensión, dejando a las zonas urbanas de lado o incluyéndolas como un factor de restricción o de fricción, además no permite el cambio de algunas variables o enfoques, como la no inclusión de la topografía o el número de variables a trabajar.

En síntesis se puede identificar que los diversos autores se basan en la idea de reconectar los diferentes espacios verdes existentes, con una fuerte orientación a la conservación, protección o rehabilitación ecológica y biológica.

Además se identifica una similitud en la generación de dichas propuestas de corredores verdes, donde inicialmente evalúan la situación actual, principalmente mediante métricas de paisaje (Zhang y Wang, 2006; Kong *et al.,* 2010; Teng *et al.,* 2011), posteriormente en la modelación hay un fuerte apoyo en plataforma SIG, donde Beier *et al.* (2008), Kong *et al.* (2010), Teng *et al.* (2011) utilizan el método de ruta de menor costo, y finalmente evalúan la red propuesta usando diferentes métodos.

Finalmente de acuerdo a Teng *et al.* (2011 p.1), los métodos utilizados en la generación de estos corredores en SIG, se pueden clasificar en tres, (1) análisis de idoneidad; (2) métodos con índices estructurales, como lo son red ecológica y métodos de métricas de paisaje; y (3) métodos basados en procesos como la conectividad, accesibilidad y el modelado de costo-distancia. En cuanto a los dos primeros Teng *et al.* (2011) señala que poseen errores en relación con los procesos ecológicos complejos, en cambio el modelo de menor costo de ruta (modelo LCP), que se basa en un sustituto individual y se basa ampliamente en las técnicas de SIG, se destaca como el método más eficaz.

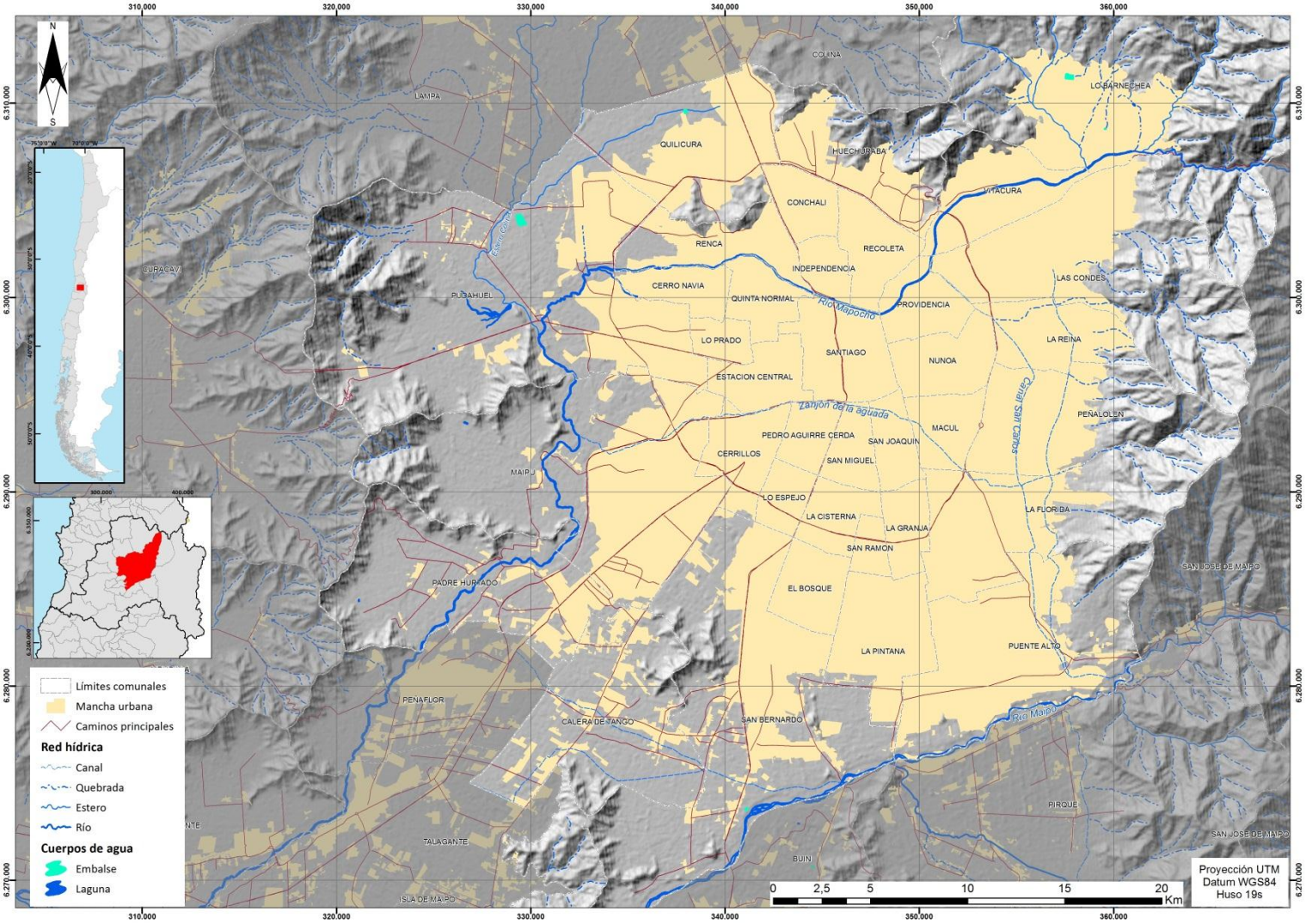
1.6. Área de estudio

El Paisaje Metropolitano de Santiago es definido para este trabajo por un área de 1.847 km^2, correspondiente a las 32 comunas de la provincia de Santiago, incluyendo el área urbana de la comuna de Lo Barnechea, más las comunas de Puente Alto de la provincia Cordillera, San Bernardo y Calera de Tango de la provincia del Maipo y la comuna de Padre Hurtado perteneciente la provincia de Talagante.

El paisaje Metropolitano de Santiago se encuentra dominado por la mancha urbana de Santiago (Figura 1.8) ubicada principalmente en el valle de la depresión intermedia que se encuentra rodeada por los cordones montañosos de la Cordillera de Los Andes por el Este, de la cual se desprende un cordón montañoso hacia el valle donde se puede encontrar el cerro Manquehue y al cerro San Cristóbal, y por el Oeste del área de estudio encontramos la zona oriental de la Cordillera de la Costa.

Adicionalmente se encuentran algunos cerros islas de importancia al interior del área de estudio y además se aprecia que la mancha urbana de Santiago es atravesada por diferentes cursos de agua tanto artificiales como naturales (Figura 1.8), por ejemplo, de este a oeste se encuentra el Río Mapocho y el canal Zanjón de la Aguda, y con dirección sur-norte se encuentra el canal San Carlos. El área de estudio se limita al sur con el río Maipo, el cual es el principal curso hídrico del área y alimenta la mayoría de los canales insertos en la mancha urbana de Santiago.

Figura 1.8. Área de estudio Paisaje Metropolitano de Santiago



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La metodología consta principalmente de dos grandes etapas (Figura 2.1), donde primero se realizó un análisis de la estructura de los espacios verdes del paisaje Metropolitano de Santiago a través de métricas del paisaje, análisis de la distribución espacial y estadística básica de las superficies de los espacios verdes y distancias de vecinos más cercanos.

Con la estructura actual evaluada se procedió a efectuar la modelación de los corredores verdes potenciales siguiendo los siguientes pasos 1) definición de objetivos y variables a trabajar, 2) obtención de las capas de costos, 3) definición de elementos a conectar, y 4) modelo de ruta de menor costo.

Finalmente, se realizó la evaluación y descripción de los corredores potenciales biológico, recreativo y la estructura troncal básica resultante del análisis de densidad de Kernel. Esta evaluación y descripción se efectuó mediante el análisis de distancias entre los espacios verdes del paisaje Metropolitano de Santiago que incluyen los corredores potenciales modelados.

Figura 2.1. Esquema metodología aplicada

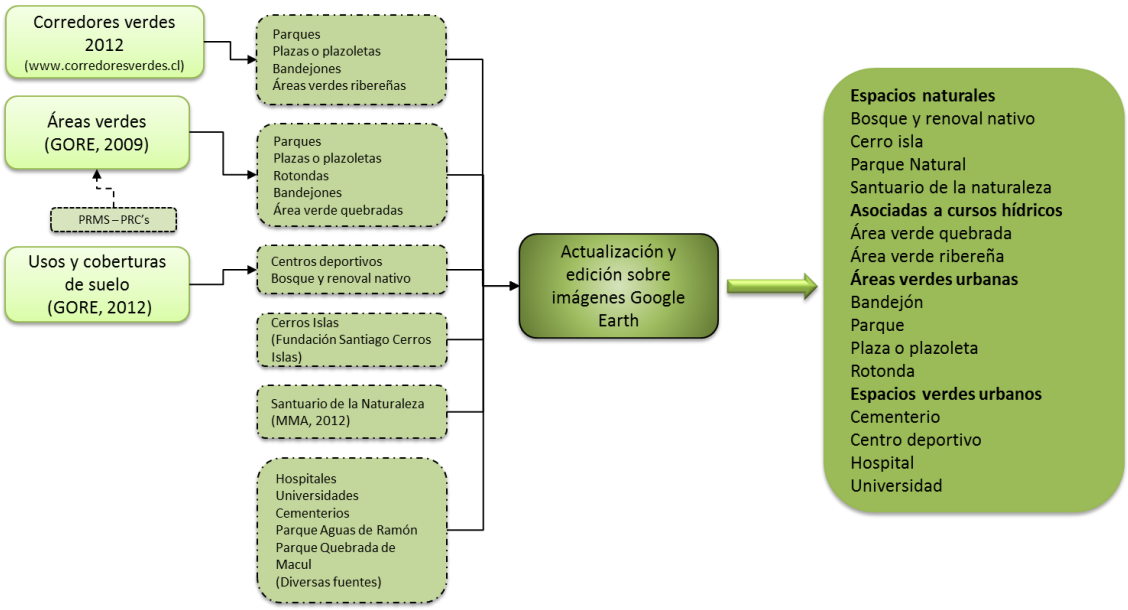
Fuente: Elaboración propia

2.1. Identificación de la estructura actual de los espacios verdes existentes en el Paisaje Metropolitano de Santiago

2.1.1. Obtención y actualización de información vectorial de espacios verdes

Para la generación de la información vectorial de espacios verdes en el Paisaje Metropolitano de Santiago, se utilizaron diferentes fuentes dependiendo el tipo de espacio verde que fuese, en este proceso se procedió a estandarizar los distintos elementos de acuerdo a lo descrito en la Figura 9, en donde por ejemplo elementos como las plazas, áreas verdes quebradas o rotondas que provienen de la información de áreas verdes del Gobierno Regional Metropolitano de Santiago (2009), la cual a su vez procede de planes reguladores comunales y metropolitano, y se clasificaron de acuerdo a propuesta del presente estudio (Figura 9), la cual está en función de las características del elemento y posición dentro del Paisaje Metropolitano de Santiago.

Figura 9. Obtención y preparación de información vectorial de espacios verdes



Fuente: Elaboración propia.

Para la homologación y actualización de las diferentes fuentes y escalas de donde se obtuvieron los diferentes espacios verdes, se utilizó el software gratuito Google™ Earth, en el cual se editaron y corrigieron los límites de los elementos (Figura 10).

Además, se complementaron los espacios verdes del Paisaje Metropolitano de Santiago mediante, por ejemplo, la información de plazas o plazoletas, áreas verdes ribereñas y parques proveniente de la organización Corredores Verdes del año 2012. Estas también se actualizaron mediante fotointerpretación en el software Google™ Earth (Figura 10). Todo esto dio como resultado una capa vectorial a escala 1:25.000.

Figura 10. Edición y actualización de parches sobre Google™ Earth

Fuente: Elaboración propia en base a Google™ Earth

2.1.2. Aplicación de métricas del paisaje de los espacios verdes

Teniendo los espacios verdes identificados, se utilizó la metodología propuesta por Conine *et al.* (2004) y Kong *et al.* (2010), para la descripción de la composición, aislamiento y algunos atributos del paisaje cuantificables a través de métricas de paisaje mediante el software especializado Fragstats 4.2.

El cálculo de métricas de paisaje permitió analizar tanto el patrón espacial (composición, aislamiento, etc.) como las características areales (área total, tamaño promedio, etc.) de los espacios verdes dentro del Paisaje Metropolitano de Santiago. Estas métricas consisten en índices espaciales aplicados en plataforma SIG para determinar, por ejemplo, la densidad de parches y el grado de fragmentación del paisaje.

Se utilizaron algunas de las métricas propuestas por Kong *et al.* (2010), que permiten describir y comparar la composición de las diferentes clases de espacios verdes, en términos de superficie, predominancia y distancia promedio e indicadores de distribución espacial (Tabla 2.1). Para el análisis de las métricas obtenidas, se efectuaron relaciones a través de gráficos que permitieran ver las diferencias y comportamiento de las distintas métricas obtenidas, relacionando por ejemplo, el número de parches con el tamaño promedio para medir el grado de fragmentación de la clase.

Tabla 2.1. Métricas aplicadas a los espacios verdes AMS

Métricas de paisajes	Sigla	Descripción (McGarigal, 2014)
Class area Área total	CA/TA	CA es igual a la suma de las áreas (m2) de todos los parches según clase, esta sumatoria es dividida por 10.000 para convertir en hectáreas. Es una medida de la composición del paisaje.
Number of patches Número de parches	NP	NP calcula el número de parches existentes según clase y/o paisaje.
Patch density Densidad de parches	PD	Es el número de parches cada 100 ha. Es una medida simple de la fragmentación.
Mean patch size Tamaño promedio de parches	MPS	Corresponde al área ocupada por una clase de parche dividido por el número de parches de esa clase. Es una medida simple de la fragmentación
Largest patch index Índice del parche más grande	LPI	LPI es el área (m2) del parche más grande, según clase o paisaje correspondiente dividida por la superficie total del paisaje (m2), multiplicado por 100 para convertir a porcentaje.

Métricas de paisajes	Sigla	Descripción (McGarigal, 2014)
		Es una simple medida de prevalecimiento
Euclidean mean nearest-neighbor distance Distancia euclidiana promedio del vecino más cercano	MNN	MNN es el valor de la distancia (m) promedio con todos los parches, mediante el cálculo del parche vecino más cercano, por lo cual se basa en la distancia más corta de borde a borde de los parches. Es una medida simple de contexto del parche y se ha utilizado ampliamente para cuantificar el aislamiento.

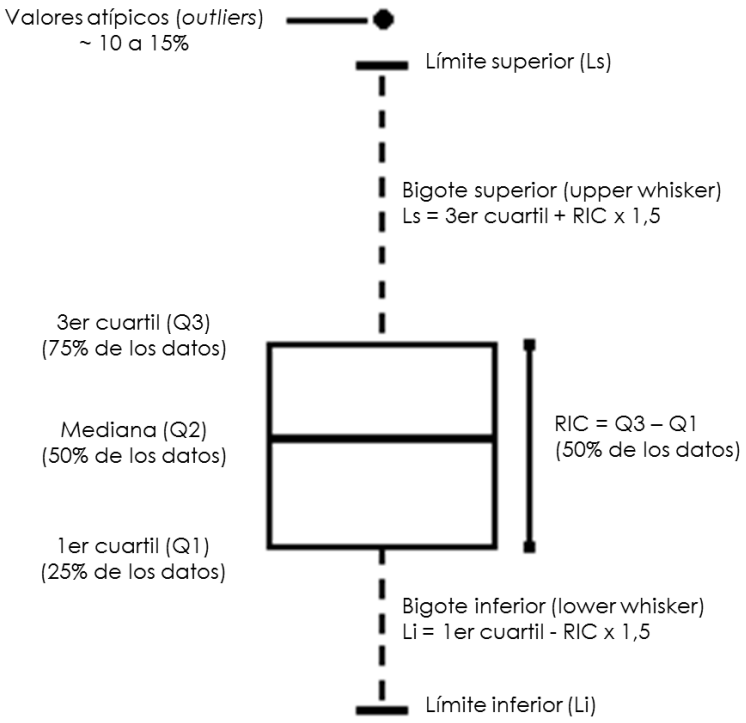
Fuente: Traducido y elaborado en base a Kong *et al.* (2010) y McGarigal (2014)

2.1.3. Cálculo y análisis de superficies de los espacios verdes

El cálculo de superficies de los espacios verdes del paisaje metropolitano de Santiago fue desarrollado en la plataforma SIG ArcGIS 10.x, usando proyección UTM, Datum WGS 1984 Huso 19 sur, utilizando la herramienta de cálculo de geometría del software señalado. Esta herramienta permite obtener en los archivos tipo vectorial, distintos valores como área, perímetro, largo o coordenadas. Esto dependiendo de la geometría del archivo vectorial analizado.

En tanto para el análisis de las superficies calculadas, se construyeron “box-plot” o “diagrama de cajas”, que permitieron visualizar y comparar las medidas de tendencia central y dispersión de las superficies según tipo de espacio verde. Este gráfico o diagrama de cajas, como se denomina, representa la distribución de los datos por cuartiles, en donde el rango inter-cuartil (RIC) es representado por una caja y corresponde al 50% de los datos (aquellos entre el 1er cuartil y 3er cuartil). Además, como descriptor de distribución se muestran los llamados “bigotes” donde los valores entre la caja y el extremo del “bigote” representan entre un 10 y un 15% dependiendo el valor del RIC. Finalmente, fuera de los denominados bigotes se encuentran los valores “atípicos” o también nombrados como “outliers” que representan el porcentaje restante y que no sobrepasan el 15% (Figura 11).

Figura 11. Esquema diagrama de caja (box plot)



Fuente: Elaboración en base a USGS (2002) https://bqs.usgs.gov/

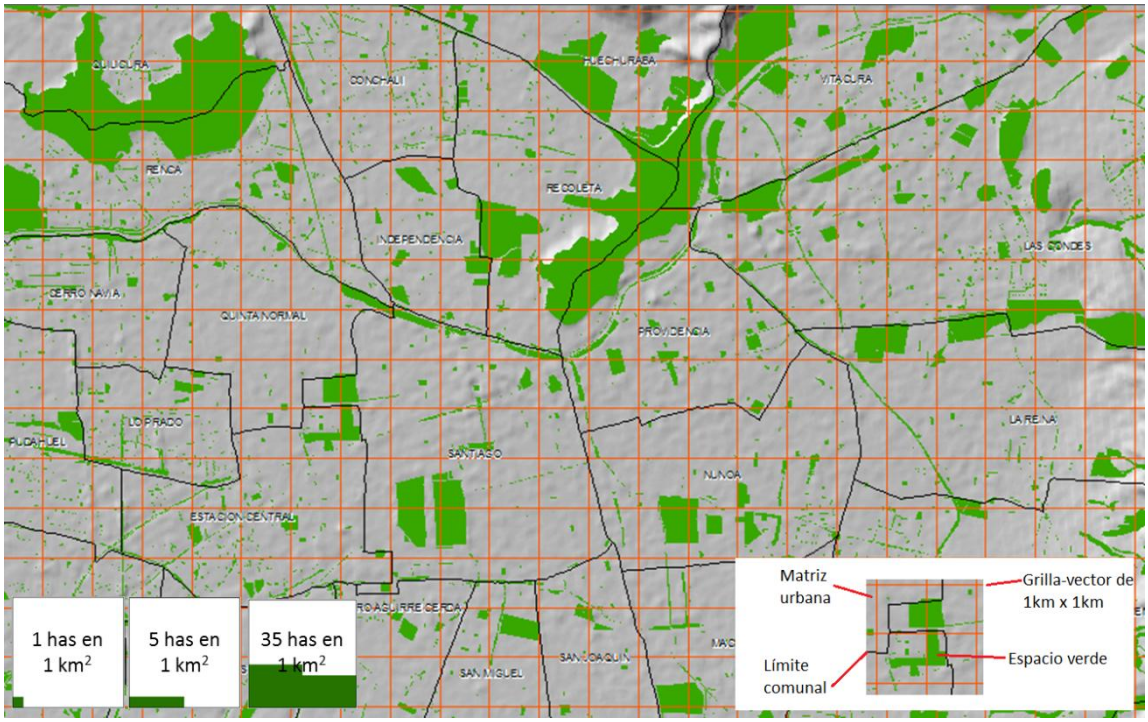
2.1.4. Distribución espacial de espacios verdes

Para el análisis de distribución de áreas verdes se utilizó una malla vectorial, llamada grilla-vector o *fishnet*, que es una malla regular cuadriculada de geometría polígono, en donde cada cuadricula mide 1 km^2. Posteriormente se calculó la superficie de espacios verdes en cada cuadricula, así se logró obtener la superficie (ha) de espacios verdes cada un km^2 (Figura 12).

Para este análisis se seleccionaron las áreas verdes urbanas y los espacios verdes asociados a cursos hídricos, los primeros debido a ser la mayor cantidad de parches, de mayor accesibilidad y preferentemente distribuidos al interior de la trama urbana; los segundos debido a que son elementos como plazas, plazoletas, bandejones e incluso parques que se encuentran adyacentes a un curso hídrico, por lo cual tiene

características similares, pero con un potencial distinto, a las identificadas como áreas verdes urbanas.

Figura 12. Grilla-vector o *fishnet* de 1km^2 utilizada

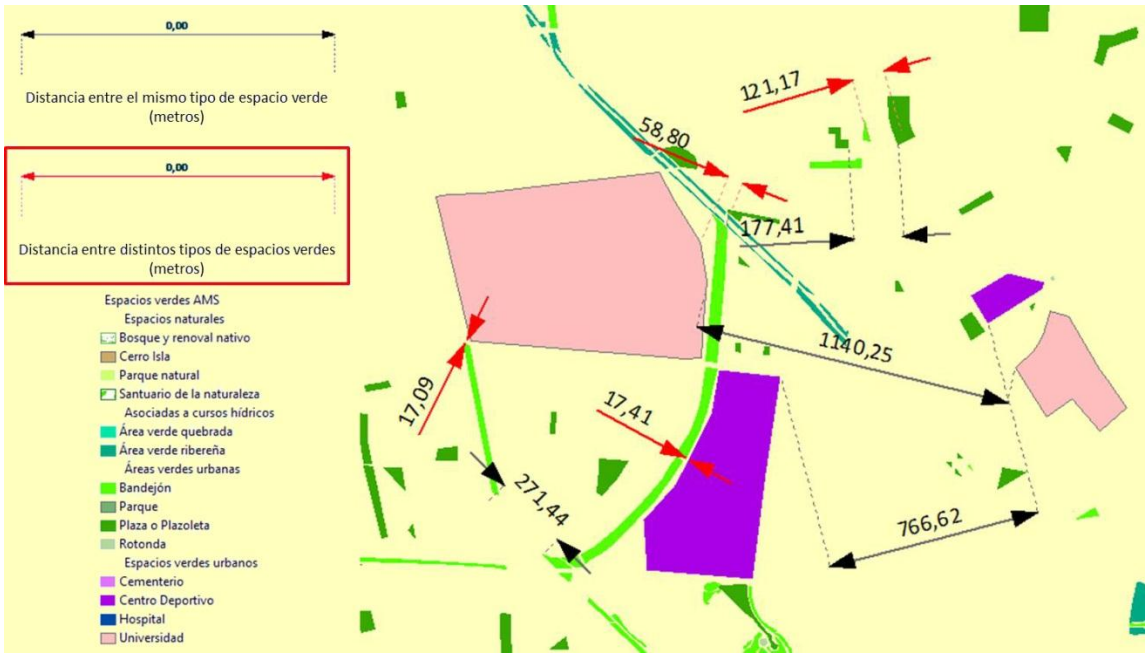


Fuente: Elaboración propia

2.1.5. Cálculo y análisis de distancias entre espacios verdes

En este caso, se calculó la distancia al vecino más cercano entre los diferentes tipos de espacios verdes (por ejemplo, plaza ↔ parque; bandejón ↔ cerro isla), es decir todos con todos, esto a diferencia del cálculo del vecino más cercano integrado en Fragstats que solo calcula la distancia con el mismo tipo de espacio verde (por ejemplo, plaza ↔ plaza; cerro isla ↔ cerro isla), el análisis descrito tuvo como fin, identificar al vecino más cercano efectivo en el espacio (Figura 13).

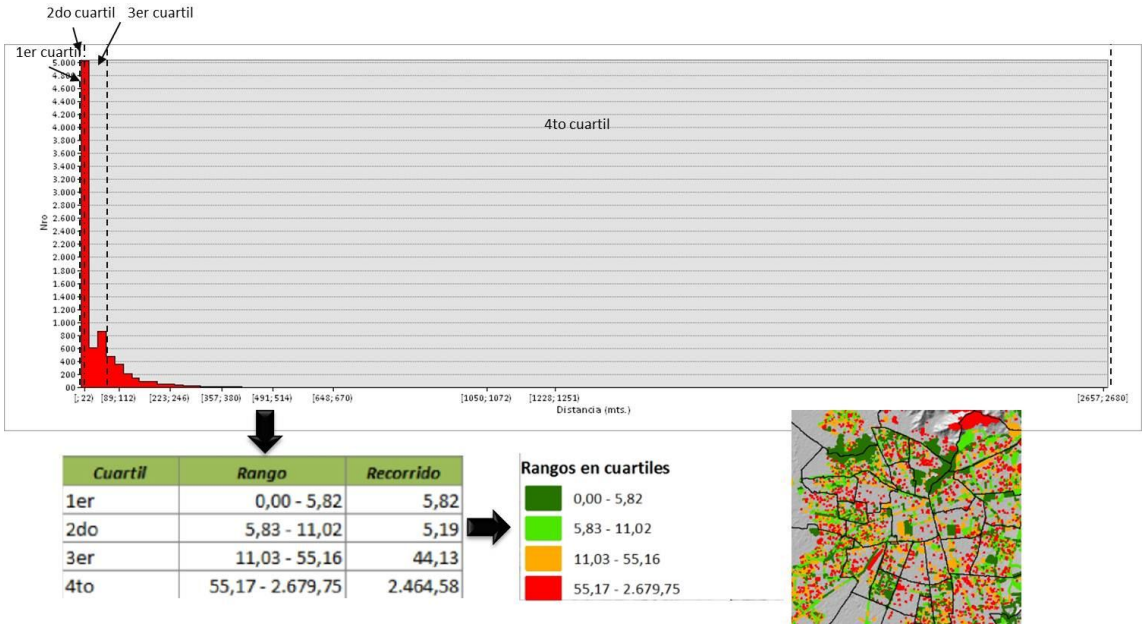
Figura 13. Cálculo y análisis de distancias entre espacios verdes



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente en ArcGIS se elaboró un histograma de las distancias entre los diferentes espacios verdes, se espacializaron y se analizaron en términos de su distribución utilizando cuartiles (Figura 14).

Figura 14. Histogramas de frecuencias y espacialización de las distancias



Cuartil	Rango	Recorrido
1er	0,00 - 5,82	5,82
2do	5,83 - 11,02	5,19
3er	11,03 - 55,16	44,13
4to	55,17 - 2.679,75	2.464,58

Fuente: Elaboración propia

2.2. Modelación y evaluación de la red de corredores verdes potenciales en el Paisaje Metropolitano de Santiago

Inicialmente se modelaron, por una parte, corredores biológicos y, por otra, corredores recreativos, que luego fueron integrados para la identificación de corredores verdes y una red multifuncional.

2.2.1. Definición de objetivos y variables según modelo de corredores potenciales

Se definieron los objetivos según tipo de corredor modelado:

Corredor biológico para especies, corresponde a corredores que permiten el movimiento de especies de fauna silvestre y preferentemente especies de aves de hábitat árbol-suelo, la cuales son descritas por Urquiza y Mella (2002) y por Díaz y Arnesto (2003). Este tipo de aves incluyen las siguientes especies: Tórtolas, Zorzales, Chincoles, Tordos, Tencas, Cardenales, Diucas. Estas especies presentan una abundancia media a alta en algunos parques sobretodo en períodos estivales (Urquiza y Mella, 2002).

Corredor recreativo, el objetivo de estos corredores es servir para el desplazamiento de personas con fines principalmente recreativos, ya sea tránsito en bicicletas, caminata o las nuevas tendencias en deporte urbano como son el running, skate y parkour.

