

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y GEOGRAFÍA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA



**“Un Anillo Verde para el Área Metropolitana de Concepción.
Propuesta de Infraestructura verde en base a criterios
geográficos”**

Tesis para optar al grado de Magíster en Análisis Geográfico

Alumna:
Ivonne Andrea Rueda Seguel

PROFESOR GUÍA:
Dr. Francisco de la Barrera M.

Ciudad de Concepción, 2020.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO 1.- INTRODUCCIÓN	9
1.1 Planteamiento del problema	9
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivos específicos	13
1.3 Descripción del Área de Estudio	13
1.3.1 Evolución demográfica del AMC	16
1.3.2 Plantaciones forestales en el AMC	16
CAPITULO 2.- MARCO CONCEPTUAL	18
2.1 Crecimiento urbano como un problema para la sustentabilidad	18
2.2 Aportes de la ecología del paisaje para la planificación del territorio	20
2.2.1 Fragmentación de paisajes naturales y seminaturales	21
2.2.2 Conectividad ecológica	23
2.3 Planificación de los espacios verdes y el paisaje	24
2.3.1 Experiencias de planificación de espacios verdes y paisajes en Chile	29
2.2.1 Cinturones y Anillos Verdes: el foco en el borde urbano	27
CAPITULO 3.- MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.1 Revisión de casos internacionales para la identificación de criterios para la implementación de sistemas de infraestructura verde	35
3.2 Aplicación de criterios para la clasificación del área de estudio y la creación de escenarios para la implementación de un Anillo Verde en el AMC	37
3.2.1 Clasificación de coberturas de uso del suelo en el área de estudio	37
3.2.2 Determinación de escenarios para la planificación de un anillo verde geográficamente factible	44
3.3 Calculo de métricas del paisaje sobre escenarios	45
3.4 Desarrollo de una propuesta para la implementación de un anillo verde en el AMC	49
CAPITULO 4.- RESULTADOS	50

Un Anillo Verde para el Área Metropolitana de Concepción
Evaluación de su Factibilidad Geográfica

4.1. Criterios geográficos utilizados internacionalmente para la implementación de infraestructura verde	50
4.2 Clasificación usos de suelo actual y simulado	56
4.3 Métricas del paisaje según escenarios de planificación	64
4.4 Propuesta de implementación de un anillo para la infraestructura verde en el Área Metropolitana de Concepción.	73
CAPITULO 5.- DISCUSIÓN	80
5.1 Aspectos Metodológicos.	80
5.1.1 Procesos metodológicos	81
5.1.2 Herramientas metodológicas	82
5.2 Aportes para la gestión del territorio	83
CAPITULO 6.- CONCLUSIONES	85
CAPITULO 7.- BIBLIOGRAFÍA	86

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1.- Localización del Área de estudio	14
Figura 2.- Grados de alteración del paisaje.....	22
Figura 3.- Esquema Metodológico	34
Figura 4.- Clasificación de Suelo de acuerdo a la Clasificación europea CORINE Land Cover.....	36
Figura 5.- Bandas correspondientes a la imagen satelital Sentinel 2A.	38
Figura 6.- Combinación de bandas utilizadas para una mejor visualización de las coberturas.	38
Figura 7.- Bagging, técnica utilizada en la clasificación de Random Forest.	40
Figura 8.- OOB (<i>Out of Bag</i>), técnica de Random Forest que permite validar la muestra de acuerdo a una muestra aleatoria.....	40
Figura 9.- Matriz de confusión, generada entre la muestra actual y la muestra observada.	41
Figura 10.- Escala de valoración Índice Kappa para determinar la precisión de concordancia de la clasificación de la muestra.	42
Figura 11.- Script utilizado para clasificación del AMC en Google Earth Engine	43
Figura 12.- Determinación de Escenarios.	44
Figura 13.- Casos de estudios internacionales analizados.....	50
Figura 14.- Componentes básicos de la Infraestructura Verde.....	53
Figura 15.- Puntos de control establecidos para la clasificación de cubiertas del suelo. ..	56
Figura 16.- Clasificación de coberturas de usos de suelo del AMC.....	57
Figura 17.- Determinación de escenarios con sus respectivas coberturas.	59
Figura 18.- Zonificación del AMC de acuerdo al PRMC y Zonas con regulaciones aptas para protección ecológica.	61
Figura 19.- Propuesta de Infraestructura Verde para el AMC.....	73
Figura 20.- Variaciones de coberturas al interior de la Infraestructura Verde.	75

ÍNDICE CUADROS

Cuadro 1. Crecimiento demográfico del AMC, 1982 – 2017.....	16
Cuadro 2. Superficie en hectáreas de zonas forestada del AMC del año 2010 – 2018	17
Cuadro 3. Tipos de fragmentación	21
Cuadro 4. Servicios ecosistémicos provistos por infraestructura verde	26
Cuadro 5.- Programas urbanísticos para la incorporación y conservación de espacios verdes en las ciudades de Chile.	31
Cuadro 6.- Proceso de construcción de cada escenario establecido.	45
Cuadro 7.- Métricas aplicadas a nivel de clase y paisaje.	46
Cuadro 8.- Descripción de casos de estudio internacionales y sus objetivos principales.	51
Cuadro 9.- Clasificación de coberturas de acuerdo a la escala y componentes establecidos	54
Cuadro 10.- Coberturas de suelo y su descripción.....	55
Cuadro 11.- Coberturas y número de puntos de control utilizados en cada cobertura.....	56
Cuadro 12.- Superficie en hectáreas de las coberturas de uso de suelo del AMC.	58
Cuadro 13.- Coberturas presentes en cada escenario establecido.	62
Cuadro 14.- Cambios porcentuales de superficie del escenario 2 y 3 respecto al escenario 1.	63
Cuadro 15.- Métricas clasificación inicial a nivel de Clase	65
Cuadro 16.- Métricas clasificación inicial a nivel paisaje	66
Cuadro 17.- Métricas Escenarios a nivel Clase	67
Cuadro 18.- Variaciones porcentuales de aumento o disminuciones de métricas por escenarios.	68
Cuadro 19.- Métricas escenarios a nivel Paisaje.....	69
Cuadro 20.- Variaciones de superficie de propuesta de Infraestructura Verde en el paisaje	74
Cuadro 21.- Variaciones de superficie de coberturas dentro de la Infraestructura Verde.	76
Cuadro 22.- Métricas de la propuesta de Infraestructura Verde a nivel Clase	78
Cuadro 23.- Métricas de la propuesta de Infraestructura Verde a nivel Paisaje	78
Cuadro 24.- Variación porcentual de métricas, escenario inicial-propuesta de Infraestructura Verde.....	79

Agradecimientos

Agradecer el incansable apoyo de mis padres Isabel y Ricardo que, a pesar de las rabias y preocupaciones, siempre mantuvieron la confianza y la fe en mí, al igual que mis hermanos, y especialmente a mi sobrino que es uno de los principales motores de energía para la realización de este trabajo.

Al profesor Francisco de la Barrera por el compromiso, la dedicación y la confianza que deposito en mí y en la realización de mi trabajo, porque siempre se mantuvo ahí para enseñarme y guiarme. También al equipo PAISUR por la disposición a colaborar en la exploración de nuevas herramientas

A mis amigos de la vida, en especial a mi amiga Margarita por ser ese pilar fundamental durante el transcurso de la vida y siempre demostrarme su apoyo, confianza y lealtad.

Agradecer a mi editor, profesor y compañero en esta etapa final, Fabián, que a pesar de los malos tratos y las malas caras siempre tuvo la buena voluntad de corregir, enseñarme darme aliento, ánimo y por sobre todo amor.

Finalmente, gracias a todos los que estuvieron conmigo en esta gran aventura.

¡Gracias totales!

Resumen

La expansión acelerada de las ciudades es un fenómeno que ha producido transformaciones drásticas del paisaje durante el último siglo, alterando principalmente a los ecosistemas naturales, afectando el agua, los suelos, y modificando la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos. En respuesta a este tipo de problemática, diversas ciudades del mundo han optado por implementar estrategias que consisten en configurar sistemas conectados de espacios verdes funcionales, con el objetivo de reestablecer la integridad del paisaje y compatibilizar la acción humana con la conservación de los ecosistemas.

El Área metropolitana de Concepción (AMC) no se encuentra ajena al fenómeno de la expansión urbana, y con una tasa anual de 1,3% impacta sobre áreas de alto valor ecológico como humedales, bordes de ríos y lagunas. Por esto, es que se propone la implementación de un anillo verde para el AMC en base a criterios geográficos, con la finalidad de proteger y restaurar atributos ecosistémicos, además de fortalecer la conectividad ecológica del paisaje metropolitano.

A partir del estudio de análisis de casos internacionales, se obtuvo una clasificación del área de estudio, la cual fue realizada por medio de la plataforma *Google Earth Engine*, que permite procesar información geoespacial mediante la programación de códigos (*script*). Posterior a esto, se generaron diversos escenarios de planificación del paisaje, de los cuales se obtuvieron métricas, a través del software *Fragstats*, para representar y analizar las variaciones cuantitativas de alternativas de planificación para un anillo verde. Estas variaciones corresponden a modificaciones realizadas a las coberturas que componen cada escenario y de acuerdo a esto se establecieron e identificaron las modificaciones, cambios y reconversiones geográficamente factibles y favorables para la conservación del paisaje y su conectividad.

Estos cambios dan paso al diseño de la propuesta de un anillo verde factible de implementar en el territorio metropolitano. Permitiendo de esta forma enlazar otros proyectos asociados al territorio, que refuerzan la idea de restaurar y conservar estos ecosistemas dentro del AMC.

Palabras Clave: crecimiento urbano, infraestructura verde, *Google Earth Engine*, conectividad ecológica, anillo verde, métricas del paisaje.

Abstract

The accelerated expansion of cities is a phenomenon that has produced severe landscape transformations during the last century, mainly modifying natural ecosystems, affecting water, soils, and altering biodiversity and the provision of ecosystem services. In response to this type of problem, various cities around the world have chosen to implement strategies that consist of configuring systems of functional green spaces, with the aim of reestablishing the integrity of the landscape and making human action compatible with the conservation of ecosystems.

The Metropolitan Area of Concepción (AMC) is not immune to the phenomenon of urban expansion, and with an annual rate of 1.3%, it affects areas of high ecological value such as wetlands and the edges of rivers and lagoons. For this reason, this work proposes the implementation of a geographically feasible green belt for the AMC, in order to protect and restore ecosystem attributes, in addition to strength the ecological connectivity of the metropolitan landscape.

From the study of analysis of international cases, it was obtained a classification of the study area using the Google Earth Engine platform, which allows the processing of geospatial information by programming codes (script). After this, various landscape-planning scenarios were generated, from which metrics were obtained using the Fragstats software, to represent and analyze the quantitative variations of planning alternatives for a green belt. These variations correspond to modifications made to the coverage that make up each scenario and accordingly, the modifications, changes and reconversions that are geographically feasible and favorable for the conservation of the landscape and its connectivity were established.

These changes give way to the design of the proposal for a green ring that is geographically feasible to implement in the metropolitan territory. This proposal links with other associated projects that reinforce the idea of restoring and conserving these ecosystems within the AMC.

Keywords: urban growth, green infrastructure, Google Earth Engine, ecological connectivity, green ring, landscape metrics.

CAPITULO 1.- INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Las ciudades crecen constantemente siendo hoy el hogar de más de la mitad de la población mundial (UNFPA, 2007; Haase *et al.*, 2014). En América Latina y el Caribe esta cifra es aún mayor: el 75% de la población vive en ciudades (Sorensen, 1998; Labidoire, 2013; De Mattos *et al.*, 2014) y las tendencias indican que el mayor crecimiento demográfico en las próximas décadas se centrará justamente en las zonas urbanas de los países subdesarrollados (International Institute for Environment and Development [IIED], 2006; UN-HABITAT, 2016). Esto genera transformaciones tanto en el paisaje urbano, como en el paisaje que rodea a las ciudades, y con ello, una fuerte presión sobre la biodiversidad y la funcionalidad de las áreas naturales (Vásquez & Salgado, 2009; Rojas *et al.*, 2013; Jara, 2017), afectando su provisión de servicios ecosistémicos -tanto a nivel local como global-, disminuyendo con ello sus efectos positivos sobre el bienestar de las personas (Bolay, 2006; Suárez, 2012).

En Chile la población urbana es mayor al promedio global y latinoamericano: un 88% de la población nacional vive en ciudades (INE, 2017). Esto se acompaña y explica con el crecimiento de las áreas urbanas, como ocurre en el Área Metropolitana de Concepción (AMC) donde la tasa de crecimiento en superficie es de 1,3% anual (Baeriswyl, 2009; Rojas *et al.*, 2009). Este crecimiento ha impactado principalmente en áreas de alto valor ecológico como son humedales y bordes de ríos y lagunas (Romero & Vásquez, 2005; Rojas *et al.*, 2015). Diversos trabajos han señalado que el proceso de expansión urbana ha carecido de una adecuada planificación territorial y urbana, tanto a nivel sectorial como en su jerarquía territorial, arraigada en la fuerte centralización a nivel nacional y en políticas públicas orientadas al fortalecimiento de una economía basada en la generación de utilidades para privados, dando centralidad al rol del mercado y limitando la participación de la ciudadanía (Dobbs *et al.*, 2019; Jara, 2017, Fuentes & Sierralta, 2004; Hölzl & Nuissl, 2014).

Como consecuencia del crecimiento urbano débilmente planificado en relación al paisaje, las ciudades han ocupado y transformado áreas naturales, plantaciones forestales y zonas agrícolas localizadas en los bordes de estas, generando pérdida de biodiversidad y de sus servicios ecosistémicos, islas de calor, contaminación atmosférica, pérdida de impermeabilización de suelos, entre otros (Romero & Vásquez, 2005; Álvarez del Castillo,

2017). Estos problemas aumentan la exposición y la vulnerabilidad a eventos como inundaciones por desbordes de ríos o anegamientos, sequías y olas de calor, incendios forestales a causa de la cercanía de la urbanización a plantaciones forestales, y aluviones provocados por la inestabilidad del suelo a causa de la pérdida de cobertura vegetal, todos los cuales pueden ser agravados por los efectos del cambio climático (Jara 2017, Garreaud, 2011, OCC, 2014).

Como respuesta a estas problemáticas, diversas ciudades del mundo, tales como Copenhague (Dinamarca), Londres (Inglaterra), Vitoria Gasteiz (España), Medellín (Colombia), han optado por desarrollar estrategias de adaptación al cambio climático mediante la configuración de **sistemas de espacios verdes funcionales** (Norton *et al.*, 2015), con el objetivo de mantener o restablecer la integridad del paisaje, maximizando y compatibilizando la salud humana y de los ecosistemas, generando sistemas urbanos más resilientes y sustentables (Vásquez, 2016).

A esto apunta el concepto de **infraestructura verde** (en adelante IV, en inglés **green infrastructure**), como estrategia de planificación integral. Este concepto se origina a finales del siglo XIX e inicios del S. XX en los Estados Unidos (Valdés & Foulkes, 2016). Desde entonces, este enfoque de planificación ha ganado un rápido impulso político en muchos países y se ha convertido en parte central de los discursos de sustentabilidad, siendo utilizadas por una amplia gama de agencias, organizaciones, empresas, grupos comunitarios y planificadores. El concepto de IV ofrece formas prácticas de lidiar con la creciente tasa de consumo de tierra y fragmentación en diversas escalas, al tiempo que mejora la colaboración interdisciplinaria y el intercambio de información a diferentes niveles y ofrece el potencial para lograr un desarrollo sustentable y una calidad de vida justa (Margules & Pressey, 2000; McDonald *et al.*, 2005; EEA, 2015).

Aunque si bien, aún no existe consenso en una definición única del término, debido a que se utiliza en variadas disciplinas (Baró *et al.*, 2015), **la IV se refiere a una red interconectada de espacios verdes que conservan el valor y funcionamiento de los ecosistemas naturales y provee beneficios a la población humana** (Benedict & McMahon, 2002). O como señala Wang & Banzhaf (2018) es un enfoque que se utiliza para combinar los servicios del ecosistema y el bienestar humano para lograr un uso eficiente y sustentable de los espacios. En la medida que la noción de infraestructura verde ha sido progresivamente aplicada en entornos urbanos, tanto su definición y, por lo tanto, lo que

puede ser considerado IV, se ha ampliado, diversificado y complejizado, dada su aplicación a distintas escalas espaciales (EEA, 2011; Hansen & Pauleit, 2014). Sin embargo, y pese a esta amplitud, existe un consenso generalizado en que las características comunes que definen la IV son: configuración de diversos espacios en red, conectividad, multifuncionalidad e inclusión (EEA, 2011; Baxendale & Eguia, 2018).

Dado su multi-enfoque de objetivo, función y escala, la IV se ha posicionado como un instrumento transversal a las políticas territoriales (Jara, 2017), ya que contribuye a la resolución de diversos problemas urbanos, como por ejemplo los riesgos asociados a desastres naturales, así como también una planificación de manera equitativa y sustentable de espacios verdes. En este sentido, la IV apunta a maximizar las funciones de los ecosistemas y, por ende, permite satisfacer múltiples necesidades humanas de forma simultánea, ofreciendo amplios beneficios como la protección y creación de hábitat para especies, la mitigación y adaptación al cambio climático, el secuestro y almacenamiento de carbono, la provisión de aire limpio, la regulación del microclima urbana, el aumento de la infiltración del agua y el control de su escorrentía, la producción de alimentos, la prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad de los suelos, la oferta de oportunidades de recreación, educación e integración social, turismo, entre otras (EEA, 2011; Gill *et al.*, 2007; Vásquez, 2016).

Tanto en Chile, como en el AMC, la “infraestructura gris” creada por el hombre como un sistema de apoyo funcional de las áreas urbanizadas (Wang & Banzhaf, 2018), representado principalmente por el espacio vial, ha tomado un rol predominante en la conformación de espacios públicos, relegando a los espacios verdes a un carácter ornamental y recreacional, más que como un elemento estructurante de la ciudad (Vásquez, 2016; Jara, 2017). Esto ha dificultado la maduración del concepto de IV en el contexto nacional, siendo lo más próximo a éste el concepto de sistemas (metropolitanos) de áreas verdes, escasamente enunciado en las políticas públicas, en las cuales se sugiere que estos están compuestos por elementos como plazas y parques urbanos y que su escala es principalmente comunal, algunos casos particulares metropolitanos, sin tratar de manera relevante la interconexión espacial ni su carácter multifuncional (Jara, 2017).

En el AMC han surgido iniciativas importantes, tales como la Ruta del Agua impulsada por el Gobierno Regional y la Mesa de Humedales, y el Plan Verde Coronel 2050 impulsado por la comuna homónima. La primera iniciativa es una propuesta que consiste en la

caracterización y puesta en valor del sistema hídrico del área, protegiendo y promocionando los humedales urbanos de alto valor ecológico y social. Por otra parte, el Plan Verde Coronel 2050, plantea un conjunto de estrategias orientadas a introducir la naturaleza en los espacios públicos de la ciudad, cambiando positivamente las condiciones del entorno urbano y mejorando así los estándares de vida, salud y confort de las personas que viven en Coronel (ECORONEL, 2012).

La IV hace uso de conceptos complementarios como cinturones o anillos verdes para hacerse cargo las presiones que se producen desde el exterior hacia las ciudades.

Dado que la IV es un concepto amplio, involucra todo tipo de espacios, de forma de integrar los espacios tanto del interior como del exterior de las ciudades, reconociendo las presiones internas que impulsan un crecimiento urbano expansivo hacia la periferia. Por esta razón, también se enfoca en la conservación y/o restauración de los espacios de borde, para contener el crecimiento urbano y para otorgar conectividad ecológica entre ecosistemas localizados en el borde de las ciudades. La idea de cinturones verdes fue utilizada por primera vez por E. Howard a fines del siglo XIX, el cual consideraba que las ciudades de la época estaban sobredimensionadas y sus condiciones de vida eran pésimas. Para superar estos problemas Howard proponía un plan de “ciudad jardín”, que estaba compuesta por células urbano-rurales rodeadas de cinturones verdes que permitirían combinar los beneficios tanto de las áreas rurales como urbanas y evitar los aspectos negativos de ambas. A final de cuentas consistía en una franja periurbana de uso principalmente agrícola y para uso recreativo denominada cinturón verde que rodaba estos núcleos urbanos (Aguado *et al.*, 2017).

El presente estudio pretende evaluar la factibilidad de integrar diversos ecosistemas naturales y seminaturales en el borde del AMC a partir de criterios geográficos, de manera de contribuir a la estructuración de la infraestructura verde en el borde de la ciudad, haciendo uso de los conceptos de anillo y cinturón verde. Como factibilidad en base a criterios geográficos se evaluará de manera sistemática la estructura del paisaje metropolitano, para encontrar la mejor manera de conectar los espacios naturales entre sí y con las personas, evaluando coberturas y usos de suelo que requieran de protección o restauración ecológica. **El propósito final es reconocer las oportunidades existentes para alimentar un proceso de diseño de un sistema de infraestructura verde y así contribuir a la planificación de estos espacios desde una lógica integradora,**

cambiando de este modo la lógica de planificación enfocada en el desarrollo de plazas y parques aislados.

1.2 Objetivos

Elaborar una propuesta de anillo verde para el Área Metropolitana de Concepción en base a criterios geográficos que permita proteger y restaurar ecosistemas naturales al igual que la conectividad ecológica del paisaje.

1.2.1 Objetivos específicos

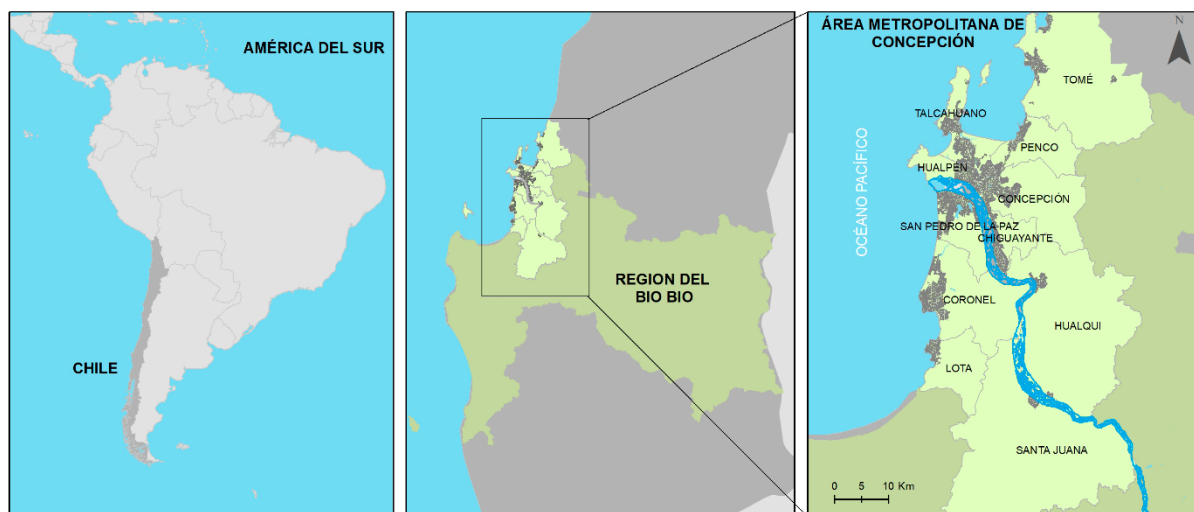
1. Indagar en casos de estudio a nivel internacional con la finalidad de identificar criterios geográficos utilizados para la implementación de infraestructura verde.
2. Aplicar una selección de los criterios geográficos establecidos por los casos internacionales para clasificar el paisaje del área de estudio y conformar escenarios para la construcción de una propuesta de sectores óptimos que propicien la implementación de un anillo verde.
3. Evaluar el paisaje del Área Metropolitana de Concepción a través de la aplicación de métricas sobre distintos escenarios para la implementación de un anillo.
4. Diseñar una propuesta final de anillo verde en el Área Metropolitana de Concepción factible a partir de análisis paramétricos y proyección de escenarios.

1.3 Descripción del Área de Estudio

El Área Metropolitana de Concepción (AMC) se ubicada al centro sur de Chile en una zona litoral que se extiende entre los 36° y 38° sur, con una superficie de 2.830 km² que representa el 9% de la superficie regional y se compone de once comunas (*Figura 1*), comprendidas entre el límite norte de la comuna de Tomé hasta el límite sur de la comuna de Lota, incluyendo en su totalidad a las comunas de: Concepción, Coronel, Chiguayante, Hualqui, Lota, Penco, San Pedro de la Paz, Santa Juana, Talcahuano, Hualpén y Tomé. (Rojas & Sepúlveda, 2011). Según el último Censo del 2017 (INE 2017), cuenta con una población de 985.034 habitantes, equivalentes al 63% de la población total y el 60% de la

población urbana de la región del Bío Bío. La población actual reside mayoritariamente en zonas urbanas (94%), principalmente en ciudades intermedias emplazadas sobre las planicies costeras (terrazas fluviovolcánicas) en las riberas del río BioBío, rodeadas de playas, dunas, acantilados rocosos, áreas de marismas, desembocaduras, humedales, bahías, penínsulas, islas, un golfo y la cordillera de la costa.

Figura 1.- Localización del Área de estudio



Fuente: Elaboración propia

La compleja geografía del AMC hace que sea un territorio fuertemente expuesto a fenómenos naturales y muy vulnerables ante la urbanización (Rojas *et al.*, 2013), lo que genera cambios en las condiciones climáticas, definiendo al clima de esta región como transición entre un clima mediterráneo cálido y subhúmedo a un clima templado húmedo y lluvioso, cambios que están determinados por una variación en los regímenes pluviométricos con aumento de las precipitaciones de norte a sur (Di Castri & Hajek, 1976, Luebert & Pliscoff, 2005). Debido a estas características, el AMC posee una alta diversidad de vegetación que se ve potenciada por la alta presencia de especies introducidas, siendo la zona con mayor concentración de malezas en el país, debido a la intervención antrópica representada en la actividad industrial, forestal y agrícola, y la introducción de especies, producto de la presencia de varios puertos como Talcahuano, Coronel, Lirquén y San

Vicente (Matthei, 1995; Pauchard *et al.*, 2006). Es por esto que se considerada como un área de transición donde la flora no es homogénea y donde es posible reconocer dos grandes zonas. La zona norte, que correspondería al bosque costero de Concepción, dominado por especies de *Nothofagus*, pero con una mezcla de especies mediterráneas templadas, y una rica flora de hierbas y enredaderas; y, por otro lado, la zona sur, donde predominan elementos de los bosques valdivianos, exhibiendo por esta razón, una alta riqueza de especies (Cavieres *et al.*, 2004).

Gran parte de los ecosistemas que se encuentran insertos en esta área se han visto amenazados, primero, por el gran aumento poblacional en el AMC (INE, 2017), que ha estimulado el crecimiento urbano expandiéndose en parte sobre ecosistemas naturales y seminaturales, generando de esta manera la destrucción de esta diversidad de ecosistemas, los cuales sólo sobreviven actualmente en forma de pequeños fragmentos dentro del área urbana (Rojas *et al.*, 2013), y segundo, por el desarrollo de grandes extensiones de plantaciones forestales de pinos y eucaliptus que, especialmente desde la década de 1980 han reemplazado zonas agrícolas y matorrales y bosques nativo (CONAF, 2018). Debido a esto, es que urge la realización de estudios y proyectos que relacionen la ecología urbana y planificación territorial, teniendo el enfoque puesto en estrategias que permitan la conservación y planificación de estos ecosistemas abordándolas desde los procesos de restauración, recuperación o reconversión de las áreas afectadas para que de esta forma los ecosistemas vuelvan a reestablecer su conectividad.

1.3.1 Evolución demográfica del AMC

Uno de los grandes detonantes de la pérdida de ecosistemas dentro del AMC ha sido el crecimiento urbano que se genera producto del crecimiento demográfico del área, a continuación, en el Cuadro 1 se presentan las estadísticas de los últimos 4 censos, a nivel de Región, Área Metropolitana y sus respectivas comunas.

Cuadro 1. Crecimiento demográfico del AMC, 1982 – 2017

	1982	1992	2002	2017
	N° Habitantes			
Región	1.734.305	1.315.056	1.423.459	1.556.805
AMC	706.510	831.008	902.712	985.034
Concepción	272.679	206.839	216.061	223.574
Coronel	70.371	83.426	95.528	116.262
Chiguayante	-	56.371	81.302	85.938
Hualqui	15.091	16.156	18.768	24.333
Lota	48.814	50.256	49.089	43.535
Penco	33.360	40.359	46.016	47.367
San Pedro de la Paz	-	67.817	80.447	131.808
Santa Juana	11.260	11.957	12.713	13.749
Talcahuano	207.219	248.543	163.626	151.749
Tomé	47.716	49.284	52.440	54.946
Hualpén	-	-	86.722	91.773

Fuente: Elaboración propia en base a información del INE de los censos respectivos.

1.3.2 Plantaciones forestales en el AMC

El AMC se ha visto fuertemente impactado por la actividad forestal presente en el territorio, el Cuadro 2 muestra las estadísticas forestales desde el año 2009 al 2018, esta información fue obtenida de la página oficial de la Corporación Nacional Forestal, y de los informes del Instituto Forestal.

De acuerdo al cuadro existen 2 comunas que han aumentado considerablemente su superficie forestal debido a la intervención de empresas forestales en su territorio, como lo demuestra el caso de Lota que desde el año 2010 al 2018 sufrió un aumento de más del 120% en plantaciones, dando cuenta el gran impacto sobre el paisaje, por otro lado, la

Un Anillo Verde para el Área Metropolitana de Concepción
Evaluación de su Factibilidad Geográfica

comuna de Tomé presenta un aumento del 104% de plantaciones forestales, coincidentemente ambas comunas se encuentran ubicadas en los extremos del AMC.

Por otra parte, se encuentran las comunas que han disminuido considerablemente la actividad forestal dentro de su territorio, como son el caso de San Pedro de la Paz, la cual disminuyó un 93%, siguiéndole Penco con un descenso de 71%. Esto se asocia directamente con la gran demanda de viviendas y el aumento exponencial de viviendas en estas dos comunas.

Cuadro 2. Superficie en hectáreas de zonas forestada del AMC del año 2010 – 2018

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Concepción	303,4	65,9	184,4	104,6	73,7	15,7	171,3	303,7	317,6
Coronel	319,9	557,7	384,66	203,1	742,2	452,5	131,1	693,3	466,6
Chiguayante	-	-	-	-	0,95	-	-	-	20,6
Hualqui	694,6	735,9	163,2	376,6	296,26	185,55	713,44	679,66	1.227,3
Lota	306,6	508,2	472,2	324,1	994,7	837,1	660	958,1	704
Penco	424,8	246,8	52,8	35,8	104,7	59,6	10,9	81,2	119,1
San Pedro de la Paz	246,4	215,2	326,4	2,3	42,8	561,6	485,9	281,5	17,4
Santa Juana	1.969,4	3.294,7	2.816,4	2.432,3	1.378,9	1.880,1	1.433,8	1.168,4	1.600,3
Talcahuano	1,3	-	-	-	2,4	-	-	-	-
Tomé	957,3	1.023,3	536,3	1.726,6	968,7	528,9	1.062,5	1.640,3	1.959,5
AMC	5.767	7.169	6.179	6.564	5.929	5.293	5.696	7.320	8.561

Fuente: Elaboración propia en base a informes Conaf (2018) "Plantaciones Forestales: Superficie Regional Forestada y Reforestada"

CAPITULO 2.- MARCO CONCEPTUAL

2.1 Crecimiento urbano como un problema para la sustentabilidad

Las ciudades son el resultado de procesos territoriales y socioeconómicos de inducción de una transformación radical de la cobertura y del uso del suelo el cual alguna vez estuvo ocupado por paisajes naturales o agrícolas (Weber & Puissant, 2003), Los procesos de crecimiento urbano constituyen los mayores cambios generados en el medio ambiente (Batisani & Yarnal, 2009) y en el funcionamiento de los ecosistemas y, por lo tanto, está íntimamente ligado al incremento de los problemas ambientales. Dicho de otro modo, las ciudades se encuentran en un constante proceso de concentración tanto de población, como recursos y servicios, volviéndose un sumidero de todo, situación que las posiciona a frecuentes retos asociados a la expansión de sus límites urbanos, lo cual se evidencia en la demanda creciente de suelos naturales (Soto, 2017).

Las ciudades se encuentran en constante crecimiento, albergando a más de la mitad de la población mundial (Haase *et al.*, 2014) y según proyecciones se espera que para el año 2030 el 60% de la población mundial viva en las ciudades (Naciones Unidas, 2017). No ajeno a esto, en las últimas décadas las ciudades latinoamericanas han registrado un fenómeno de crecimiento acelerado que ha arrasado con el territorio circundante, estimulado por las migraciones campo ciudad y con visibles deterioros en la calidad de vida. Esta situación se ha agudizado en los últimos 50 años (Labidoire, 2013; De Mattos *et al.*, 2014; Sorensen, 1998; Inostroza *et al.*, 2020) cuando la concentración de población en ciudades pasó del 56,7% al 81,5% consumiendo 3/4 de los recursos naturales, tales como vegetación, suelos fértiles, suelos agrícolas, entre otros, lo que genera un elevado gasto en movilidad y emisiones de gases de efecto invernadero, deteriorando la estructura natural y aumentando la probabilidad de impactos que afectan a las comunidades y finalmente haciendo nuestras ciudades y regiones poco sustentables (Rojas *et al.*, 2013; De Mattos *et al.*, 2014). En Chile se agudiza esta situación: un 88 % de la población nacional vive en ciudades (INE, 2017), lo que se acompaña y explica en el crecimiento de las áreas urbanas, como ocurre en el Área Metropolitana de Concepción (AMC) donde la tasa de crecimiento es de 1,3% anual (Baeriswyl, 2009; Rojas *et al.*, 2009). Este crecimiento impacta principalmente en áreas de alto valor ecológico como son humedales, bordes de ríos y lagunas (Romero & Vásquez, 2005; Rojas *et al.*, 2015), entre otros ecosistemas.

Esta rápida urbanización y crecimiento poblacional en cierto modo se evidencia a través de la proliferación de infraestructuras grises o artificializadas y la legitimación de cambios de usos de suelo sin la consideración de argumentos en base a la calidad de estos o la utilidad que prestan (Hölzl & Nuissl 2014). Estas acciones tienen consecuencias en la calidad del aire, del agua y del suelo, en la estabilidad de laderas, en los procesos asociados a la dinámica del paisaje, entre otros; lo que se traduce en un aislamiento y/o artificialización de los elementos verdes causando alteraciones a procesos naturales como el régimen hidrológico y la consecuente pérdida de biodiversidad (Romero & Vásquez, 2005; Phillips & Navarrete, 2009; Rojas *et al.*, 2015). Adicionalmente esta tendencia al aislamiento o fragmentación de los espacios verdes urbanos afecta negativamente los posibles servicios que pueden prestar los ecosistemas naturales remanentes, construidos (plazas o parques urbanos) o que sobreviven en el borde de las ciudades, generando que los paisajes urbanos se conformen en mosaicos diferentes, sin conectividad, quedando inmersos dentro de las matrices urbanas (Romero & Vásquez, 2005; McHugh & Thompson, 2011; Álvarez del Castillo, 2017).

Con el fin de crear opciones que permitan atenuar esta situación, muchas ciudades han dirigido esfuerzos hacia el establecimiento de un modelo consecuente con el desarrollo de una ciudad sustentable; a partir de la cual se plantean estrategias de adaptación a este crecimiento, mediante la configuración de sistemas de espacios verdes funcionales (Norton *et al.*, 2015), con el objetivo de mantener o restablecer la integridad del paisaje, maximizando y compatibilizando la salud humana y de los ecosistemas, generando sistemas urbanos más resilientes y sustentables (Vásquez, 2016).

Complementario a estas estrategias existen propuestas para articular mecanismos tanto de índole ambiental como de inclusión social, una integración a la planificación del uso del suelo, nuevas formas de diseño, tecnologías sustentables, la preservación de cinturones verdes, la preservación de ríos y cuencas de inundación, participación y gestión ciudadana; todo esto con el fin de reconvertir las urbes de acuerdo a su propia realidad y en espacios socialmente más justos, integradores y aptos frente al cambio climático (Ramos 2015; Álvarez & Delgado, 2014 en Soto, 2017).

En este sentido, conceptos como fragmentación, conectividad ecológica y ecología del paisaje, se convierten en parte importante en la base de estrategias para la conservación y la mitigación de los diferentes impactos que se producen sobre el paisaje urbano y no-

urbano, recibiendo gran atención como herramienta de planificación de los entornos urbanos y suburbanos, y de la conservación de la biodiversidad en los ecosistemas que quedan inmersos dentro de las ciudades y en sus bordes (Lee & Oh, 2012).

2.2 Aportes de la ecología del paisaje para la planificación del territorio

El concepto de ecología del paisaje se introduce en el año 1938 por Carl Troll, quien la describía como una disciplina resultante de la interacción de la geografía física y la ecología, de perspectiva espacial, geográfica, para entender fenómenos naturales complejos (Bocco, 2003). Para Troll los dos conceptos, ecología y paisaje, están relacionados con el entorno del hombre, con la particularmente variada superficie terrestre que éste tiene que usar de manera adecuada para su economía agrícola y forestal con el fin de aprovechar las materias primas, al igual que la explotación minera o la fuerza hidráulica que producen energía para impulsar sus industrias; un entorno natural que el hombre, con sus actividades, transforma siempre de un paisaje natural a un paisaje económica y culturalmente aprovechado (Morláns, 2005). Por lo tanto, lo define como “el estudio de toda la complejidad de relaciones causa-efecto que existen entre las comunidades de seres vivos y sus condiciones ambientales en una sección específica de paisaje” (Troll, 1939 en Vilá Subirós *et al.*, 2006),

Por su parte Zonneveld (1988), señala que lo básico de la ecología del paisaje y lo que la diferencia de otras disciplinas es la suposición de que un espacio específico de un paisaje es una entidad holística, que incluye todos sus componentes heterogéneos, incorporando al hombre como un elemento más del conjunto. Además, señala que el objeto de estudio de la ecología del paisaje es el "paisaje", correspondiendo éste a la heterogeneidad de un área de tierra compuesta por un grupo de ecosistemas interactuantes, que se repite en forma similar a lo largo del espacio (Forman & Godron, 1986).

Este concepto ha sido ampliamente usado en los últimos años como herramienta para contrarrestar los posibles efectos asociados a la fragmentación del paisaje, la conectividad y el funcionamiento de estos (McHugh & Thompson, 2011). La perspectiva del paisaje ha facilitado la evolución transdisciplinar en proyectos de ecología urbana; se han propuesto conceptos espaciales para analizar la estructura verde urbana y la perspectiva humana, logrando diferentes aproximaciones que van desde el diseño de redes de espacios protegidos hasta sistemas integrales de planificación y gestión del territorio (Niamela, 2014).

2.2.1 Fragmentación de paisajes naturales y seminaturales

La Fragmentación es un fenómeno espacial, a escala de paisaje, que promueve la discontinuidad de un fragmento o parche grande y original; aplicado a toda escala y en cualquier dominio ya sea espacial y/o temporal, en donde la disrupción de la continuidad se ha hecho evidente (Lord & Norton en Sarmiento, 2000). La fragmentación se usa comúnmente para representar cambios negativos sobre hábitats de especies, indicativos de cambios en los paisajes. En palabras de Rotem-Mindali (2012), la fragmentación del hábitat se define como “un proceso en el que una extensión de hábitat se transforma en una serie de parches, con un área más pequeña y aislados entre sí por una matriz de hábitats diferente del original”. Para August, Iverson, & Nugranad (2002), la fragmentación del paisaje puede verse como una secuencia de elementos diferentes en donde la composición y las comunidades se ven afectadas debido a la reducción de su hábitat a pequeños parches aislados e inmersos en usos altamente perturbados del suelo.

De este modo podemos entender que la fragmentación puede ser entendida como un proceso de fractura y cambio de la matriz homogénea del paisaje hacia la heterogeneidad espacial del área (Harris & Silva-López (1992) en Sarmiento, 2000). Esta se puede producir de diversas formas, el Cuadro 3, presenta los diversos tipos que se pueden encontrar y que procesos se encuentran asociados.