Las variables utilizadas para la modelación se presentan en la Tabla 2.2, donde se seleccionaron y ajustaron en base a revisión bibliográfica. La principales referencias fueron las propuestas elaboradas por Kong *et al.* (2010), Teng *et al.* (2011) y Vásquez (2016).

Tabla 2.2. Variables según tipo de corredor

Variables	Tipo corredor	Método o fuente de obtención
Cobertura vegetal	Biológico / Recreativo	Clasificación supervisada sub-pixel sobre imágenes satelitales ASTER subsistema VNIR año 2012, resolución espacial 15 metros (m).
Distancia a ciclo vías	Recreativo	Calculo de distancia euclidiana desde archivo vectorial de ciclo vías elaborado en base al estudio “Catastro y georreferenciación de ciclo vías existentes del Gran Santiago” (SECTRA, 2014), rasterización de pixel a 15 m.

Variables	Tipo corredor	Método o fuente de obtención
Distancia a cursos hídricos	Biológico	Calculo de distancia euclidiana desde archivo vectorial con cursos hídricos del proyecto usos y cobertura de suelos (GORE, 2012) escala 1:30.000, rasterización de pixel a 15 m.
Distancia red vial	Biológico / Recreativo	Calculo de distancia euclidiana desde archivo vectorial caminos de proyecto usos y cobertura de suelos (GORE, 2012) escala 1:30.000, rasterización de pixel a 15 m.
Pendiente topográfica	Biológico / Recreativo	Calculo de pendientes sobre curvas de nivel IGM escala 1:25.000, rasterización de pixel a 15 m.
Espacios verdes y usos-coberturas AMS	Biológico / Recreativo	Elaboración en base a GORE (2012), rasterización de pixel a 15 m

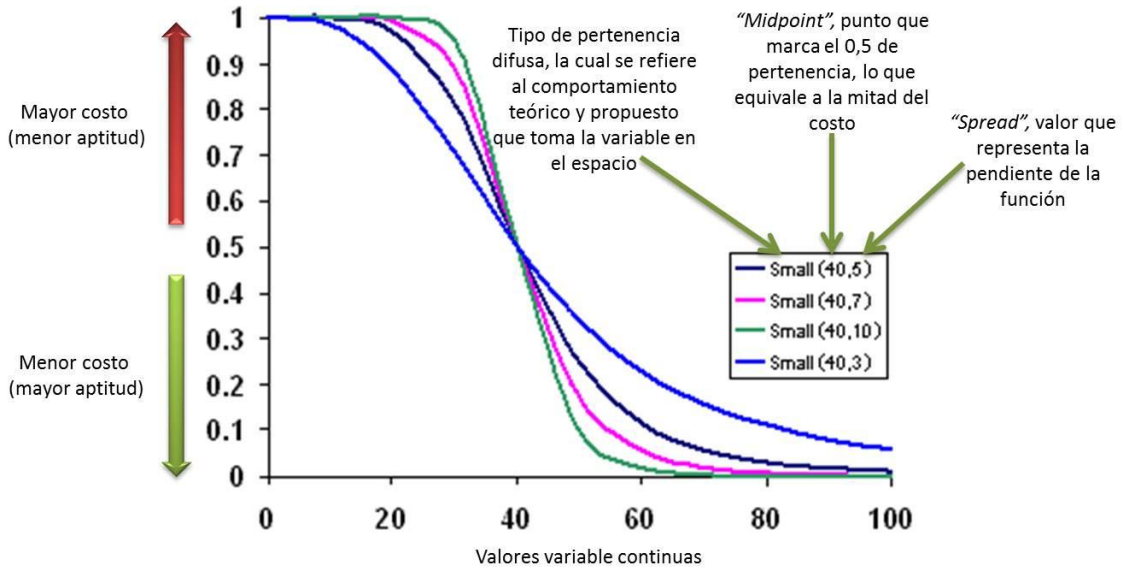
Fuente: Elaboración propia

2.2.2. Estimación de superficies de costos mediante pertenencia difusa

Para la obtención de la superficie de costos a partir de las variables descritas anteriormente, se utilizó la propuesta de Vásquez (2016), que consta de un análisis multicriterio aplicando pertenencia difusa o también denominada *"fuzzy"*. La pertenencia difusa tiene como ventaja ser aplicable en las situaciones donde los límites entre clases no son claros (ArcGIS Resource 10.1, 2013), como es el caso de la presente investigación. Este método mide la posibilidad que tienen los valores en cada celda de pertenecer a un conjunto especificado entre las diversas capas o variables de entrada (ArcGIS Resource 10.1, 2013).

El concepto de costo empleado en este trabajo corresponde a la evaluación teórica de la dificultad o grado de impedancia que posee una unidad espacial para el desplazamiento o movimiento a través de él, para aves de hábitat árbol-suelo o personas según sea el caso. Este concepto se aplicó mediante la pertenencia difusa, en la cual se definen tres parámetros. Primero el tipo de pertenencia difusa, que se refiere al tipo de relación entre el costo y el valor de la variable; segundo el *Midpoint,* que corresponde al valor de la variable al que se le asigna un costo de 0.5; tercero el *Spread,* que representa el valor de la pendiente de la función de pertenencia difusa (Figura 15).

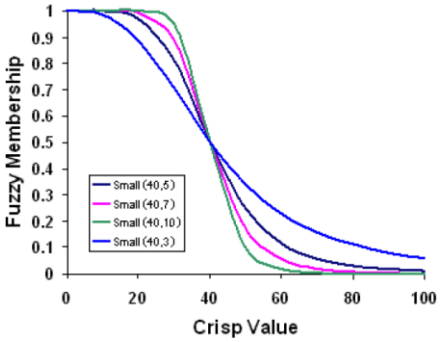
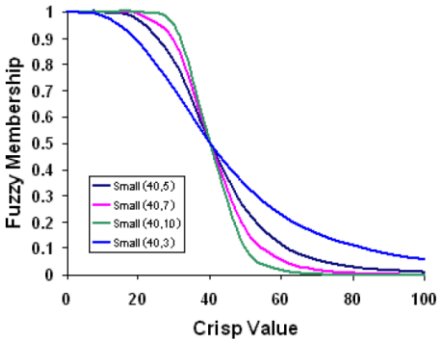
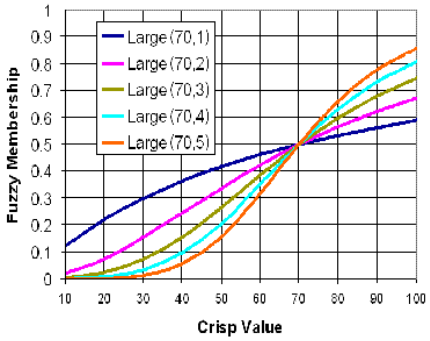
Figura 15. Aplicación de pertenencia difusa en variables de costos



Fuente: Elaboración propia en base a ArcGIS Resource 10.1, 2013

La definición de la función de pertenencia difusa se generó para cada variable según el tipo de corredor, lo cual se realizó en ArcGIS 10.x, y dio origen a la capa de costo asociada a cada variable (Tabla 2.3; Tabla 2.4). Las capas de costo tienen valores entre 0 y 1, en donde valores cercanos a cero representan una mayor facilidad en el desplazamiento, y por el contrario, los valores cercanos a uno están asociados a una mayor dificultad para el desplazamiento.

Tabla 2.3. Tipo pertenencia difusa según variable en modelo de corredor para especies

VARIABLE	ARGUMENTO	TIPO PERTENENCIA DIFUSA	VALORES PROPUESTOS
Cobertura vegetal	La existencia de vegetación es un elemento muy importante tanto para el desplazamiento de aves de hábitat árbol-suelo como para la potencial formación de hábitats, en cuanto a la impedancia o costos al desplazamiento sin duda favorece porcentajes de coberturas medias a altas (40%-50%) de vegetación, siendo 50% un buen punto de inflexión entre coberturas mas favorables y de menor costos al desplazamientos de aves de hábitat árbol-suelo y porcentajes de coberturas menos favorables para dicho motivo.	Small  Fuente: ArcGIS Resource 10.1, 2013	Midpoint: 50% Spread: 5
Pendiente topográfica	Si bien la pendiente no es un obstáculo para el desplazamiento de aves de hábitat suelo-árbol, una mayor pendiente favorece su desplazamiento, debido principalmente a que los terrenos de mayor pendiente son de difícil acceso para actividades antrópicas que pueden perturbar dicho desplazamiento. Para efectos del presente estudio se utilizará como un punto de inflexión los 15 grados de pendiente. Los costos de desplazamiento para aves de hábitat suelo-árbol disminuyen paulatinamente a medida que aumenta la pendiente, ya que dificulta la presencia e intervención humana.	Small  Fuente: ArcGIS Resource 10.1, 2013	Midpoint: 15° Spread: 3
Distancia red hídrica	La cercanía a cursos de agua permanentes o esporádicos tiene un efecto positivo para diversas especies, producto, por ejemplo, de la potencial existencia de vegetación ribereña. Tomando como referencia las distintas fajas de protección discutidas por Gayoso y Gayoso (2003), para efectos del presente estudio se tomará como costo de 0.5 (midpoint) la "mayor influencia" 25 m a partir del eje hidráulico de los cauces.	Large  Fuente: ArcGIS Resource 10.1, 2013	Midpoint: 25m Spread: 4

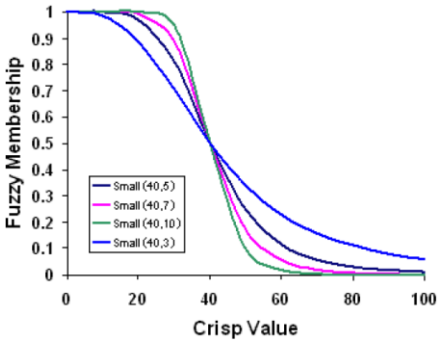
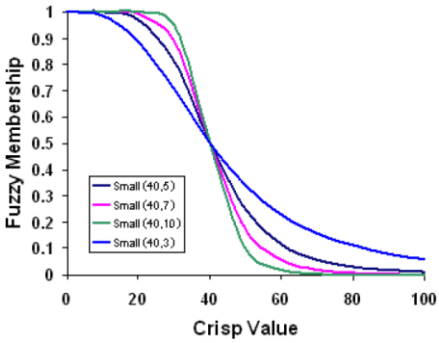
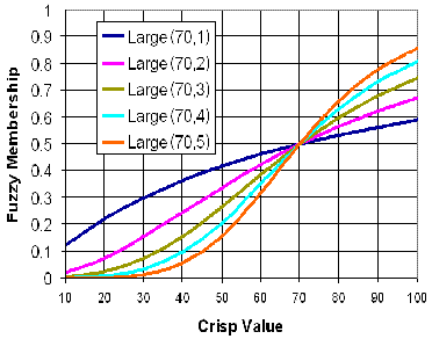
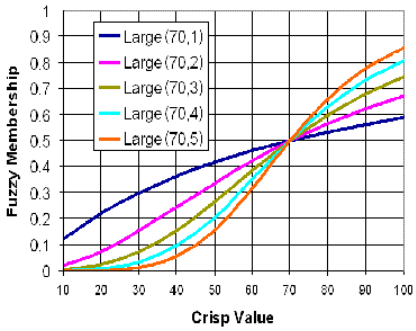
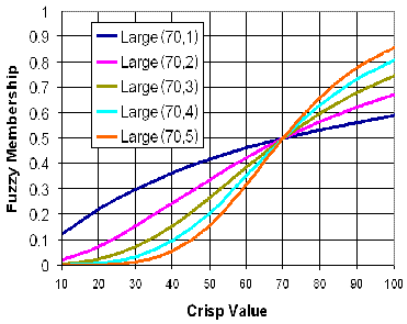
VARIABLE	ARGUMENTO	TIPO PERTENENCIA DIFUSA	VALORES PROPUESTOS
Distancia red vial	Las redes viales son uno de los elementos que se interponen o dificultan en gran medida el flujo de especies y elevan la impedancia o costos de desplazamiento, esto debido al paso de vehículos motorizados y al ruido provocado por dicho tránsito. Esta interrupción u obstáculo se produce en los primeros metros cercanos a la vía, definiendo el costo de 0.5 a los 50 m desde el eje vial y va disminuyendo paulatinamente (spread 3) a medida que aumenta la distancia del eje vial.	Small  Fuente: ArcGIS Resource 10.1, 2013	Midpoint: 50m Spread: 3

Tabla 2.4. Tipo pertenencia difusa según variable en modelo de corredor recreativo

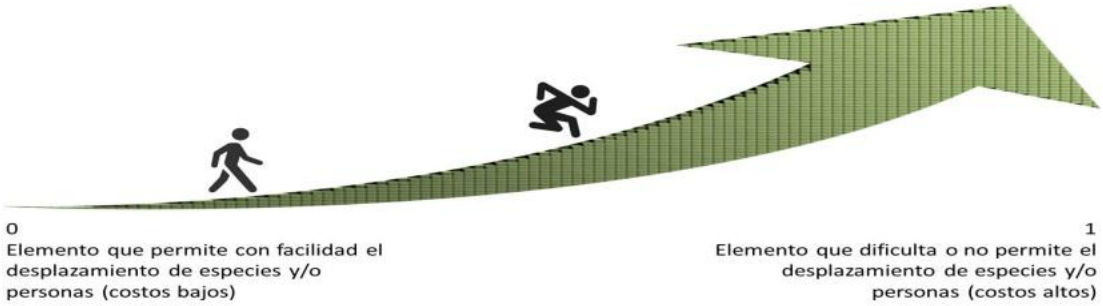
VARIABLE	ARGUMENTO	TIPO PERTENENCIA DIFUSA	VALORES PROPUESTOS
Cobertura vegetal	La vegetación es uno de los elementos paisajísticos altamente valorado por los habitantes, y atrae a actividades de esparcimiento y recreación. Se sostiene que existe una relación inversa entre la cobertura vegetal y el costo para ser atravesado, en el sentido de que lugares con menor cobertura vegetal son menos preferidos para la circulación peatonal o en bicicleta. Se postula que hasta un 30% de cobertura existe un costo superior al 0.5 el cual decae lentamente con coberturas mayores, atrayendo al desplazamiento.	Small  Fuente: ArcGIS Resource 10.1, 2013	Midpoint: 30% Spread: 3

VARIABLE	ARGUMENTO	TIPO PERTENENCIA DIFUSA	VALORES PROPUESTOS
Pendiente topográfica	A medida que aumenta la pendiente del terreno la facilidad para el desplazamiento de personas va disminuyendo y los costos aumentan. En el presente estudio los costos aumentarán poco a poco con la pendiente (baja pendiente de la función). El valor de inflexión será de 5 grados con un aumento muy paulatino a medida que aumente la pendiente.	Large  Fuente: ArcGIS Resource 10.1, 2013	Midpoint: 5° Spread: 2
Distancia ciclo-vías	Las ciclo-vías son uno de los diversos elementos que pueden componer un corredor o que permiten la conexión. SECTRA (2011 y 2013) señala y utiliza fajas de 600 m como área de influencia de las ciclo-vías, por lo que se toma 300 m como punto de 0.5 de costo.	Large  Fuente: ArcGIS Resource 10.1, 2013	Midpoint: 300 m Spread: 5
Distancia red vial	Sin duda la red vial es uno de los elementos que facilitan en gran medida el flujo de personas (sin contar las autopistas), por lo cual entre más cercano se encuentra a estos elementos más favorable para la existencia de un corredor y menor impedancia o costos habrá. Aumentando la impedancia o costos progresivamente a medida que la distancia aumente.	Large  Fuente: ArcGIS Resource 10.1, 2013	Midpoint: 25m Spread: 1

Para el caso de la variable de costo relacionada con los espacios verdes y usos-coberturas de suelo, la aplicación de la pertenencia difusa fue diferente, ya que, al ser una variable categórica, se debe utilizar los procedimientos recomendados por ArcGIS Resource 10.1 (2013). Esto implica el uso de la herramienta *"Reclassify"* para convertir los datos categóricos a una escala de 0 a 10, posteriormente se ocupó la herramienta *"Divide"* para obtener una capa en escala de 0 a 1.

Para la evaluación del costo para el desplazamiento a través de espacios verdes del Paisaje Metropolitano de Santiago, para especies y personas, se le asignaron valores de costos relativos en base a revisión bibliográfica. Con base en la metodología de Kong *et al.* (2010) y Teng *et al.* (2011), se ajustaron los valores de costo de cada tipo de espacio verde y/o cobertura de suelo en función de las características locales de Santiago. Así, se generó una escala de costos al desplazamiento o cruce en función de criterios relacionados con la facilidad que otorgan dichos espacios verdes para el paso de especies o personas (Figura 16).

Figura 16. Diagrama de costos relativos



Fuente: Elaboración propia

Para asignar los costos de desplazamiento para especies a los diferentes espacios verdes, se tuvo en consideración los criterios señalados por Kong *et al.* (2010) y Teng *et al.* (2011) en sus respectivas investigaciones. Se les asigno menor costo a los espacios verdes y usos-coberturas de suelo que cuentan con cubierta vegetal arbustiva o arbórea, especialmente esta última, y con menor grado de intervención antrópica. Para la asignación de los costos de desplazamiento para personas, se tuvo en consideración el grado de accesibilidad para las personas y que tengan un componente paisajístico atractivo (Tabla 2.5), desarrollando para cada espacio verde y uso-cobertura de suelo una justificación del valor asignado, dependiendo las características de los elementos (Apéndice 1; Apéndice 2)

Tabla 2.5. Valores de costos de fricción asignados según tipo de corredor a modelar

Espacio verde	Costo para desplazamiento de aves hábitat árbol-suelo	Costo para desplazamiento recreativo	Uso o cobertura (GORE, 2012)	Costo para desplazamiento de aves hábitat árbol-suelo	Costo para desplazamiento recreativo
bosque y renoval nativo	1	2	Área minera inactiva	6	10
Cerro isla	2	3	Extracción de áridos	7	10
Parque natural	1	2	Aeropuerto o aeródromo	8	9
Santuario de la naturaleza	1	2	Autopista	10	10
Área verde quebrada	3	4	Rellenos sanitarios y tratamiento de aguas servidas	8	10
Área verde ribereña	2	1	Zona industrial	9	7
Bandejón	7	4	Zonas comerciales, de negocios e institucionales	8	6
Parque	3	1	Área preferentemente residencial de gran altura	8	6
Plaza o plazoleta	4	2	Área preferentemente residencial de baja altura	6	5
Rotonda	8	8	Sitio en construcción o tierra vacante	6	9
Cementerio	4	3	Asentamiento menor	5	3
Centro deportivo	5	7	Parcela de agrado	5	8
Hospital	8	10	Cultivo anual	7	10
Universidad	4	7	Frutales	5	10
			Parronal	6	10
			Viñedo	6	10
			Cuerpo o curso de agua	5	9
			Espacios abiertos con escasa a nula vegetación	7	8
			Matorral	2	7
			Matorral de espino	2	3
			Vegetación andina y vega	5	6

Fuente: Elaboración propia

2.2.3. Superposición de capas de costos mediante lógica difusa

Obtenidas las capas de costo se procedió a realizar el cálculo de la superficie final de costo según el tipo de corredor a modelar, para ello se realizó una superposición difusa según la propuesta de Vásquez (2016). Este método de superposición tiene ventajas sobre otros métodos como la suma lineal ponderada, donde las capas de costo o aptitud, dependiendo el caso, son ponderadas muchas veces usando límites entre clases arbitrarios. Una superposición usando lógica difusa de permitir además trabajar con escalas continuas y no solamente con variables categóricas o discretas (Buzai, 2012).

Además la utilización de lógica difusa permite relacionar el conjunto de variables de costo de acuerdo a la posibilidad de que el fenómeno pertenezca al conjunto en su totalidad, no es una suma lineal simple o ponderada, corresponde a un análisis de pertenencia y posibilidad entre las diversas variables, por lo cual el valor obtenido existe en alguna de las variables y no corresponde al resultado de una suma como lo es en una suma lineal ponderada (ArcGIS Resource 10.1, 2013).

Si bien existen diversos métodos de superposición difusa como “AND”; “OR”; “PRODUCT”; “SUM”; “GAMMA”, donde cada uno permite identificar de manera diferente la posibilidad de pertenencia de una unidad espacial a un grupo de decisión (o solución). En la presente investigación se utilizó “AND” para la superposición difusa, ya que de acuerdo a ArcGIS Resource 10.1 (2013) devuelve el valor mínimo del conjunto al que pertenece la ubicación de la celda. De esta forma, el resultado de la combinación de las capas de costo de cada variable dio como resultado una capa de costo final que contenía el menor valor de costo encontrado en las capas usadas como entrada, por lo tanto el método permitió ser menos exigente en cuanto los requerimientos para el desarrollo de corredores verdes en contextos urbanos.

2.2.4. Definición y selección de espacios verdes a conectar

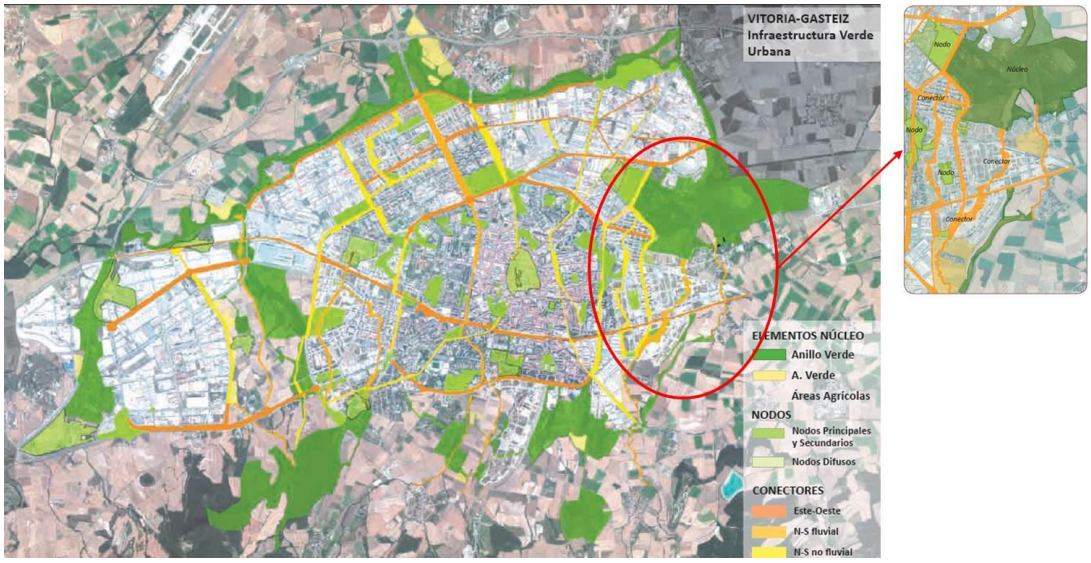
La definición y selección de los espacios verdes a conectar se basó en el modelo de infraestructura verde propuesto por el Centro de Estudios Ambientales (CEA) del

ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz (2014), en el cual definen y proponen los conceptos de elementos núcleos y nodos (Figura 17):

- *Elementos núcleos* corresponden a espacios con alto grado de naturalidad y buen estado de conservación adyacentes a la ciudad.
- *Nodos* corresponden a espacios verdes ubicados en el interior de la ciudad que, por tamaño y/o localización, constituyen piezas básicas estructurantes del sistema verde urbano.

Para el caso del presente estudio se adicionará el elemento *sub-nodo,* que tienen las mismas características que los nodos pero de menor superficie, esto debido a la extensión del área de estudio y la mayor cantidad de espacios verdes identificados. Estos elementos corresponden en este estudio a parques, plazas y plazoletas al interior de la ciudad, de un tamaño menor a los nodos (< 2 ha definido para este caso), constituyéndose en piezas secundarias en el sistema verde urbano.

Figura 17. Modelo infraestructura verde de Vitoria-Gasteiz

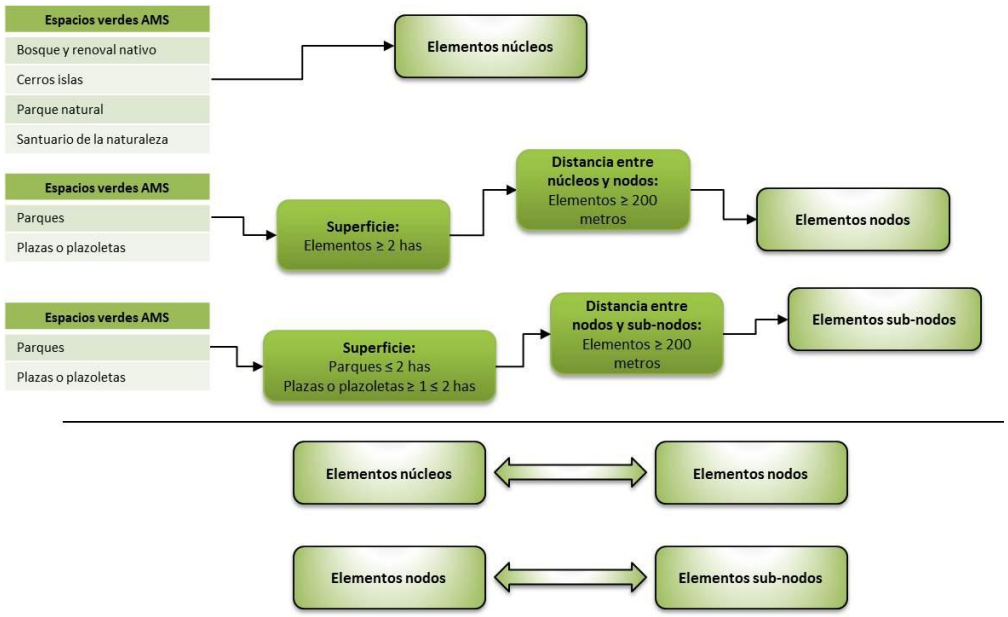


Fuente: Centro de Estudios Ambientales del ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz (2014)

En base a lo anterior, se propusieron y aplicaron los criterios expuestos en Figura 18, donde los espacios verdes con mayor naturalidad y por lo cual menor intervención antrópica, fueron definidos como *núcleos*, en cuanto a los *nodos* y *sub-nodos*, si bien estos corresponden a espacios verdes netamente urbanos, estos deben cumplir ciertas condiciones, tales como de superficie para diferenciar los elementos más pequeños y

de distancia, esto con el fin de no generar corredores extremadamente cortos entre los elementos a conectar.

Figura 18. Criterios de selección de espacios verdes a conectar



Fuente: Elaboración propia

2.2.5. Modelación de corredores potenciales mediante rutas de menor costo

Mediante la modelación en ArcGIS 10.x de rutas de menor costo se procedió a generar los corredores biológico y recreativo. Para esto se propone un método en base a los trabajos de Kong *et al.* (2010) y Teng *et al.* (2011).

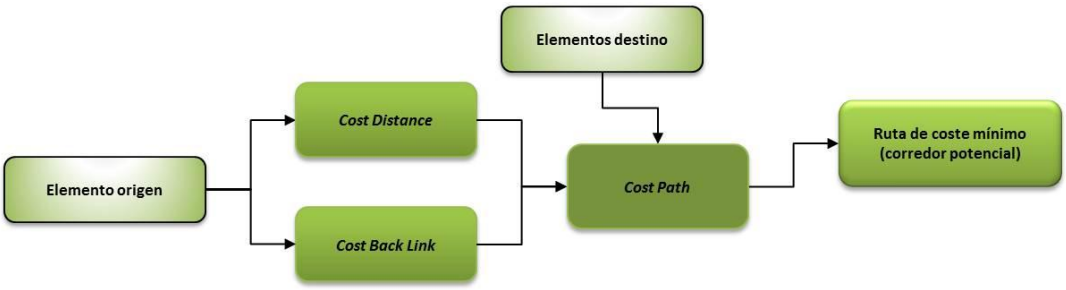
En base a un algoritmo espacial de optimización ejercido sobre una grilla raster (Kong *et al.,* 2010) se calcula el costo acumulado en función de la celda vecina, considerando una capa de costos o también llamada de fricción, que en este caso se obtuvo a partir de la superposición difusa. Finalmente, a partir de ambos costos acumulativos se calcula la ruta de menor costo a un destino definido.

En términos operativos, lo anteriormente señalado se efectuó mediante la definición de un origen, del cual se calculó el costo acumulativo para cada celda a partir de la distancia del origen, lo que se denomina como *Cost Distance* en ArcGIS 10.x, Adicionalmente con el mismo origen se obtuvo el denominado *Cost Back Link, el cual*

corresponde al costo acumulativo identificando la próxima celda vecina de menor costo (ArcGIS Resource 10.1, 2013)Figura 19.

Con ambas capas obtenidas se calculó la ruta de menor costo mediante la herramienta de Cost Path de ArcGIs 10.x, en la cual se le señala el destino e incorporando los costos acumulativos de distancia y vecindad (Figura 19).

Figura 19. Modelo ruta de mínimo costo ArcGIS 10.x



Cost Distance: Calcula la distancia de menor coste acumulativo para cada celda al origen más cercano sobre una superficie de coste.
Cost Back Link: Define al vecino que es la próxima celda en la ruta de menor coste acumulativo hasta el origen más cercano
Cost Path: Calcula la ruta de menor coste desde un origen a su destino a partir del *Cost Distance* y *Cost Back Link*

Fuente: Elaboración en base a ArcGIS Resource 10.1 (2013)

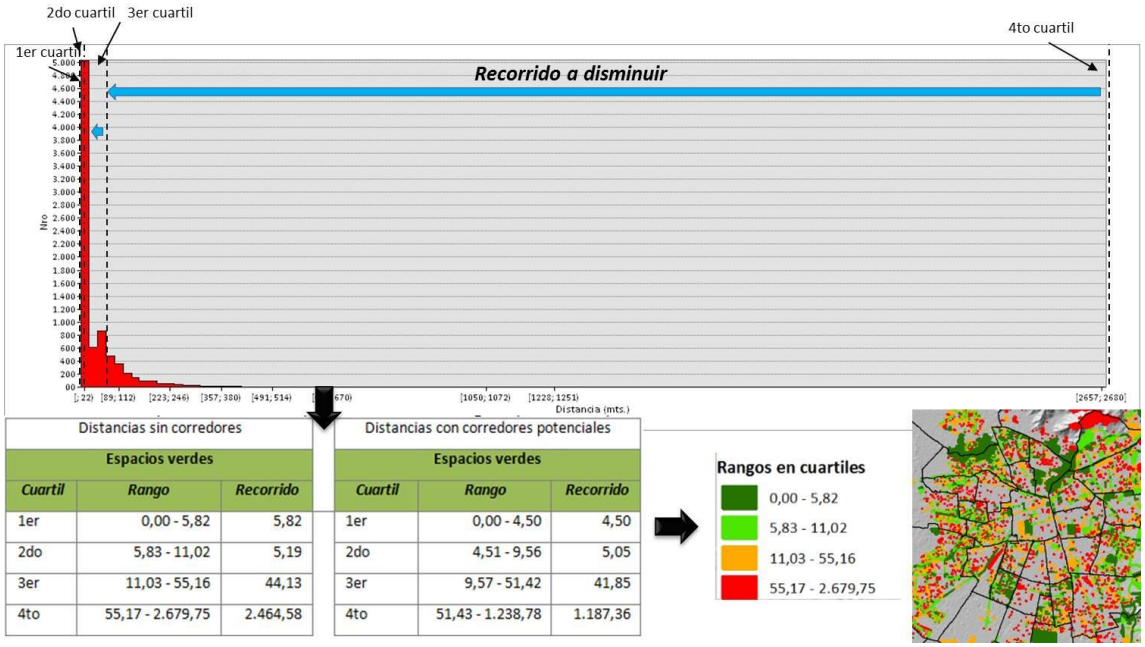
Una vez obtenidos los corredores potenciales tanto biológico para especies y recreativo para personas, se identificó lo que Teng *et al.* (2011) denomina *"Backbone"*, es decir, la estructura troncal básica. Esta estructura troncal básica identifica los corredores verdes multipropósito, en este caso biológico y recreativo, a partir del análisis de densidad de líneas. Para esto se utilizó la herramienta *"Kernel Density" que* permitió identificar la mayor densidad de corredores entre los distintos elementos conectados (Teng *et al.,* 2011).

2.2.6. Evaluación del impacto de los corredores potenciales obtenidos en la estructura de espacios verdes

Para la evaluación de los corredores potenciales obtenidos se procedió a describir y espacializar nuevamente las distancias entre los distintos espacios verdes de forma estadística, utilizando histogramas de frecuencias absolutas de las distancias, los cuales se espacializaron a través de ArcGIS 10.x. Se analizó la disminución del

recorrido entre los cuartiles para evaluar el efecto de los corredores verdes potenciales sobre las distancias y su proximidad entre espacios verdes (Figura 20).

Figura 20. Histogramas de frecuencias y espacialización de distancias potenciales



Distancias sin corredores		
Espacios verdes		
Cuartil	*Rango*	*Recorrido*
1er	0,00 - 5,82	5,82
2do	5,83 - 11,02	5,19
3er	11,03 - 55,16	44,13
4to	55,17 - 2.679,75	2.464,58

Distancias con corredores potenciales		
Espacios verdes		
Cuartil	*Rango*	*Recorrido*
1er	0,00 - 4,50	4,50
2do	4,51 - 9,56	5,05
3er	9,57 - 51,42	41,85
4to	51,43 - 1.238,78	1.187,36

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Identificación de la estructura actual de los espacios verdes existentes en el Paisaje Metropolitano de Santiago

3.1.1. Identificación de los espacios verdes existentes

La Figura 21 muestra los espacios verdes del paisaje Metropolitano de Santiago, en donde se logró identificar 8.146 parches y distinguir 14 tipos de espacios verdes agrupados de la siguiente forma:

- **Espacios naturales**
  - *Bosque y renoval nativo*
  - *Cerro isla*
  - *Parque natural*
  - *Santuario de la naturaleza*
- **Asociadas a cursos hídricos**
  - *Área verde quebrada*
  - *Área verde ribereña*
- **Áreas verdes urbanas**
  - *Bandejón*
  - *Parque*
  - *Plaza o plazoleta*
  - *Rotonda*
- **Espacios verdes urbanos**
  - *Cementerio*
  - *Centro deportivo*
  - *Hospital*
  - *Universidad*

Los espacios naturales se presentan principalmente en los bordes del área de estudio, fuera de la trama urbana, a excepción de los cerros islas que se encuentran un poco más dispersos y algunos dentro del área urbana.

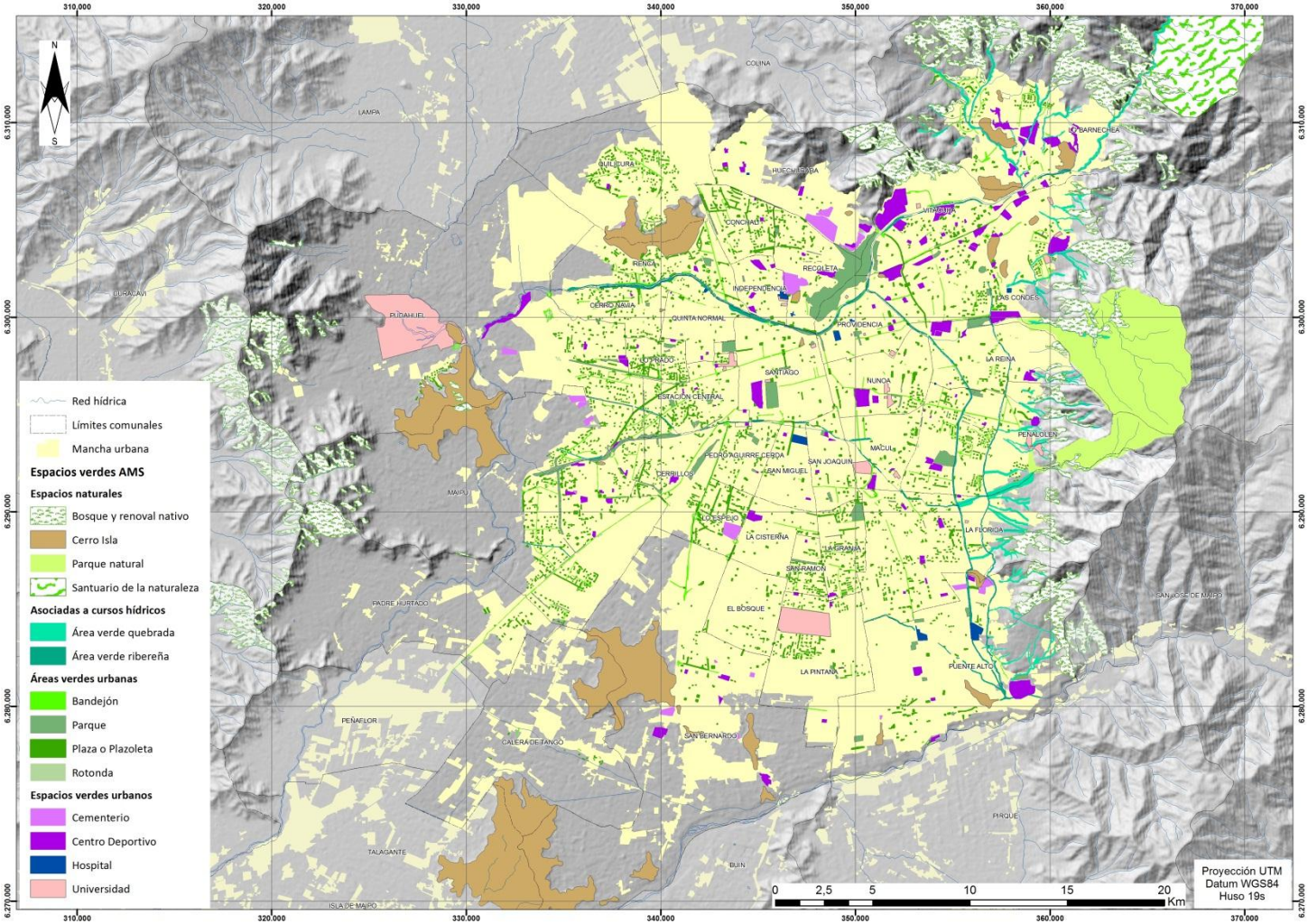
En lo que respecta a los espacios verdes asociados a cursos hídricos, las áreas verdes quebradas se encuentran en todo el sector periurbano oriente de la ciudad de Santiago, asociadas a las quebradas de Macul, Ramón, y Nido de Águilas entre otras. En tanto las áreas verde ribereñas están relacionadas con los canales (como San Carlos; Zanjón de la Aguada; Las Perdices; etc.), y con el río Mapocho dentro ya del área urbana.

Las áreas verdes urbanas son los elementos más conocidos por la población y se distribuyen dentro de la mancha urbana con diferentes tamaños y formas. Algunos

parches significativos de este tipo son el Parque Metropolitano y el Parque O'Higgins. Sin embargo, la mayoría de estos espacios verdes corresponde a elementos atomizados y dispersos en el área urbana de Santiago.

Finalmente, los espacios verdes urbanos corresponden a elementos más antrópicos tales como centros deportivos, cementerios, campus universitarios y hospitales. Estos se distribuyen de forma aleatoria a través de la mancha urbana.

Figura 21. Espacios verdes obtenidos en el paisaje Metropolitano de Santiago



Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Métricas del paisaje en los espacios verdes existentes

La Tabla muestra que en términos de superficie la estructura de los espacios verdes del paisaje Metropolitano de Santiago está dominada por los espacios naturales, ya que su superficie total alcanza alrededor de un 80% del total, sin embargo estos espacios se encuentran principalmente rodeando la mancha urbana de Santiago, como se mencionó en párrafos anteriores.

Otro rasgo a destacar es que las áreas verdes urbanas son dominadas por plazas y plazoletas que representan alrededor del 66% (5.401) del total de parches encontrados, pero estos tienen una superficie promedio que no sobrepasa las 0,25 ha. Por eso mismo es que su densidad de parches (Nro. parches /100 ha) es la más elevada respecto a todos los tipos de espacios verdes. Esto permite visualizar que este tipo de espacios verdes son elementos pequeños en tamaño pero abundantes y esparcidos en la mancha urbana de Santiago.

Lo anterior también se ve reflejado en la distancia euclidiana promedio del vecino más cercano (dentro del mismo tipo), donde bandejones y plazas o plazoletas poseen una distancia euclidiana promedio de 30 y 78 m respectivamente.

Cabe destacar la baja distancia euclidiana promedio de los espacios verdes asociados a cursos hídricos, como las áreas verdes quebrada y ribereñas que poseen 37 y 20 m respectivamente, esto último se encuentra relacionado con que estos espacios verdes son cercanos debido a solamente se encuentran en los costados de cursos hídricos y relativamente continuos a lo largo del trazado de los canales y del río Mapocho.

En cuanto a las métricas a nivel de paisaje, los índices de densidad de parches, tamaño promedio y distancia euclidiana promedio, se ven altamente influenciados y elevados por los espacios verdes asociados a cursos hídricos y áreas verdes urbanas, ya que los espacios naturales y espacios verdes urbanos tienen un valor más bajo. De esta forma, la distancia promedio entre espacios naturales es de 520 m, llegando a ser de 1,8 km en el caso de los cerros islas, y 531 m entre los espacios verdes urbanos (siendo más de 2 km en el caso de los cementerios y universidades).

Los espacios verdes urbanos son interesantes de destacar ya que su tamaño promedio es de 46 ha y su distancia euclidiana promedio es de 1.336 m (Tabla), dentro de este

tipo de espacios destacan la existencia de los grandes campus universitarios de Antumapu (UChile) en La Pintana, USACH en Estación Central, PUC San Joaquín en San Joaquín, que se distribuyen lejanos entre ellos y dispersos en el área urbana.

Los más numerosos dentro de esta categoría de espacios verdes urbanos corresponden a los centros deportivos como los son centros y clubes hípicos, estadios, campos de golf entre otros, con una distancia promedio entre ellos que no superan los 800 m. (Tabla 3.1). En cuanto a los hospitales con estructura verde al interior del establecimiento, son los de menor número de parches y tamaño promedio, en cambio dentro de los cementerios destaca su tamaño promedio de 28,11 ha.

Cabe resaltar que existen veintiocho cerros islas en el paisaje Metropolitano de Santiago, que si bien incluyen cerros periféricos como el de Lonquén, el área que ocupan es de más de 8.800 ha y poseen un tamaño promedio de 327 ha (Tabla 3.1). Los cerros islas identificados corresponden a cerros con un grado de urbanización baja a nula en todos sus casos, dejando de lado cerros islas como el cerro Jardín Alto en la comuna de La Florida.

Tabla 3.1. Métricas de los espacios verdes del paisaje Metropolitano de Santiago

	Área total (CA/TA) Ha	Numero de parches (NP)	Densidad de parches (PD)	Índice del parche más grande (LPI)	Tamaño promedio de parches (MPS) ha	Distancia euclidiana promedio del vecino más cercano (MNN) metros
PAISAJE	**41.505,83**	**8.146**	**4,9586**	**5,7601**	**4,4406**	**101,0905**
Espacios naturales	**32.757,28**	**122**	**0,056**	**5,9782**	**300,5172**	**520,2807**
Bosque y renoval nativo	9.023,39	91	0,047	0,7068	97,0303	422,0644
Cerro isla	8.849,18	28	0,014	2,1331	327,7206	1.749,3941
Parque natural	4.075,18	2	0,008	2,0375	271,6318	0
Santuario de la naturaleza	10.809,53	1	0,001	5,4999	10.809,5250	N/A
Asociadas a cursos hídricos	**1.353,14**	**361**	**0,2442**	**0,0411**	**2,7079**	**26,2028**
Área verde quebrada	940,66	127	0,107	0,0411	4,2087	36,8860
Área verde ribereña	412,48	234	0,141	0,0259	1,4811	19,6690
Áreas verdes urbanas	**2.994,55**	**7.445**	**4,2265**	**0,2758**	**0,3599**	**49,3821**
Bandejón	354,05	1.591	1,476	0,0089	0,1221	29,0418
Parque	1.490,66	228	0,120	0,2758	6,3385	207,0498
Plaza o plazoleta	1.088,36	5.401	2,571	0,0025	0,2147	78,3713
Rotonda	61,48	225	0,113	0,0017	0,2761	330,0617
Espacios verde urbanos	**4.400,84**	**218**	**0,1068**	**0,4923**	**19,5645**	**531,9781**

	Área total (CA/TA) Ha	Numero de parches (NP)	Densidad de parches (PD)	Índice del parche más grande (LPI)	Tamaño promedio de parches (MPS) ha	Distancia euclidiana promedio del vecino más cercano (MNN) metros
Cementerio	784,64	27	0,009	0,0605	28,1142	2.404,0573
Centro deportivo	1.968,94	151	0,078	0,0894	12,8386	740,2621
Hospital	133,77	12	0,006	0,021	11,1456	2.726,7984
Universidad	1.513,49	28	0,017	0,4923	45,5886	1.335,5309

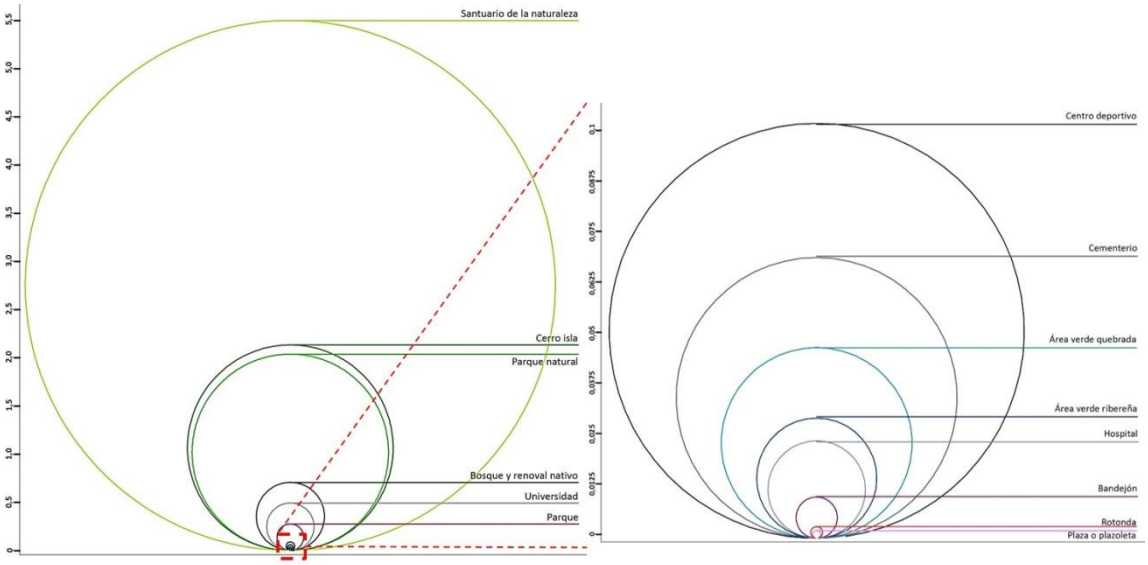
Fuente: Elaboración propia

La Figura 22 muestra el área (m2) del parche más grande según tipo de espacio verde dividida por la superficie total del paisaje (m2), multiplicado por 100 para convertirlo a un porcentaje (McGarigal, 2014), mostrando el prevalecimiento o predominio de un parche por sobre los demás parches del paisaje.

En la Figura 22 se observa también que el parche que corresponde al santuario de la naturaleza del Arrayán posee un predomino de más del doble del segundo y tercer parche más grande que corresponden al Cerro Lonquén y un parque natural respectivamente.

Los espacios verdes urbanos, áreas verdes urbanas y asociados a cursos hídricos, tienen un prevalecimiento mucho menor, destacando el Campus Laguna Carén (U. de Chile) y el Parque Metropolitano. Los demás tipos de espacios verdes tienen un muy bajo prevalecimiento sobretodo las áreas verdes urbanas como bandejones, rotondas y plazas o plazoletas (Figura 22).

Figura 22. Índice del parche más grande (LPI)



Fuente: Elaboración propia

De la Figura 23 se distinguen varias características, en donde las plazas o plazoletas y bandejones destacan por poseer un número de parches mucho mayor que los otros tipos de espacios verdes (Figura 23). Estos espacios verdes tienen comportamientos y patrones muy contrarios a los parques naturales y santuario de la naturaleza, tal como se aprecia en la Figura 23a.

De forma similar, destacan plazas o plazoletas y bandejones en la Figura 23b, que se ubican en el extremo superior con los valores más altos, mientras en el otro extremo se ubica el santuario de la naturaleza y los parques naturales. En esta figura es posible observar una relación lineal positiva entre el número de parches y densidad de parches (nro parches /100 ha).

En la Figura 23c se observa también un patrón lineal pero negativo, donde en los extremos se ubican las plazas o plazoletas conjuntamente con los bandejones, los cuales se caracterizan por tener un gran número de parches y de un pequeño tamaño promedio, y por el otro extremo el santuario de la naturaleza y los parques naturales, que sus características con totalmente contrapuestas con los primero, pocos parches pero de un tamaño muy superior a los demás espacios verdes del paisaje metropolitano de Santiago.

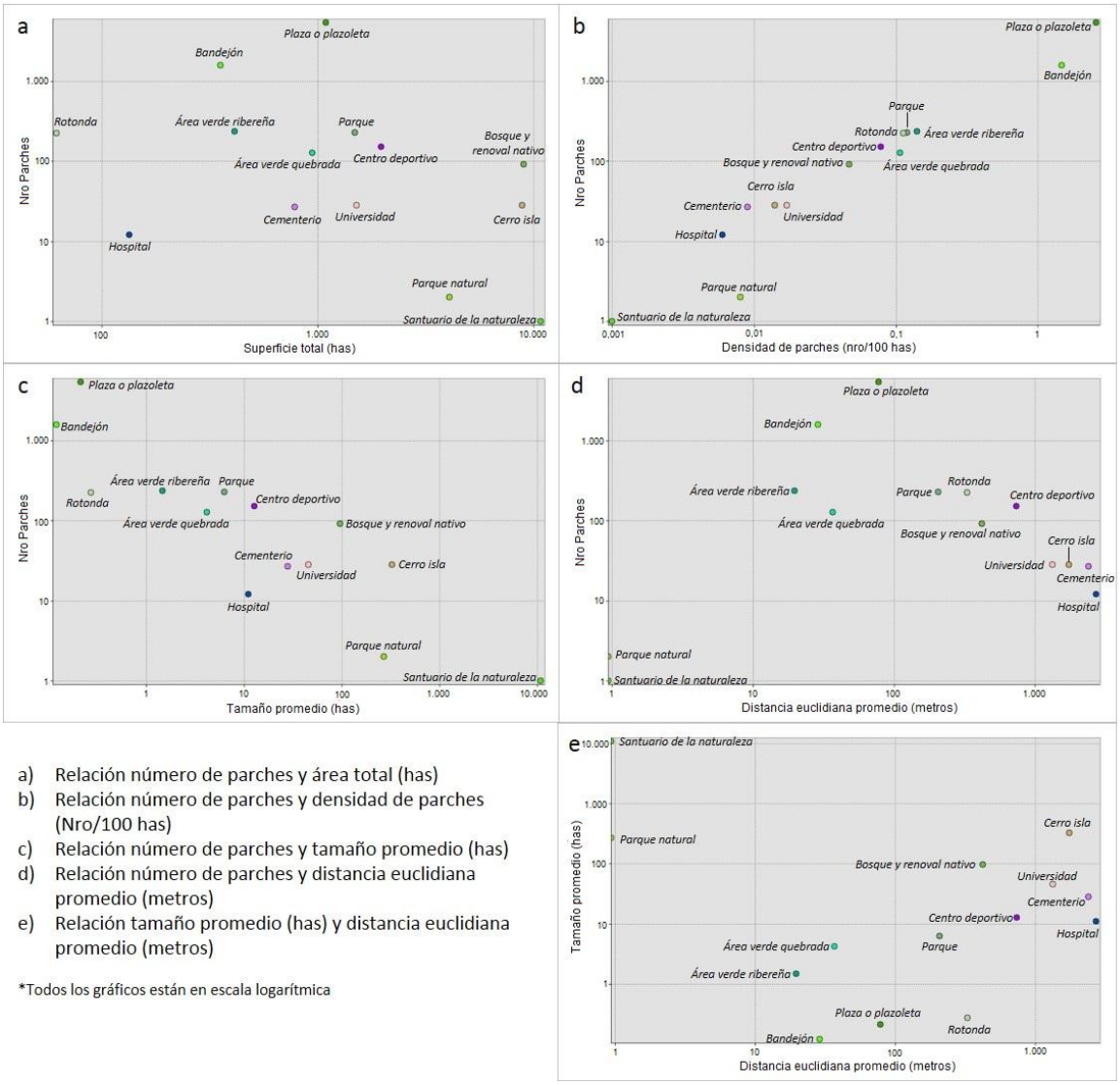
Mientras en el gráfico que relaciona el número de parches y la distancia euclidiana promedio entre los mismos elementos (Figura 23d) no existe un patrón bien definido como en gráficos anteriores, si se observa un comportamiento muy diferente del santuario de la naturaleza y los parques naturales con los valores más bajos en ambos ejes, conformándose como parques únicos, muy cercanos de su vecino mas cercano. Mientras que las plazas y plazoletas solamente sobresalen de la nube de puntos, debido a su mayor número de parches.

En la Figura 3.3e se relacionan el tamaño promedio y la distancia euclidiana promedio. Nuevamente destaca el comportamiento de los espacios naturales como santuario de la naturaleza y parques naturales, separándose totalmente del resto de elementos, debido a ser espacios de gran tamaño y muy cercanos.

Un comportamiento no tan extremo como las plazas o plazoletas y bandejones, es el que muestran los cementerios y universidades, ya que su patrón es muy similar entre sí en los diferentes gráficos de la Figura 23. Mientras el comportamiento de los espacios verdes asociados a cursos hídricos, destacan por su menor distancia euclidiana promedio.

Cabe destacar el comportamiento y patrón de los cerros islas, el cuál es bastante similar a los cementerios y universidad, en cuanto al número de parches y área total, y a la vez tiene un patrón similar a los parques naturales y bosques y renoval nativo en cuanto a tamaño promedio, este último aspecto resulta significante ya que muchos de los cerros islas se encuentran al interior de la mancha urbana (Figura 23).

Figura 23. Relaciones entre métricas de espacios verdes



a) Relación número de parches y área total (has)
b) Relación número de parches y densidad de parches (Nro/100 has)
c) Relación número de parches y tamaño promedio (has)
d) Relación número de parches y distancia euclidiana promedio (metros)
e) Relación tamaño promedio (has) y distancia euclidiana promedio (metros)

*Todos los gráficos están en escala logarítmica

Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Distribución de la superficie de los espacios verdes

En cuanto a la distribución y comportamiento estadístico del tamaño de los espacios verdes del paisaje Metropolitano de Santiago, en la Figura 24 se puede distinguir que el 75% de los espacios verdes posee tamaños por debajo de las 0,31 ha (3.100 m^2). Sobre este valor existe una alta dispersión con *"valores atípicos" que* van desde los 0,68 ha a 10.809,53 ha. Los parches grandes representan alrededor de un 13% (1.062 parches) del total de espacios verdes del paisaje Metropolitano de Santiago (8.146

parches).Este 13% de parches sobre 0,68 ha se distribuye principalmente en las zonas que rodean la trama urbana de Santiago (Figura 24), sin embargo, existen algunos parches de gran tamaño al interior de la ciudad tal como el Parque Metropolitano, Parque O'Higgins y Club Hípico.

El 25% de los espacios verdes más pequeños (≤ 0,06 ha), son principalmente plazas o plazoletas y bandejones y se encuentran distribuidos de forma dispersa en las comunas pericentrales y periurbanas de la ciudad de Santiago (Figura 24). Una superficie de 0,06 ha es asimilable a un cuadrilátero de 24x25 m aproximadamente.

La alta dispersión en los tamaños de los espacios verdes se representa en los *"diagramas de cajas"* de los espacios naturales y áreas verdes urbanas de la Figura 24. En el caso de los espacios naturales los parches de mayor tamaño (≥ 196,65 ha) corresponden a elementos que se encuentran principalmente en los bordes del área de estudio, como lo son el parque Aguas de Ramón, Quebrada de Macul y algunos cerros islas como el Chena, Lonquén, Renca-Colorado y Lo Aguirre. El santuario de la naturaleza del Arrayán es el parche de mayor tamaño dentro de los elementos analizados (10.809,53 ha).