Cuadro 3. Tipos de fragmentación

Tipo	Proceso
Divisiva	Se produce cuando un atributo linear rompe el paisaje y lo fragmenta hacia las afueras de la línea (p. ej.: una carretera, el tendido eléctrico, etc.)
Intrusiva	Se produce cuando el fragmento se expande desde el interior de la matriz hacia las afueras (p. ej.: un claro de bosque).
Envolvente	Se produce cuando la fuerza de fragmentación rodea el perímetro de la matriz y la separa desde afuera hacia el centro (p. ej.: los parques y el cinturón verde de las ciudades).
Regresiva	Se produce cuando la fuerza fragmentadora se aplica en un lado de la matriz y procede empujando ese lado hacia adentro (p. ej.: en las áreas costeras o en los asentamientos de montaña que talan el bosque hacia arriba).

Un Anillo Verde para el Área Metropolitana de Concepción

Evaluación de su Factibilidad Geográfica

Galopante	Se produce cuando la fuerza fragmentadora opera a lo largo de elementos conectados y deja un corredor entre los remanentes de la nueva matriz. Se dice que esta es una mezcla de regresiva y envolvente (p. ej.: en los ecosistemas rurales donde las manchas de bosque se mantienen conectadas por corredores ribereños).
-----------	--

Fuente: Adaptación de Harris & Silva-López (1992) en Sarmiento, 2000

En general, la fragmentación es un proceso dinámico que puede describirse a partir del uso de índices y métricas del paisaje. Este proceso de fragmentación o degradación del hábitat comprende varias etapas relacionadas con el grado de intervención (Figura 2), donde la etapa de la fragmentación presenta entre el 40 – 60% del hábitat alterado, evidenciándose problemas derivados de la disminución de superficie de hábitat (Junta de Andalucía, 2011).

Figura 2.- Grados de alteración del paisaje.



Fuente. Adaptación a partir de Junta de Andalucía, 2011

Este proceso de fragmentación ha sido atribuido a que, en los últimos cincuenta años, la intensificación en la urbanización, las redes de transporte, entre otros; se han desarrollado sin precedentes sobre los hábitats y paisajes naturales (Vimal *et al.*, 2012). De este modo en las ciudades, la fragmentación se presenta como resultado de procesos de ocupación y transformación del paisaje, a través del cual los espacios verdes urbanos son remanentes de estos procesos, quedando dispersos y aislados (Di Giulio *et al.*, 2009). Es así como algunos de los efectos de la fragmentación son la disminución de superficie de hábitat, la reducción del tamaño y aislamiento de elementos del paisaje. A nivel urbano los efectos de la fragmentación trascienden los ecológicos y se encuentran también a la funcionalidad social del verde urbano; en la medida en que un menor tamaño de los espacios y su desconexión física dificulta la configuración de un sistema integrado de espacios verdes públicos para los ciudadanos (San Vicente & Valencia, 2012).

2.2.2 Conectividad ecológica

El término de conectividad en la ecología del paisaje se entiende como una propiedad de los ecosistemas auto-organizados que se mantienen en equilibrio dinámico o en constante cambio compensatorio a través del tiempo (Merriam, 1984) y surge como posibilidad de integración de los diferentes elementos naturales del paisaje que se encuentran desconectados. Para McGarigal & Marks (1995) y Chassot *et al.* (2011) este término hace referencia al grado en el que el paisaje facilita o impide el movimiento o flujos de organismos entre diferentes parches de hábitat; por otra parte, Richard Forman (1995), señala que es la resistencia del paisaje a dichos flujos; donde el paisaje es considerado como una superficie heterogénea conformada por un mosaico de unidades homogéneas.

De este modo la conectividad ecológica es un elemento fundamental del paisaje y así, una de las estrategias para mitigar los efectos de la fragmentación sobre los ecosistemas (Murrieta *et al.*, 2007), es así como se considera un elemento vital de la estructura de paisaje debido a su importancia para la supervivencia de especies (Chassot *et al.*, 2011).

Los estudios de conectividad entre parches cobran importancia con el fin de ayudar a contrarrestar los efectos de la fragmentación del hábitat, generándose resultados favorables tanto para la diversidad como para la sociedad, y permitiendo que los servicios ecosistémicos presentes y funciones hacia la ciudad se puedan conservar, restaurar o incrementar (Rich *et al.*, 1994). De este modo las áreas al volver a ser conectadas a través de la unión de los fragmentos que componen el paisaje; logran ser efectivas, lo que finalmente se traduce en un incremento de las tasas de intercambio de individuos entre poblaciones y su persistencia tanto local como regional, el aumento de la estabilidad, de la capacidad de recuperación frente a perturbaciones y de la posibilidad de recolonización tras posibles extinciones locales (Martínez de Toda *et al.*, 2011), Esto cobra importancia ya que para sostener los procesos ecosistémicos, es necesario mantener un robusto movimiento de energía, información, materiales y especies (Upadhyay, 2017).

Para lograr este propósito, se requiere hacer un análisis de la configuración actual y las tendencias del paisaje a partir de tres elementos: estructura, función y variación. La estructura hace referencia al grado en que el paisaje facilita o impide el movimiento entre parches (tamaño, forma, número, tipo y dirección). La función involucra el proceso de conexión de poblaciones de un paisaje, el movimiento de individuos y sus genes; y la

variación hace referencia a la función de la biodiversidad y los diferentes ecosistemas que conforman el paisaje (Lee & Oh, 2012).

Es así como existen diversos estudios a nivel internacional y nacional que han establecido parámetros de mediciones de conectividad ecológica dentro del territorio, a continuación, se mencionaran 2 casos. El primero corresponde al caso corresponde a un estudio realizado en el Área Metropolitana de Barcelona (AMB), el cual basa su metodología en diversos parámetros métricos asociados al paisaje, mediante un diagnóstico inicial de la conectividad ecológica que presentan los ecosistemas del AMB y a través de un modelo computacional que considera barreras antropogénicas se construye, 3 índices: Índice de Conectividad Ecológica (ICE), Índice de Afectación de Barreras (IAB) e Índice de Fragmentación Ecológica (IFE), los cuales permiten describir la situación actual y escenarios futuros, lo que permite una evaluación estratégica de los impactos ambientales (Marrull & Mallarch, 2002)

El segundo estudio corresponde a un estudio realizado en el Área Metropolitana de Concepción (AMC), el cual evaluar los cambios de conectividad ecológica que posee el territorio, como un atributo significativo para la conservación del paisaje, este estudio, al igual que el anterior utiliza una metodología de tipo paramétrica, calculando indicadores a nivel de paisaje y a nivel de ecosistemas. Utilizan métricas basadas en los principios de la ecología del paisaje e imágenes satelitales evidenciando como los cambios en el paisaje afectan directamente la fragmentación y la pérdida de conectividad (Rojas *et al.*, 2017)

Ambos estudios dan cuenta como la pérdida de conectividad se ve incrementada en las zonas adyacentes a áreas urbanas, sin embargo, esta puede recuperarse a través de la planificación de estas áreas luego de identificarlas mediante diversas estrategias existentes a nivel mundial como lo son la implementación de infraestructuras verdes

2.3 Planificación de los espacios verdes y el paisaje

El concepto de infraestructura verde (*green infrastructure*), ya mencionado anteriormente, que se introdujo a fines del siglo XIX por Frederick Law Olmsted a través de un trabajo en que buscaba la manera de proporcionar la conexión de todos los ciudadanos con paisajes urbano-naturales (Martinez, 2016). Durante este mismo periodo Ebenezer Howard (1898) escribe *Garden cities for to-morrow* donde plantea el desarrollo de *green belts* (cinturones

verdes) rodeando las ciudades para proveer un balance ecológico y límites al crecimiento poblacional urbano, años más tarde Ian McHarg, incluye la noción de servicios ecosistémicos, evidenciando cómo la naturaleza directa y cuantificablemente proporciona beneficios para el bienestar social, como la calidad del aire, conservación y protección de estos (Martínez, 2016).

Sin embargo, hacia la segunda guerra mundial el concepto de infraestructura verde se fue debilitando, para recién retomarse durante los años noventa (Pauleit *et al.*, 2014), trayendo la naturaleza de vuelta a las ciudades y retomando este concepto, al igual que otros, como el concepto de cinturones verdes, entre otros (Wong & Yuen, 2011; Yigitcanlar & Dizdaroglu, 2015). Desde entonces, estas teorías de planificación han alcanzado un rápido impulso político en países desarrollados y se han convertido en parte central de los discursos de sustentabilidad, siendo utilizadas por una amplia gama de agencias, organizaciones, empresas, grupos comunitarios y planificadores.

Este concepto ofrece formas prácticas de lidiar con la creciente tasa de consumo de tierra y fragmentación en diversas escalas, al tiempo que mejora la colaboración interdisciplinaria y el intercambio de información a diferentes niveles y ofrece el potencial para lograr un desarrollo sustentable y una calidad de vida justa (Soule, 1991; Margules & Pressey, 2000; McDonald *et al.*, 2005; EEA, 2015). Aunque si bien, aún no existe consenso en una definición única del término, debido a que se utiliza en variadas disciplinas (Baró *et al.*, 2015), una de las definiciones más aceptadas y utilizadas en los últimos tiempos se refiere “a una red interconectada de espacios verdes que conservan el valor y funcionamiento de los ecosistemas naturales y provee beneficios a la población humana” (Benedict & McMahon, 2002). En la medida que la noción de infraestructura verde ha sido progresivamente aplicada en entornos urbanos, tanto su definición y, por lo tanto, lo que puede ser considerado como tal se ha ampliado, diversificado y complejizado, dada su aplicación en distintas escalas espaciales (EEA, 2011; Hansen & Pauleit, 2014). Sin embargo, y pese a esta amplitud, existe un consenso generalizado en que las características comunes que definen las infraestructuras verdes son: configuración en red, conectividad, multifuncionalidad y diversidad (EEA, 2011).

Dado su multi-enfoque de objetivo, función y escala, este tipo de infraestructura se está posicionado como un instrumento transversal a las políticas territoriales (Jara, 2017), ya que contribuye a la resolución de diversos problemas urbanos. En ese sentido estudios

recientes han demostrado que las características biofísicas de las infraestructuras verdes en zonas urbanas ofrecen un potencial para ayudar a las ciudades (Gill *et al.*, 2007; Demuzere *et al.*, 2014; Norton *et al.*, 2015), estas apuntan a maximizar las funciones de los ecosistemas y, por ende, permite satisfacer múltiples necesidades humanas de forma simultánea, ofreciendo amplios beneficios como la protección y creación de hábitat para especies, la mitigación y adaptación al cambio climático, el secuestro y almacenamiento de carbono, entre otras (Cuadro 4).

Cuadro 4. Servicios ecosistémicos provistos por infraestructura verde

Regulación	Soporte
Control de inundaciones	Biodiversidad
Purificación del agua	Ciclo de nutrientes
Recarga aguas subterráneas	Ciclo del agua
Regulación climática	Formación de suelo
Regulación de suelo (erosión)	Polinización
Regulación del aire	Producción de oxígeno
Regulación nutrientes	Producción primaria
Culturales	Provisión
Aumento plusvalía propiedades	Agua
Recreación y ecoturismo	Alimento
Relaciones sociales	Hábitat para diversas especies
Valor cultural heredado	Materia prima
Valor educativo	Producción de biomasa
Valor escénico e inspiración	Recursos genéticos
Valor religioso y espiritual	Recursos medicinales

Fuente: Adaptación de EEA, 2011; Gill *et al.*, 2007; Vásquez, 2016

Hoy estas áreas toman especial relevancia para las ciudades, pues estas en su afán de ser cada vez más competitivas en un mundo esencialmente globalizado, retoman el buen uso y manejo de estos elementos como muestra del “compromiso en mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, reevaluando su concepto de lo “público” y a partir de esto, promoviendo la incorporación y mejoramiento de zonas verdes, parques e infraestructura para la recreación” (Gehl, 2014). En este sentido, instituciones vinculadas a prever futuros efectos climáticos como son el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM), promueven la mejora del espacio público en las ciudades a través de nuevas iniciativas nuevos hallazgos en cuanto a calidad,

cantidad e incorporación de senderos peatonales y espacios verdes además de estrategias de adaptación y mecanismos resilientes que permitan establecer mejores condiciones actuales y futuras, adoptar medidas para proteger el recurso natural y así lograr que se potencien los bienes y servicios ambientales (Soto, 2017).

2.2.1 Cinturones y Anillos Verdes: el foco en el borde urbano

El concepto de Cinturón Verde/Anillo Verde fue introducido por Howard, en su libro *Garden cities for tomorrow* donde plantea el desarrollo de *green belts* (cinturones verdes) rodeando las ciudades para proveer un balance ecológico y límites al crecimiento poblacional urbano (Alvarez, 2015). El autor se basa en que una ciudad central que será el núcleo de ciudad consolidada, rodeada de ciudades jardines relacionadas y comunicadas directamente con la fundacional pero alejadas de ella lo suficiente como para ser independientes residencialmente y liberar de esta manera de acumulación humana y urbana a la principal. Jiménez (2015) señala que el concepto del Anillo Verde va más allá de la dimensión instrumental asignada de límite y contención urbana frente al crecimiento de la ciudad industrial de principios del siglo XX, basada en la descentralización de la ciudad tradicional, para adquirir un significado más complejo, como gran espacio de reserva y salvaguarda de valores naturales y culturales que se expresaban en su territorio y que permitirían alcanzar el equilibrio entre la ciudad y sus habitantes, es decir, entre el hombre y el espacio que habita.

Más adelante se empezó a utilizar este término como ejemplo de estrategias de planificación territorial existiendo de este modo diversas propuestas de creación o adaptación de cinturones o anillos verdes alrededor de la ciudad. Patrick Geddes insistía en que el estudio de las ciudades no podía centrarse únicamente en el área construida, sino que debía ampliarse a la región natural, entendida esta como una un área no ajena al desarrollo urbano, sino como una expresión de la transformación del lugar por la sociedad que lo habita (Jiménez, 2015). Estas ideas impactaron en los ejercicios de planificación que se desarrollaron en los inicios del siglo XX. Es el caso de Londres, en donde existía una preocupación por la conservación de las áreas rurales y agrícolas que rodeaban la ciudad que se veían amenazadas por el constante aumento de la mancha urbana. Como resultado, se desarrollaron planes que más que definir áreas verdes para la conservación, lo que procuraron fue limitar los escenarios en los cuales se podía construir, orientando a la vez la forma en que crecería la ciudad. De esta manera, por primera vez en 1919 se trazó un plan

donde se dibujaba un anillo verde alrededor de la ciudad, el cual demarcaba el límite del área edificada, posteriormente en el año 1944 aparece el plan del Gran Londres en cual se pudo apreciar por primera vez el famoso mapa que identifica al actual '*Green Belt*' de la ciudad (Cely, 2017).

Este plan estaba dirigido a descentralizar la urbanización e industrialización que sufría la ciudad, por lo que se definieron diversos anillos que generaban espacios de transición entre la ciudad y el campo. En esta interfaz entre la ciudad y el territorio que la rodea, fueron apareciendo nuevos elementos que aportaron a la adaptación y desarrollo de esos escenarios verdes (Álvarez 2015). Así, en la búsqueda de modelos teóricos para el desarrollo de ciudades más sustentables, los postulados denominados como clásicos de Howard y Geddes cobran de nuevo relevancia, pero manteniendo la precaución que requiere integrar los elementos de la naturaleza a la ciudad y no simplemente de separarlos. Como bien menciona Luis Orive citando a Paul Blanquiart (2008), el futuro de la vida está condicionado al futuro de las ciudades, y por tanto se hace fundamental combatir la degradación, fragmentación y homogeneidad que involucra la urbanización, intentando recuperar los espacios de borde y apostando por la diversidad, heterogeneidad, movilidad y conectividad.

Es entonces cuando la definición de cinturones verdes surge como una solución desde el urbanismo a la planificación ecológica de los paisajes al borde de la ciudad, y cuando aparecen numerosos ejemplos alrededor del mundo que pretenden proteger los entornos naturales urbanos, mejorar la calidad ambiental en las grandes ciudades, mantener el carácter rural de las comunidades que rodean los ámbitos metropolitanos, eliminar los procesos de suburbanización y, sobre todo, otorgar una oportunidad a la población urbana de acceder fácilmente a zonas de gran riqueza natural cercanas al centro de la ciudad (Cely, 2017)

Dentro de estos ejemplos resaltan los casos de Bélgica, Alemania y España, de los cuales pretendemos extraer criterios para la propuesta de un anillo verde que permita la integración de los diversos ecosistemas que componen el Área Metropolitana de Concepción.

2.3.1 Experiencias de planificación de espacios verdes y paisajes en Chile

En Chile el concepto de infraestructura verde tiene un uso es aún incipiente, pero es impulsado con entusiasmo desde el ámbito académico para la planificación y gestión de espacios públicos, especialmente desde disciplinas y temáticas como la ecología urbana, silvicultura urbana, restauración ecológica, arquitectura del paisaje, sustentabilidad urbana, ordenamiento territorial sustentable, entre otros (Jara, 2017). A continuación, se presenta una breve revisión de planes y casos incipientes tanto a nivel nacional como del área de estudio, el Área Metropolitana de Concepción, de proyectos y programas que se han realizado en función de la dotación de vegetación, la construcción o mejora de las áreas verdes existentes, planes de infraestructura ecológica y construcción de infraestructura verde.

En cuanto a programas nacionales para incorporación o conservación de naturaleza dentro de la ciudad encontramos el Programa de Arborización del Bicentenario “Un chileno, un árbol” el cual debía implementarse desde el 2010 al 2018, y contemplaba la entrega de 17 millones de árboles con la finalidad de aumentar la cobertura vegetal. El foco de este programa apuntaba a la donación de árboles a personas naturales, empresas y organizaciones sociales por medio de convenios y/o solicitudes, lo que significaba que los encargados de la plantación y mantención eran los solicitantes, si bien se loguen desempeño la sobrevivencia de los árboles entrados era baja (Conaf.cl¹). Para el año 2014 se reformula el programa y toma el nombre de “+ Árboles para Chile” y desde entonces el programa contempla acciones que apuntan a generar espacios arbolados por medio de convenios de cooperación entre actores públicos y privados –como municipios, universidades, colegios, organizaciones sociales, entre otros-, contempla la entrega de plantas y asesoría técnica para la adecuada plantación y mantenimiento, la ejecución de programas comunitarios, la construcción de parques urbanos naturales y la creación proyectos emblemáticos (Conaf.cl). Actualmente el programa de arborización se encuentra dentro de los compromisos del gobierno hasta el año 2022, en una clara señal de reimpulso del plan de reforestación urbana con una meta de entrega de 5 a 6 millones de árboles.

Por otra parte, desde una óptica urbanística, existen diversos programas que en mayor o menor medida contemplan la creación y/o la mantención de espacios verdes urbanos en

¹ <https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/arborizacion/>

Chile (Cuadro 5). De igual manera durante el año 2019 se comienza a trabajar en una inédita Política Nacional de Parques Urbanos (PNPU), la cual busca impulsar una política que promueva estándares de áreas verdes urbanas pensando en el futuro, estableciendo criterios y considerando la evolución propia de las ciudades y las consecuencias del cambio climático. Actualmente esta a la espera de ser aprobada.

En la Región Metropolitana de Santiago existe el proyecto de infraestructura verde “stgo +”, impulsado por la Universidad de Chile en colaboración con el Ministerio de Vivienda y Urbanismo; consiste en un sistema de infraestructura verde pensado para Santiago que ofrece oportunidades para catalizar el interés colectivo en espacios verdes de distinto tipo y escala, y articular las diferentes iniciativas públicas, privadas y ciudadanas con una mirada estratégica de planificación integrada. Esto significa contar instrumentos que permitan la coordinación y conducción de todos los esfuerzos que hasta ahora se realizan de manera fragmentada. La visión de este plan es aportar a que exista una ciudad que sea más eficiente, más equilibrada, más resiliente y saludable, esto mediante dos lineamientos; el primero en relación a contribuir la integración social y espacial y el segundo corresponde a generar aportes en la adaptación de la ciudad a los efectos mediante el cambio climático (Devoto, 2017).

Por otra parte, en la ciudad de Llanquihue, región de Los Lagos, existe el Plan de Infraestructura Verde, impulsado por la Fundación Legado Chile, que tiene como objetivo la creación y consolidación de un sistema interconectado de espacios verdes urbanos basados en la red de humedales, espacios públicos y otros componentes verdes y abiertos del paisaje local además busca complementar los actuales instrumentos de planificación de la ciudad y contribuir con nuevos instrumentos para la gestión integrada en materia de paisaje, conservación y espacio público. Algunos beneficios claves para la población humana son la biodiversidad y vida silvestre, mejoramiento de la calidad del aire, provisión de agua limpia, recreación, protección ante desastres, mitigación de efectos de isla de calor y belleza escénica. Con este proyecto, se busca aportar 790.000 m² de áreas verdes urbanas, 48 m² por habitante (<http://legadochile.cl/plan-infraestructura-verde/>)

Cuadro 5.- Programas urbanísticos para la incorporación y conservación de espacios verdes en las ciudades de Chile.