En cuanto al *"valor atípico"* más importante de las áreas verdes urbanas de la Figura 24, corresponde al Parque Metropolitano de Santiago con un tamaño de 543 ha, que es seguido por el Parque O'Higgins que no supera las 90 ha.

Cabe destacar que el 75% los datos de tamaños de las áreas verdes urbanas tienen un bajo recorrido, ya que su superficie no supera las 0,53 ha, concentrando los denominados *"bigotes"* en un rango bien reducido.

Además, se aprecia que el 50% de los parches de las áreas verdes urbanas en Figura 24 no superan las 0,12 ha lo cual es equivalente a un cuadrilátero de 34x34 m. El 25% de las superficies no superan los 0,06 ha y se distribuyen aleatoriamente en zonas pericentrales y periféricas de la mancha urbana de Santiago.

El comportamiento de los datos de tamaño de los espacios verdes asociados a cursos hídricos, es muy distinto a los demás tipos de espacios, ya que no posee *"valores atípicos"* que superen las 82 ha, por lo cual su dispersión es mucho menor que, por ejemplo, las áreas verdes urbanas o espacios naturales (Figura 24). El 75% de los Espacios Verdes Asociados a Cursos Hídricos no superan las 3,7 ha, luego existe un

8% (75% a 83%) de estos espacios verdes con tamaños entre 3,7 ha y 8,7 ha, y el 10% de mayor superficie se encuentra dispersa en el mayor recorrido de más de 73 ha.

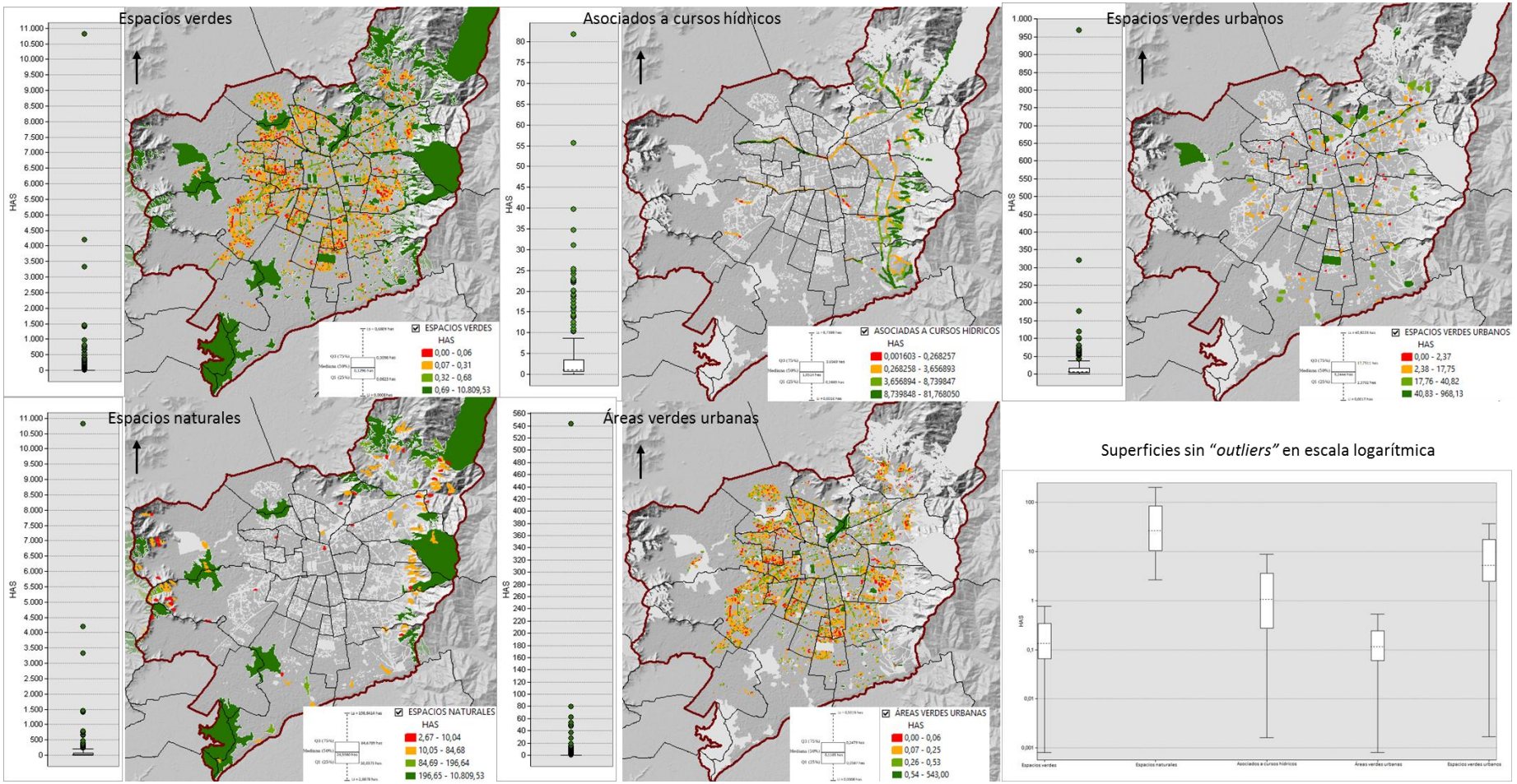
En cuanto a los espacios verdes urbanos, se aprecia que su dispersión (17,8 ha) es mayor en comparación con los demás tipos de espacios verdes, pero de todas formas el recorrido entre el límite superior del diagrama (40,82 ha) y el valor máximo de los *"valores atípicos"* es amplio (968,13 ha) (Figura 24), al igual que las áreas verdes urbanas y espacios naturales.

Al comparar solamente los *"diagramas de cajas"* sin los denominados *"valores atípicos"* (Figura 24), ya que estos últimos no superan el 17% del total de datos, se puede señalar que el comportamiento de los datos de superficie del total de espacios verdes se encuentra muy influenciado por los datos de las áreas verdes urbanas, siendo muy similar los valores de los cuartiles y rango inter-cuartil obtenidos. Cabe señalar que las áreas verdes representan alrededor del 91% de los espacios verdes.

También se identifica en Figura 24, que los datos de superficie de los espacios naturales, son mayores en cuanto a límite inferior, mediana y límite superior, esto en comparación con cualquier otro tipo de espacio verde encontrado en el paisaje Metropolitano de Santiago.

En cuanto a la dispersión de los datos se aprecia que los espacios verdes urbanos y los asociados a cursos hídricos son los que mayor dispersión poseen, de hecho, el primero posee una mayor dispersión, pero los asociados a cursos hídricos tienen una mayor dispersión en el rango inter-cuartil (Figura 24).

Figura 24. Distribución de espacios verdes según superficies (ha)



Fuente: Elaboración propia

3.1.4. Distribución espacial de las áreas verdes urbanas y los espacios verdes asociados a cursos hídricos

En la Figura 25 se observa que no existe un patrón marcado en la distribución de áreas verdes urbanas y asociadas a cursos hídricos, y se distribuyen de forma heterogénea con algunas concentraciones puntuales.

Los valores más altos (sobre 33 ha en 1 km^2), representados en, se presentan en zonas puntuales y se encuentran relacionadas a los parques de mayor superficie de Santiago como el Parque Metropolitano, O'Higgins, Portal Bicentenario, Padre Hurtado (Figura 25).

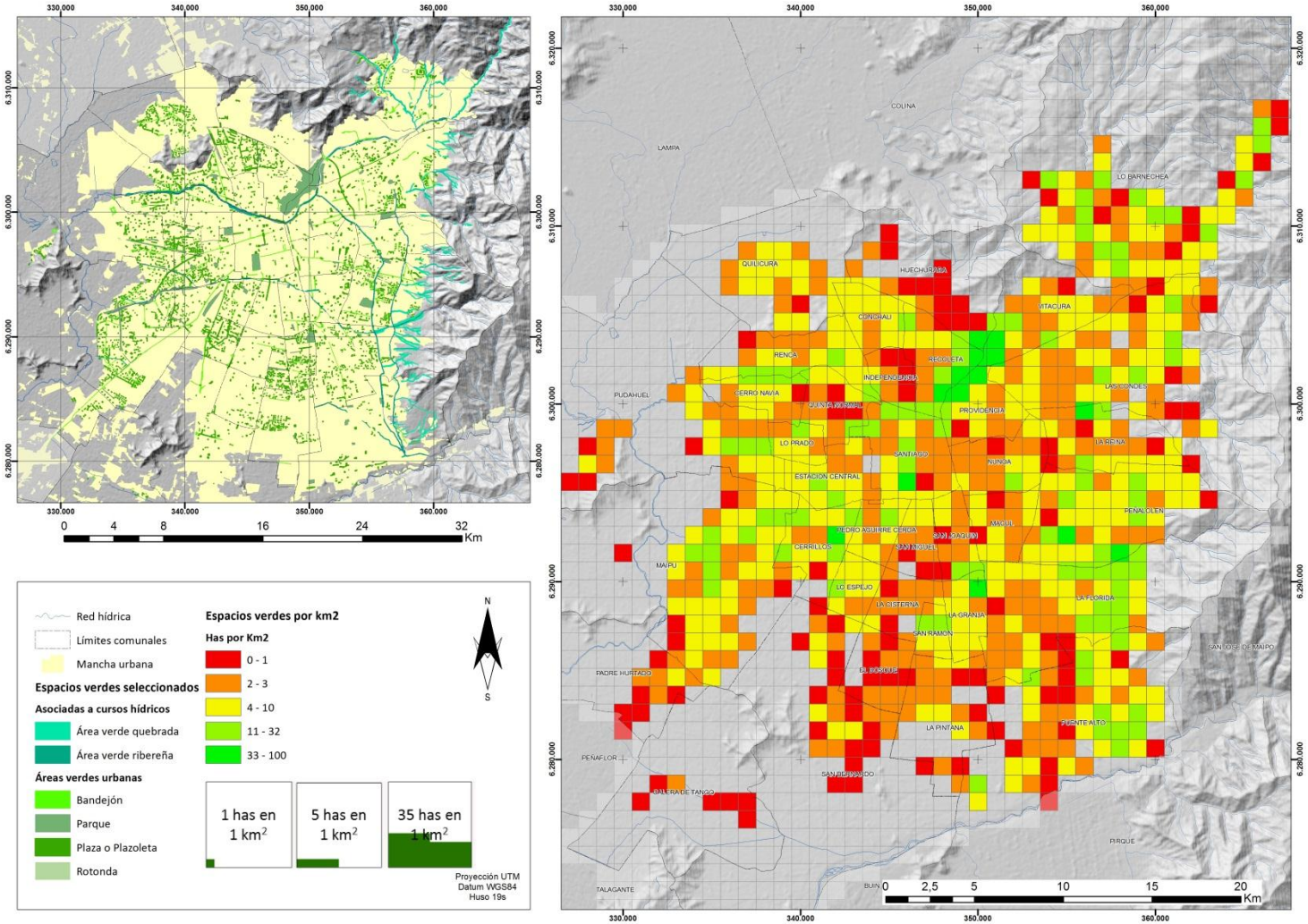
Si bien no existe un patrón marcado, existen comunas que presentan predominantemente valores bajos. Comunas como San Bernardo, El Bosque, La Cisterna, San Miguel, San Joaquín, Ñuñoa presentan sectores con menos de 3 ha por km^2, conformando un eje centro-sur de menores áreas verdes. Un patrón similar se presenta en comunas como Huechuraba e Independencia en el sector norte y Quinta Normal por el sector nor-oeste.

Cabe destacar el caso de las comunas de Puente Alto y La Florida, las cuales presentan algunos sectores con valores sobre 4 ha/km^2 e incluso sobre 11 ha/km^2 (Figura 25), debido principalmente a la presencia de los espacios verdes asociados a cursos hídricos como el canal San Carlos y los canales La Luz – Las Perdices y las quebradas presentes en el piedemonte de Santiago.

Este último aspecto es bastante relevante, ya que algunas de las coberturas superiores a 11 ha/km^2 de espacios verdes asociados a cursos hídricos y de áreas verdes urbanas, se presentan muy ligados a espacios verdes lineales, como los mencionados anteriormente y parques como el de Avenida 3 poniente en la comuna de Maipú, Parque Forestal y Bustamante en Santiago y Providencia.

En lo que respecta a las coberturas de 4 a 10 ha/km^2 presentadas en la Figura 25, se encuentran principalmente en los sectores centro poniente (Estación Central – Lo Prado – Pudahuel – Maipú) y oriente, destacando la comuna de Peñalolén, adicionalmente se presentan en menor medida estas coberturas en las comunas de Conchalí y Quilicura en el sector norte.

Figura 25. Distribución de superficie (ha) de espacios verdes por km^2



Fuente: Elaboración propia

3.1.5. Análisis de distancias entre los espacios verdes

De la Figura 26 y Tabla 3.2 se desprende, en primer lugar, que en general la distancias entre los diversos espacios verdes identificados en el paisaje Metropolitano de Santiago son mayoritariamente bajas, ya que el 25% de los espacios verdes está entre 0 a 6 m de distancia de su espacio verde más próximo espacio verde, en tanto el 50% de los espacios verdes no supera los 11 m lineales y el 75% no se distancia más de 55,16 m de otro espacio verde.

Se observa que los diferentes rangos de distancias de espacios verdes se distribuyen de formas más aleatoriamente en el área de estudio, destacando espacios verdes de gran tamaño en los bordes del área de estudio (parques naturales, bosque y renoval nativo y cerros islas), mientras que al interior del área urbana resaltan los parques de gran tamaño como lo son el Parque Metropolitano, Parque O'Higgins o el Campus Antumapu de la Universidad de Chile y también dentro de los mismos cuartiles destacan los espacios verdes asociados a cursos hídricos, sobretodo en el sector oriente del área.

Adicionalmente se puede apreciar en la Tabla 3.2 que los espacios verdes que se encuentran sobre el 2 cuartil (>11 m), en el tercer cuartil, corresponden principalmente a espacios verdes pequeños que se encuentran esparcidos predominantemente al interior del área urbana de Santiago, constituidos por parques, plazas o plazoletas (Figura 26). Dentro de los espacios verdes que se encuentran en el último cuartil (55,17 a 2.679,79 m) destacan algunos parches de bosques y renovales nativos, que se localizan en zonas altas de los cordones montañosos circundantes al área urbana de Santiago.

Por otra parte, si se observan los espacios naturales, se pueden evidenciar algunas características relevantes, como que el primer cuartil tiene una distancia de 0 m entre estos elementos y los espacios verdes más cercanos (Tabla 3.2), esto debido a que muchos parques naturales, santuarios o cerros islas se encuentran adyacentes a otros espacios verdes como bosques y renoval nativo o áreas verdes de quebradas, tal como pasa con el parque aguas de Ramón, en el cual existen en su interior parches de bosque y renoval nativo y se encuentra adyacente al parque Quebrada de Macul, el cual también es adyacente un área verde quebrada (Figura 26).

De todas formas, los espacios naturales son los que poseen el mayor recorrido en el cuarto cuartil (2.527 m), principalmente debido a la existencia de algunos parches de bosque y renoval nativo, los que se encuentran en zonas altas de los cordones montañosos del área de estudio.

Los espacios verdes asociados a cursos hídricos en cambio se encuentran a menor distancia que cualquier otro espacio verde, de hecho la distancia máxima no supera los 79 m (Tabla 3.2). El recorrido máximo encontrado en el cuarto cuartil es el menor que el de los otros espacios verdes, siendo solamente de 68 m, además el 75% de los elementos de este tipo de espacios verdes no se encuentra a una distancia mayor de 11,24 m de cualquier otro espacio verde

Se observa que mayoritariamente los espacios verdes asociados a cursos hídricos que se encuentran en el primer cuartil, con distancias lineales entre 0 – 5,48 m, se localizan en el sector nororiente y oriente de la trama urbana, en donde a medida que se insertan estos elementos en el área urbana van predominando elementos del tercer y cuarto cuartil (Figura 26).

Las áreas verdes urbanas son el tipo más frecuente de espacios verdes dentro del paisaje Metropolitano de Santiago, y se encuentran a cortas distancias de otros tipos de espacios verdes, ya que el 75% no supera los 56,3 m de distancia (Tabla 3.2). Sin embargo, las áreas verdes urbanas del último cuartil tienen una distancia máxima de 1.238,78 m y su recorrido en el histograma supera el kilómetro (Figura 26).

Las áreas verdes urbanas que se encuentran en el cuarto cuartil, se distribuyen de forma aleatoria en el área de estudio, no concentrándose en una zona en particular. De igual forma, no hay un patrón en las proximidades de este tipo de espacio verde, sino más bien se observa un efecto similar al de sal y pimienta (Figura 26) exceptuando ciertos casos puntuales donde se aprecia, por ejemplo, un eje central norte-sur conformado por las comunas de San Miguel, La Cisterna y el Bosque con áreas verdes urbanas próximas entre sí con distancias entre 56,31 y 1.238,78 m.

Las áreas verdes urbanas que están en el primer cuartil, presentan pequeñas concentraciones en las comunas de Lo Espejo y Conchalí, además de resaltar el Parque Metropolitano de Santiago.

Finalmente, los espacios verdes urbanos del primer cuartil tienen distancias igual a cero, ya que muchos de estos espacios son adyacentes, por ejemplo, el Campus Laguna Carén de la Universidad de Chile en Pudahuel, contiene al Cerro Isla Amapola. También ocurre algo similar con algunos cementerios como El Prado y Cordillera que son adyacentes a un área verde ribereña y una quebrada respectivamente (Figura 26).

En general los espacios verdes urbanos, poseen una distancia reducida a su vecino más cercano, donde el 75% no supera los 61 m pero tiene elementos que llegan a los 1.050 m, generando que el recorrido del cuarto cuartil sea de 990,76 m (Tabla 3.2).

En general, independiente del tipo de espacio verde que se observe las distancias a los vecinos más cercanos son bajas hasta el tercer cuartil, excepto los espacios verdes asociados a cursos hídricos que en general son más disperso y de mayor recorrido (Figura 26).

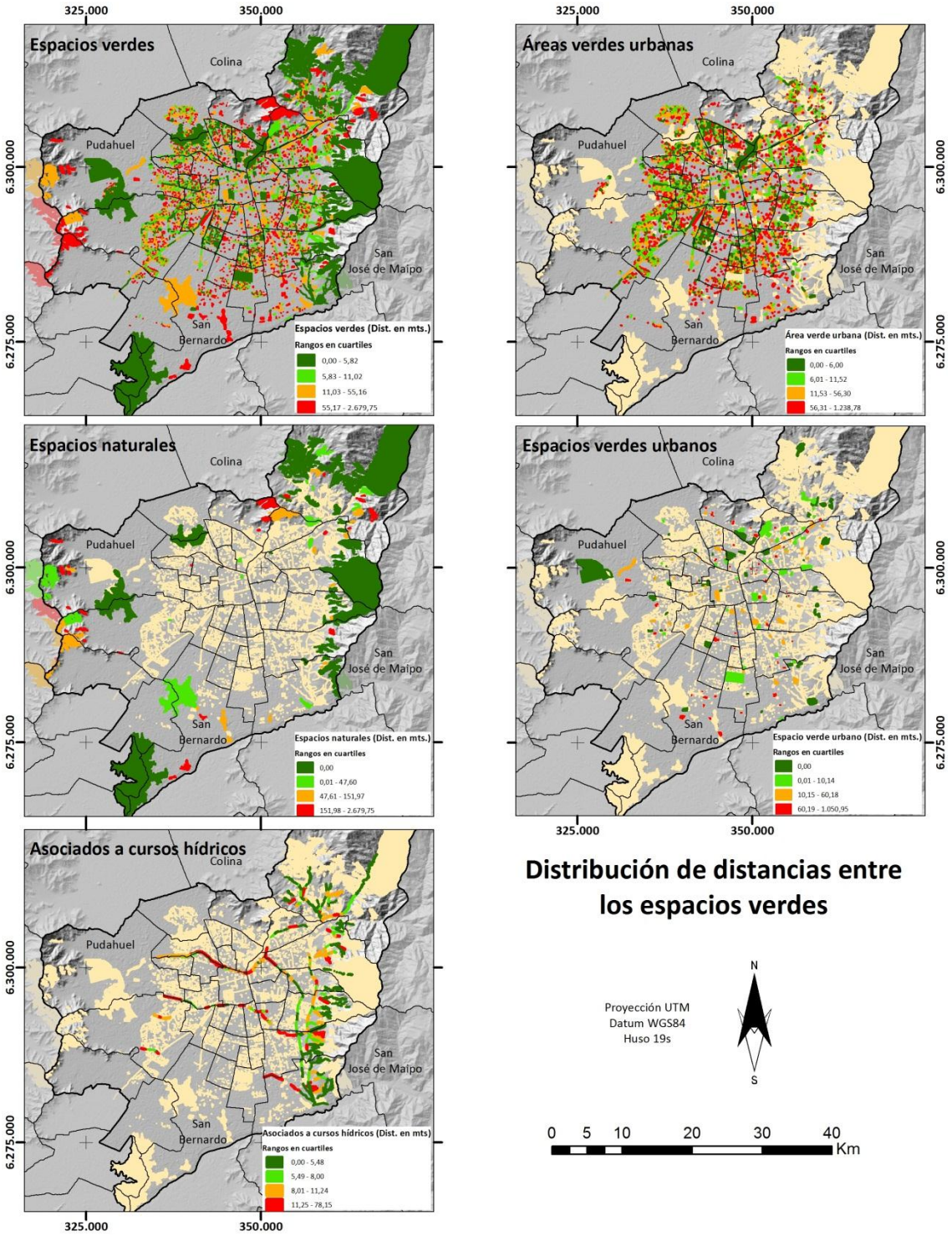
Tabla 3.2. Distancias entre espacios verdes

Espacios verdes		
Cuartil	***Rango***	***Recorrido***
1er	0,00 - 5,82	5,82
2do	5,83 - 11,02	5,19
3er	11,03 - 55,16	44,13
4to	55,17 - 2.679,75	2.464,58
Espacios verdes asociados a cursos hídricos		
Cuartil	***Rango***	***Recorrido***
1er	0,00 - 5,48	5,48
2do	5,49 - 8,00	2,51
3er	8,01 - 11,24	3,23
4to	11,25 - 78,15	66,90
Espacios verdes urbanos		
Cuartil	***Rango***	***Recorrido***
1er	0,00	0,00
2do	0,01 - 10,14	10,13
3er	10,15 - 60,18	50,03
4to	60,19 - 1.050,95	990,76

Espacios naturales		
Cuartil	***Rango***	***Recorrido***
1er	0,00	0,00
2do	0,01 - 47,60	47,59
3er	47,61 - 151,97	104,36
4to	151,98 - 2.679,75	2.527,77
Áreas verdes urbanas		
Cuartil	***Rango***	***Recorrido***
1er	0,00 - 6,00	6,00
2do	6,01 - 11,52	5,51
3er	11,53 - 56,30	44,77
4to	56,31 - 1.238,78	1.182,47

Fuente: Elaboración propia

Figura 26. Frecuencias de distancias entre espacios verdes



Fuente: Elaboración propia

3.2. Modelación y evaluación de la red de corredores verdes potenciales en el Paisaje Metropolitano de Santiago

3.2.1. Espacios verdes a conectar

Al aplicar los criterios para la definición de núcleos, nodos y sub-nodos a los espacios verdes del paisaje Metropolitano de Santiago, se seleccionaron 404 parches del total de 8.146 espacios verdes, lo que equivale a un 5%. 122 espacios verdes fueron clasificados como núcleos, los cuales se distribuyen principalmente en los bordes de la ciudad, a excepción de varios cerros islas que se localizan al interior del área urbana (Figura 27). En promedio su tamaño es de 269 ha, pero tienen una alta variación ya que un tercio de los parches no superan las 10 ha (cerros islas y parches de bosques y renoval nativo) y existen otros de más de 3.000 ha (parque Aguas de Ramón y el santuario de la naturaleza El Arrayán).

En tanto, 109 espacios verdes fueron clasificados como nodos y corresponden a los parques y plazas o plazoletas mayores a 2 ha, que se localizan solamente al interior de la mancha urbana. Destacan en esta categoría el Parque Metropolitano de Santiago que supera las 500 ha. Los nodos se distribuyen en la mayoría del área urbana, exceptuando las comunas centro-sur de San Miguel, La Cisterna y El Bosque, además de la comuna de Quinta Normal.

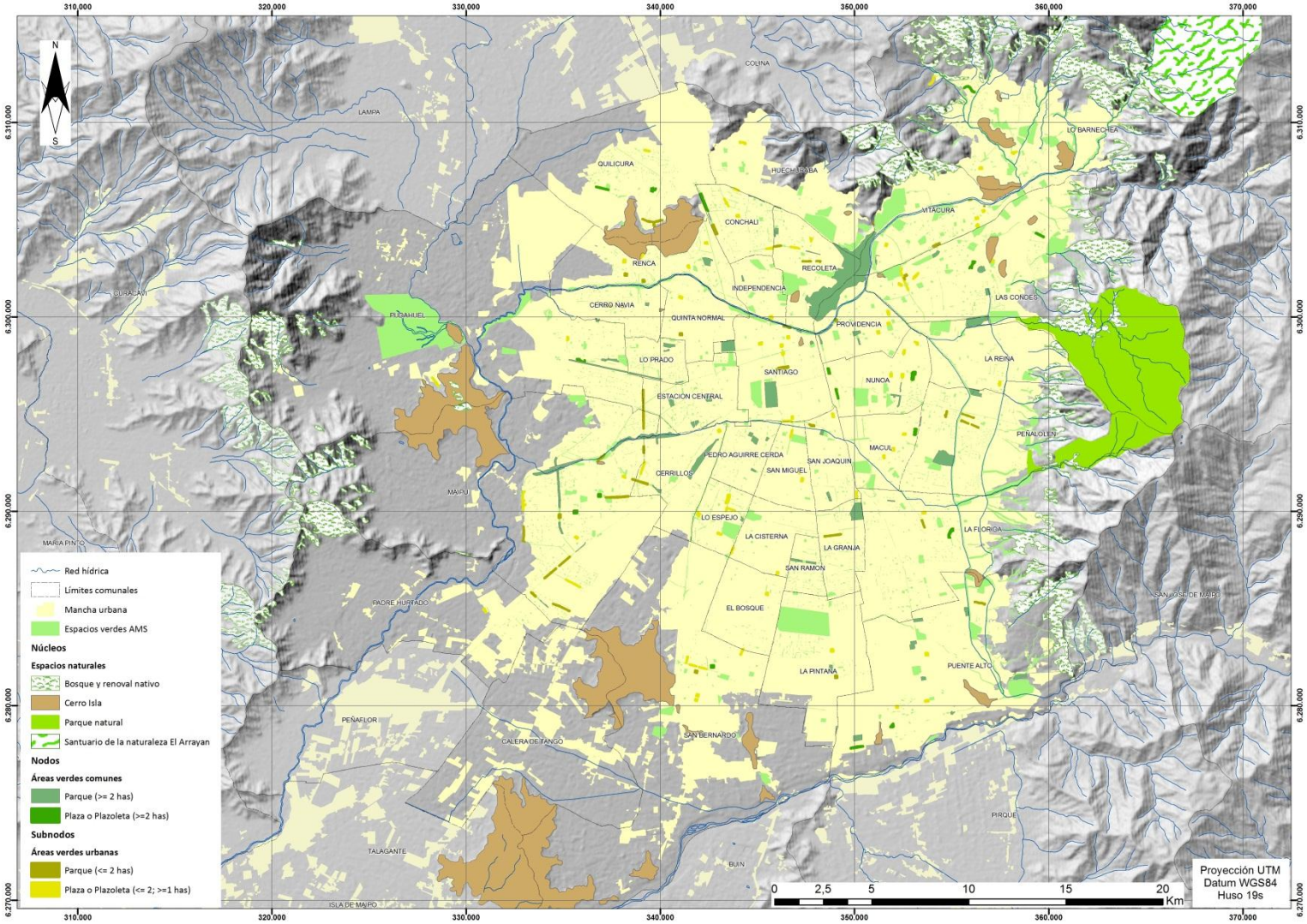
También resalta en la Figura 27 que comunas como La Pintana, La Florida, Independencia, Renca, Cerro Navia, Quilicura, La Reina, Peñalolén, no poseen más de dos elementos (parques – plazas o plazoletas) de más de 2 ha y que se encuentren a más de 200 m de núcleos.

Existen 173 sub-nodos de los cuales 94 s corresponden a parques y 79 a plazas o plazoletas. En general, estos se distribuyen en toda la ciudad de forma aleatoria, pero dejando algunos vacíos en la zona poniente de la comuna de La Florida, en el sector del borde entre las comunas de El Bosque y San Bernardo y en el sector donde colindan las comunas de Estación Central y Lo Prado.

A nivel de paisaje Metropolitano de Santiago no se observa que los nodos y sub-nodos tengan una concentración en su distribución, pero dejando algunos vacíos como se ha señalado en los elementos que corresponden a áreas verdes urbanas.

Finalmente, cabe señalar que dentro de los núcleos, nodos y sub-nodos, no se encuentran incorporados los parques, plazas o plazoletas que se encuentran adyacentes a cursos hídricos, ya que estos corresponden a espacios verdes asociados a cursos hídricos y por sus características lineales son conceptualizados más como corredores que como parches (núcleo; nodo; sub-nodo).

Figura 27. Núcleos, nodos y sub-nodos del paisaje Metropolitano de Santiago



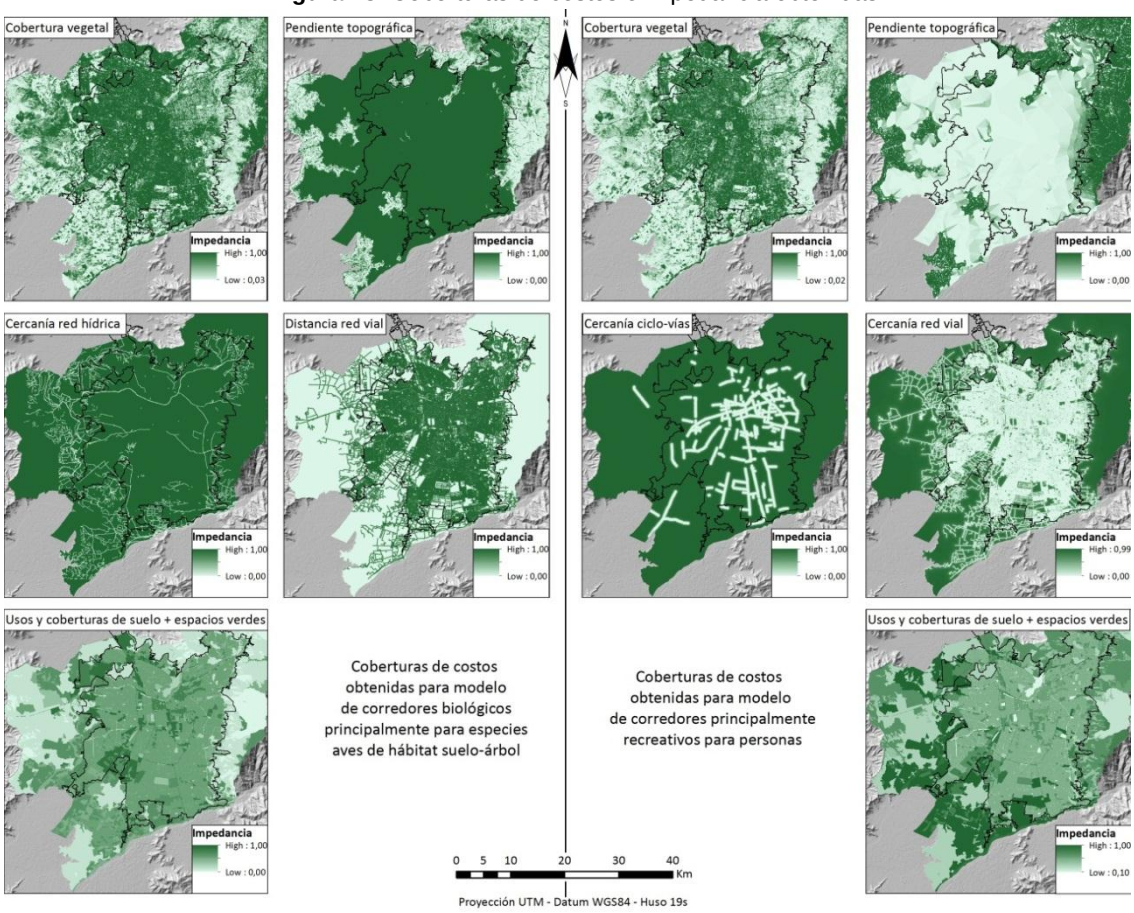
Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Coberturas de costos obtenidas mediante pertenencia y superposición difusa

Aplicada la pertenencia difusa a cada variable con los valores propuestos en el presente estudio, en el modelo de corredor biológico se observa a grandes rasgos que los mayores costos de desplazamiento o de impedancia (valores cercanos o iguales a 1) están presentes al interior del área urbana de Santiago (Figura 28).

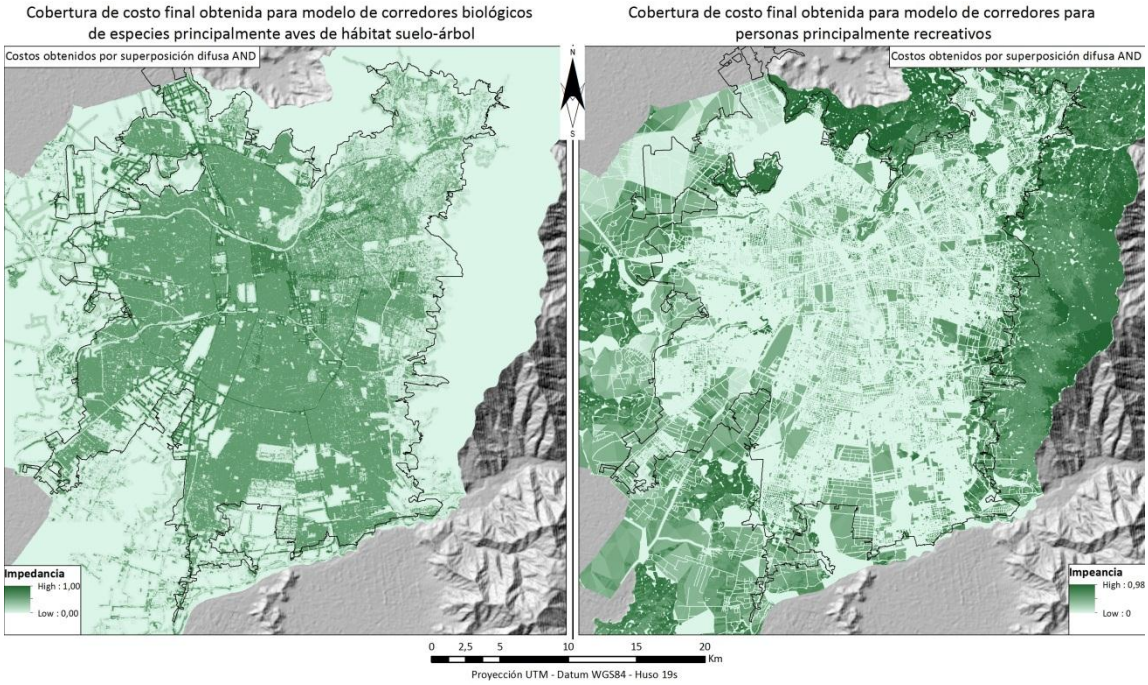
En cambio, en términos generales las capas de costos obtenidas en el modelo de corredores para personas principalmente recreativos, los valores altos de impedancia (valores cercanos o iguales a 1) se encuentran preferentemente fuera del área urbana (Figura 28). Estos patrones se ven reflejados en la capa final de impedancia o costos al desplazamiento, obtenidas mediante superposición difusa donde los valores más bajos (iguales o cercanos a cero) se encuentran fuera del área urbana en la capa de costos del modelo para especies y lo contrario en el caso del modelo para personas (Figura 29).

Figura 28. Coberturas de costos o impedancia obtenidas



Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Coberturas de costos obtenidas mediante superposición fuzzy



Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Corredores biológicos potenciales para especies

En cuanto a los corredores potenciales obtenidos para especies (Figura 30), en general se observa corredores mayoritariamente sinuosos con algunos elementos más rectilíneos en la zona sur-poniente del área de estudio, que articulan una red de corredores con diferentes jerarquías. Los corredores entre núcleos y nodos poseen una mayor longitud y recorren gran parte del área de estudio, sobretodo por los bordes, y tienen ramificaciones hacia el centro de la trama urbana, mientras que los corredores entre nodos y sub-nodos son de menor longitud y se desprenden de los de mayor longitud.

Varios de estos corredores están asociados a los cursos hídricos, tanto naturales como artificiales presentes en el paisaje Metropolitano de Santiago, de esta manera se evidencia que espacios verdes lineales existentes y sobretodo asociados a cursos hídricos tienen una alta potencialidad de consolidarse o convertirse (dependiendo el caso) en corredores para especies.

Como ejemplo de lo anterior, la mayoría de los espacios verdes asociados al canal San Carlos constituyen corredores potenciales para especies. De la misma forma se observan corredores en el río Mapocho y Zanjón de la Aguada (Figura 30), pero que actualmente están interrumpidos en la zona céntrica de la metrópolis de Santiago. Cabe destacar el corredor propuesto a lo largo del río Mapocho, el cual inicia en el núcleo santuario de la naturaleza en el estero Arrayán y que solamente tiene un quiebre en el sector centro de Santiago, muy parecido a lo que ocurre con el Zanjón de la Aguada, pero en el caso del río Mapocho existen varios parques cercanos.

Adicionalmente, se observan corredores biológicos en toda la zona sur del área de estudio rodeando el área urbana e ingresando en algunos sectores de las comunas de La Pintana, El Bosque y Los Espejo (Figura 30).

Destacan los corredores en el sector oriente del área de estudio, los cuales descienden desde las vertientes de los cerros aledaños hacia el poniente conectando con el corredor que se traza sobre el río Mapocho, y que conectan de paso los cerros islas presentes en las comunas de Lo Barnechea y Las Condes.

A pesar de la gran cantidad y longitud de corredores obtenidos, se observan algunas zonas con vacíos, como el área sur-poniente de la comuna de La Florida, el nor-oriente de las comunas de Pudahuel y Quilicura (Figura 30). Las comunas de la Cisterna, La Granja y El Bosque presentan una baja cantidad de corredores, quedando gran parte de ellas desconectadas de la red de corredores propuesta.

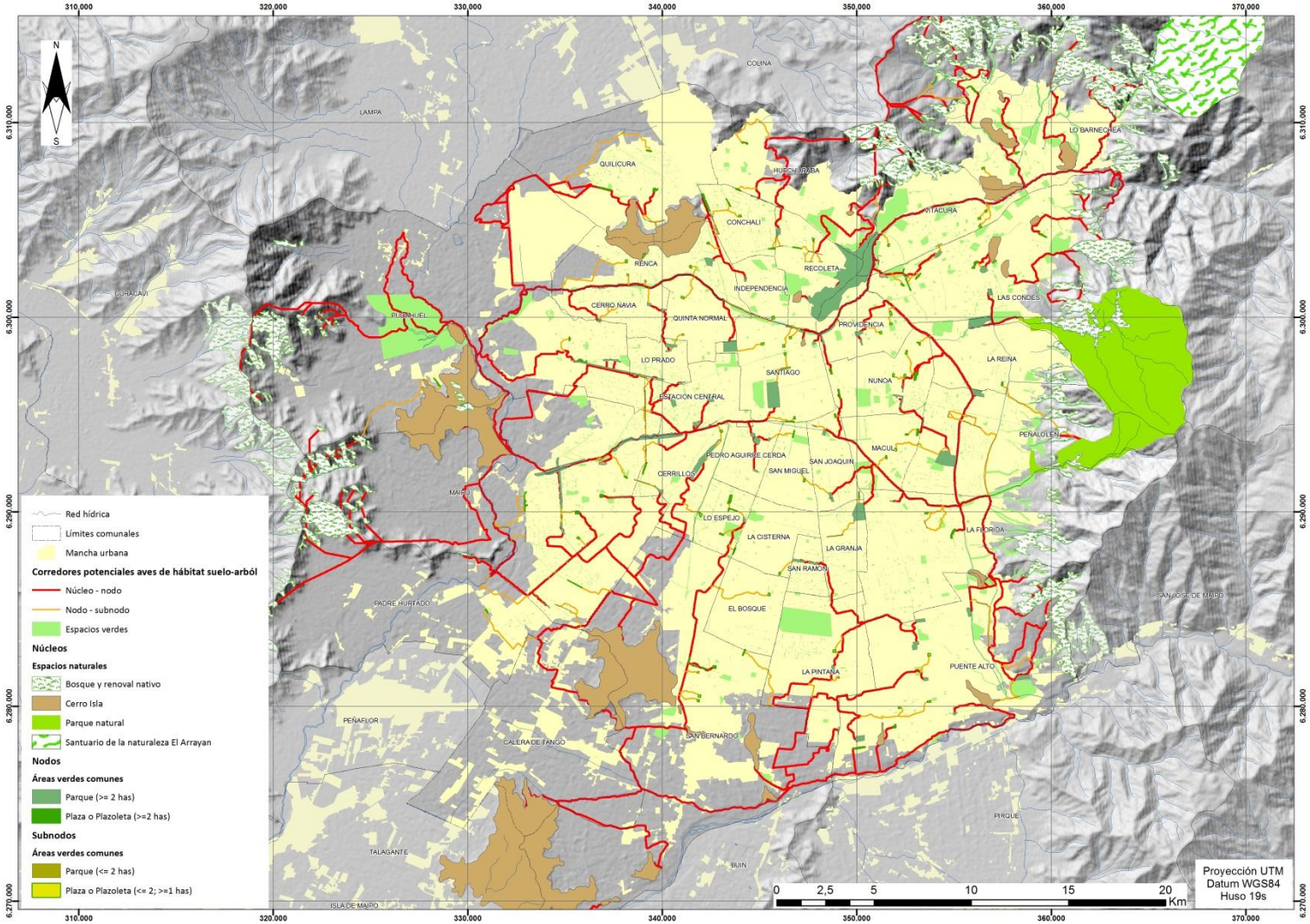
Se identificó que los corredores obtenidos entre núcleo y nodo, se logran conectar 89 nodos a partir de los 122 parches definidos como elementos núcleos (Tabla 3.3), lo que equivale a un 73%, conectando adicionalmente 13 parches de los sub-nodos de forma indirecta, logrando esta conexión mediante 670 km continuos de corredor. Mientras que los corredores entre los nodos y sub-nodos se lograron conectar los 173 parches del ultimo, a partir de los 109 parches correspondiente a nodos, además conecta adicionalmente de forma indirecta 25 núcleos, efectuando esto a través de 166 km continuos, esto último influenciado por que los elementos nodos y sub-nodos a diferencia de los núcleos, todos se encuentran al interior del área urbana.

Tabla 3.3. Espacios verdes conectados y longitud de corredores biológicos potenciales para especies

Núcleos conectados	***Nodos conectados***	***Sub-nodos conectados***	***Kms. entre núcleos y nodos***	***Kms. entre nodos y sub-nodos***
89	109	173	670	166

Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Corredores potenciales biológicos para especies, principalmente aves de hábitat suelo-árbol



Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Corredores potenciales recreativos

Los corredores potenciales para personas de carácter recreativo (Figura 31), son mucho más rectilíneos y con menos sinuosidad que los corredores biológicos potenciales de especies, a excepción de ciertos corredores potenciales en la zona del piedemonte de Santiago al oriente del área de estudio.

En general, al interior del área urbana de Santiago (Figura 31) se desprenden muchos corredores a partir de ciertos cerros islas como Cerro Blanco, Santa Lucía, Cerro Navia y cerro Primo de Rivera en Maipú, hacia parques consideradas como nodos configurándose un patrón radial.

Destaca el Cerro Navia como un nudo de importancia para los corredores del sector poniente de la trama urbana de Santiago. Otros nudos que también resaltan son aquellos localizados en La Reina y las Condes.

Cabe resaltar que el parque asociado a la ruta 78, nuevamente forma parte relevante de los corredores en el sector poniente de la metrópolis de Santiago, conectando con los corredores provenientes de las vertientes de flanco oriental de la cordillera de la costa, insertas en el paisaje metropolitano de Santiago.

A diferencia de la red de corredores potenciales para especies, existe una clara y continua conexión al interior de la trama urbana, que incluso existen corredores que conectan espacios verdes como el Parque Hurtado en la Reina, con espacios verdes céntricos en Providencia, Santiago y Ñuñoa, y que finalizan conectado con espacios verdes en comunas como Pudahuel y Maipú, ya en la zona poniente de la metrópolis (Figura 31).

De la misma forma, hay corredores en la comuna de La Florida que se conectan tanto con corredores hacia el centro de Santiago, como con los corredores provenientes desde los núcleos más meridionales como lo son los cerros islas de Lonquén y de cercanos al río Maipo.

A pesar de esta clara y continua conexión, de todas formas existen zonas con una menor presencia de corredores , como el norte de la comuna de La Pintana, el sector

sur-poniente de La Florida, la zona poniente de San Bernardo y el Bosque, y las zonas más ligadas a industrias de las comunas de Maipú y Quilicura (Figura 31).

Como en este caso no existe una asociatividad de los corredores a elementos hídricos, los corredores de la zona nor-oriente de área de estudio se conectan a través del Parque Hurtado de La Reina (Figura 31).

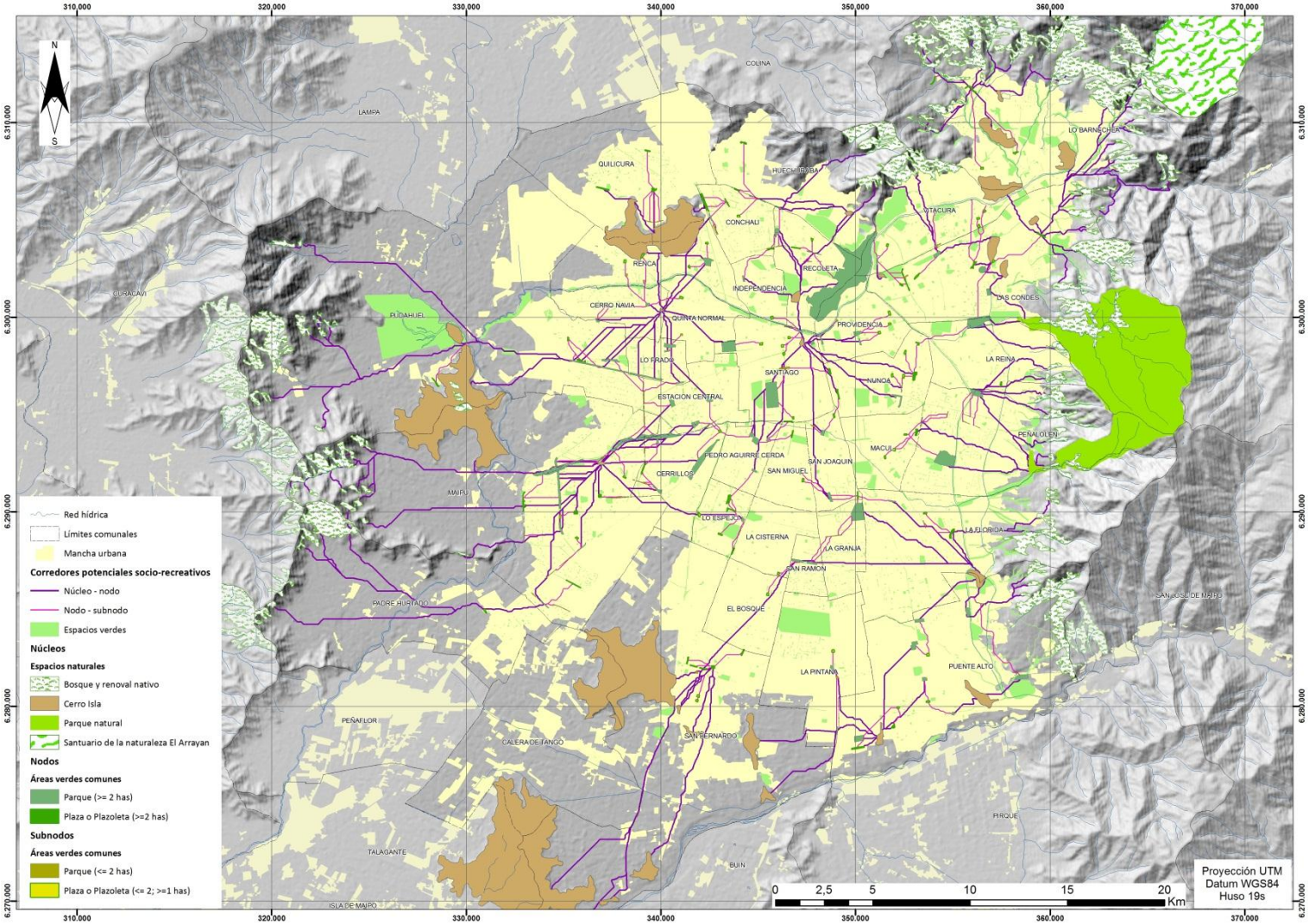
Se identificó que de los corredores obtenidos entre núcleos y nodos, se logró conectar los 109 nodos a partir de 114 núcleos, que equivalen a un 93% del total de parches denominados núcleos, conectando indirectamente 21 sub-nodos, todo esto en alrededor de 630 km continuos (Tabla 3.4). Mientras los corredores entre nodos y sub-nodos de la misma forma que con los corredores potenciales para especies, se conectaron los 173 sub-nodos con los 109 nodos, pero la diferencia es que solo adicionó 5 parches de núcleos de forma indirecta y su longitud es de 215 km continuos.

Tabla 3.4. Nodos conectados y longitud de corredores potenciales recreativos

Núcleos conectados	***Nodos conectados***	***Sub-nodos conectados***	***Kms. entre núcleos y nodos***	***Kms. entre nodos y sub-nodos***
114	109	173	630	215

Fuente: Elaboración propia

Figura 31. Corredores potenciales para personas, principalmente recreativos



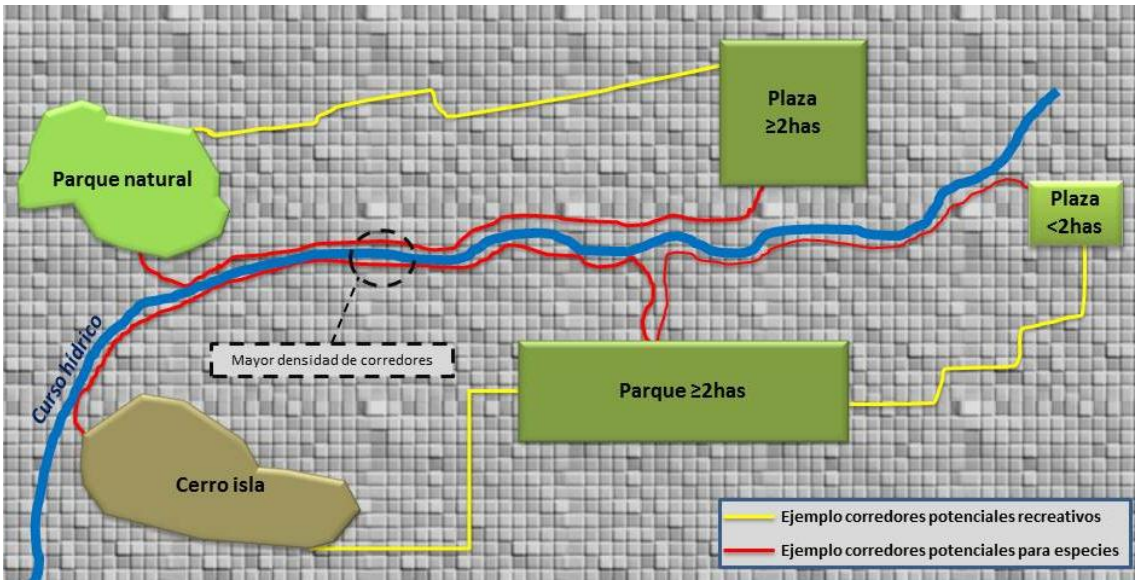
Fuente: Elaboración propia

3.2.5. Estructura troncal básica de corredores multifuncionales potenciales

Del análisis de densidad de los corredores potenciales obtenidos tanto para el desplazamiento de especies y el de personas, se obtuvo lo denominado como “estructura básica troncal” Esta red tiene una longitud total de 555 km, la cual se conecta principalmente a través de la zona sur del área de estudio, y recorre principalmente la trama urbana y las zonas periféricas a ella, dejando sin corredores a la zona de la pre cordillera de la costa, y en menor medida la zona de la pre cordillera de los andes.

En la estructura básica troncal se observa un predominio de la red de corredores potenciales para especies por sobre la red de corredores potenciales recreativo (Figura 33). Esto debido a que los conectores de la red de corredores para especies confluyen a elementos como la red hídrica (Figura 32), generando una mayor densidad de conectores, esto se encuentra ligado a las capas de costos, ya que la capa de costo obtenida para el modelo de especies resultó más estricta al interior del área urbana que para el modelo para el desplazamiento de personas

Figura 32. Ejemplo de conectores obtenidos



Fuente: Elaboración propia

A pesar el predominio señalado anteriormente, se identifican espacios verdes que sirven de confluencia de ambas redes de corredores tales como los espacios verdes

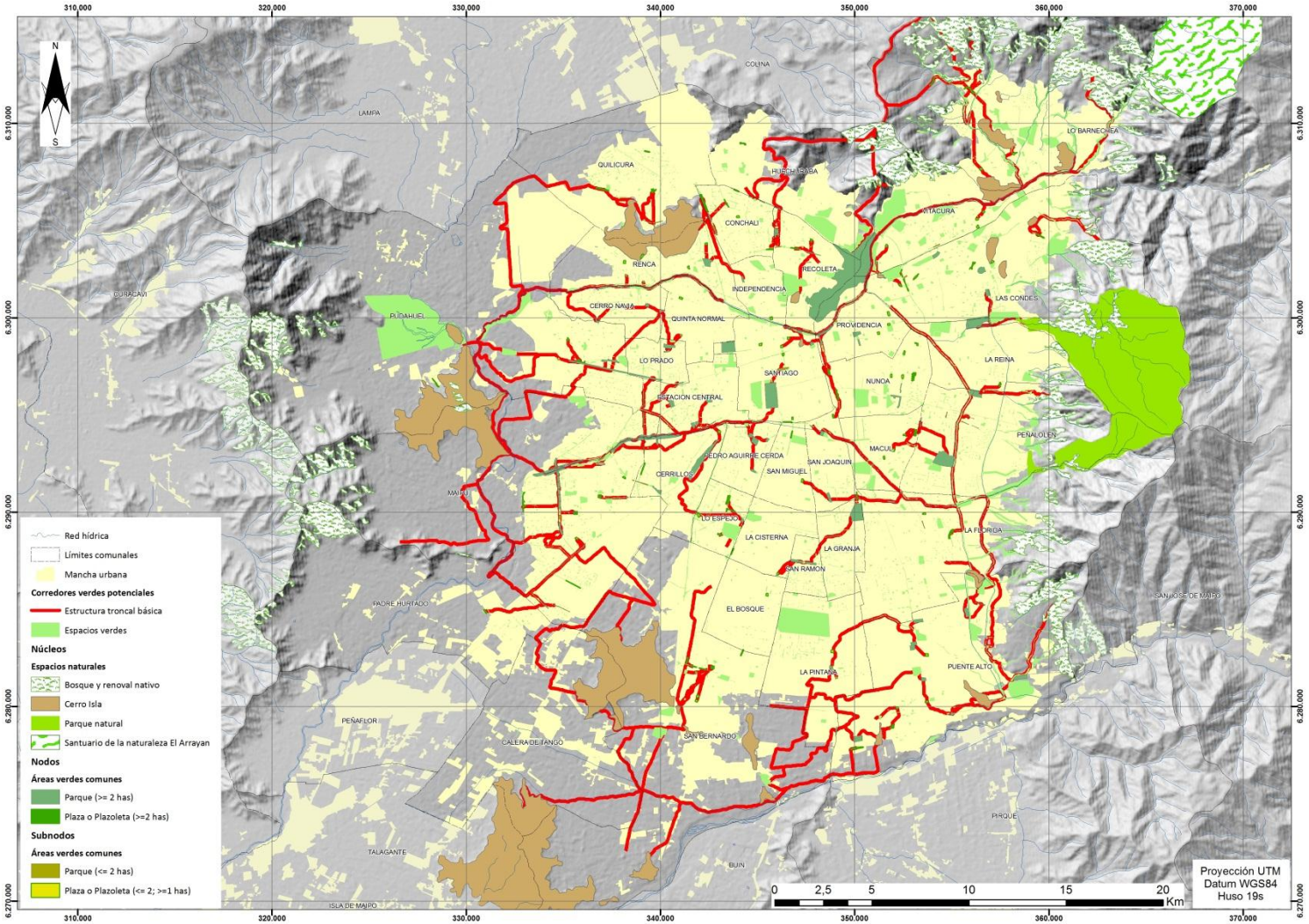
asociados a la ruta 78, en donde se encuentran espacios verdes asociados a cursos hídricos, específicamente al Zanjón de la Aguada, espacios verdes asociados a la red vial y el cerro isla Primo de Rivera (Figura 33). Esta zona también llega a conectarse espacialmente con la zona central del área urbana de Santiago, muy cercana a los corredores provenientes de la zona oriente de la metrópolis, Donde estos últimos se conectan con los nodos y sub-nodos al norte del área urbana de Santiago (Figura 33).