Programa	Objetivos
Programa Nacional de Espacios Públicos	Mejorar y construir espacios públicos para fomentar el desarrollo, la equidad y la calidad de vida en la ciudad, protegiendo el patrimonio urbano y reforzando la identidad local
Programa de Recuperación de Barrios “Quiero mi Barrio”	Contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de barrios que presentan problemas de deterioro urbano, segregación y vulnerabilidad social, mediante la recuperación de los espacios públicos y de los entornos urbanos de las familias
Mejoramiento del entorno y del equipamiento comunitario	Mejorar espacios públicos (cierros, iluminación, áreas verdes o similares) además de construir o mejorar de inmuebles destinados a equipamiento comunitario (infocentros, juegos infantiles, sedes sociales, multicanchas, cierres perimetrales o similares).
Programa de Conservación de Parques Urbanos	Conservar parques existentes, que se encuentren a disposición de la comunidad en forma gratuita, y que cuenten con una superficie superior a dos hectáreas.
Plan Chile Área Verde	Crear nuevos parques urbanos en comunas con déficit de áreas verdes y alta vulnerabilidad social. El diseño de los parques contemplaba instancias de participación ciudadana y la articulación con los gobiernos regionales y con los municipios

Fuente: Elaboración propia en base a información obtenida del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU): www.minvu.cl

En el AMC han surgido iniciativas importantes en los últimos años, tales como el Plan Verde Coronel 2050 y la Ruta del Agua del Gobierno Regional. El primero corresponde al primer Plan Maestro de Infraestructura Verde de la ciudad de Coronel, cuyo objetivo es hacer de Coronel una ciudad más verde y sostenible. De esta forma, Coronel pasó a formar parte del reducido listado de ciudades en el mundo en contar con Planes de Infraestructura Verde a nivel local y plantea un conjunto de estrategias orientadas a introducir la naturaleza en los espacios públicos de la ciudad, cambiando positivamente las condiciones del entorno urbano y mejorando así los estándares de vida, salud y confort de las personas que viven en Coronel. De este modo desde la puesta en marcha del Plan Verde en el año 2010, Coronel incrementó notablemente sus áreas verdes públicas pasando de 17 a más de 60 hectáreas en menos de 10 años, logrando además una distribución más o menos equilibrada de sus espacios verdes por toda la ciudad (ECORONEL, 2012).

Por otra parte, la Ruta del Agua es una propuesta presentada por la Mesa de Humedales, compuesta por representantes de 7 municipalidades, que busca caracterizar y poner en valor el sistema hídrico de esta área, protegiendo y promocionando los humedales como espacios urbanos de valor ecológico y social. Los humedales que componen la ruta del agua se articulan a través de espacios públicos. Estos ecosistemas naturales son de alto valor en cuanto a biodiversidad, son importantes generadores de diversos servicios ecosistémicos relevantes para la vida urbana, además entregan un entorno paisajístico identitario y singular a los sectores y barrios de nuestra ciudad. Los humedales que componen esta ruta del agua contemplan un total de 3.517 hectáreas, abarcando las comunas de San Pedro de la Paz, Coronel, Lota, Concepción, Hualpén, Talcahuano, Penco y Tomé.

Si bien existen algunos esfuerzos por integrar de mejor manera estos espacios naturales dentro de la ciudad, aún faltan iniciativas que generen territorialmente sistemas integrados, se debe cambiar la política de hacer ciudades sustentables pensando solamente a nivel comunal, se deben integrar sistemas de mayor envergadura no solamente plazas y parques urbanos.

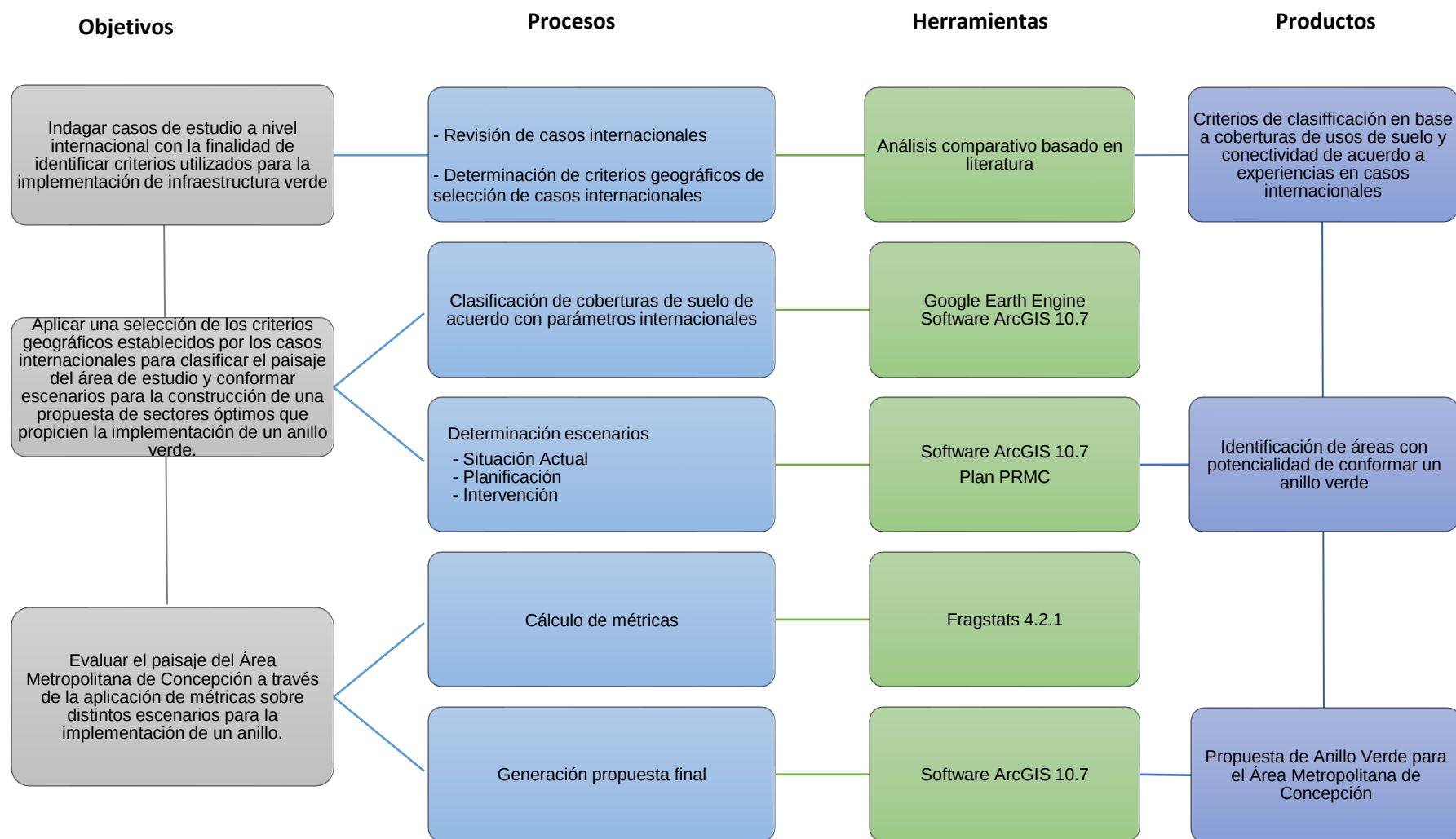
Impulsar este tipo de acciones encaminadas a considerar la normativa territorial y promover el uso sustentable de los recursos naturales, contribuye a planificar ciudades más amigables con el medio ambiente y a mitigar los posibles impactos que se producen sobre el paisaje.

CAPITULO 3.- MATERIALES Y MÉTODOS

Para abordar esta metodología que propone la implementación de una Infraestructura Verde centrada en el borde del AMC, por medio de anillos verdes, es necesario hacer una identificación de criterios internacionales que serán aplicados al territorio del AMC. La implementación depende del análisis que dé cuenta tanto del grado de fragmentación que presenta el área, así como también los grados de conectividad que estos posean a fin de determinar sectores óptimos y evaluarlos a través de 3 escenarios (situación actual, con planificación, con intervención). Tras la identificación de esos criterios, se calculan métricas del paisaje en el software FRAGSTATS 4.2.1 para determinar los grados de la conectividad y fragmentación con el fin de determinar los sectores idóneos que permitan implementar un anillo verde.

Las etapas metodológicas se pueden visualizar en la Figura 3. Cada etapa realizada se desarrolla en base a uno de los objetivos específicos propuestos anteriormente.

Figura 3.- Esquema Metodológico



Fuente: Elaboración propia

3.1 Revisión de casos internacionales para la identificación de criterios para la implementación de sistemas de infraestructura verde

Para el cumplimiento de este objetivo fue necesario realizar en primera instancia un reconocimiento de aspectos geográficos del área de estudio como: la morfología urbana, unidad territorial y vegetación, los cuales permiten obtener una idea clara de cuáles son los casos internacionales que son apropiados para analizar.

Posteriormente se analizan en base a objetivos, contenidos o palabras claves, los casos internacionales seleccionados que hayan implementado estrategias de planificación territorial de infraestructura verde tales como cinturones verdes/anillos verdes, con la finalidad de establecer criterios que puedan ser aplicados en el área de estudio para identificar áreas potenciales de integración a una infraestructura verde en el AMC.

Esta revisión también sirvió como complemento para identificar cuáles son los tipos de clasificaciones de coberturas de uso del suelo más usados y propicios para la generación de una infraestructura de este tipo y cuál es el tipo de vegetación asociada. A partir de este análisis comparativo de casos internacionales en base a los objetivos por los cuales fueron creados, su contenido y búsqueda de palabras claves, se obtuvieron criterios para desarrollar una clasificación de usos de suelo funcional a los objetivos de este trabajo, estos criterios corresponden a nivel de escala y tipo de ecosistema asociado a la construcción de una infraestructura verde.

De manera simultánea, se revisaron criterios internacionales de clasificación como lo es la clasificación internacional CORINE Land Cover (CLC), un programa Europeo dirigido por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), que pertenece al programa CORINE (Coordination of information on the environment). Este trabajo culminó con una clasificación de usos de suelo que contiene 44 clases de coberturas, como se muestra en la Figura 4.- Clasificación de Suelo de acuerdo a la Clasificación europea CORINE Land Cover. Esta clasificación fue utilizada como guía para la clasificación de uso de suelo del área de estudio en contraste con los resultados del análisis de literatura. En base a esta se espera obtener una reclasificación apropiada para el área de estudio.

Figura 4.- Clasificación de Suelo de acuerdo a la Clasificación europea CORINE Land Cover.



Fuente: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/corine-land-cover-2006-by-ountry/legend>

3.2 Aplicación de criterios para la clasificación del área de estudio y la creación de escenarios de usos de suelo para la implementación de un Anillo Verde en el AMC

Esta etapa se lleva a cabo mediante dos procesos, el primero corresponde a la clasificación de usos de suelo del área de estudio en base a los criterios establecidos del análisis comparativo de casos internacionales, al tener esta clasificación realizada se procede al segundo proceso, la determinación de escenarios. Ambos procesos son detallados a continuación.

3.2.1 Clasificación de coberturas de uso del suelo en el área de estudio

La clasificación de usos de suelo del área de estudio se realiza mediante la plataforma Google Earth Engine (GEE), una plataforma de análisis online, la cual permite procesar información geoespacial en la nube sin necesidad de ocupar recursos computacionales del usuario. Al mismo tiempo, esta plataforma está ligada directamente a varios programas satelitales que permiten integrar en las bases de datos las imágenes actualizadas. GEE es, por lo tanto, una solución innovadora para el manejo de los datos masivos ("Big Data"), que permite afrontar problemas globales, dando resultados velozmente. De esta manera, permite proponer y actuar en soluciones para dichos problemas de forma ágil (Gorelick *et al.*, 2017). En particular, la versión *code* de GEE es una plataforma geomática alojada en la nube que permite a los usuarios visualizar y analizar imágenes satelitales de manera automatizada a través de la creación y programación de códigos (*script*).

Respecto a los insumos, se trabajó con una imagen Sentinel 2^a, la cual cuenta con 13 bandas cuyas diferentes combinaciones permiten resaltar múltiples características del mapa logrando de esta forma discriminar fácilmente ciertos elementos que no son necesarios para el análisis, además cabe señalar que estas imágenes vienen con corrección atmosférica. La siguiente Figura 5 muestra la descripción y característica de cada una de las bandas.

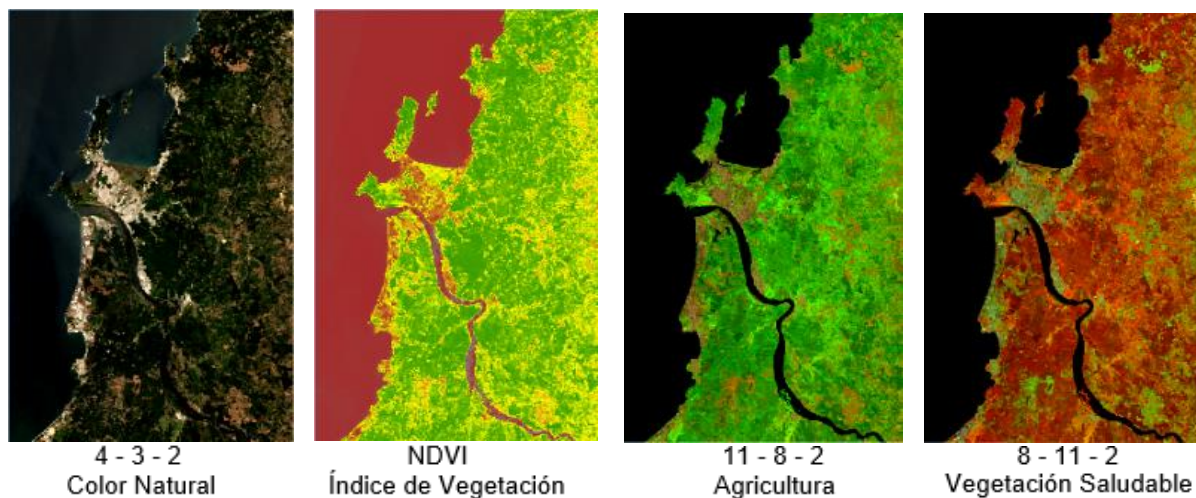
Figura 5.- Bandas correspondientes a la imagen satelital Sentinel 2A.

Name	Units	Min	Max	Scale	Resolution	Wavelength	Description
B1				0.0001	60 meters	443.9nm (S2A) / 442.3nm (S2B)	Aerosols
B2				0.0001	10 meters	496.6nm (S2A) / 492.1nm (S2B)	Blue
B3				0.0001	10 meters	560nm (S2A) / 559nm (S2B)	Green
B4				0.0001	10 meters	664.5nm (S2A) / 665nm (S2B)	Red
B5				0.0001	20 meters	703.9nm (S2A) / 703.8nm (S2B)	Red Edge 1
B6				0.0001	20 meters	740.2nm (S2A) / 739.1nm (S2B)	Red Edge 2
B7				0.0001	20 meters	782.5nm (S2A) / 779.7nm (S2B)	Red Edge 3
B8				0.0001	10 meters	835.1nm (S2A) / 833nm (S2B)	NIR
B8A				0.0001	20 meters	864.8nm (S2A) / 864nm (S2B)	Red Edge 4
B9				0.0001	60 meters	945nm (S2A) / 943.2nm (S2B)	Water vapor
B11				0.0001	20 meters	1613.7nm (S2A) / 1610.4nm (S2B)	SWIR 1
B12				0.0001	20 meters	2202.4nm (S2A) / 2185.7nm (S2B)	SWIR 2

Fuente: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S2_SR#bands

Tras seleccionar la fecha, Diciembre 2019, y el área de estudio se realizan algunas combinaciones de bandas y la utilización de índices como por ejemplo el NDVI, que permiten obtener mejor visualización del área. Algunas combinaciones usadas se pueden ver en la Figura 6.

Figura 6.- Combinación de bandas utilizadas para una mejor visualización de las coberturas e índice NDVI.



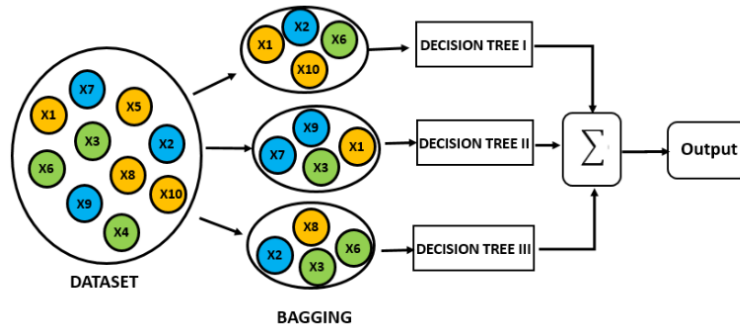
Fuente: Elaboración propia

Para comenzar la clasificación se identifican puntos de referencia o control para cada tipo de uso o cobertura del suelo. En este caso utilizamos 100 puntos aproximados por cobertura, los cuales deben ser seleccionados por toda el área de estudio para evitar sesgo durante la utilización del clasificador, no existe un consenso respecto a una cantidad determinada de puntos a utilizar, sin embargo, se prioriza la cantidad de información que pueda ser recolectada e identificada dentro del visor.

Una vez elegidos los puntos de control, se procede a entrenar el clasificador y a elegir el método de clasificación. En este caso se va a utilizar el método de clasificación supervisada *Random Forest* (RF, en español bosques aleatorios), propuesto por Breiman (2001), para mejorar la clasificación y regresión de árboles (CART) mediante la combinación de un gran conjunto de árboles de decisión, se escoge este clasificador debido a su gran precisión y utilización para clasificar gran cantidad de datos.

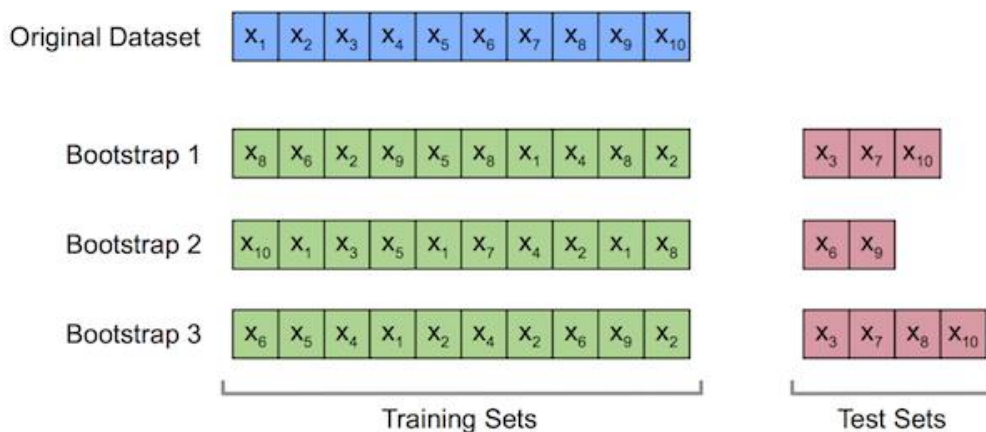
RF es una técnica de aprendizaje por conjuntos, que genera y combina un conjunto de árboles de decisión, como clasificadores base en el que cada árbol aporta un solo voto para la asignación de la clase más frecuente a los datos de entrada. El algoritmo se beneficia de dos técnicas poderosas: *bagging* y selección aleatoria del subespacio (Lin *et al.* 2010 en Adam *et al.*, 2014). RF construye muchos árboles aleatorios de clasificación binaria (*ntree*) usando varias muestras de arranque con reemplazos extraídos de las observaciones originales. Estos árboles aleatorios (*random forests*) de clasificación aportan un voto unitario y la clasificación correcta se determina mediante el voto mayoritario de todos los árboles del bosque (Figura 7). Las muestras que no están en la muestra de arranque se denominan muestras fuera de la bolsa (OOB). La muestra OOB (aproximadamente el 1/3 de los datos totales) se puede utilizar para estimar el error de clasificación y la importancia de la variable (Figura 8).

Figura 7.- *Bagging*, técnica utilizada en la clasificación de *Random Forest*.



Fuente: <https://bookdown.org/content/2031/ensambladores-random-forest-parte-i.html>

Figura 8.- OOB (*Out of Bag*), técnica de *Random Forest* que permite validar la muestra de acuerdo a una muestra aleatoria.



Fuente: <https://bookdown.org/content/2031/ensambladores-random-forest-parte-i.html>

Para el cálculo de RF es necesario indicar algunos parámetros que permiten mejorar la precisión de la clasificación. En ese caso solo mencionaremos dos parámetros que están relacionados con los procesos mencionados anteriormente.

- El primero es el número de árboles del bosque (*ntree*), el cual permite estabilizar los errores, ya que usar demasiados árboles puede ser innecesariamente ineficiente. Un número predeterminado de árboles (*ntree*) de acuerdo con Adam *et al.* (2014) es 500.
- El segundo es el llamado *sampsiz* que corresponde al número de muestras sobre las cuales entrenar. El valor por defecto es 63,25% aunque generalmente se mantiene en

el rango 60-80%, en este caso se utilizó 70% de los datos para entrenamiento lo que nos deja con un 30% de los datos para testear.

Para validar la clasificación se realiza una matriz de confusión que contiene información sobre el estado real (actual, basado en los puntos de control) y el resultado del sistema de clasificación (predicción). Esta matriz tiene dos dimensiones, una es indexada por el objeto de la clase actual y la otra indexada por la clase que predice el clasificador. En la Figura 9 se presenta la forma básica de la matriz de confusión (Deng *et al.*, 2016).

Figura 9.- Matriz de confusión, generada entre la muestra actual y la muestra observada.

		Predicción		
		X_1	$\dots X_j \dots$	X_n
Actual	X_1	N_{11}	N_{1j}	N_{1n}
	$\vdots$		$\vdots$	
	X_i	N_{i1}	$\dots N_{ij} \dots$	N_{in}
	$\vdots$		$\vdots$	
	X_n	N_{n1}	N_{nj}	N_{nn}

Fuente: Elaboración propia en base a Deng *et al.*, 2016.

Para validar la confiabilidad se utilizará el Índice Kappa, el cual es un descriptor estadístico altamente utilizado que refleja la concordancia inter-observador y puede ser calculado en tablas de cualquier dimensión, siempre y cuando se contrasten dos observadores. El coeficiente kappa puede tomar valores entre -1 y +1. Mientras más cercano a +1, mayor es el grado de concordancia inter-observador, por el contrario, mientras más cercano a -1, mayor es el grado de discordancia inter-observador. Un valor de $\kappa = 0$ refleja que la concordancia observada es precisamente la que se espera a causa exclusivamente del azar (Figura 10)

Figura 10.- Escala de valoración Índice Kappa para determinar la precisión de concordancia de la clasificación de la muestra.

Valoración Índice Kappa	
Valor de <i>K</i>	Concordancia
< 0.20	Pobre
0.21 - 0.40	Débil
0.41 - 0.60	Moderada
0.62 - 0.80	Buena
0.81 - 1.00	Muy Buena

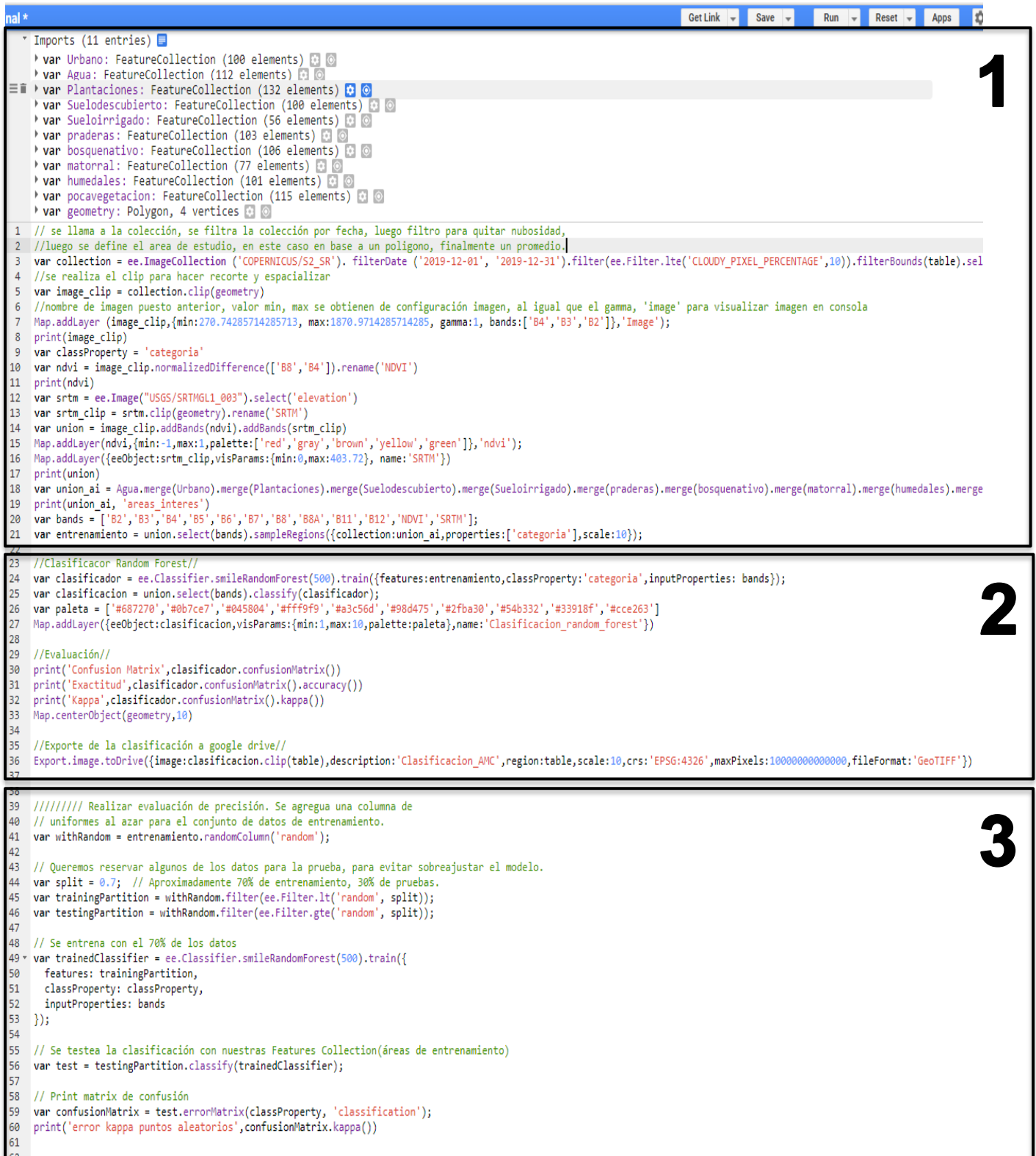
Fuente: Elaboración propia en base a López de Ullibarri & Pita (1999)

La Figura 11 muestra la estructura del Script o código utilizado para la clasificación del uso de suelo del AMC. Este se encuentra dividido en 3 fases los cuales son detallados a continuación. El 1 corresponde a la selección y el llamado de la imagen satelital con la que se trabajara, a la cual se le asignan algunos parámetros, como fecha de composición, filtros de nubosidad para evitar sesgos o errores y se le indica cual es el área para trabajar. En esta fase se generan las combinaciones de bandas mencionadas anteriormente (Figura 6), las cuales facilitan la tarea de identificar las áreas para los puntos de control, lo cual consiste en la toma de puntos de control asignados a cada cobertura, esto quiere decir que se crea un conjunto de puntos en base a cada una de las categorías a trabajar.

Al tener puntos de control generados, se procede a la fase 2, la cual consiste en la utilización del clasificador RF, indicándole cuales son los atributos a los cuales debe clasificar, en este caso se utilizó la categoría como atributo clasificador, y la cantidad de ntrees (500). En esta fase se genera la primera etapa de evaluación mediante la obtención de la matriz de confusión, el índice de exactitud y el índice Kappa, finalmente se visualiza la clasificación.

Como última fase se tiene la 3, la que corresponde a evaluar la precisión de la clasificación mediante un conjunto de puntos aleatorios, detallados anteriormente, en base a un porcentaje de 70/30, esto quiere decir que se entrenan 70% de los datos para evitar sobre ajustar el modelo, el otro 30% se reserva para los testeos. De igual manera que en la fase 2, se evalúa, pero esta vez solamente a través del índice Kappa.

Figura 11.- Script utilizado para clasificación del AMC en Google Earth Engine



```

Imports (11 entries)
var Urbano: FeatureCollection (100 elements)
var Agua: FeatureCollection (112 elements)
var Plantaciones: FeatureCollection (132 elements)
var Suelodescubierto: FeatureCollection (100 elements)
var Sueloirrigado: FeatureCollection (56 elements)
var praderas: FeatureCollection (103 elements)
var bosquenativo: FeatureCollection (106 elements)
var matorral: FeatureCollection (77 elements)
var humedales: FeatureCollection (101 elements)
var pocavegetacion: FeatureCollection (115 elements)
var geometry: Polygon, 4 vertices

1 // se llama a la colección, se filtra la colección por fecha, luego filtro para quitar nubosidad,
2 //luego se define el area de estudio, en este caso en base a un poligono, finalmente un promedio.
3 var collection = ee.ImageCollection ('COPERNICUS/S2_SR'). filterDate ('2019-12-01', '2019-12-31').filter(ee.Filter.lte('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE',10)).filterBounds(table).sel
4 //se realiza el clip para hacer recorte y espacializar
5 var image_clip = collection.clip(geometry)
6 //nombre de imagen puesto anterior, valor min, max se obtienen de configuración imagen, al igual que el gamma, 'image' para visualizar imagen en consola
7 Map.addLayer (image_clip,{min:270.74285714285713, max:1870.9714285714285, gamma:1, bands:['B4','B3','B2'],'Image');
8 print(image_clip)
9 var classProperty = 'categoria'
10 var ndvi = image_clip.normalizedDifference(['B8','B4']).rename('NDVI')
11 print(ndvi)
12 var srtm = ee.Image("USGS/SRTMGL1_003").select('elevation')
13 var srtm_clip = srtm.clip(geometry).rename('SRTM')
14 var union = image_clip.addBands(ndvi).addBands(srtm_clip)
15 Map.addLayer(ndvi,{min:-1,max:1,palette:['red','gray','brown','yellow','green'],'ndvi');
16 Map.addLayer({eeObject:srtm_clip,visParams:{min:0,max:403.72}, name:'SRTM'})
17 print(union)
18 var union_ai = Agua.merge(Urbano).merge(Plantaciones).merge(Suelodescubierto).merge(Sueloirrigado).merge(praderas).merge(bosquenativo).merge(matorral).merge(humedales).merge
19 print(union_ai, 'areas_interes')
20 var bands = ['B2','B3','B4','B5','B6','B7','B8','B8A','B11','B12','NDVI','SRTM'];
21 var entrenamiento = union.select(bands).sampleRegions({collection:union_ai,properties:['categoria'],scale:10});

23 //Clasificador Random Forest//
24 var clasificador = ee.Classifier.smileRandomForest(500).train({features:entrenamiento,classProperty:'categoria',inputProperties: bands});
25 var clasificacion = union.select(bands).classify(clasificador);
26 var paleta = ['#687270','#0b7ce7','#045804','#fff9f9','#a3c56d','#98d475','#2fba30','#54b332','#33918f','#cce263']
27 Map.addLayer({eeObject:clasificacion,visParams:{min:1,max:10,palette:paleta},name:'Clasificacion_random_forest'})
28
29 //Evaluación//
30 print('Confusion Matrix',clasificador.confusionMatrix())
31 print('Exactitud',clasificador.confusionMatrix().accuracy())
32 print('Kappa',clasificador.confusionMatrix().kappa())
33 Map.centerObject(geometry,10)
34
35 //Exporte de la clasificación a google drive//
36 Export.image.toDrive({image:clasificacion.clip(table),description:'Clasificacion_AMC',region:table,scale:10,crs:'EPSG:4326',maxPixels:1000000000000,fileFormat:'GeoTIFF'})
37

39 //Realizar evaluación de precisión. Se agrega una columna de
40 // uniformes al azar para el conjunto de datos de entrenamiento.
41 var withRandom = entrenamiento.randomColumn('random');
42
43 // Queremos reservar algunos de los datos para la prueba, para evitar sobreajustar el modelo.
44 var split = 0.7; // Aproximadamente 70% de entrenamiento, 30% de pruebas.
45 var trainingPartition = withRandom.filter(ee.Filter.lt('random', split));
46 var testingPartition = withRandom.filter(ee.Filter.gte('random', split));
47
48 // Se entrena con el 70% de los datos
49 var trainedClassifier = ee.Classifier.smileRandomForest(500).train({
50   features: trainingPartition,
51   classProperty: classProperty,
52   inputProperties: bands
53 });
54
55 // Se testea la clasificación con nuestras Features Collection (áreas de entrenamiento)
56 var test = testingPartition.classify(trainedClassifier);
57
58 // Print matrix de confusión
59 var confusionMatrix = test.errorMatrix(classProperty, 'classification');
60 print('error kappa puntos aleatorios',confusionMatrix.kappa())
61

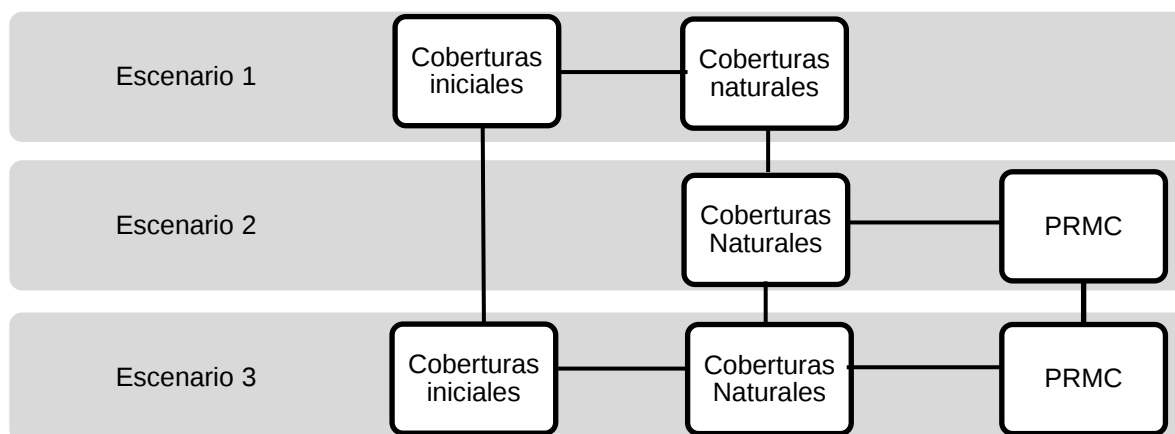
```

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Determinación de escenarios para la planificación de un anillo verde geográficamente factible

Para la obtención de los escenarios fue necesario realizar nuevas clasificaciones a partir de la clasificación inicial. A continuación, se comienzan a detallar cada uno de los escenarios (Figura 12).

Figura 12.- Determinación de Escenarios.



Fuente: Elaboración propia

El primer escenario corresponde a la CUS obtenida en el apartado 3.2.1, que corresponde a la clasificación del área de estudio mediante el clasificador *Random Forest* en base a parámetros obtenidos del estudio y análisis de casos internacionales. Este primer escenario será en relación a aquellas coberturas naturales y será la base para la obtención de los siguientes escenarios.

El segundo escenario corresponde al escenario planificado. Esto consiste en realizar una reclasificación del primer escenario modificando la identidad de las coberturas de los sectores que cuentan con potencial de planificación para representar áreas de protección ecológica, tales como: sitios eriazos, riberas de ríos, zonas húmedas, suelos descubiertos, zonas de protección, áreas costeras, entre otros. Para esto se utiliza la zonificación vigente del Plan Regulador Metropolitano de Concepción, el cual permite determinar las zonas con planificación compatibles o aptas para la protección ecológica a través de la implementación de un anillo verde.

Finalmente, el tercer escenario corresponde al escenario ideal. Este consiste de igual manera que en el segundo escenario a una reclasificación, pero en este caso tomando la clasificación inicial y el escenario 2, pero además modificando zonas que actualmente la planificación contempla para otros usos, representando zonas artificiales o urbanizadas, zonas de plantaciones, y todas aquellas zonas que nos permitan implementar el anillo verde. En otras palabras, se modifican todas aquellas zonas consideradas no naturales que de alguna forma permitan generar un anillo verde dentro del área. El siguiente Cuadro 6 muestra un resumen del proceso de construcción de los 3 escenarios.

Cuadro 6.- Proceso de construcción de cada escenario establecido.

Escenario 1	Incluye todas las coberturas naturales actuales del paisaje
Escenario 2	Modifica las coberturas que están dentro de zonificaciones que facilitan planificación ecológica, convirtiendo coberturas antrópicas en coberturas naturales
Escenario 3	Modifica una selección de coberturas antrópicas de la clasificación inicial en coberturas naturales, sumándose a las ya modificadas en el escenario 2

Fuente: Elaboración propia

3.3 Cálculo de métricas del paisaje sobre escenarios

Este objetivo se lleva a cabo mediante dos procesos, el primero corresponde al cálculo de métricas del paisaje de los escenarios, los cuales son analizados posteriormente, permitiendo de esta forma generar una propuesta final que permita la implementación de un cinturón verde en el AMC. A continuación, se detalla el proceso.

Con el fin de determinar el grado de conectividad se utilizan métricas o índices del paisaje. Estas métricas han sido ampliamente utilizadas por autores como: Forman & Godron (1986), McGarigal & Marks (1995), Chen, Xiao & Li (2002), Cao (2004), Lechner *et al.* (2013), Uuemaa, Mander & Marja (2013), Vila *et al.* (2006), Rojas *et al.* (2013a, 2017). El uso de métricas ha demostrado ser una buena opción para obtener las características estructurales del paisaje y determinar en qué grado de conexión se presentan sus elementos. Acerca del uso de métricas Li-Yun (2017) afirma que éstas miden la conexión orgánica entre la estructura, la función o los procesos ecológicos entre todas las clases de parches del paisaje (Tischendorf 2000, Wu *et al.*, 2008), evalúan la conectividad ecológica y protegen la vida silvestre (Yang *et al.*, 2013, Thomas *et al.*, 2014), estudian el flujo

genético (Neel 2008), evalúan los paisajes urbanos (Marulli & Mallarach 2005; Wu *et al.* 2008), construyen redes ecológicas (Wang 2009, Pino & Marull 2012, Looy *et al.*, 2014) y desarrollan proyectos de ecologización urbana.

Las métricas pueden ser aplicables a tres niveles del paisaje (Mcgarigal & Marks, 1995; Botequilha *et al.*, 2002):

- **Fragmento:** Áreas geográficas no lineales que difieren en apariencia de su alrededor y que guardan condiciones ambientales relativamente homogéneas; varían en tamaño, forma, origen, conectividad y bordes; y es una característica importante en la determinación del flujo de energía, organismos y factores abióticos a través del paisaje.
- **Clase:** Los cálculos se aplican a cada conjunto de fragmentos del mismo tipo.
- **Paisaje:** Los cálculos se aplican al conjunto del paisaje, es decir, a todos los fragmentos y clases a la vez.

A partir de la implementación de las métricas se obtiene las características de los elementos dentro del paisaje, en este caso realizaremos cálculo de métricas a nivel de clases y paisaje, considerando en esta última solo aquellas relacionadas con la diversidad. Las métricas seleccionadas para ver las dinámicas de cambios se presentan en el siguiente Cuadro 7.

Cuadro 7.- Métricas aplicadas a nivel de clase y paisaje.