Otra sección de la estructura troncal básica que destaca es la Quebrada de Macul, en la cual inicia un corredor que posteriormente sigue el trazado del Zanjón de la Aguada, que luego se subdivide en corredores hacia las comunas de San Joaquín, San Miguel, La Granja, San Ramón y La Cisterna.

También en la zona oriente del área estudio, se observa que la estructura troncal básica cruza en dirección de sur a norte, desde la comuna de La Florida hasta la comuna de Providencia a través de los espacios verdes asociados a cursos hídricos, específicamente al canal San Carlos, permitiendo conectar los dos corredores que bajan desde las quebradas del piedemonte de Santiago. Este corredor continúa hacia el sur a través del canal La Luz, permitiendo conectar la estructura troncal básica con la zona sur de Santiago.

Otro aspecto a recalcar, es el corredor que se forma asociado al río Mapocho y que recorre gran parte del área urbana de este a oeste sin interrupciones, con la excepción de un tramo en la zona céntrica de la trama urbana de Santiago. Esta discontinuidad es compensada por la existencia de espacios verdes, ya sean áreas verdes urbanas (por ejemplo Parque Forestal) y espacios verdes asociados a cursos hídricos.

Figura 33. Estructura troncal básica de corredores verdes potenciales



Fuente: Elaboración propia

3.2.6. Evaluación de las distancias entre espacios verdes incluyendo los corredores potenciales

Al calcular las distancias entre los diferentes espacios verdes incluyendo los corredores potenciales para especies, se puede observar que en general las distancias entre los espacios verdes del paisaje Metropolitano de Santiago disminuyen considerablemente en el recorrido, especialmente en el cuarto cuartil, con diferencias de entre 1,5 a 3,5 m según cuartil (Tabla 6).

En cuanto a su distribución espacial, se identifica en Figura 34 que los espacios verdes de mayor tamaño como los parques naturales o cerros islas, no sobrepasan los 5,82 m, mientras los espacios verdes correspondientes a parches de menor distancia que se distribuyen de forma aleatoria en la mancha urbana de Santiago

Los espacios naturales (Tabla 6) son los que sufren las mayores modificaciones en cuanto a su proximidad y también se ve reflejada en los histogramas de distancias (Apéndice 3), ya que con la red propuesta más del 80% de los parches correspondientes a esta categoría presentan una distancia igual a cero debido a la conexión con los corredores propuestos, y la mayor distancia no sobrepasa los 621 m cabe destacar que los espacios naturales son los espacios verdes que originalmente poseían la mayor distancia (2.679,75 m) y que la incorporación de los corredores reduce dicha distancia en alrededor de dos kilómetros. En lo que respecta a la distribución en el paisaje metropolitano solamente los espacios naturales con menores proximidades se localizan en el borde oeste del área de estudio y en zonas altas y de gran pendiente del piedemonte de Santiago (Figura 34).

En la Tabla 6 se evidencia que los espacios verdes asociados a cursos hídricos, ven modificadas sus distancias en los tres primeros cuartiles, donde el 50% (Q1-Q2) de los parches las distancias con los corredores potenciales son cercanas a cero, mientras que el tercer cuartil toma el valor de quiebre del actual segundo cuartil, 8 m (Tabla 6). En cuanto a la distribución espacial de los valores de mayor lejanía, estos se localizan principalmente en la zona oriente del área de estudio (Figura 34), cabe señalar que estos elementos siguen siendo los que poseen las menores distancias en comparación con los demás espacios verdes.

Una situación distinta presentan las áreas verdes urbanas, ya que los cuartiles Q1-Q2-Q3 ven reducidas sus distancias entre uno a dos metros lineales, sin embargo, la distancia máxima de 1.238,78 m no se ve reducida con la inclusión de los corredores potenciales para especies (Tabla 6).

Finalmente, los espacios verdes urbanos aumentan su proximidad y las nuevas distancias calculadas para el 50% de menor distancia no superan los 5,7 m, acercando los valores a cero y reduciendo el valor de quiebre del segundo cuartil a 5 m (Tabla 6), el tercer y cuarto cuartil disminuyen considerablemente, donde el primero reduce sus distancias de 50 m a 22,7 m y en el último cuartil reduce de igual forma tanto los valores máximos y el recorrido, donde el valor máximo pasa de 1.050 m a 696 m. En su patrón espacial de distancias se observa que los valores bajos en distancias presentan los parches de mayor tamaño a la inversa los valores altos de distancias que presentan principalmente los parches de menor tamaño (Figura 34).

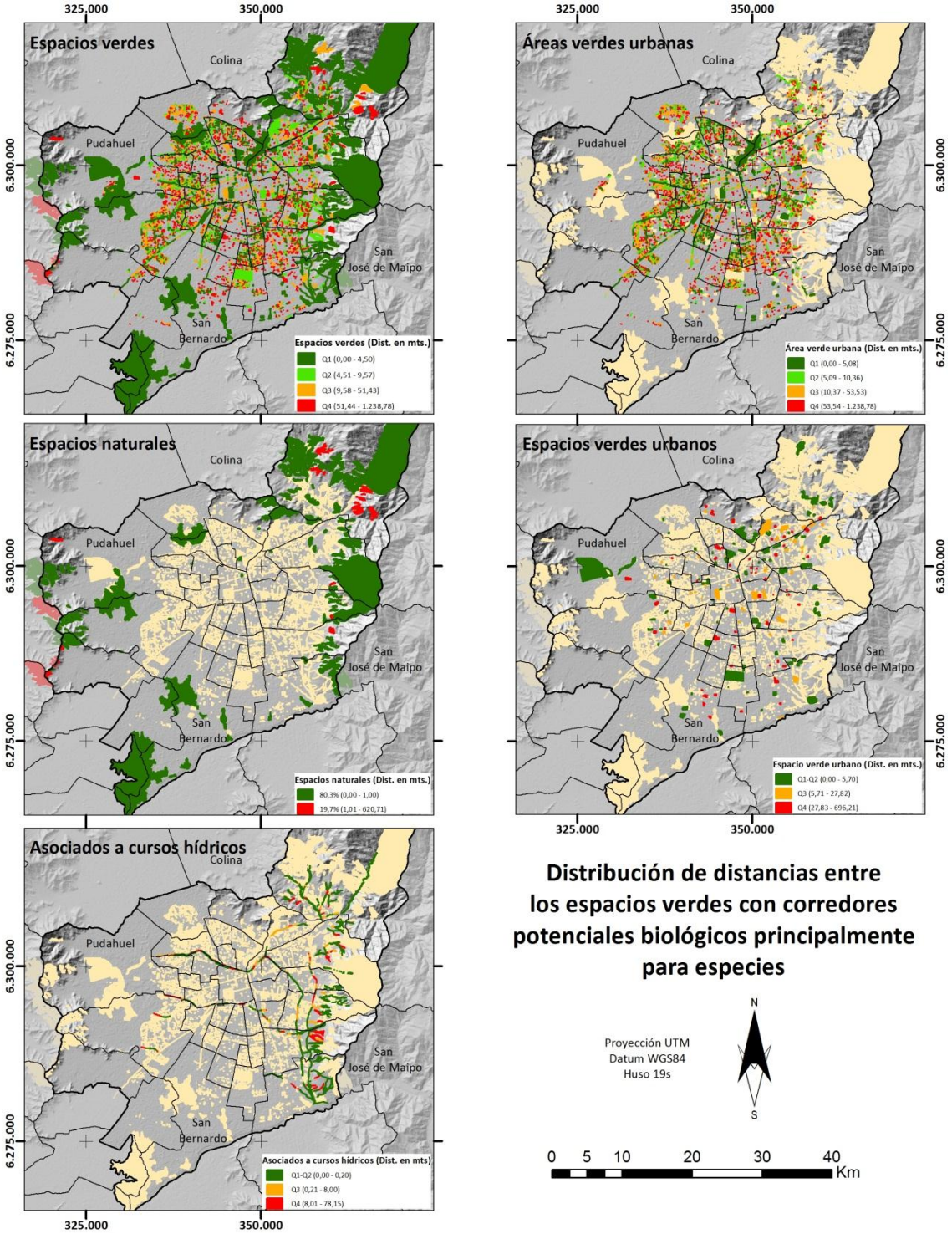
Tabla 6. Distancias entre espacios verdes, incluyendo corredores biologicos potenciales para especies

Distancias sin corredores				Distancias con corredores potenciales		
Espacios verdes				**Espacios verdes**		
Cuartil	***Rango***	***Recorrido***		***Cuartil***	***Rango***	***Recorrido***
1er	0,00 - 5,82	5,82		1er	0,00 - 4,50	4,50
2do	5,83 - 11,02	5,19		2do	4,51 - 9,56	5,05
3er	11,03 - 55,16	44,13		3er	9,57 - 51,42	41,85
4to	55,17 - 2.679,75	2.464,58		4to	51,43 - 1.238,78	1.187,36
Espacios naturales				**Espacios naturales**		
Cuartil	***Rango***	***Recorrido***		***%***	***Rango***	***Recorrido***
1er	0,00	0,00		80,3%	0,00 - 1,00	1,00
2do	0,01 - 47,60	47,59		19,7%	1,01 - 620,71	619,71
3er	47,61 - 151,97	104,36				
4to	151,98 - 2.679,75	2.527,77				
Espacios verdes asociados a cursos hídricos				**Espacios verdes asociados a cursos hídricos**		
Cuartil	***Rango***	***Recorrido***		***Cuartil***	***Rango***	***Recorrido***
1er	0,00 - 5,48	5,48		1er - 2do	0,00 - 0,20	0,20
2do	5,49 - 8,00	2,51		3er	0,21 - 8,00	7,79
3er	8,01 - 11,24	3,23		4to	8,01 - 78,15	70,14
4to	11,25 - 78,15	66,90				
Áreas verdes urbanas				**Áreas verdes urbanas**		
Cuartil	***Rango***	***Recorrido***		***Cuartil***	***Rango***	***Recorrido***
1er	0,00 - 6,00	6,00		1er	0,00 - 5,08	5,08
2do	6,01 - 11,52	5,51		2do	5,09 - 10,36	5,27

3er	11,53 - 56,30	44,77		3er	10,37 - 53,53	43,16
4to	56,31 - 1.238,78	1.182,47		4to	53,54 - 1.238,78	1.185,24
Espacios verdes urbanos				**Espacios verdes urbanos**		
Cuartil	***Rango***	***Recorrido***		***Cuartil***	***Rango***	***Recorrido***
1er	0,00	0,00		1er - 2do	0,00 - 5,70	5,70
2do	0,01 - 10,14	10,13		3er	5,71 - 27,82	22,11
3er	10,15 - 60,18	50,03		4to	27,83 - 696,21	668,38
4to	60,19 - 1.050,95	990,76				

Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Frecuencias de distancias entre espacios verdes con corredores para especies principalmente



Fuente: Elaboración propia

En la distancia modificada por la inclusión de los corredores potenciales recreativos, se identifica en la Tabla 7 que las distancias lineales obtenidas disminuyen considerablemente en el cuarto cuartil entre los espacios verdes del paisaje Metropolitano de Santiago, dejando la distancia máxima en 1.238,78 m lineales, de igual forma que los corredores potenciales para especies, disminuyendo en menor medida los valores de quiebre del resto de cuartiles. De la misma forma los valores presentes en el cuarto cuartil (valores que indican una mayor lejanía) se distribuyen principalmente al interior del área urbana de Santiago, a través de parches menor tamaño (Figura 35).

Los espacios naturales nuevamente aparecen como los elementos con las mayores reducciones en sus distancias entre los distintos espacios verdes, en donde el porcentaje de espacios naturales con distancias iguales a cero son más del 92% y la distancia máxima no supera los 205 m lineales, disminuyendo en más de 2.400 m la distancia máxima (Tabla 7), esta incorporación deja solamente nueve parches (7,4%) con distancias sobre cero y que corresponden a parches de bosque y renoval nativo en el borde occidental del área de estudio y al cerro isla Negro en San Bernardo (Figura 35).

Con respecto a los espacios verdes asociados a cursos hídricos, se observan modificaciones similares a las producidas por los corredores potenciales principalmente para especies, donde el 50% de los parches no superan los 7,66 m lineales y disminuyendo los valores de quiebre del tercer y cuarto cuartil entre uno a seis metros (Tabla 7).

A diferencia con la incorporación de los corredores potenciales para especies, la distribución de los espacios verdes asociados a cursos hídricos al cuartil mas lejano (4to) se encuentran de forma más aleatoria, pero en el caso de los parches hasta el segundo cuartil (5,5 m - 8,0 m) se concentran en el sector oriente de la trama urbana de Santiago, ligados a los canales San Carlos y Las Perdices y a las áreas verdes quebradas (Figura 35).

En cuanto a las áreas verdes urbanas, se observa un aumento en la cercanía con la inclusión de los corredores potenciales para personas, esto sí, solamente en el segundo y tercer cuartil, dejando el valor máximo sin modificaciones (Tabla 7). Adicionalmente se observa un patrón muy similar en la distribución de los rangos de

distancias en el paisaje Metropolitano de Santiago entre los dos tipos de corredores potenciales (Figura 35).

En el caso de los espacios verdes urbanos se produce un efecto similar al de los corredores potenciales para especies en el 50% de los parches de menor distancia, reduciendo y generando una sola categoría entre el primer y segundo cuartil, en donde la diferencia radica que el valor máximo de distancia lineal se ve mayormente disminuido con este tipo de corredor (Tabla 7), siendo en más de 600 m lineales la reducción. Esto genera que la distribución de los valores de distancias en cuartiles (Figura 35) se observe muy similar entre ambos tipos de corredores.

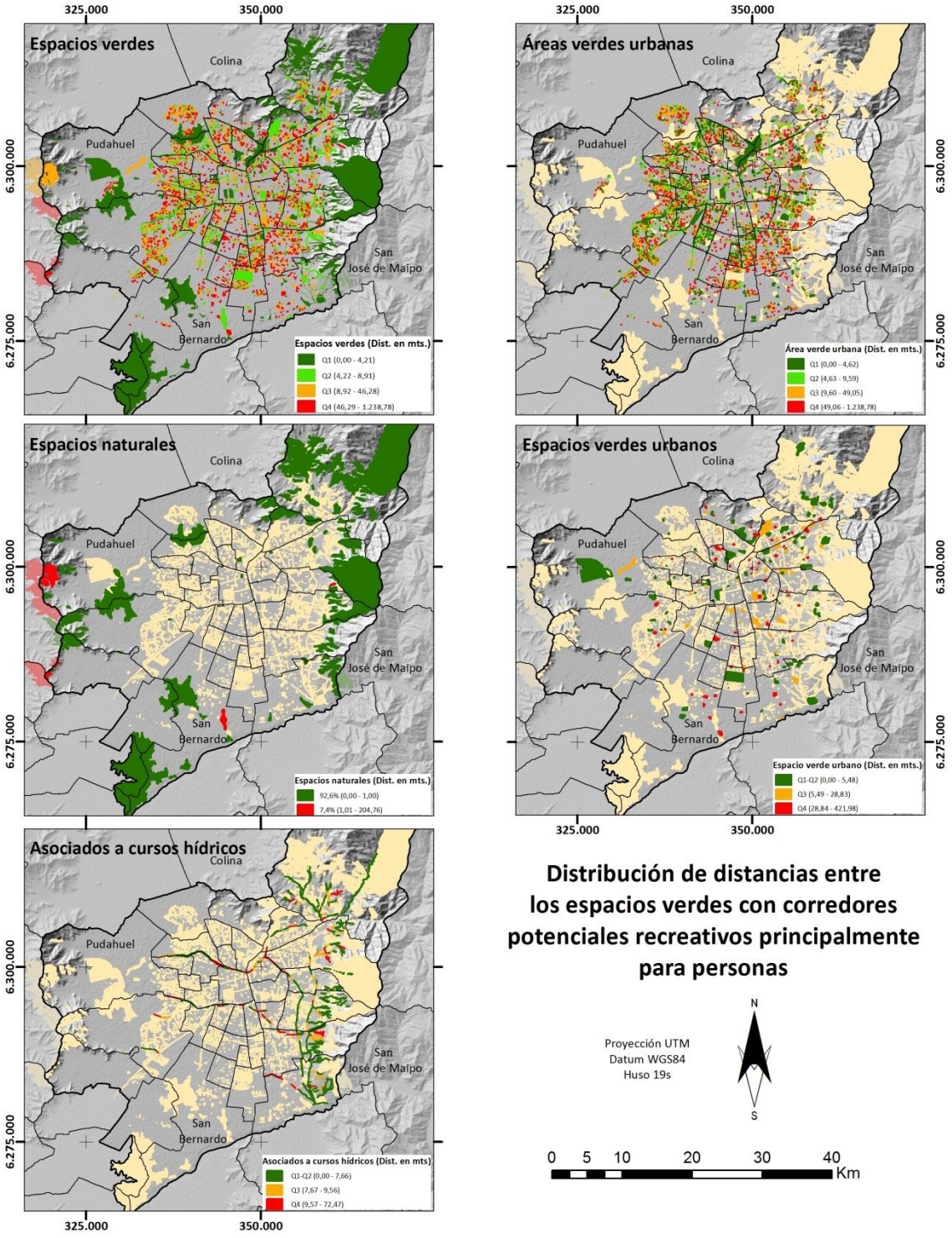
Tabla 7. Distancias entre espacios verdes, incluyendo corredores potenciales recreativos

Distancias sin corredores				Distancias con corredores potenciales		
Espacios verdes				**Espacios verdes**		
Cuartil	***Rango***	***Recorrido***		***Cuartil***	***Rango***	***Recorrido***
1er	0,00 - 5,82	5,82		1er	0,00 - 4,21	4,21
2do	5,83 - 11,02	5,19		2do	4,22 - 8,91	4,69
3er	11,03 - 55,16	44,13		3er	8,92 - 46,28	37,36
4to	55,17 - 2.679,75	2.464,58		4to	46,29 - 1.238,78	1.192,49
Espacios naturales				**Espacios naturales**		
Cuartil	***Rango***	***Recorrido***		***%***	***Rango***	***Recorrido***
1er	0,00	0,00		92,60%	0,00 - 1,00	1,00
2do	0,01 - 47,60	47,59		7,40%	1,01 - 204,76	203,76
3er	47,61 - 151,97	104,36				
4to	151,98 - 2.679,75	2.527,77				
Espacios verdes asociados a cursos hídricos				**Espacios verdes asociados a cursos hídricos**		
Cuartil	***Rango***	***Recorrido***		***Cuartil***	***Rango***	***Recorrido***
1er	0,00 - 5,48	5,48		1er - 2do	0,00 - 7,66	7,66
2do	5,49 - 8,00	2,51		3er	7,67 - 9,56	1,89
3er	8,01 - 11,24	3,23		4to	9,57 - 72,47	62,90
4to	11,25 - 78,15	66,90				
Áreas verdes urbanas				**Áreas verdes urbanas**		
Cuartil	***Rango***	***Recorrido***		***Cuartil***	***Rango***	***Recorrido***
1er	0,00 - 6,00	6,00		1er	0,00 - 4,62	4,62
2do	6,01 - 11,52	5,51		2do	4,63 - 9,59	4,96
3er	11,53 - 56,30	44,77		3er	9,60 - 49,05	39,45
4to	56,31 - 1.238,78	1.182,47		4to	49,06 - 1.238,78	1.189,72

Espacios verdes urbanos				Espacios verdes urbanos		
Cuartil	***Rango***	***Recorrido***		***Cuartil***	***Rango***	***Recorrido***
1er	0,00	0,00		1er - 2do	0,00 - 5,48	5,48
2do	0,01 - 10,14	10,13		3er	5,49 - 28,83	23,34
3er	10,15 - 60,18	50,03		4to	28,84 - 421,98	393,14
4to	60,19 - 1.050,95	990,76				

Fuente: Elaboración propia

Figura 35. Frecuencias de distancias entre espacios verdes con corredores para personas principalmente recreativos



Fuente: Elaboración propia

La incorporación de la estructura troncal básica de corredores verdes potenciales, tiene un efecto parecido a los corredores potenciales para especies en la disminución de las distancias (Apéndice 3), en donde el valor máximo del cuarto cuartil (valor mas lejano) disminuye en más de un kilómetro de distancia lineal, mientras los cuartiles menores (1er, 2do y 3ro) su disminución es relativamente más pequeña. Debido a esto existe una similitud en la distribución espacial de las distancias entre espacios verdes observadas en Figura 36 con la obtenida con la incorporación de los corredores potenciales para especies.

En el caso particular de los espacios naturales, el 50% presentarían distancias igual a cero (Tabla 8) al incorporar la estructura troncal básica. Mientras en el tercer cuartil, si bien se aprecia que el recorrido es mayor al inicial, los valores de quiebre del rango son sustancialmente menores, esto último se repite en el cuarto cuartil pero la diferencia que el recorrido es casi dos kilómetros menor que las distancias lineales originales. En cuanto a la distribución espacial de los espacios verdes según distancias observadas en Figura 36, los valores más del tercer y cuarto cuartil se asocian principalmente a bosques y renovales nativos y algunos cerros islas como el cerro Negro en San Bernardo.

Las distancias obtenidas para los espacios verdes asociados a cursos hídricos (Tabla 8), si bien la distancia máxima se mantiene, también lo hacen como las menores distancias entre todos los espacios verdes, aglomerando en el segundo cuartil distancias que no son superiores a 5,23 m lineales, disminuyendo el recorrido en el segundo y tercer cuartil, pero aumentando el recorrido en el último cuartil debido a mantener la distancia máxima. Las distancias lineales mayores correspondientes al cuarto cuartil se concentran espacialmente en el sector oriente de la trama urbana asociada a áreas verdes quebradas y áreas verdes ribereñas del canal las Perdices (Figura 36).

Acorde a los resultados presentados anteriormente, las distancias lineales de las áreas verdes urbanas son las menos modificadas por los corredores potenciales, cabe recordar que las áreas verdes urbanas corresponden a 7.445 parches. Por lo cual el patrón espacial en la Figura 36 se repite de forma muy similar a las anteriores, rescatando que las áreas verdes urbanas de gran tamaño distinguibles se encuentran principalmente en el primer cuartil, con las distancias de mayor cercanía.

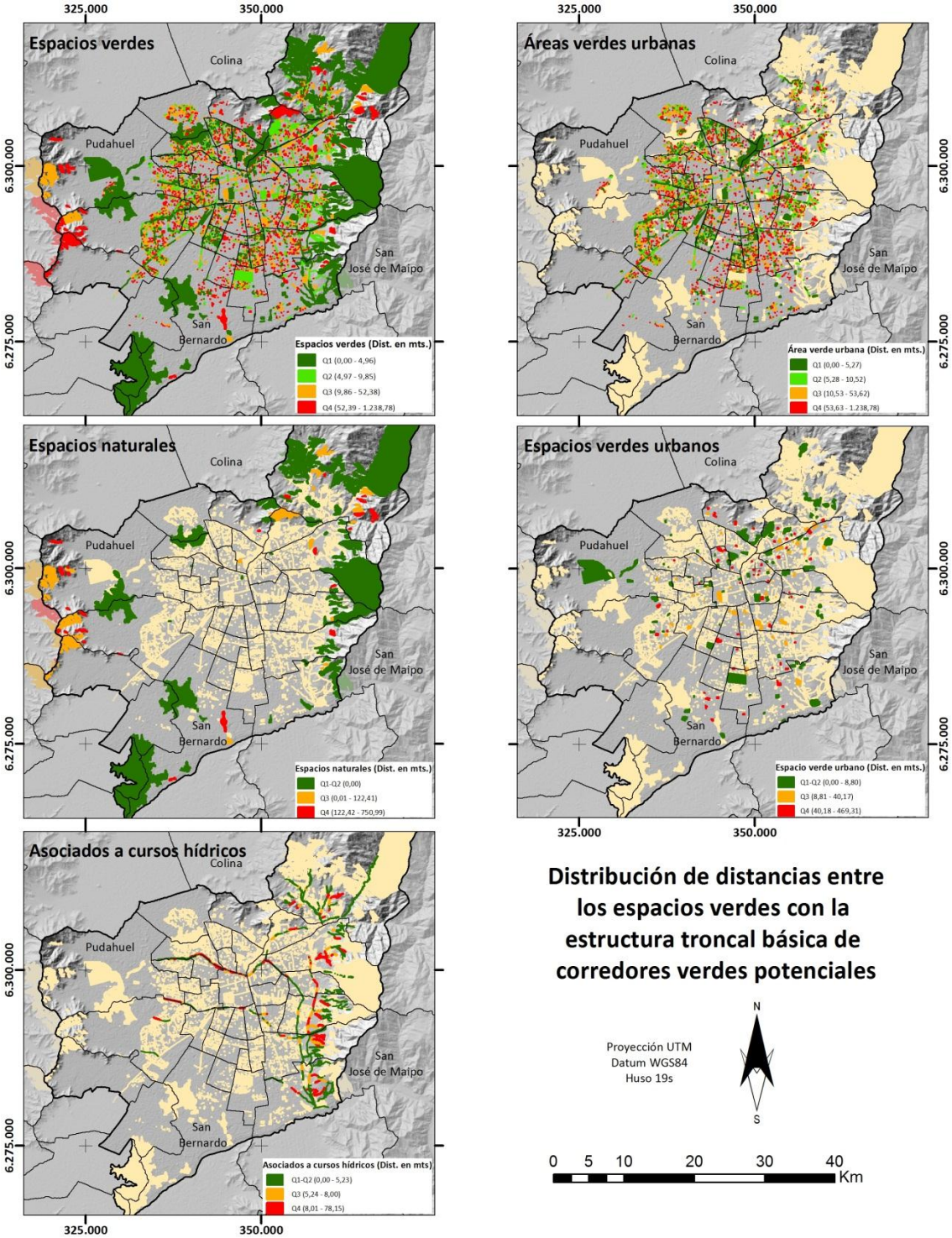
En las distancias lineales de los espacios verdes urbanos, se produce el mismo efecto de agrupación en el 50% de los parches, si bien el valor máximo del segundo cuartil disminuye solamente dos metros aproximadamente, esta disminución es progresivamente más alta a medida que pasamos al valor máximo del tercer cuartil el cual disminuye 20 m lineales y el del cuarto cuartil disminuye drásticamente en más de 500 m lineales (Tabla 8). En tanto el patrón espacial de distribución de las distancias observadas en Figura 36 muestra que se mantiene casi inalterable con los distintos corredores potenciales.