Categoría	MÉTRICAS CLASES
Área- Borde	Área total (CA/TA)
	Es la suma de las áreas (m ²), de todos los parches del tipo de clase correspondiente, dividida por 10.000 (para convertir a hectáreas); es decir, el área total de la clase. TA > 0, sin límite.
	Número de Parches (NP)
	Es igual al número de fragmentos de cada clase. NP = 1 cuando el paisaje contiene sólo 1 parche, es decir, cuando la clase consta de un solo parche. NP ≥ 1, sin límite.
	Porcentaje del paisaje (PLAND)
	Es igual a la suma de las áreas (m ²) de todos los parches, dividida por el área total del paisaje (m ²), multiplicado por 100 (para convertir en un porcentaje); en otras palabras, PLAND es igual al porcentaje del paisaje compuesto por el tipo de parche correspondiente. PLAND = 100 cuando todo el paisaje consta de un solo tipo de parche. 0 < PLAND ≤ 100

Un Anillo Verde para el Área Metropolitana de Concepción
Evaluación de su Factibilidad Geográfica

Área- Borde	Índice del parche más grande (LPI)
	Es igual al área (m ²) de los grandes de parche dividido por el área total del paisaje (m ²), multiplicado por 100 (para convertir a un porcentaje); en otras palabras, LPI es igual al porcentaje del paisaje compuesto por el mayor parche. LPI = 100 cuando el mayor parche comprende el 100% del paisaje total. 0 < LPI ≤ 100
Forma	Dimensión fractal perímetro/área (PAFRAC)
	Es igual a 2 dividido por la pendiente de la línea de regresión obtenida por la regresión del logaritmo del área del parche (m ²) contra el logaritmo del perímetro del parche (m). Es decir, 2 dividido por el coeficiente b1 derivado de una regresión de mínimos cuadrados que se ajusta a la siguiente ecuación: $\ln(\text{área}) = b_0 + b_1 * \ln(\text{perim})$. 1 ≤ FRAC ≤ 2 ; FRAC se acerca a 1 para formas con perímetros muy simples, como cuadrados, y se aproxima a 2 para formas con perímetros altamente complejos.
Área Núcleo	Área Total Core (TCA)
	Es igual a la suma de las áreas centrales de cada parche (m ²), dividido por 10,000 (para convertir en hectáreas). TCA ≥ 0, sin límite ; TCA = 0 cuando cada parche está ubicado dentro de la profundidad indicada desde el perímetro del parche.
	Porcentaje de área núcleo del paisaje (CPLAND)
	Es igual a la suma de las áreas núcleo de cada parche (m ²), dividida por el área total del paisaje (m ²), multiplicada por 100 (para convertirla a un porcentaje) 0 ≤ CPLAND <100, no tiene límite.
	Número de áreas núcleos disyuntivas (NDCA)
	Es igual a la suma del número de áreas centrales disyuntivas contenidas dentro de cada parche del tipo de parche correspondiente; es decir, el número de áreas centrales disjuntas contenidas dentro del paisaje. NDCA ≥ 0, sin límite ; NDCA = 0 cuando TCA = 0 (es decir, todas las ubicaciones dentro de los parches del tipo de parche correspondiente están dentro de las distancias de profundidad de borde especificadas desde los perímetros del parche). NDCA > 1 cuando, debido a la complejidad de la forma del parche, un parche contiene más de 1 área central.
	Densidad de la zona núcleo disyuntiva (DCAD)
	Es igual a la suma del número de áreas centrales disjuntas contenidas dentro de cada parche, dividido por el área total del paisaje (m ²), multiplicado por 10,000 y dividido 100 (para convertir a 100 hectáreas). Tenga en cuenta que el área total del paisaje (A) incluye cualquier fondo interno presente). DCAD ≥ 0, sin límite ; DCAD = 0 cuando TCA = 0 (es decir, cada ubicación dentro de cada parche está dentro de la distancia especificada de profundidad del borde desde los perímetros del parche); en otras palabras, cuando no hay áreas centrales. DCAD > 1 cuando, debido al tamaño y la forma del parche, existe al menos un área central.

Un Anillo Verde para el Área Metropolitana de Concepción
Evaluación de su Factibilidad Geográfica

Agregación	Índice de proximidad (PROX)
	Es igual a la suma de la superficie del fragmento (m ²) dividido por el borde más cercano del mismo tipo de parche (fragmento), cuyos bordes se encuentran dentro de una distancia determinada (m). PROX = 0 si el parche no tiene vecinos de un mismo tipo de parche dentro del radio especificado. PROX aumenta a medida que la zona (definido por el especificado radio de búsqueda) es ocupada cada vez más por los parches del mismo tipo.
	PROX ≥ 0 , PROX ≥ 0, si un parche tiene vecinos del mismo tipo de parche dentro del radio de búsqueda especificado. PROX = 0, si un parche no tiene vecinos del mismo tipo de parche dentro del radio de búsqueda especificado
	Índice de conectividad (COHESION)
Diversidad	Es equivalente a 1 menos la suma del perímetro del parche (en términos de número de superficies celulares) dividido por la suma del perímetro del parche por la raíz cuadrada del área del parche (en términos de número de células) para los parches del tipo de parche correspondiente, dividido por 1 menos 1 sobre la raíz cuadrada del número total de células en el paisaje, multiplicado por 100 para convertirlo en un porcentaje.
	0 < COHESION <100

Clase	MÉTRICAS PAISAJE
Diversidad	Riqueza de parches (PR)
	Cuantifica el número de parches diferentes presentes dentro de un paisaje. PR ≥ 1, sin límite.
	Índice de diversidad de Shannon (SHDI)
	Es un indicador que cuantifica la riqueza proporcional respecto al paisaje. SHDI ≥ 0, sin límite; SHDI = 0 cuando el paisaje contiene solo 1 parche (es decir, sin diversidad). SHDI aumenta a medida que aumenta el número de diferentes tipos de parches (es decir, riqueza de parches, PR) y / o la distribución proporcional del área entre los tipos de parches se vuelve más equitativa.
	Índice de diversidad de Simpson (SIDI)
Diversidad	Indicador de riqueza proporcional respecto al paisaje al cuadrado. Este indicador es más sensible a parches raros.
	0 ≤ SIDI < 1; SIDI = 0 cuando el paisaje contiene solo 1 parche (es decir, sin diversidad). El SIDI se acerca a 1 a medida que aumenta el número de diferentes tipos de parches (es decir, riqueza de parches, PR) y la distribución proporcional del área entre los tipos de parches se vuelve más equitativa

Fuente: Elaboración propia en base a métricas de Fragstats

A través del análisis de las métricas obtenidas de los escenarios se genera la propuesta final de implementación de un cinturón verde en el AMC. Esto debido a que al modificar las coberturas de suelo las métricas presentarán variaciones, las cuales dependiendo el caso sean favorables o no, serán determinantes al momento de presentar una propuesta, puesto que como se ha mencionado anteriormente estas variaciones y análisis son de suma importancia para determinar las acciones que se deben implementar en el caso de requerirse una mejora en la conectividad del paisaje.

3.4 Desarrollo de una propuesta para la implementación de un anillo verde en el AMC

La propuesta construyó a partir del análisis de las variaciones métricas de los escenarios antes mencionados. De acuerdo a las modificaciones de las coberturas realizadas en cada uno de ellos, se establecen e identifican las modificaciones, cambios y reconversiones que permiten generar cambios favorables dentro del paisaje. El aumento de la conectividad de las coberturas, así como también la disminución de los grados de fragmentación que estas presentan, se traduce en números favorables para el objeto de estudio. En esta directriz, la plantación forestal y las áreas de escasa vegetación son coberturas que adrede fueron omitidas en la reconversión.

La expansión del AMC obliga a sus habitantes a generar propuestas de este tipo, invita a reconfigurar la infraestructura urbana en busca de una mayor conectividad entre las coberturas naturales. Últimamente, una forma de unir parques urbanos con áreas tales como humedales o bosques. Detrás de este ejercicio académico se encuentra su principal motivación; la recuperación, restauración y conservación de las coberturas naturales de la zona.

Los escenarios 2 y 3 no solo son el resultado de un análisis profundo al escenario actual, sino además una base de estudio que permitirá ampliar la evidencia que respalda la necesidad de implementar efectivamente un anillo verde en el AMC.

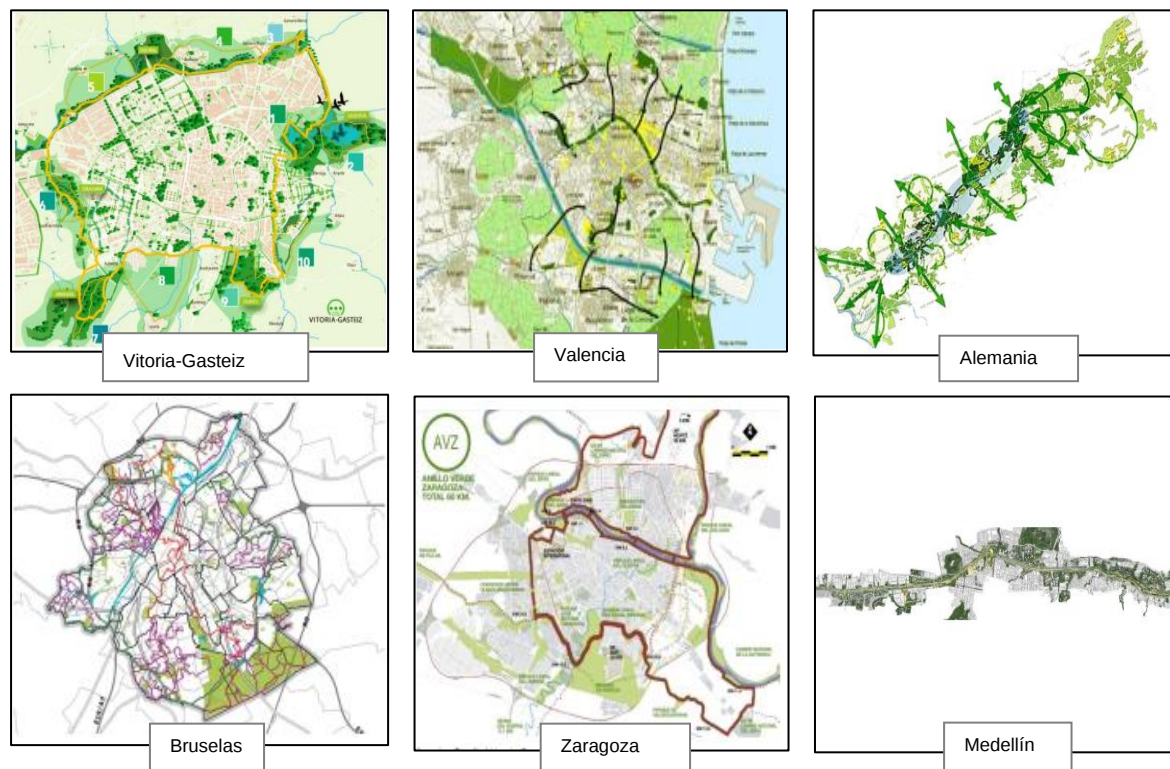
CAPITULO 4.- RESULTADOS

4.1. Criterios geográficos utilizados internacionalmente para la implementación de infraestructura verde

Para la obtención de criterios utilizados para la creación de cinturones verdes a nivel mundial se establecieron criterios bases en relación con el área de estudio, ser áreas metropolitanas, idealmente ubicadas en zonas costeras, con morfología irregular y que además posean ecosistemas insertos tales como ríos y humedales y contenga mixtura de vegetación. Sin embargo, debido a la morfología urbana resulta casi imposible encontrar todos estos criterios, por lo tanto, la elección y estudio de casos internacionales se realizó de manera que cada caso contenga una característica atribuible al área de estudio. La

Figura 13 muestra los principales casos internacionales analizados y el Cuadro 8 presenta una pequeña reseña de cada caso.

Figura 13.- Casos de estudios internacionales analizados



Fuente: Elaboración propia en base a estudio de casos internacionales.

Cuadro 8.- Descripción de casos de estudio internacionales y sus objetivos principales.

Anillo Verde Vitoria-Gasteiz (España)			
Descripción	La idea del anillo verde surge con la finalidad de dar una solución integral a los problemas de degradación que presentaba la periferia urbana de Vitoria-Gasteiz. Esta propuesta corresponde a la creación de una red de espacios verdes periurbanos dentro del marco de ordenación territorial, en el Plan General de Ordenación Urbana del año 1986.	Objetivos	- Promover la conservación de las áreas naturales periurbanas y la restauración ecológica. - Integrar las Áreas Verdes periurbanas a la trama urbana. - Acondicionar las Áreas Verdes periurbanas, para fomentar su uso. - Generar lugares de ocio al aire libre - Crear políticas de recuperación y acondicionamiento de nuevas zonas y espacios verdes en el periurbano,
Infraestructura Verde Regional Valencia (España)			
Descripción	La Infraestructura verde regional de Valencia, surge a raíz de la implementación de políticas de paisaje y la política de protección y generación de espacios naturales, Red Natura 2000. A partir de esto se crea una red interconectada de paisajes de mayor valor medioambiental, cultural y visual, todos estos interrelacionados con los corredores ecológicos y conexiones verdes.	Objetivos	- Generar políticas de paisaje, las cuales interrelacionen a diferentes escalas los espacios con valor paisajístico. - Implementar políticas que protejan y generen espacios verdes naturales dentro y fuera de la zona urbana - Contribuir a la lucha contra el cambio climático, prevención de riesgos naturales y refuerzan el atractivo visual del territorio.
Emscher Park (Alemania)			
Descripción	Emscher park surge a partir de la necesidad de recuperar el río Emscher el cual había sido utilizado como canal de vertido de las mineras. Hoy en día, se ha creado un canal paralelo al Emscher, el cual ha producido la descontaminación de sus aguas, generado que vuelva la vida a este lugar	Objetivos	- Desarrollar un proyecto de parque lineal en las márgenes del río, así fomentar el cuidado, protección y conservación de las Áreas Verdes. -Generar proyectos de reforestación para devolver la biodiversidad de flora y fauna del lugar. - Generar enlaces verdes que se conecten directamente con las márgenes del río Emscher
Red Verde y Azul de Bruselas (Bélgica)			
Descripción	Esta red propone la recuperación y conservación de los ríos y sus márgenes, la creación de enlaces peatonales y ciclistas, la dotación de redes interconectadas con espacios públicos nuevos o existentes, generando así un proyecto que protege el verde urbano y también las redes azules, así como el manejo de estas.	Objetivos	- Fomentar el uso de huertos urbanos, también llamados huertos familiares o Jardines participativos. - Generar redes verdes que permitan interconectarse con la mayor cantidad de Áreas Verde existentes en el municipio. - Recuperar las redes azules, las cuales presentan un alto grado de contaminación, así como también recuperar, conservar y proteger las márgenes de los ríos.

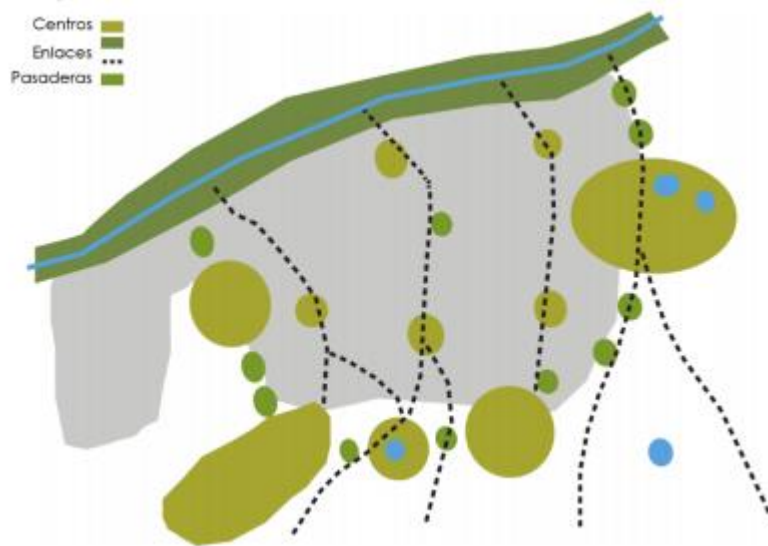
Un Anillo Verde para el Área Metropolitana de Concepción
Evaluación de su Factibilidad Geográfica

Infraestructura Verde de Zaragoza (España)			
Descripción	La Infraestructura Verde de Zaragoza nace del proyecto europeo LIFE denominado "Creación, gestión y promoción de la Infraestructura Verde de Zaragoza". Zaragoza es uno de los municipios más extensos de España y se ubica en un peculiar emplazamiento caracterizado por el paso de tres ríos. Ello ha propiciado la existencia de gran variabilidad de ecosistemas y contrastes paisajísticos además de una gran cantidad de especies de flora y fauna.	Objetivos	- Acercar a la ciudadanía los espacios naturales y las zonas verdes. - Coordinarse con el Plan de Movilidad Urbana Sostenible de Zaragoza - Poner en valor el paisaje de la estepa. - Conservar y mantener la huerta. - Aumentar e introducir la biodiversidad en la ciudad. - Recuperar las conexiones entre los espacios interiores y exteriores de la ciudad.
Corredores Verdes de Medellín (Colombia)			
Descripción	El proyecto Corredores verdes de Medellín se basa en la intervención urbana a partir de la necesidad de enfrentar el aumento de las temperaturas y el impacto de las islas de calor urbano. Para lidiar con el calentamiento, los funcionarios de la ciudad colombiana convirtieron 18 calles y 12 vías fluviales en paraísos verdes.	Objetivos	- Promover la forestación de estas rutas, para reducir la acumulación de calor en la infraestructura urbana. - Desarrollar diseños inspirados en la recuperación de las redes hídricas, las ecológicas y la conectividad transversal con el espacio público de la ciudad. - Reducir la temperatura en más de 2°C. - Implementar 30 corredores verdes en áreas sin vegetación.

Fuente: Elaboración propia en base a estudio de casos internacionales

En base a esto se especifican los componentes básicos de las infraestructuras verde, los cuales son 3, los centros (núcleos), enlaces (conectores o corredores) y pasaderas (también conocidas como *stepping stones*). El primero hace alusión a grandes espacios que anclan las redes de la IV, proporcionando un origen y un destino para los distintos procesos biológicos y la vida silvestre que se mueve a través de ella, el segundo son las conexiones que unen el sistema y permiten que las redes de la IV funcionen y finalmente encontramos las pasaderas, las cuales son pequeñas áreas estratégicas para mejorar la conectividad de hábitats que aportan refugio y nutrientes a las especies.

Figura 14.- Componentes básicos de la Infraestructura Verde.



Fuente: Vitoria Gasteiz, 2012

Estos componentes (Figura 14) se ajustan de acuerdo al contexto y la escala en la que se va a utilizar, las que pueden ser:

- Rural, referida a los territorios en el que predominan las áreas naturales con poca construcción y con alto valor ecológico;
- Periurbana, es un espacio “indefinido”, ya que por las características de uso de suelo que ahí se encuentran no son consideradas ni urbanas ni rurales, además poseen áreas naturales que pueden ser protegidas y conservadas, facilitando la formación de IV;

- Urbana, entendida como el territorio mayormente edificado, donde se pueden encontrar ciertas reservas de áreas verdes, en muchos casos insuficientes, lo cual convierte en prioridad la dotación de áreas verdes.

En el Cuadro 9, se muestran cuáles son las coberturas establecidas de acuerdo a la escala y a que componente corresponde cada una, de acuerdo a nuestra área de estudio se seleccionaron sólo aquellas coberturas correspondientes a escala rural/periurbana.

Cuadro 9.- Clasificación de coberturas de acuerdo a la escala y componentes establecidos

Escala	Coberturas/espacios naturales	Componente
Rural/Periurbano	Bosques	Centro/pasaderas
Rural/Periurbano	Praderas, Baldíos, riberas	Centro
Rural/Periurbano	Zonas Húmedas	Centro/pasaderas
Rural/Periurbano	Conectores fluviales (Red hídrica)	Enlaces
Rural/Periurbano	Espacios seminaturales y artificiales	Centro/pasaderas
Periurbano/Urbano	Cinturones verdes	Centro/pasaderas
Periurbano/Urbano	Zonas agrícolas, cultivos	Centro
Periurbano/Urbano	Vías verdes	Enlaces
Periurbano/Urbano	Parques periurbanos	Centro
Periurbano/Urbano	Arbolado urbano	Enlaces
Periurbano/Urbano	Parques y zonas verdes públicas	Centro
Periurbano/Urbano	Zonas verdes privadas y patios interiores	Pasadera
Periurbano/Urbano	Zonas verdes deportivas	Centro/enlace/pasaderas
Periurbano/Urbano	Estanques y balsas de inundación	Centro/pasaderas
Periurbano/Urbano	Sistemas de drenajes urbanos	Enlaces
Periurbano/Urbano	Jardines y huertas comunitarias	Centro/pasaderas
Periurbano/Urbano	Cementerios	Centro/pasaderas
Periurbano/Urbano	Espacios potenciales	Centro/enlace/pasaderas
Periurbano/Urbano	Infraestructura de transporte público	Enlaces
Periurbano/Urbano	Paseos peatonales y ciclovías	Enlaces
Periurbano/Urbano	Plazas y zonas públicas abiertas	Centro/pasaderas

Fuente: Elaboración propia en base a Vitoria Gasteiz, 2014

La obtención de coberturas obtenidas del análisis de casos fue contrastada con la clasificación de usos de suelos CORIN land Cover, la cual nos da el siguiente Cuadro 10 de categorías.