Tabla 8. Distancias entre espacios verdes, incluyendo estructura troncal básica, corredores potenciales para especies y recreativo

Distancias sin corredores				Distancias con estructura troncal básica		
Espacios verdes				**Espacios verdes**		
Cuartil	***Rango***	***Recorrido***		***Cuartil***	***Rango***	***Recorrido***
1er	0,00 - 5,82	5,82		1er	0,00 - 4,96	4,96
2do	5,83 - 11,02	5,19		2do	4,97 - 9,85	4,88
3er	11,03 - 55,16	44,13		3er	9,86 - 52,38	42,52
4to	55,17 - 2.679,75	2.464,58		4to	52,39 - 1.238,78	1.186,39
Espacios naturales				**Espacios naturales**		
Cuartil	***Rango***	***Recorrido***		***Cuartil***	***Rango***	***Recorrido***
1er	0	0		1er - 2do	0	0
2do	0,01 - 47,60	47,59		3er	0,01 - 122,41	122,4
3er	47,61 - 151,97	104,36		4to	122,41 - 750,99	628,58
4to	151,98 - 2.679,75	2.527,77				
Espacios verdes asociados a cursos hídricos				**Espacios verdes asociados a cursos hídricos**		
Cuartil	***Rango***	***Recorrido***		***Cuartil***	***Rango***	***Recorrido***
1er	0,00 - 5,48	5,48		1er - 2do	0,00 - 5,23	5,23
2do	5,49 - 8,00	2,51		3er	5,24 - 8,00	2,76
3er	8,01 - 11,24	3,23		4to	8,01 - 78,15	70,14
4to	11,25 - 78,15	66,9				
Áreas verdes urbanas				**Áreas verdes urbanas**		
Cuartil	***Rango***	***Recorrido***		***Cuartil***	***Rango***	***Recorrido***
1er	0,00 - 6,00	6		1er	0,00 - 5,27	5,27
2do	6,01 - 11,52	5,51		2do	5,28 - 10,52	5,24
3er	11,53 - 56,30	44,77		3er	10,53 - 53,62	43,09
4to	56,31 - 1.238,78	1.182,47		4to	53,63 - 1.238,78	1.185,15
Espacios verdes urbanos				**Espacios verdes urbanos**		
Cuartil	***Rango***	***Recorrido***		***Cuartil***	***Rango***	***Recorrido***
1er	0	0		1er - 2do	0,00 - 8,80	8,8
2do	0,01 - 10,14	10,13		3er	8,81 - 40,17	31,36
3er	10,15 - 60,18	50,03		4to	40,18 - 469,31	429,13
4to	60,19 - 1.050,95	990,76				

Fuente: Elaboración propia

Figura 36. Frecuencias de distancias entre espacios verdes con estructura troncal básica



Fuente: Elaboración propia

Al analizar los potenciales efectos sobre las distancias entre los diversos espacios verdes provocados por los distintos corredores mediante distancias fijas (Tabla 9), se puede apreciar que los espacios verdes aumentan en más del doble los que tendrían distancias igual a cero con los corredores para especies y recreativos, y en casi el doble con la estructura troncal básica. Mientras en los otros rangos generados, se observa que disminuyen el número de parches entre 101-205 m independiente del tipo de corredor y además se reducen los valores más lejanos (sobre 1000 m).

En cuanto a los espacios naturales, son los corredores potenciales para especies y recreativos los que provocan una mayor disminución en las distancias actuales, pero en mayor medida los corredores potenciales recreativos, generando distancias inferiores a 250 m. Si bien la estructura troncal básica también disminuye las distancias, lo realiza en menor medida, incluso mantiene dos parches entre 501-1000 m (Tabla 9).

Los valores de distancias obtenidos para las áreas verdes asociadas a cursos hídricos, muestran una mayor disminución de la lejanía entre parches con la inclusión de los corredores potenciales para especies que con los otros corredores, aunque cabe señalar que los valores extremos no superan los 100 m (Tabla 9).

Con respecto a las áreas verdes urbanas, se aprecia una disminución de parches en las distancias superiores a 6 m, y sobretodo con la inclusión de los corredores potenciales recreativos (Tabla 9). Además se aprecia un notable aumento en parches con distancias iguales a cero con cualquier tipo de corredor.

La disminución de distancias entre los parches de los espacios verdes urbanos, mantiene la misma tendencia que los demás tipos de espacios verdes, disminuyendo considerablemente a partir de los 6 a 25 m, y aumento los parches con valores cercanos a cero, con una mayor disminución provocada por los corredores potenciales recreativos.

En general con la inclusión de los corredores potenciales recreativos son los que más disminuyen la distancia entre parches de los diferentes tipos de espacios verdes, seguido de los corredores potenciales para especies y en menor medida la estructura troncal básica, aunque cabe señalar de acuerdo a la Tabla 9, que en ciertos rangos de distancias entre parches, la disminución de la lejanía es mayor con la estructura

troncal básica que con los corredores potenciales para especies, esto tiene relación con que la estructura troncal básica es generada a partir de los dos tipos de corredores potenciales.

Tabla 9. Resumen con distancias fijas entre espacios verdes, según corredor potencial

	Rango distancias (m)	Número de parches según			
		Sin corredores	Con corredores potenciales para especies	Con corredores potenciales recreativos	Con estructura troncal básica
Espacios verdes	0	395	909	996	758
	1-5	1.281	1.339	1.364	1.313
	6-25	3.423	3.056	3.134	3.180
	26-50	767	742	772	751
	51-100	1.292	1.227	1.166	1.244
	101-250	830	748	619	765
	251-500	138	112	91	122
	501-1.000	16	12	3	12
	1.001-1.500	3	1	1	1
	1.501-3.000	1	0	0	0
Espacios naturales	0	44	98	113	61
	1-5	1	2	1	1
	6-25	9	1	3	7
	26-50	9	5	0	6
	51-100	14	3	2	10
	101-250	31	9	3	26
	251-500	10	3	0	9
	501-1.000	2	1	0	2
	1.001-1.500	1	0	0	0
	1.501-3.000	1	0	0	0
Asociadas a cursos hídricos	0	61	180	115	146
	1-5	28	29	24	33
	6-25	255	144	210	171
	26-50	13	5	9	7
	51-100	4	3	3	4
Áreas verdes urbanas	0	226	546	675	477
	1-5	1.238	1.294	1.329	1.265
	6-25	3.088	2.848	2.863	2.934
	26-50	736	726	754	728
	51-100	1.250	1.198	1.140	1.207
	101-250	772	719	594	717
	251-500	121	103	86	106
	501-1.000	13	10	3	10
	1.001-1.500	1	1	1	1
Espacios verdes urbanos	0	64	85	93	74
	1-5	14	14	10	14
	6-25	71	63	58	68
	26-50	9	6	9	10
	51-100	24	23	21	23
	101-250	27	20	22	22
	251-500	7	6	5	7
	501-1.000	1	1	0	0
	1.001-1.500	1	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

Si bien la generación de la tipología de espacios verdes propuesta en la presente investigación resulta complementaria y avanza en las propuestas de Zhang y Wang (2006), Kong *et al.* (2010) y Teng *et al.* (2011), las cuales han sido tipologías sencillas como la expuesta por Kong *et al.* (2010) solamente con ocho categorías, la presente tipología permitió una descripción más completa y diferenciada de las características de los espacios verdes, queda pendiente evaluar y ajustar dicha tipología de acuerdo a las diferentes características que presentan los espacios verdes según la comuna donde se encuentren.

En relación a esto último, se recomienda para futuros trabajos evaluar la inclusión del parque Metropolitano de Santiago y del santuario de la naturaleza como parques naturales, esto debido a que las características areales descritas mediante las métricas de paisaje y análisis estadístico de superficies son muy similares entre ellos. Sin embargo, habría que tener en consideración sus diferencias en normativas y competencias sectoriales entre otros.

El presente trabajo da cuenta que la utilización de métricas de paisaje para evaluar la situación actual de la distribución de espacios verdes en áreas urbanas, no permite dimensionar en su totalidad la estructura existente, debido principalmente a entregar un solo valor por tipo de espacio verde y no mostrar como los valores se distribuyen en el área de estudio. Por lo cual se tuvo que utilizar métodos adicionales para complementar el análisis, esto a diferencia de los trabajos de Zhang y Wang (2006) y Teng *et al.* (2011), los cuales utilizan las métricas de paisaje, sin ningún análisis crítico, para la descripción del estado actual y la evaluación con la red de corredores propuesta.

En este sentido, cabe destacar la propuesta de utilizar una malla vectorial llamada *fishnet,* para el análisis de la distribución de los espacios verdes, la cual permitió homogenizar el espacio y facilitar la comparación entre unidades espaciales regulares, e identificar zonas con menor superficie de espacios verdes a una escala intracomunal, logrando aportar resultados complementarios a los del trabajo de Reyes y Figueroa (2010). Además, se logró identificar que los espacios verdes lineales existentes resultan generar un aporte a la mayor cobertura de ellos.

Los resultados sobre la distribución y superficie de los espacios verdes en la Metrópolis de Santiago son complementarios a los expuestos por Reyes y Figueroa (2010), profundizando y aportando información adicional, cabe señalar que solamente se analizó la distribución de los espacios verdes por si solos, sin la inclusión de datos de población, a diferencia de Reyes y Figueroa (2010), por lo cual los resultados sobre distribución de espacios verdes cambiarían de forma sustancial, de la misma forma tampoco los resultados presentados se pueden relacionar con arbolado urbano o cobertura de vegetación, como lo realizado por Hernández (2008).

Como en los trabajos de Zhang y Wang (2006), Kong *et al.* (2010) y Teng *et al.* (2011), en el presente trabajo también se utilizó un método diferente a los propuestos por los autores señalados para la evaluación de los corredores propuestos, en este sentido, se puede afirmar que el análisis de distancias entre los diferentes tipos de espacios verdes permite identificar la relación de proximidad y lejanía entre los distintos espacios verdes, permitiendo evaluar el potencial efecto de los corredores sobre la proximidad entre los parches. Queda pendiente si analizar la posibilidad de compatibilidad y complementariedad a otros métodos, como el de grafos y modelos de gravedad propuesto por Kong *et al.* (2010).

La propuesta de Vásquez (2016) de utilizar lógica difusa para generar las capas de costos o de impedancia, es un avance en relación a los trabajos de Kong *et al.* (2010) y Teng *et al.* (2011), ya que permite asignar los costos de manera mas prudente, entendiendo el comportamiento espacialmente continuo de la mayoría de los factores y que es una primera aproximación de propuesta de corredores verdes en el Paisaje Metropolitano de Santiago y por lo tanto el comportamiento de las variables aún no se encuentra totalmente descrito.

Por otra parte, se recomienda utilizar este método en escalas inferiores a 1:50:000, tal como se hizo en la presente investigación, debido a la escala de las variables utilizadas y a la exclusión de temas de diseño urbanístico de detalle, por ejemplo, ancho de calzada, acera, cierres perimetrales, ancho o existencia de separadores o medianas, bermas, etc. Elementos que no fueron incorporados al presente modelo y tampoco en los modelos propuestos por Kong *et al.* (2010), Teng *et al.* (2011) y Vásquez (2016).

Una limitación de la metodología corresponde al resultado obtenido mediante el método de densidad de Kernel con el cual se obtuvo la estructura troncal básica. Este

método propuesto por Teng *et al.* (2011) identifica la mayor densidad de corredores es un área determinada, pero no necesariamente la mayor densidad obtenida corresponde a la coexistencia de ambos tipos de corredores potenciales, si no que la mayor presencia de dos o más corredores de un solo tipo resulta en valores altos de densidad. Por lo tanto, un alto valor de densidad no se asocia necesariamente a la coincidencia de dos tipos de corredores, o dicho de otra forma, a segmentos multifuncionales. En esta investigación la red potencial de corredores para especies influencio en mayor medida las densidades que la red de corredores recreativos.

Si bien en la estructura troncal básica no se ve mayormente reflejada la red de corredores recreativos, si existe un avance considerable al incorporar esta red y la mayor profundidad en su modelamiento en comparación a experiencias de Kong *et al.* (2010) y Teng *et al.* (2011). Sin embargo, aún queda abierta la discusión sobre la pertinencia de estas variables y la incorporación de otras.

Otra limitación del trabajo corresponde a la selección de nodos y sub-nodos, esta selección debe ser repensada y adicionar variables como es el grado de aislamiento de los espacios verdes, en vez de trabajar solamente en características de superficie y distancia a núcleos, con el fin de disminuir su aislamiento y favorecer áreas de la mancha urbana con déficit de espacios verdes.

Los resultados obtenidos en las modelaciones de corredores para especies y recreativos, muestran un aporte a los trabajos de Kong *et al.* (2010), Teng *et al.* (2011), al identificar corredores principales y secundarios, dependiendo del elemento que se esté conectando. Pero a la vez queda pendiente para futuros trabajos la incorporación de esta lógica en la estructura troncal básica.

Resulta importante destacar los espacios verdes lineales de la zona poniente de la mancha urbana de Santiago, los cuales forman un interesante circuito en ambas modelaciones, donde se aprovechan los espacios verdes asociados a la Ruta 68 – Av. Gral. Bonilla; Av. Las Torres; Ruta 78 – Canal Zanjón de la Aguada. Estos también aparecen en la estructura troncal básica conectando los espacios verdes fuera del área construida en la zona poniente con el centro de Santiago, específicamente el parque O'Higgins.

Asimismo, resultan interesantes las zonas donde limitan las comunas de San Miguel y La Cisterna y elementos de gran tamaño como el campus Antumapu, ya que no se presentan ningún tipo de corredor, teniendo en cuenta que debido a su tamaño se esperaba que algún corredor pasara por dichos parches. Estos vacíos se deben principalmente a la escasez de espacios verdes alrededor de ellos.

Al igual que en los trabajos de Kong *et al.* (2010) y Teng *et al.* (2011) sigue pendiente, el cálculo de los costos de construcción de los corredores potenciales en el caso de la Metrópolis de Santiago. Dentro de las limitaciones para realizar el cálculo, están las considerables diferencias en las características estructurales de los espacios verdes según la comuna en que se encuentren, y adicionalmente también tiene relación con la escala de trabajo utilizada.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

A partir del análisis realizado en el presente trabajo no queda totalmente demostrado que la estructura de los espacios verdes existentes en el Paisaje Metropolitano de Santiago es altamente fragmentada y aislada, ya que a la vista de los resultados esto depende del tipo de espacios verdes y donde se encuentre localizado, existiendo zonas y tipos de espacios verdes altamente cercanos. Pese a que la situación actual de la estructura del paisaje no parece ser tan deficiente, si se puede afirmar que la propuesta de corredores verdes mejora significativamente la cercanía de los espacios verdes, dejando la hipótesis general del presente trabajo aceptada parcialmente.

Dentro de la mejora significativa, destacan los espacios naturales, que son los espacios verdes que actualmente se encuentran más aislados, y que con las diferentes propuestas de corredores verdes su distancia disminuye muy importantemente, permitiendo no solamente aumentar la proximidad de elementos naturales con elementos verdes antrópicos a través de corredores potenciales, si no también elementos de gran importancia áreal en el área urbana como lo son los cerros islas.

En relación a la estructura actual de los espacios verdes, se evidencia que depende del tipo de espacio verdes del cual se analice, en donde por ejemplo son los espacios verdes asociados a cursos hídricos, los que se constituyen como los espacios verdes que presentan las menores distancias entre si y con cualquier otro tipo de espacio verde.

A pesar de lo atomizado y disperso en que se encuentran las áreas verdes urbanas dentro del Paisaje Metropolitano de Santiago, se demuestra mediante la utilización de la malla vectorial y análisis de distancias, que existen zonas en particular al interior de algunas comunas con una baja densidad, dejando entrever la necesidad de generar análisis de espacios verdes por población a una escala intracomunal.

Estas zonas de baja densidad des espacios verdes se ven reflejadas en la generación de las redes de corredores potenciales, ya que a partir de los costos obtenidos y la selección de elementos a conectar, los corredores tienden a no presentarse en estas zonas. Lo anterior podría ser suplido al forzar la conexión de espacios verdes más aislados como un elemento a conectar.

De acuerdo a lo anterior, se debería evaluar y revisar los criterios utilizados para la selección de los sub-nodos, en cambio la utilización de núcleos y nodos cumplió los objetivos planteados en la presente investigación.

En cuanto a la primera hipótesis específica, queda demostrado que en el Paisaje Metropolitana de Santiago existe una potencialidad disímil para la generación de corredores verdes, pudiéndose apreciar un mayor potencial en torno a los cursos hídricos ya sean artificiales o naturales y a las rutas interurbanas que inician al interior de la mancha urbana.

En relación a esto, la configuración espacial obtenida en la red integrada denominada estructura troncal básica, da cuenta del potencial que tienen los cursos hídricos, que se insertan y atraviesan el área urbana de Santiago, al tender a generar corredores potenciales alrededor de sus ejes hídricos.

Los resultados de las redes propuestas y modeladas de ambos tipos de corredores indican que existen diferencias significativas en su número, patrón y complejidad, donde el corredor de especies al tener costos más altos dentro de la mancha urbana, tienden a converger en elementos como lo son los cursos hídricos, lo cual provoca una mayor influencia en la obtención de la red integrada denominada estructura troncal básica, ya que los corredores recreativos al tener una estructura más radial dentro de la mancha urbana no tienden a confluir y generar una mayor densidad en un área más delimitada. Adicionalmente los corredores potenciales para especies presentan una mayor curvinealidad o sinuosidad que los corredores potenciales recreativos.

A la luz de los resultados obtenidos en la red modelada de corredores potenciales recreativos principalmente, se recomienda utilizar y evaluar costos o superposiciones difusas más restrictivas dentro de la mancha urbana o el complejizar el método de densidad de kernel, para que así se tenga una mayor influencia en la estructura troncal básica y no se pierda la red en múltiples ramificaciones que finalmente no sean factibles de erigir.

Debido al patrón radial obtenido en los corredores potenciales recreativos, estos se convierten en los corredores potenciales con mayor impacto en la proximidad entre espacios verdes, pero a la vez son menos eficientes debido a su mayor dispersión, con respecto a los corredores potenciales para especies.

Finalmente, este trabajo aporta principalmente en términos metodológicos, al profundizar y complejizar los métodos utilizados para la modelación de corredores verdes usando SIG, generando una mayor argumentación en la forma de asignar los costos de desplazamiento, definición de elementos a conectar y clasificación de espacios verdes. Adicionalmente se entregan nuevos antecedentes para la discusión de la distribución de espacios verdes en el Paisaje Metropolitano de Santiago y la creación de corredores verdes.

BIBLIOGRAFÍA

AHERN, J. Greenways as a Planning Strategy. *Landscape and Urban Planning*. 1995, Vol. 33, pp. 131–55. ISSN 0169-2046.

ARCGIS RESOURCE 10.1, *ESRI. ArcGIS Help 10.1. Resource Center* [en línea]. 2013. [fecha de consulta: 12 julio 2015]. Disponible en: http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html

BARNES, T.G. Landscape Ecology and Ecosystems Management. *Cooperative Extension Service* [en línea]. 2000. FOR 76. 8 págs. [fecha de consulta: 16 julio 2015]. Disponible en: http://www2.ca.uky.edu/agcomm/pubs/for/for76/for76.pdf

BEIER, P., GARDING, E., MAJKA, D. *Arizona Missing Linkages: Granite Mountain-Back Hills Linkage Design*. 2008. Report to Arizona Game and Fish Department. School of Forestry, Northern Arizona University. 113 págs.

BUENO, J.A., VASSILIOS, A.T., ALVAREZ, L. South Florida greenways: a conceptual framework for the ecological reconnectivity of the region. *Landscape and Urban Planning*. 1995. Vol. 33, pp. 247–266. ISSN 0169-2046.

BUZAI, G.D. 2012. Evaluación multicriterio en la búsqueda de sitios candidatos para ubicar nuevos centros de salud. Síntesis teórico-metodológica. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*.[en línea] 2012. (GESIG-UNLU, Luján). Año 4, N° 4, Sección II:.1-9. [fecha de consulta: 20 junio 2015]. Disponible en: www.gesig-proeg.com.ar

CENTRO DE ESTUDIOS AMBIENTALES DEL AYUNTAMIENTO DE VITORIA-GASTEIZ, CEA. *La infraestructura verde urbana de Vitoria-Gasteiz*. Documento de propuesta. 2014. Ayuntamiento Vitoria-Gasteiz, España, 94 págs.

CONINE, A., XIANG, W.-N., YOUNG, J., WHITLEY, D. Planning for multi-purpose greenways in Concord, North Carolina. *Landscape and Urban Planning*, 2004. Vol. 68(2), pp. 271–287. ISSN 0169-2046.

DE MATTOS, C. Movimientos del capital y expansión metropolitana en las economías emergentes Latinoamericanas. *Revista de Estudios Regionales* [en linea] 2001, (mayo-

agosto): [Fecha de consulta: 9 de julio de 2015] Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75506001 ISSN 0213-7585

DE LA MAZA, C., HERNÁNDEZ, J., BOWN, H., RODRÍGUEZ, M., ESCOBEDO, F. Vegetation diversity in the Santiago de Chile urban ecosystem. *Arboricultural Journal.* 2002. Vol. 26, pp. 347–357

DÍAZ, I., ARNESTO, J. La conservación de las aves silvestres en ambientes urbanos de Santiago. *Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA*. 2003. Vol. 19(2). pp. 31-38.

ESCOBEDO, F., NOWAK, D., WAGNER, J., DE LA MAZA, C., RODRÍGUEZ, M., CRANE, D., HERNÁNDEZ, J. The socioeconomics and management of Santiago de Chile's public urban forests. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2006. Vol 4, pp. 105–114.

FABOS, J. G. Introduction and overview: The greenway movement, uses and potentials of greenways. *Landscape Urban Planning*, 1995. Vol. 33(1–3), pp. 1–13. ISSN 0169-2046.

FORMAN, R. T. T. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge. U.K. Cambridge University Press. 1995..

FORMAN, R. T. T., GODRON, M. *Landscape Ecology (1th Edition)*. New York, EE.UU. Wiley. 1986. ISSN 0169-2046.

FUENTES, C. *Evaluación socio-ambiental de los efectos de la variación en la escorrentía superficial derivada del proceso de urbanización en la cuenca de Macul, entre 1975 – 2007*. Memoria para optar al Titulo de Geógrafo, Universidad de Chile, Santiago. 2009

FUNDACIÓN DE FERROCARRILES ESPAÑOLES. GERENCIA DE VÍAS VERDES Y MEDIOS AMBIENTE. *Mapa de las vías verdes españolas* [en línea]. 2015. [Fecha de consulta: 3 de mayo de 2015] Disponible en: http://www.viasverdes.com/pdf/Folleto_VV_2014.pdf

GAYOSO, J., GAYOSO, S. *Diseño de zonas ribereñas. Requerimiento de un ancho mínimo*. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 12 págs. 2003.

GOBIERNO REGIONAL METROPOLITANO DE SANTIAGO. *SIG Catastro de Áreas Verdes RMS 2009*. Santiago, Chile.

GOBIERNO REGIONAL METROPOLITANO DE SANTIAGO. *Actualización de la carta de uso de suelo en la Región Metropolitana*. Santiago, Chile. 2009.

HENRÍQUEZ, C., AZÓCAR G., ROMERO, H. Monitoring and modelling the urban growth of two mid-sized Chilean cities. *Habitat International*. 2006. Vol. 30(4). pp. 945–964. ISSN 0197-3975.

HERNÁNDEZ, J. La situación del arbolado urbano en Santiago. *Revista de Urbanismo*. 2008. n. 18. pp. 1-8. ISSN 0717-5051.

ISAACS, P. *Modelo de conectividad espacial empleando sistemas de información geográfica, calidad de hábitat y distribución caso Tapir de montaña (Tapirus pinchaque) en el eje cafetero colombiano*. Tesis para optar al grado de Magíster en Geomática. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia. 2011.

KONG, F., YIN, H., NAKAGOSHI, N., ZONG, Y. Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling. *Landscape and Urban Planing*, 2010. Vol. 95(1–2), pp. 16–27. ISSN 0169-2046.

MCGARIGAL, K. *FRAGSTATS HELP. Tutorial, Versión 4.2.* University of Massachusetts, Amherst. 2014. 182 págs.

MAHESH KUMAR, J., P.K. GARG, DEEPAK K. Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2008. Vol. 10(1). pp. 26–43.

Chile, Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (Texto Refundido). 2014. 377 págs.

MOLINA, M. *Efectos de los tipos de urbanización asociados al crecimiento urbano del área metropolitana de Santiago sobre la generación y comportamiento de micro islas de calor*. Memoria para optar al Titulo de Geógrafo, Universidad de Chile, Santiago. 2007.

NOWAK, D., MCPHERSON, E. Cuantificación del impacto ambiental de los árboles en Chicago. *Unasylva*. 1993. Vol. 44, n. 173. ISSN 0251-1584.

NOWAK, D. Understanding the structure of urban forests. *Journal of Forestry*, 1994. Vol. 92, N 10, pp. 42–46.

REYES, S., FIGUEROA, I. Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. *Revista EURE* [en línea]. 2010, Vol.36, n.109 [Fecha de consulta: 2 de enero 2015], pp. 89-110. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612010000300004&lng=es&nrm=iso. ISSN 0250-7161.

ROMERO, H., LÓPEZ, C. Variaciones de la funcionalidad ambiental del mosaico de paisaje vegetal del Gran Santiago entre 1975 y 2007. *Coloquio Internacional Construyendo Resiliencia de los Territorios*. Instituto de Geografía, Universidad Católica de Valparaíso, 17-19 de octubre de 2007.

ROMERO, H., MOLINA, M., MOSCOSO, C., SARRICOLEA, P., SMITH, P., VÁSQUEZ, A. Caracterización de los Cambios de Usos y Coberturas de Suelos Causados por la Expansión Urbana de Santiago, Análisis Estadístico de sus Factores Explicativos e Inferencias Ambientales. en: DE MATTOS, C., HIDALGO R. *Reconfiguración Metropolitana y Movilidad Espacial en Santiago*. Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales e Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2007. 251 – 270 pp.

PAULEIT, S., ENNOS, R., GOLDING, Y. Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change: a study in Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning*. 2005. Vol 71, pp. 295-310. ISSN 0169-2046.

SANDSTRÖM, U.G., ANGELSTAMA, P., MIKUSINSKIA, G. Ecological diversity of birds in relation to the structure of urban green space. *Landscape and Urban Planning*. 2006. Vol. 77(1–2), pp. 39–53. ISSN 0169-2046.

SARRICOLEA, P. *Análisis de la sustentabilidad del crecimiento urbano de la ciudad de Santiago y sus efectos sobre la configuración de las temperaturas superficiales*. Tesis para optar para el grado de Magíster. Universidad de Chile. Santiago. 2008.

SECTRA – MINISTERIO DE TRANSPORTE Y TELECOMUNICACIONES – MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL. *Metodología para la formulación y evaluación de planes maestros de ciclo-rutas*. Santiago, Chile. 43 págs. 2011.

SECTRA – MINISTERIO DE TRANSPORTE Y TELECOMUNICACIONES – MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL. *Metodología para la formulación y evaluación de planes maestros de ciclo-rutas*. Santiago, Chile. 45 págs. 2013.

SECTRA – MINISTERIO DE TRANSPORTE Y TELECOMUNICACIONES. *Catastro y georreferenciación de ciclo vías existentes del Gran Santiago*. Santiago, Chile. 141 págs. 2014.

STOCK, R. (2014). Emerald necklace – infraestrutura urbana. Projetada como paisagem. *Revista LABVERDE.*[en línea] 2014. n. 9. Artículo 6. pp. 106-127. [Fecha de consulta: 18 de julio de 2015] Disponible en http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-2275.v0i9p106-127 .

TENG, M., WU, C., ZHOU, Z., LORD, E., ZHENG, Z. . Multipurpose greenway planning for changing cities: A framework integrating priorities and a least-cost path model. *Landscape and Urban Planning*, 2011. Vol 103(1). pp 1-14. ISSN 0169-2046

URQUIZA, A., MELLA, J. Riqueza y diversidad de aves en parques de Santiago durante el período estival. *Boletín Chileno de Ornitología*. 2002. Nro 9. pp. 12-21.

UGALDE, I. Un XXXL también se cose con puntadas pequeñas: lo social en las estructuras verdes de algunas periferias europeas. Revista electrónica Identidades: territorio, cultura, patrimonio [en línea], 2013. n. 4. [Fecha de consulta: 28 de enero de 2016] Disponible en: http://www.raco.cat/index.php/Identidades/article/view/265490

US GEOLOGICAL SURVEY, USGS. *The Branch of Quality Systems (BQS).*[en línea]. 2002 [fecha de consulta: 10 de septiembre de 2015] Disponible en https://bqs.usgs.gov/

VÁSQUEZ, A. *Vegetación urbana y desigualdades socio- económicas en la comuna de Peñalolén, Santiago de Chile*. Una perspectiva de justicia ambiental. Tesis para optar al grado de magíster en gestión y planificación ambiental. Universidad de Chile. 2008.