Un Anillo Verde para el Área Metropolitana de Concepción
Evaluación de su Factibilidad Geográfica

Cuadro 10.- Coberturas de suelo y su descripción

Categorías	Descripción
Suelo Urbano	Infraestructura gris, zonas artificiales; Zonas urbanas, Zonas industriales, comerciales y de transporte, Zonas de extracción minera, de construcción y vertederos
Agua	Cuerpos de agua, ya sean continentales o marinas; Aguas continentales y Aguas marinas
Bosque nativo	Espacios de vegetación nativa; Bosques de frondosas
Humedales	Zonas húmedas, ya sean continentales o litorales; Zonas húmedas litorales y Zonas húmedas continentales
Matorral	Zonas de vegetación arbustiva y/o herbácea; Matorrales esclerófilos, mesófilos, boscosos y de transición
Plantaciones	Zonas de plantaciones forestales; Bosques de coníferas y mixtos.
Escasa vegetación	Zonas abiertos con escasa vegetación; Zonas quemadas, Espacios de vegetación escasa, Zonas deforestadas.
Praderas	Zonas de prados y praderas; Prados y praderas, Pastizales naturales
Suelo descubierto	Zonas sin vegetación, suelos desprovistos de cobertura vegetal; Playas, dunas, arenales, Roquedo, Glaciares y nieve permanente
Suelo irrigado	Zonas aledaños a zonas húmedas o pantanosas, que poseen potencial agrícola, cuentan con un gran porcentaje de vegetación hidrófila

Fuente: Elaboración propia en base a análisis de casos y clasificación CORINE land Cover

4.2 Clasificación usos de suelo actual y simulado

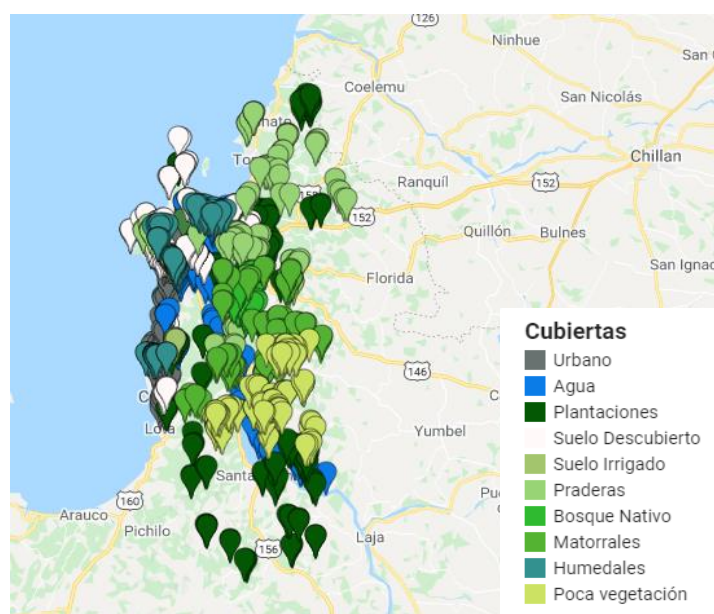
La clasificación se realizó en base a estas 10 coberturas obtenidas, donde se entrenó el clasificador indicándole puntos de referencia o control, asignando los colores en el mapa de acuerdo al tipo de cobertura, en el Cuadro 11 se observa cobertura, color, y número de puntos como muestra. La Figura 15 presenta la ubicación aleatoria dentro del área de estudio.

Cuadro 11.- Coberturas y número de puntos de control utilizados en cada cobertura

Cobertura	N° Puntos
Suelo Urbano	100
Agua	112
Plantaciones	132
Suelo Descubierto	100
Suelo Irrigado	56
Praderas	103
Bosque Nativo	106
Matorral	77
Humedales	101
Escasa vegetación	115

Fuente: Elaboración propia

Figura 15.- Puntos de control establecidos para la clasificación de cubiertas del suelo.

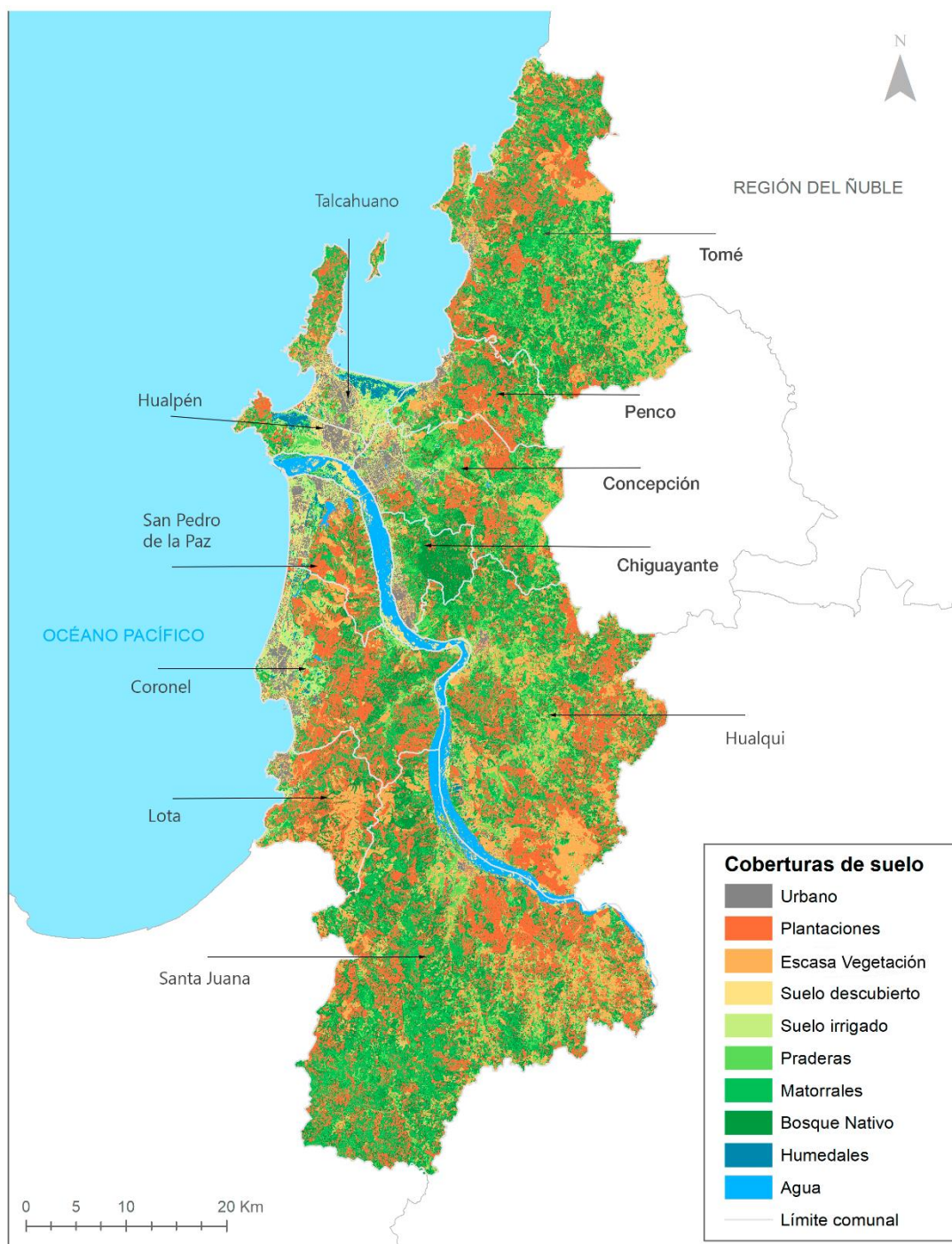


Fuente: Elaboración propia

Un Anillo Verde para el Área Metropolitana de Concepción Evaluación de su Factibilidad Geográfica

La clasificación de coberturas del suelo obtenida se presenta en la Figura 16 y tras diversas iteraciones y ajustes se logró un índice de confiabilidad de 0,89 y un índice de Kappa de 0,92, lo cual se considera una clasificación de categoría muy buena.

Figura 16.- Clasificación de coberturas de usos de suelo del AMC.



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la clasificación obtenida en la Figura 16, podemos destacar que el AMC tiene una cobertura predominante relacionada a la actividad forestal, ya que 25% del área se encuentra cubierta de plantaciones forestales, seguido de matorrales, con un 21% ya que ambas coberturas poseen gran afinidad de convivir no resulta extraño que ambas coberturas sean las dominantes, estas coberturas se encuentran dispersas por el territorio, luego encontramos las coberturas de Praderas y Bosque nativo con un 13%, esta última se encuentra centrada principalmente en las zonas protegidas como lo es la Reserva Nonguén. La cobertura de escasa vegetación posee un 12% del territorio encontrándose ligada estrechamente a la actividad forestal, ya que la mayoría de estas zonas pertenecen principalmente a zonas desforestadas o zonas quemadas. Por otro lado, las coberturas con menos predominancia son suelo irrigado con 6% que se encuentran principalmente cercanos a riberas de ríos y humedales; las coberturas de Agua, Urbano y Suelo descubierto poseen un 3% del territorio, y finalmente los humedales son los que están menos presente con solo un 1%, encontrándose principalmente cercanas a la costa ya que la mayoría de esos ecosistemas presentes pertenecen a la clasificación de marismas (Cuadro 12).

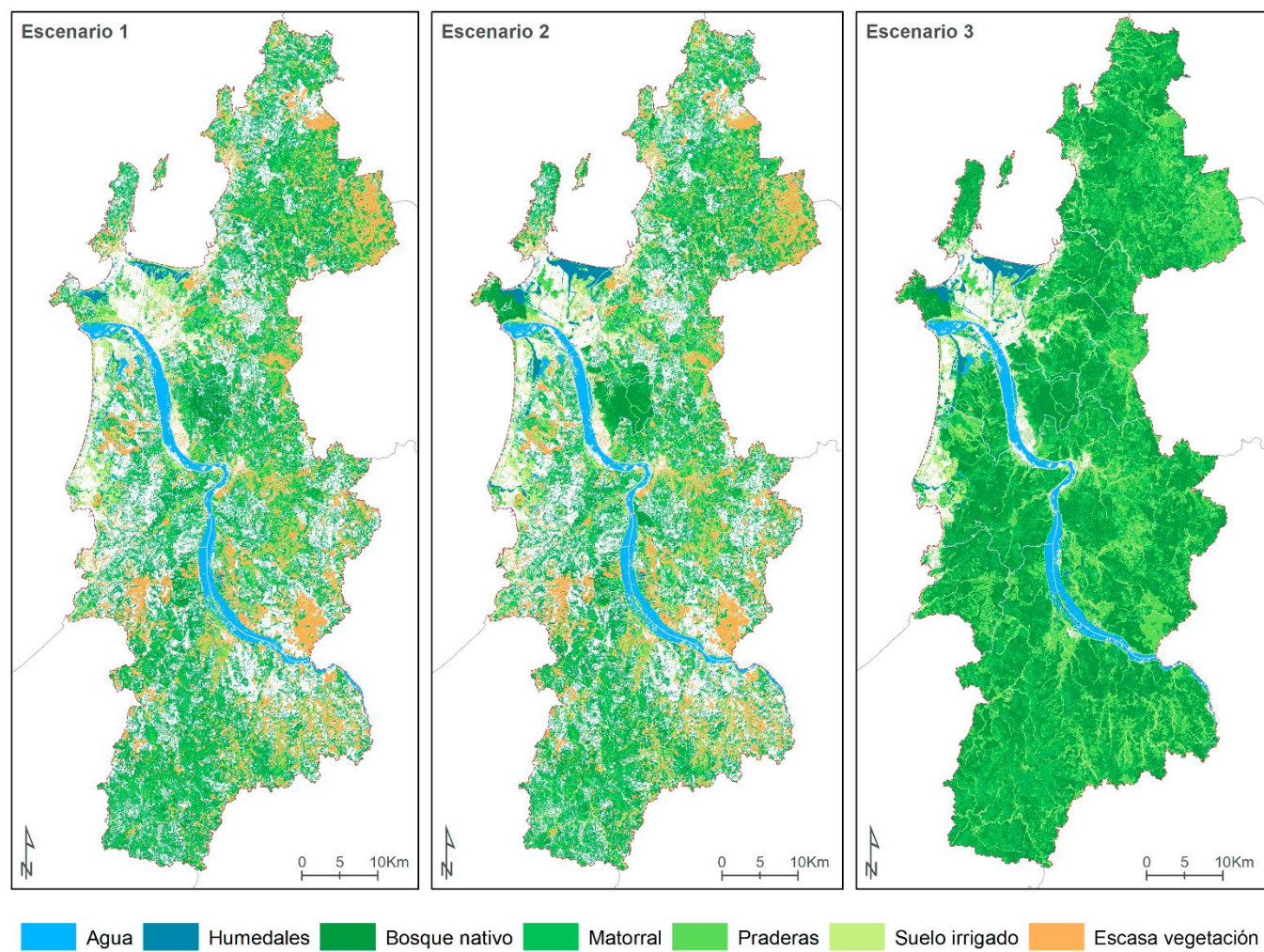
Cuadro 12.- Superficie en hectáreas de las coberturas de uso de suelo del AMC.

Cobertura	Superficie (ha)	%
Urbano	7.434	3
Agua	8.204	3
Plantaciones	71.289	25
Suelo descubierto	7.253	3
Suelo irrigado	18.180	6
Praderas	35.948	13
Bosque nativo	37.366	13
Matorrales	60.141	21
Humedales	3.440	1
Escasa vegetación	34.016	12
Total	283.271	100

Fuente: Elaboración propia

En base a la clasificación de coberturas de uso de suelo del AMC, se obtienen los escenarios a evaluar (Figura 17).

Figura 17.- Determinación de escenarios con sus respectivas coberturas.



Fuente: Elaboración propia

El primer escenario, corresponde al escenario actual del AMC. Este escenario muestra cómo están distribuidas actualmente las coberturas naturales, excluyendo a los suelos urbanizados, a las plantaciones forestales y a los suelos descubiertos, lo que nos da una primera mirada como punto de inicio para proyectar un anillo verde, este escenario se compone solamente de aquellas coberturas naturales insertar en el área de estudio como son:

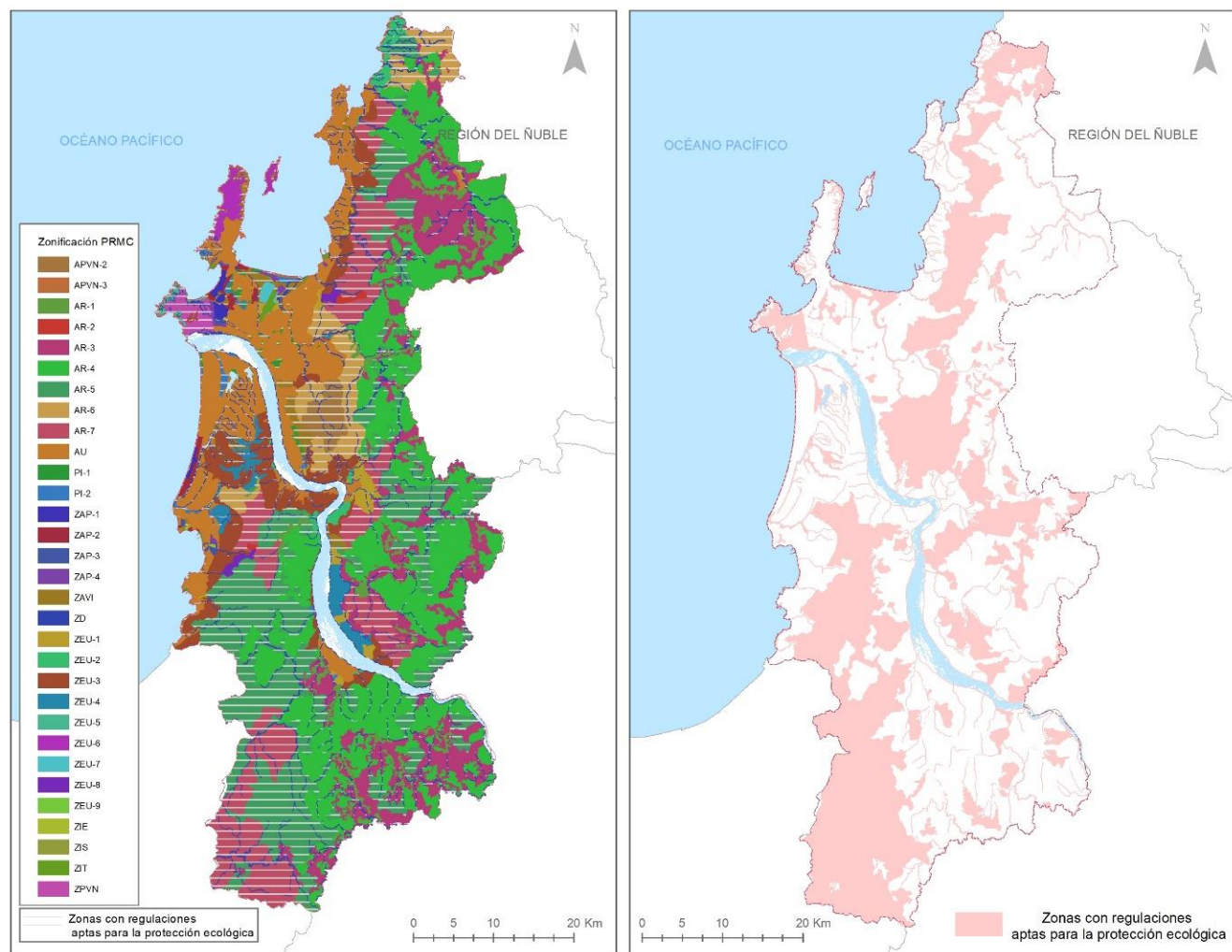
- Bosque Nativo
- Agua
- Suelo irrigado
- Praderas
- Escasa vegetación
- Humedales
- Matorrales

El segundo escenario, corresponde al escenario planificado, en el cual se incorporan aquellas zonas que poseen regulaciones aptas para la protección ecológica de acuerdo al PRMC, y pese a que actualmente puedan tener suelos urbanizados y a las plantaciones forestales. Las zonas seleccionadas son:

- APVN2, correspondiente a la Reserva Nacional Nonguén.
- APVN3 referida a las zonas de protección costera.
- AR, referida al área rural, en este caso existen 7 tipos de áreas rurales, de las cuales sólo se escogieron 3 (AR5, AR6 y AR7) debido a que éstas se encuentran más próximas a la zona urbana en comparación con las otras.
- PI1 y PI2; estas zonas corresponden a parques a nivel intercomunal, el primero a los existentes y el segundo a los proyectados.
- ZAVI, referido a las zonas de áreas verdes a nivel intercomunal.
- ZD, las zonas de inundación.
- ZPVN, las cuales corresponden a las zonas de protección valor natural.

La Figura 18 muestra la ubicación de estas zonas dentro del área de estudio. Esta nueva zonificación se reclasificó de acuerdo a la cobertura de suelo que fuera más apropiada en relación al uso de suelo de la cobertura base del escenario 1.

Figura 18.- Zonificación del AMC de acuerdo al PRMC y Zonas con regulaciones aptas para protección ecológica.



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, el escenario 3, el ideal imaginario, se conforma en base al escenario 2, puesto que en este escenario se encuentran las áreas que permiten regulaciones aptas para la protección ecológica, y la clasificación inicial ya que es necesario realizar modificaciones no sólo a las coberturas naturales (Escenario 1), sino también a aquellas que presentan altos grados de actividad antrópica y degradación de suelo, como lo son las coberturas de plantaciones y las de escasa vegetación. De este modo la cobertura de plantaciones se transformó en bosque nativo y la de escasa vegetación se transformó en praderas.

El siguiente Cuadro 13 muestra las coberturas presentes en cada uno de los escenarios, si bien están presentes casi todas las coberturas en los 3 escenarios, existe la diferenciación en el escenario 3, en el cual, como ya ha sido mencionado anteriormente, la cobertura de escasa vegetación se encuentra excluida debido a la reconversión.