VÁSQUEZ, A. *An integrative approach to assess urban riparian greenways potential: The case of Mapocho River in Santiago de Chile*. Tesis para optar al grado de Dr. rer.

nat. De la Facultad de Física y Ciencias de la Tierra, Universidad de Leipzig. Alemania. 2016.

Vásquez, A., Romero, H. El libre mercado de las áreas urbanas y la falta de justicia ambiental en la disponibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. *En: IX COLOQUIO internacional de Geocrítica. (Porto Alegre, Brasil, 2007). Los problemas del mundo actual: soluciones y alternativas desde la geografía y las ciencias sociales. Geocrítica y Universidad Federal do Rio Grande do Sul*. 2007.

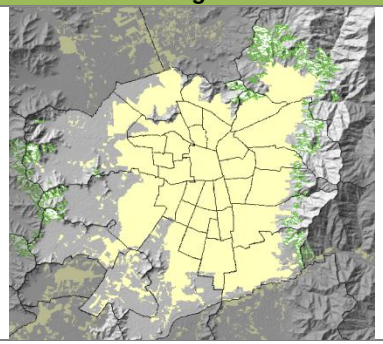
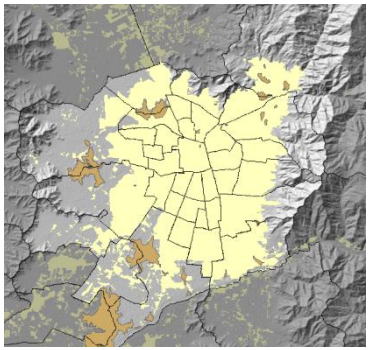
WITHFORD, V., ENNOS, R., HANDLEY, J. City form and natural process – indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning* 2001. Vol 57. pp. 91-103. ISSN 0169-2046

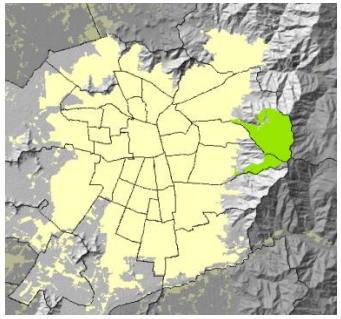
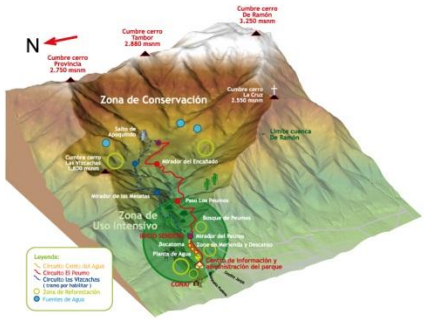
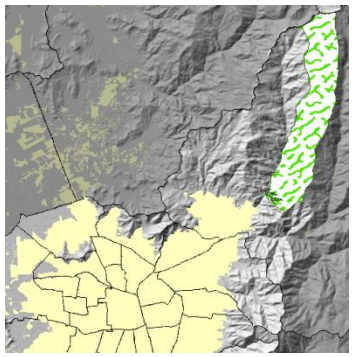
ZHANG, L., WANG, H. Planning an ecological network of Xiamen Island (China) using landscape metrics and network analysis. *Landscape and Urban Planning*, 2006. Vol. 78(4), pp. 449–456. ISSN 0169-2046

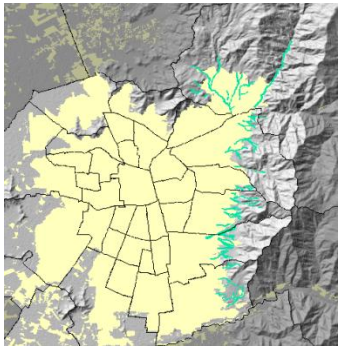
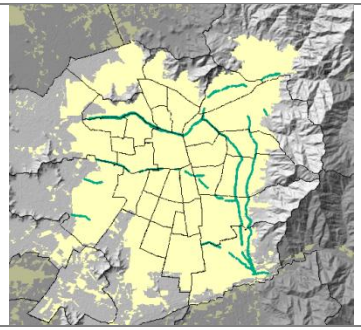
APÉNDICE

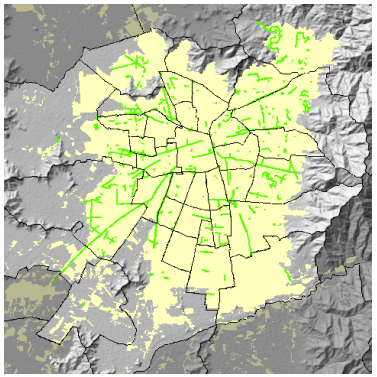
Apéndice 1. Espacios verdes Área Metropolitana de Santiago

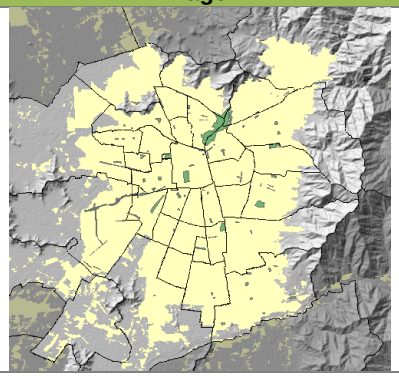
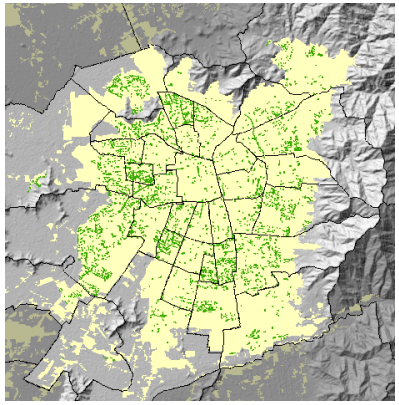
(VCB = Valor de facilitación al desplazamiento en corredor biológico; VCR = Valor de facilitación al desplazamiento en corredor recreativo)

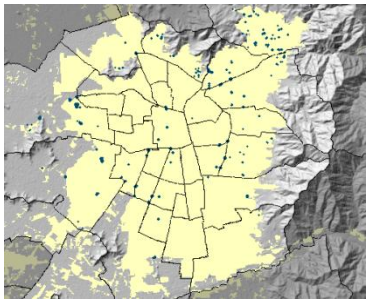
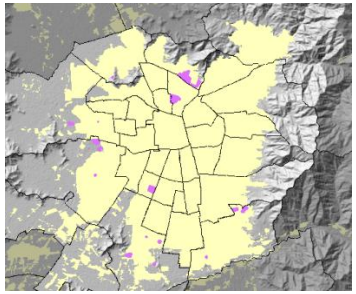
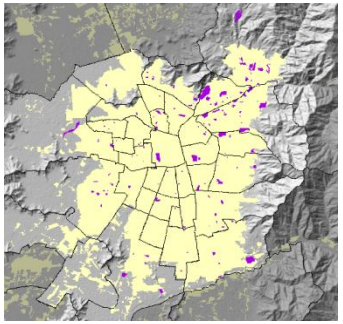
Espacio verde		Descripción	Imagen	Visualización en terreno o aérea	VCB	VCR
Espacios naturales	Bosque y renoval nativo	Superficies vegetadas con poca a nula intervención antrópica, se localizan fuera de la trama urbana, principalmente en laderas de umbría y de difícil acceso. Son conformados por una gran cantidad de parches (aprox. 91) con un área promedio de 97 ha. Debido a estas características se constituyen como espacios naturales capaces de conformarse por sí solas como área de hábitat o áreas núcleos.		Fuente: www.panoramio.cl	1	4
	Cerro isla	Unidades geomorfológicas del paisaje que se encuentran principalmente dentro de la trama urbana o en área de expansión, su grado de naturalidad o alteración antrópica es variada al igual que su cubierta de vegetación, ya sea nativa o introducida. Algunos de ellos se han convertido en espacios verdes reconocidos como por ejemplo Cerro Primo de Rivera en Maipú o el Cerro Santa Lucía en Santiago. Independiente del grado de alteración, estos son considerados como elementos relevantes dentro del paisaje urbano del área Metropolitana de Santiago, teniendo un alto potencial de constituirse o convertirse, dependiendo del estado actual, como hábitat y/o áreas recreativas.		Fuente: www.santiagocerrosislas.cl	2	3

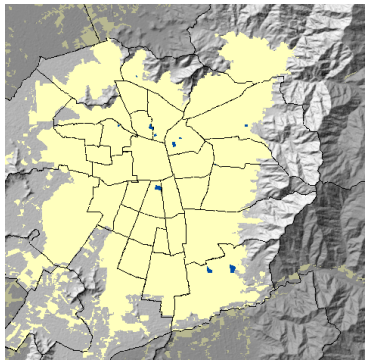
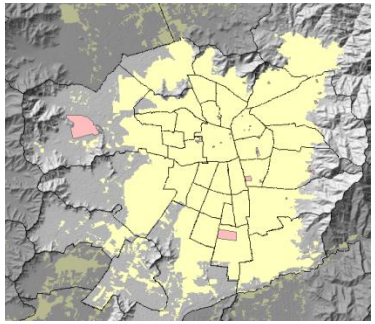
Espacio verde		Descripción	Imagen	Visualización en terreno o aérea	VCB	VCR
	Parque natural	Espacios naturales que corresponden al parque Natural Aguas de Ramón y al parque Quebrada de Macul, siendo el primero un parque creado mediante un acuerdo entre CORFO, Aguas Andinas, PROTEGE, CONAF y la I. Municipalidad de Las Condes y el segundo corresponde a un comodato por 99 años entre el privado dueño de los terrenos y la I. Municipalidad de Peñalolén. Dentro de estos parques existe un alto valor paisajístico, una gran cantidad de fauna y flora silvestre, además de ser lugares de actividades recreativas, conservación y de investigación, aunque posee área de mayor pendiente y lugares para excursionistas más experimentados		 Fuente: www.protege.cl	1	2
	Santuario de la naturaleza	El Santuario de la Naturaleza del Arrayán, es una unidad jurídica y que pertenece al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE). De acuerdo al artículo 31 de la Ley 17.288 “Son santuarios de la naturaleza todos aquellos sitios terrestres o marinos que ofrezcan posibilidades especiales para estudios e investigaciones geológicas, paleontológicas, zoológicas, botánicas o de ecología, o que posean formaciones naturales, cuya conservación sea de interés para la ciencia o para el Estado” Por lo que se constituyen como un elemento de alta naturalidad y de un alto potencial para actividades socio-recreativas.		 Fuente: Imágenes software Google Earth	1	2

Espacio verde		Descripción	Imagen	Visualización en terreno o aérea	VCB	VCR
Asociadas a cursos hídricos	Área verde quebrada	Espacio verde lineal definido por el Plan Regulador Metropolitano de Santiago, que se encuentran asociadas y concentradas en las quebradas del piedemonte al oriente del Área Metropolitana de Santiago. En cuanto a infraestructura de área verde son muy diversas, donde algunas existe infraestructura, en otras estas son precarias o inexistentes o cumplen otros objetivos tales como mitigación de aluviones o inundaciones. Pero a pesar de no existir infraestructura o siendo precaria, la quebrada por si sola tiene un potencial alto de beneficios eco-sistémicos. Por lo cual se pueden constituir, convertir e incluso restaurar dicho potencial eco-sistémico.		 Fuente: Imágenes software Google Street View	3	4
	Área verde ribereña	Corresponde a toda área verde que se encuentre adyacente a un curso hídrico, sea este un río o canal. Estas son diversas en cuanto a su largo y ancho. Son elementos lineales del paisaje con un extraordinario potencial para la movilidad para diversas especies y para la movilidad de personas, sobretodo por encontrarse en lugares de baja pendiente y en algunos casos recorrer gran parte de la ciudad.		 Fuente: Imágenes software Google Street View	2	1

Espacio verde		Descripción	Imagen	Visualización en terreno o aérea	VCB	VCR
Áreas verdes urbanas	Bandejón	Corresponde a una superficie entre calzadas, los cuales son muy diversos en su ancho, como también en la cantidad de vegetación donde incluso existen elementos sin nada de cubierta vegetal. En cuanto a su potencial de movilidad para especies esta depende de su cubierta de vegetación, pero para movilidad de personas tiene un alto potencial debido a que permite generar flujos continuos paralelos a las vías de circulación vehicular.		 Fuente: Imágenes software Google Street View	7	4

Espacio verde		Descripción	Imagen	Visualización en terreno o aérea	VCB	VCR
	Parque	Área verde urbana de diversos tamaños y formas, se distribuyen en toda la trama urbana, todos tienen algún grado de cobertura vegetal, el destino principal del elemento es ser un lugar de esparcimiento y recreación de la población, adicionalmente y dependiendo del tamaño cuenta con algunos equipamientos como canchas deportivas, maquinaria de ejercicios, sedes sociales e incluso recintos de eventos.		Fuente: Imágenes software Google Earth	1	2
	Plaza o plazoleta	Área verde urbana de menor tamaño que un parque, pero asimismo de diversos tamaños y formas, son los elementos más abundantes dentro de la trama urbana y también los más cercanos entre sí. No necesariamente contienen cobertura vegetal y suelen tener algún tipo de equipamiento.		Fuente: Imágenes software Google Street View	4	2

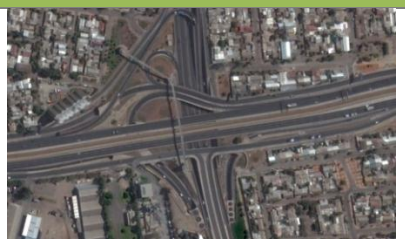
Espacio verde		Descripción	Imagen	Visualización en terreno o aérea	VCB	VCR
	Rotonda	Corresponde a una superficie de apoyo a la red vial, la cual se encuentra en algunas intersecciones de grandes avenidas con autopistas o con otras avenidas. Son de forma redondeada y de diversos tamaños, en su interior se encuentra principalmente vegetación herbácea y con poca a nula vegetación arbustiva o arbórea. Su potencial ya sea para la movilidad de especies o de personas es escaso debido a que se encuentran rodeadas de vías con alto flujo vehicular.		 Fuente: Imágenes software Google Earth	8	8
Espacios verdes urbanos	Cementerio	Espacios de diversos tamaños y formas, con algún grado de cobertura vegetal, si bien su objetivo principal es otro, tiene un potencial medio-alto de movilidad para especies, principalmente debido a sus características de tranquilidad y un flujo muy variado de personas. En cuanto a su potencial para objetivos recreativos este es bajo.		 Fuente: Imágenes software Google Earth	4	3
	Centro deportivo	Es una instalación de diversos tamaños y formas, con algún grado de cobertura vegetal, este espacio verde urbano incluye principalmente hipódromos, campos de golf, estadios, complejos deportivos con vegetación. Se distribuyen a lo largo y ancho de la trama urbana. Estos espacios tienen un potencial medio-bajo para la movilidad de especies y personas, aunque este último es menor debido a que principalmente son terrenos privados,		 Fuente: Imágenes software Google Earth	5	7

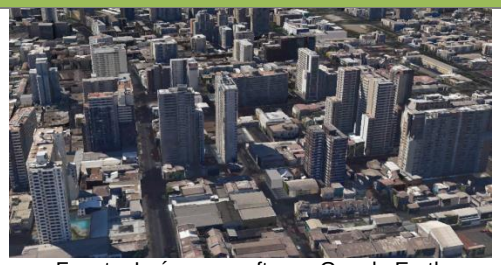
Espacio verde		Descripción	Imagen	Visualización en terreno o aérea	VCB	VCR
	Hospital	Corresponde a todo recinto hospitalario que en su predio contenga una cubierta vegetal importante, tales como el Hospital Salvador, Sanatorio El Peral, Hospital Luis Calvo Mackenna, Hospital Militar. En cuanto a su potencial principalmente es bajo para movilidad de especies y demasiado restringido para flujo de personas.		Fuente: Imágenes software Google Earth	8	10
	Universidad	Corresponde a todos los terrenos de universidades públicas y privadas, que en su predio contenga una cubierta vegetal importante, como por ejemplo Campus San Joaquín, Campus Antumapu, Campus Lo Contador, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, USACH, Universidad Adolfo Ibáñez. En cuanto a su potencial principalmente es medio-alto para movilidad de especies y algo restringido para flujo de personas.		Fuente: Imágenes software Google Earth	4	7

Apéndice 2. Usos y coberturas de la matriz del Área Metropolitana de Santiago (GORE, 2012)

(VCB = Valor de facilitación al desplazamiento en corredor biológico; VCR = Valor de facilitación al desplazamiento en corredor recreativo)

Uso o cobertura de suelo	Descripción	Visualización en terreno o aérea	VCB	VCR
Áreas mineras inactivas	Extracción minera inactiva en superficie, con infraestructura asociada para el cercamiento de la zona donde se extraía minerales, en este caso corresponde a las faenas de Lo Aguirre y La Africana, las cuales se encuentran en proceso de rehabilitación.	Fuente: Imágenes software Google Earth	6	10
Extracción de áridos	Corresponde a las zonas de extracción de áridos, localizados tanto dentro como fuera del área urbana. Son variables en su tamaño y en la zona de faena no poseen vegetación, pero si pueden presentar en sus alrededores.	Fuente: Imágenes software Google Earth	7	10
Aeropuerto o aeródromo	Infraestructura destinada al flujo de vehículos aéreos, ya sea con objetivos comerciales y/o privados. Son recintos de difícil acceso por medidas de seguridad.	Fuente: Imágenes software Google Earth	8	9

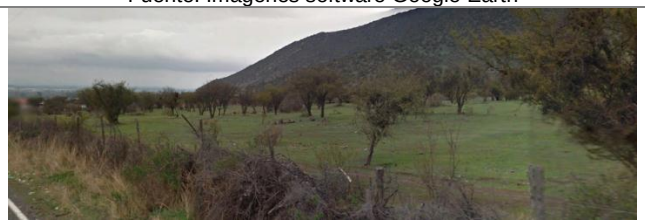
Uso o cobertura de suelo	Descripción	Visualización en terreno o aérea	VCB	VCR
Autopista	Ejes viales de gran anchura, son de alta velocidad, se encuentran separados y diferenciados por barreras, posee determinadas salidas y entradas.	 Fuente: Imágenes software Google Earth	10	10
Rellenos sanitarios y tratamiento de aguas servidas	Corresponde a zonas de infraestructura para el depósito de basura y para la depuración de aguas servidas, ambas se localizan fuera del área urbana.	Fuente: Imágenes software Google Earth	8	10
Zona industrial	Zonas densamente urbanizadas con estructuras o edificaciones destinadas a la producción de bienes manufacturados y que por su gran tamaño se diferencian del resto de las construcciones.	Fuente: Imágenes software Google Earth	9	7
Zonas comerciales, de negocios e institucionales	Corresponde a las zonas donde principalmente se localizan centros financieros, de instituciones gubernamentales o grandes centros comerciales de la ciudad, son sectores densamente construidos, están compuestos en muchas ocasiones por edificios en altura y en el caso de centros comerciales presentan colindante un parque de estacionamientos variable en su tamaño.	Fuente: Imágenes software Google Earth	8	6

Uso o cobertura de suelo	Descripción	Visualización en terreno o aérea	VCB	VCR
Área preferentemente residencial de gran altura	Se constituyen como una superficie continúa de edificios en altura principalmente residencial, generalmente presentan pequeños espacios entre una edificación y otra, dependiendo en la zona de la ciudad en que se encuentren, pueden presentar pequeños espacios con vegetación.	 Fuente: Imágenes software Google Earth	8	6
Área preferentemente residencial de baja altura	Corresponden a superficies continuas de viviendas de baja altura principalmente residenciales, presentan espacios variables o nulos entre una edificación y otra, pueden presentar pequeños espacios con vegetación.	Fuente: Imágenes software Google Earth	6	5
Sitios en construcción y tierra vacante	Corresponde a espacios privados abandonados temporalmente, sin edificación sobre su terreno, pueden tener o no vegetación en su interior dependiendo del grado de abandono que posean, se distribuyen de manera dispersa en el área urbana.	Fuente: Imágenes software Google Earth	6	9

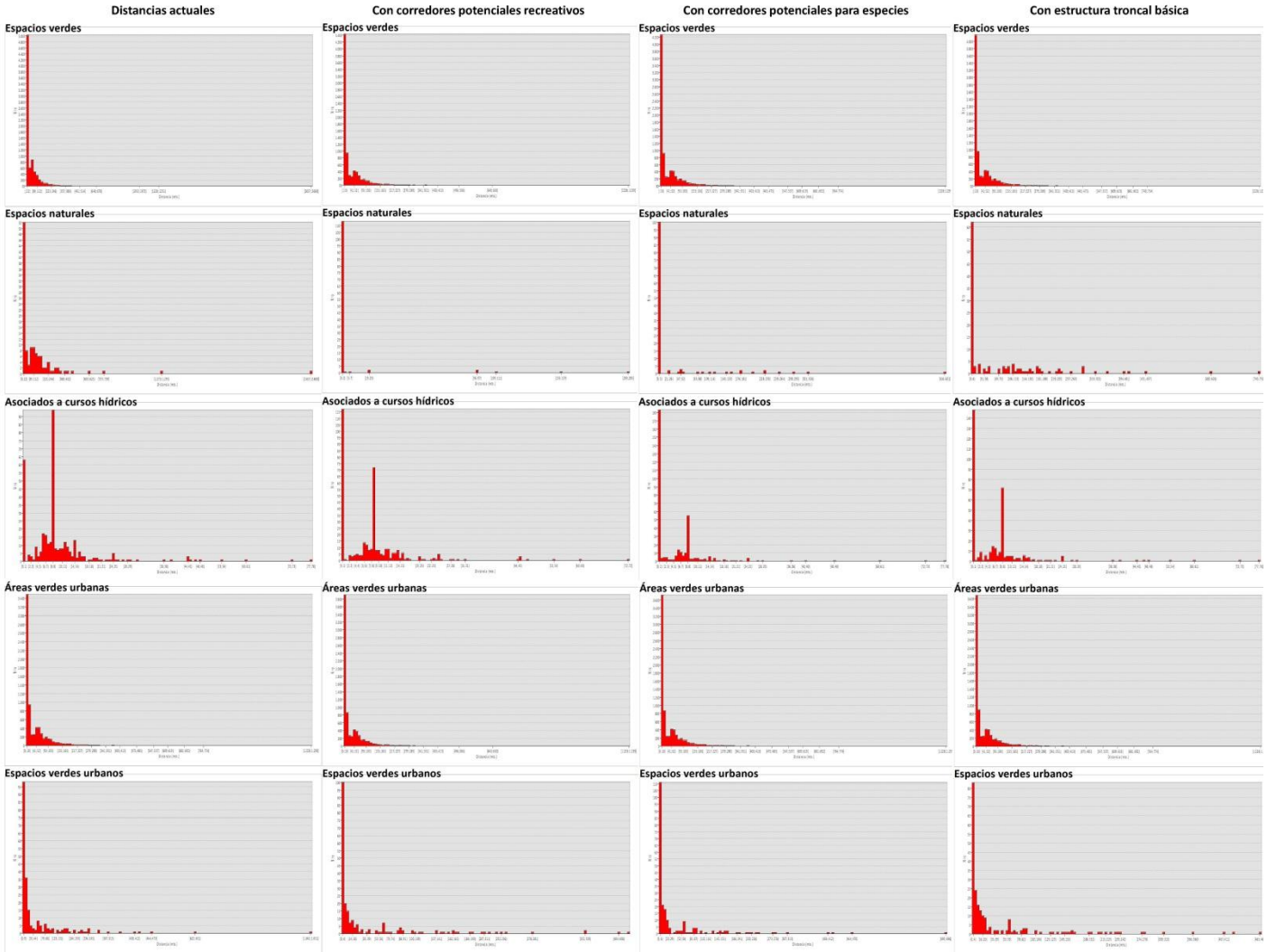
Uso o cobertura de suelo	Descripción	Visualización en terreno o aérea	VCB	VCR
Asentamiento menor	Zonas de pequeñas viviendas localizadas en zonas rurales o peri-urbanas conformando pequeñas agrupaciones menores y que generalmente se encuentran entre paños de cultivos.	Fuente: Imágenes software Google Earth	5	3
Parcela de agrado	Se constituyen como un conjunto de viviendas discontinúas localizadas en zonas periféricas semi-urbanas o rurales, conforman regularmente condominios cerrados. Presentan grandes espacios entre cada estructura y sus predios suelen ser mayores a 5.000 metros^2.	Fuente: Imágenes software Google Earth	5	8
Cultivo anual	Espacios utilizados para la producción agrícola, que dependiendo de la estación o año pueden ir variando el tipo de producción (trigo, avena, papas, choclo, lechugas, etc.). Tienen un escaso a nulo potencial de hábitat y nulo potencial de espacios socio-recreativos, pero tienen una impedancia relativamente baja o media para el paso de ciertas especies de animales, sobretodo aves. Se concentran principalmente hacia las zonas nor-poniente y sur-poniente del Área Metropolitana de Santiago.	Fuente: Imágenes software Google Earth	7	10

Uso o cobertura de suelo	Descripción	Visualización en terreno o aérea	VCB	VCR
Frutales	Espacios utilizados para la producción, contienen arbustos o árboles frutales de tamaños medios o grandes. Tienen una impedancia baja (incluso entre los distintos espacios agrícolas) para el paso de ciertas especies de animales, sobretodo aves. Se localizan dispersas hacia las zonas poniente y sur-poniente del Área Metropolitana de Santiago.	 Fuente: Imágenes software Google Earth	5	10
Parronal	Espacios utilizados para la producción de uva de mesa, contienen arbustos pequeños. De la misma forma tienen un escaso a nulo potencial de hábitat y nulo potencial de espacios socio-recreativos, pero tienen una impedancia relativamente baja para el paso de ciertas especies de animales, sobretodo aves, en el caso del transito de personas es prácticamente nulo. Se concentran principalmente hacia las zonas sur-poniente del Área Metropolitana de Santiago.	 Fuente: Imágenes software Google Earth	6	10
Viñedo	Espacios utilizados para la producción vitivinícola, contienen arbustos pequeños. Tienen un escaso a nulo potencial de hábitat y nulo potencial de espacios socio-recreativos, de igual forma tienen una impedancia relativamente baja para el paso de ciertas especies de animales, sobretodo aves. Se concentran principalmente hacia las zonas sur-poniente y sur-oriente del Área Metropolitana de Santiago.	 Fuente: Imágenes software Google Earth	6	10

Uso o cobertura de suelo	Descripción	Visualización en terreno o aérea	VCB	VCR
Cuerpos y cursos de agua	Son todo curso lineal de mayor jerarquía dentro de la red local de agua y cuerpos de agua artificial para regadío o consumo.	Fuente: Imágenes software Google Earth	5	9
Espacios abiertos con escasa a nula vegetación	Corresponde a todas las zonas con poca o sin vegetación permanente. Principalmente se encuentran en las cumbres de cordones montañosos en este caso principalmente en la pre-cordillera de Los Andes.	Fuente: Imágenes software Google Earth	7	8
Matorral	Se constituyen como superficies vegetadas con diversas especies (esclerófilas, cactáceas, etc.) de tamaño arbustivas o arbóreas y de muy variable cobertura dependiendo de su grado de alteración, exposición de ladera, cercanía a cursos de agua, principalmente se encuentra en zonas de mayor pendiente.		2	7

Uso o cobertura de suelo	Descripción	Visualización en terreno o aérea	VCB	VCR
		Fuente: Imágenes software Google Earth		
Matorral de espino	Espacios dominados por la especie *Acacia caven*. Con una cobertura vegetal media o baja, y se puede encontrar tanto en laderas como en zonas planas	 Fuente: Imágenes software Google Earth	2	3
Vegetación andina y vega	Son zonas de vegetación que se localizan en sectores altos de laderas en sectores altos de la pre-cordillera o cordillera de Los Andes, su extensión vertical superficial es bastante disminuida y pueden estar o no asociadas a afloramientos de agua o deshielos de nieves no permanentes.	Fuente: Imágenes software Google Earth	5	6

Apéndice 3. Histogramas de frecuencias de distancias obtenidas según tipo de corredor potencial



Fuente: Elaboración propia