Cuadro 13.- Coberturas presentes en cada escenario establecido.

Cobertura	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Agua	a	a	a
Bosque nativo	a	a + pp	a + pp + mp
Humedales	a	a + pp	a + pp + mp
Matorrales	a	a	a
Escasa vegetación	a	a + pp	a + pp + mp
Praderas	a	a + pp	a + pp + mp
Suelo irrigado	a	a + pp	a + pp

a: Actual – **pp:** Protección planificada – **mp:** Modificación propuesta

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 14 se puede observar que los cambios de superficie en los escenarios 2 y 3 se hacen notorios respecto a escenario actual, las variaciones son más sutiles en el escenario 2 donde existen pequeños aumentos y disminuciones de las superficies de coberturas naturales incorporadas, mientras que en escenario 3 las variaciones son más evidentes ya que presenta variaciones más considerables.

Un Anillo Verde para el Área Metropolitana de Concepción
Evaluación de su Factibilidad Geográfica

Cuadro 14.- Cambios porcentuales de superficie del escenario 2 y 3 respecto al escenario 1.

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Variaciones porcentuales	
Cobertura	(ha)	(ha)	(ha)	Escenario 1 - 2	Escenario 1 - 3
Agua	8.349	8.349	8.349	-	-
Bosque nativo	37.035	36.552	103.678	-1%	180%
Humedales	3.390	4.529	4.529	34%	34%
Matorral	60.391	60.391	60.391	-	-
Escasa vegetación	34.236	32.523	0	-5%	-100%
Praderas	36.105	32.309	64.831	-11%	80%
Suelo irrigado	18.112	29.910	29.910	65%	65%
Total	197.618	204.345	271.470		
Fracción AMC	70%	72%	96%		

Fuente: Elaboración propia

En el escenario 2, los cambios se deben principalmente a la planificación vigente, puesto que esta permite incorporar 6.727 ha de coberturas naturales e implica transformaciones localizadas dentro de estas zonas de planificación, de este modo las variaciones más notorias corresponden a la cobertura de praderas con una disminución de un 11%, y de la cobertura de escasa vegetación en un 5%. Por otro lado, las coberturas que presentan un incremento son la de humedales y suelo irrigado en 34% y 65% respectivamente, esto ya que algunas zonas de planificación consideraban estas zonas dentro de otras categorías y fueron reclasificadas, cabe mencionar que dentro de esta reclasificación se encuentra la cobertura de bosque nativo la cual producto de esto presenta una pérdida de 1%.

Por otra parte, en el escenario 3 se incorporan 73.852 ha, y la mayor transformación la experimenta la cobertura escasa vegetación, dado que en el escenario ideal se cuenta con la idea de que no existe esta cobertura, sino que se reconvierte a praderas, es por esto que podemos observar cómo esta cobertura en el escenario 3 posee ganancias del 80% de su total.

Otra de las coberturas que incrementa notablemente su superficie en el escenario 3 es la de bosque nativo aumentando su superficie en un 180%. Esto se debe a que propone la reconversión de 66.643 ha de plantaciones forestales. Las coberturas de humedales y suelo irrigado incrementan su superficie del mismo modo que en el escenario 2, esto por la reconversión mencionada anteriormente del escenario de planificación que se mantienen en el escenario 3.

4.3 Métricas del paisaje según escenarios de planificación

Para un mejor análisis de las métricas calculadas se realizará primero un análisis general de la clasificación inicial donde aparecen las 10 coberturas de usos de suelo, tal como se muestran en el Cuadro 15. Luego se realizarán los análisis correspondientes a cada escenario establecido.

Estas métricas dan cuenta que la superficie total de plantaciones es la que se encuentra de manera predominante en el AMC con 71.289 ha (CA), seguida de los matorrales, con 60.141 ha (CA) esto se debe a la afinidad existente entre ambas coberturas. Por otro lado, encontramos que los humedales son los que tienen menos presencia dentro del territorio con un CPLAN de 1,21%.

Ahora bien, si analizamos la fragmentación de las coberturas encontramos que la cobertura que posee mayor fragmentación es la de bosque nativo con un NP de 240.457 esto se debe a que existe gran parte de parches dispersos por el territorio.

En relación a la forma, todas las coberturas poseen una forma similar, ni muy simple ni muy compleja ya que sus valores varían entre 1,33 y 1,46.

En cuanto a las áreas núcleo las coberturas con mayores núcleos centrales son la de plantaciones y escasa vegetación con un CPLAND de 10,97% y 5,17%, respectivamente. Esto refleja que dentro de los parches pertenecientes a estas coberturas existen diferentes núcleos.

Finalmente, respecto a conectividad (agregación), los humedales son los que poseen menos conectividad esto se ve reflejado tanto en el índice de proximidad (PROX) al igual que el índice de cohesión (COHESION), con un 0,21 y 90,9% respectivamente.

Cuadro 15.- Métricas clasificación inicial a nivel de Clase

CUS	Área- borde				Forma	Área núcleo				Agregación	
	CA	PLAND	NP	LPI	PAFRAC	TCA	CPLAND	NDCA	DCAD	PROX	COHESION
	ha	%	N°	%	N°	N°	%	N°	ha	N°	%
Urbano	7.434	2,62	23.554	0,16	1,46	2.233	0,79	4.473	1,58	444	98,1
Agua	8.349	2,90	696	2,28	1,33	6.998	2,47	366	0,13	11.336	99,8
Plantaciones	71.289	25,17	83.654	1,06	1,36	31.086	10,97	32.421	11,45	1.134	98,8
Suelo descubierto	7.253	2,56	42.478	0,21	1,43	1.486	0,52	4.208	1,49	311	97,3
Suelo irrigado	18.180	6,42	154.035	0,43	1,46	2.890	1,02	8.883	3,14	130	95,8
Praderas	35.948	12,69	72.367	0,16	1,37	9.241	3,26	26.316	9,29	151	96,8
Bosque nativo	37.366	13,19	240.457	0,67	1,46	3.518	1,24	24.154	8,53	117	95,0
Matorrales	60.141	21,23	214.405	0,37	1,46	11.839	4,18	39.136	13,82	353	97,1
Humedales	3.440	1,21	42.284	0,12	1,46	740	0,26	1.076	0,38	26	90,9
Escasa vegetación	34.016	12,01	63.424	0,57	1,39	14.641	5,17	15.832	5,59	177	97,5

Fuente: Elaboración propia en base a Fragstats

En cuanto a las métricas de paisaje (Cuadro 16), encontramos que la diversidad presente en el territorio es alta, lo que se traduce a que el paisaje es bastante heterogéneo, esto se ve reflejado en el índice de *Shannon* el cual arroja un valor cercano a 2, y por otra parte el índice de *Simpson* arroja el valor de 0,83.

Cuadro 16.- Métricas clasificación inicial a nivel paisaje

PR	SHDI	SIDI
10	1,98	0,83

Fuente: Elaboración propia en base a Fragstats

Para una mejor entrega de resultados de los análisis de las métricas de los escenarios, se realizan primero sólo las métricas con resultados más relevantes para el objetivo del estudio, abarcando 1 o 2 por categoría de métricas del nivel de clase. De igual modo se presentan los resultados de acuerdo a estas categorías de este modo se partirá por Área – borde con las métricas PLAND y NP, seguido de Forma con PARAFRAC, luego Área Núcleo con CPLAN y finalmente con Agregación con PROX y COHESION.

El siguiente Cuadro 17 muestra las métricas totales calculadas para cada escenarios de acuerdo a las 7 coberturas naturales antes mencionadas, para un mejor entendimiento de los cambios en las métricas se puede ver el Cuadro 18, el cual muestra las variaciones métricas de acuerdo a los escenarios, teniendo variaciones del escenario 1 al 2, del escenario 1 al 3 y por último del 2 al 3.

Un Anillo Verde para el Área Metropolitana de Concepción
Evaluación de su Factibilidad Geográfica

Cuadro 17.- Métricas Escenarios a nivel Clase

a) Escenario 1 - Actual

CUS	Área - borde				Forma	Área núcleo				Agregación	
	CA	PLAND	NP	LPI	PAFRAC	TCA	CPLAND	NDCA	DCAD	PROX	COHESION
	ha	%	N°	%	N°	N°	%	N°	ha	N°	%
Agua	8.349	4,22	1.130	3,38	1,33	7.127	3,61	379	0,19	8.155	99,8
Bosque nativo	37.178	18,81	238.530	0,97	1,43	4.045	2,05	27.247	13,79	108	94,8
Humedales	3.410	1,73	42.014	0,17	1,43	771	0,39	1.165	0,59	25	90,6
Matorrales	60.275	30,50	214.145	0,49	1,43	13.020	6,59	41.847	21,17	306	97,0
Escasa vegetación	34.262	17,33	64.123	0,83	1,37	15.111	7,65	16.019	8,10	158	97,4
Praderas	36.074	18,25	72.650	0,23	1,35	9.876	5,00	26.778	13,55	140	96,8
Suelo irrigado	18.102	9,16	154.240	0,62	1,43	3.106	1,57	9.470	4,79	122	95,6

b) Escenario 2 – Planificado

CUS	Área - borde				Forma	Área núcleo				Agregación	
	CA	PLAND	NP	LPI	PAFRAC	TCA	CPLAND	NDCA	DCAD	PROX	COHESION
	ha	%	N°	%	N°	N°	%	N°	ha	N°	%
Agua	8.349	3,98	929	3,18	1,32	6.995	3,42	306	0,15	9.295	99,8
Bosque nativo	36.692	17,95	220.193	1,51	1,43	5.597	2,74	25.400	12,43	219	96,2
Humedales	4.545	2,22	34.416	0,76	1,43	2.277	1,11	905	0,44	157	96,5
Matorrales	60.275	29,49	214.145	0,48	1,43	13.020	6,37	41.847	20,47	306	97,0
Escasa vegetación	32.551	15,93	60.295	0,77	1,37	14.429	7,06	15.170	7,42	136	97,2
Praderas	32.277	15,79	67.480	0,17	1,34	8.949	4,38	23.971	11,73	93	96,3
Suelo irrigado	29.910	14,63	139.929	1,11	1,43	8.518	4,17	15.592	7,63	645	98,4

c) Escenario 3 – Ideal

CUS	Área - borde				Forma	Área núcleo				Agregación	
	CA	PLAND	NP	LPI	PAFRAC	TCA	CPLAND	NDCA	DCAD	PROX	COHESION
	ha	%	N°	%	N°	N°	%	N°	ha	N°	%
Agua	8.349	3	929	2,4	1,32	6.995	2,58	306	0,11	9.295	99,8
Bosque nativo	103.772	38,23	117.770	2,39	1,39	47.658	17,56	43.633	16,07	7.232	99,5
Humedales	4.545	1,67	34.416	0,57	1,43	2.277	0,84	905	0,33	157	96,5
Matorrales	60.275	22,2	214.145	0,36	1,43	13.020	4,8	41.847	15,42	306	97,0
Escasa vegetación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Praderas	64.829	23,88	77.617	1,09	1,36	28.019	10,32	30.279	11,15	1.304	99,0
Suelo irrigado	29.910	11,02	139.929	0,83	1,43	8.518	3,14	15.592	5,74	645	98,4

Fuente: Elaboración propia en base a Fragstats

Un Anillo Verde para el Área Metropolitana de Concepción
Evaluación de su Factibilidad Geográfica

Cuadro 18.- Variaciones porcentuales de aumento o disminuciones de métricas por escenarios.

Variaciones Escenario 1 - Escenario 2

	Área - borde		Forma	Área núcleo	Agregación	
CUS	PLAND	NP	PAFRAC	CPLAND	PROX	COHESION
Agua	-6%	-18%	0%	-5%	14%	0%
Bosque nativo	-5%	-8%	0%	34%	103%	1%
Humedales	29%	-18%	0%	185%	533%	7%
Matorrales	-3%	0%	0%	-3%	0%	0%
Escasa vegetación	-8%	-6%	0%	-8%	-14%	0%
Praderas	-13%	-7%	-1%	-12%	-34%	0%
Suelo irrigado	60%	-9%	0%	165%	429%	3%

Variaciones Escenario 1 - Escenario 3

	Área - borde		Forma	Área núcleo	Agregación	
CUS	PLAND	NP	PAFRAC	CPLAND	PROX	COHESION
Agua	-29%	-18%	0%	-28%	14%	0%
Bosque nativo	103%	-51%	-3%	758%	6.599%	5%
Humedales	-3%	-18%	0%	115%	533%	7%
Matorrales	-27%	0%	0%	-27%	0%	0%
Escasa vegetación	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%
Praderas	31%	7%	1%	107%	828%	2%
Suelo irrigado	20%	-9%	0%	100%	439%	3%

Variaciones Escenario 2 - Escenario 3

	Área - borde		Forma	Área núcleo	Agregación	
CUS	PLAND	NP	PAFRAC	CPLAND	PROX	COHESION
Agua	-25%	0%	0%	-25%	0%	0%
Bosque nativo	113%	-47%	-3%	541%	3.207%	3%
Humedales	-25%	0%	0%	-24%	0%	0%
Matorrales	-25%	0%	0%	-25%	0%	0%
Escasa vegetación	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%
Praderas	51%	15%	1%	136%	1.297%	3%
Suelo irrigado	-25%	0%	0%	-25%	0%	0%

Fuente: Elaboración propia en base a Fragstats.

Cuadro 19.- Métricas escenarios a nivel Paisaje

ESCENARIOS	PR	SHDI	SIDI
1 - Actual	7	1,7	0,79
2 - Planificado	7	1,8	0,81
3 - Ideal	7	1,8	0,84

Fuente: Elaboración propia en base a Fragstats

Variaciones Escenario 1 – Escenario 2

Respecto al Área-borde encontramos que la mayoría de las coberturas pierden cobertura, siendo la cobertura de praderas y escasa vegetación las más afectadas, sin embargo, humedales y suelo irrigado recuperaron superficie, con 29% y 60% respectivamente. Ahora bien, en cuanto a fragmentación todas las coberturas disminuyeron el número de parches, esto quiere decir que la fragmentación disminuyó siendo humedales el más favorecido con este nuevo cambio, disminuyendo sus parches un 18%, seguido de suelo irrigado (9%) y bosque nativo (8%), que considerando que aumentaron su superficie es un resultado favorable para los objetivos del estudio.

En cuanto a Forma los cambios son poco relevantes entre un escenario otro, lo que quiere decir que la complejidad de sus parches se mantiene a pesar de los cambios realizados. Para el caso de las Áreas núcleo existe aumento de las coberturas de bosque nativo (34%), humedales (185%) y suelo irrigado (165%), esto sumado a la mayor cantidad de disminución del número de parches (NP) mencionado anteriormente demuestra que las coberturas se compactaron disminuyendo su fragmentación y al momento de hacerlo sus núcleos centrales aumentaron, esto queda demostrado al ver las métricas de agregación ya que nos damos cuenta que la mayoría de las coberturas mejoro su conectividad ya que se aumentó la cantidad de parches próximos entre sí, dentro del rango de 100m, encontrándose solamente perdidas en las coberturas de escasa vegetación (14%) y praderas (34%), de igual modo se evidencia la misma tendencia en la COHESION, de aumentos y disminuciones, existe una estrecha relación entre ambas métricas, estas variaciones se podría explicar debido a la reconversión de algunas zonas.

En resumen, en el escenario planificado los grandes cambios se ven reflejados en las coberturas de humedales, suelos irrigados y bosque nativo, ya que las principales reconversiones realizadas por medio de las zonas con regulaciones aptas obtenidas del PRMC provocan un aumento en sus superficies, una disminución de sus grados de

fragmentación, mayores índices de conectividad y mejoría en relación a su vecindad y cercanía a otros parches y mayor compactación de estos mismos.

Variaciones Escenario 1 – Escenario 3

Para el caso de los cambios al escenario ideal, encontramos primero que respecto a las métricas de Área-borde las coberturas de bosque nativo (103%), praderas (31%) y suelo irrigado (20%) son las que aumentaron su cobertura respecto a las otras, siendo la primera la que cobra mayor porcentaje, la cual además presenta la mayor pérdida de parches (51%). Esto quiere decir que esta cobertura aumenta su superficie dentro del territorio, pero además se encuentra con mejor grado de fragmentación. En este sentido la mayoría de las coberturas -de igual manera que sucede en el escenario 2- disminuye la cantidad de parches existentes, siendo la cobertura de praderas la única que aumenta su número, esto puede deberse al aumento de superficie que presenta.

En cuanto a la Forma encontramos la misma tendencia anteriormente mencionada, ya que no existen variaciones significativas respecto a la complejidad de la forma, con respecto al Área núcleo, las variaciones dan cuenta que la mayoría de los parches aumenta sus núcleos centrales, encontrando solo que las coberturas de matorrales (27%), agua (28%) y escasa vegetación (100%) disminuyeron sus áreas, cabe mencionar que la cobertura de escasa vegetación es la que posee mayores disminuciones ya que dentro del escenario ideal (escenario 3) no existe esta cobertura dentro del territorio. Ahora bien, en cuanto a la Agregación se determina que todas las coberturas mejoraron sus métricas en cuanto a la vecindad dentro del rango de 100m, todas obtuvieron aumentos, siendo la cobertura de bosque nativo la mayor beneficiada con un aumento de parches de 6599%, esto debido a que se considera la transformación de plantaciones forestales. En cuanto a la cohesión la mayoría aumento sus valores, lo que da cuenta que los parches se encuentran con mayor unidad.

En resumen, las coberturas que tuvieron mayores variaciones fueron la de bosque nativo, humedales y suelo irrigado, siendo la primera la con mayores beneficios. Por otro lado, las reconversiones realizadas dentro del territorio muestran acciones favorables en cuanto a la realización de cambios en la estructura del paisaje, ya que la mayoría de las coberturas obtuvo grandes cambios en sus métricas, aumentando los grados de conectividad y compactación de los fragmentos, el grado de fragmentación se vio considerablemente

disminuido, hubo aumento de superficie de coberturas favorables para los objetivos del estudio.

Variaciones Escenario 2 – Escenario 3

Las variaciones entre ambos escenarios corresponden solamente a algunas de las coberturas, esto se debe a que el escenario 3 al estar construido en base al escenario 2 posee coberturas que no sufrieron grandes variaciones o netamente se encuentran con valores constantes, de este modo solo se analizan aquellas que presentan variaciones en todas sus métricas, como es el caso de la cobertura bosque nativo, escasa vegetación y praderas.

Para el caso de la cobertura de bosque nativo, se observa que existe un aumento de la superficie (113%) lo cual sumado a la disminución del número de parches (47%) indica que esta cobertura a pesar de aumentar considerablemente su superficie dentro del territorio su grado de fragmentación disminuye, lo cual al ser contrastado con las métricas de Agregación dan cuenta de que es favorable para este ecosistema la reconversión realizada, ya que la proximidad de parches dentro del rango de 100m metros aumenta un 3207% unidades de parche cercanos, mientras su cohesión también aumenta en 3%. Ahora bien, respecto a su Forma se evidencia que existe una disminución del 3%, lo cual indica que la cobertura disminuye su complejidad volviéndose más simple al igual que aumenta sus áreas núcleos en un 541%.

Respecto a la cobertura de praderas se observa que al aumentar su superficie dentro del territorio (51%) existe también un aumento en el grado de fragmentación (15%), lo cual indica que este aumento de superficie se encuentra de manera más dispersa entre sí. En cuanto a la métrica de Forma, existe un aumento lo que indica que la cobertura se volvió de forma más compleja. Ahora bien, las métricas de Área núcleo y Agregación dan cuenta de aumentos de las áreas núcleo en un 136%, un PROX de 1297% y una COHESION de 3%; esto quiere decir que aumento su vecindad de parches y también su compactación entre sí. La cobertura de escasa vegetación disminuyó sus métricas ya que como se mencionó anteriormente para el escenario 3, esta cobertura fue reclasificada.

Dado que el escenario 3 se construyó en base a las reclasificaciones del escenario 2 y la clasificación inicial, no existen grandes variaciones a nivel de paisaje. Pero se debe considerar que las reclasificaciones se hicieron en base a ciertas coberturas. No obstante,

lo anterior es evidencia del objetivo principal de este estudio, que concluye una directa proporción entre la modificación de coberturas clave dentro del territorio y una mejora de los valores tanto a nivel de fragmentación como conectividad.

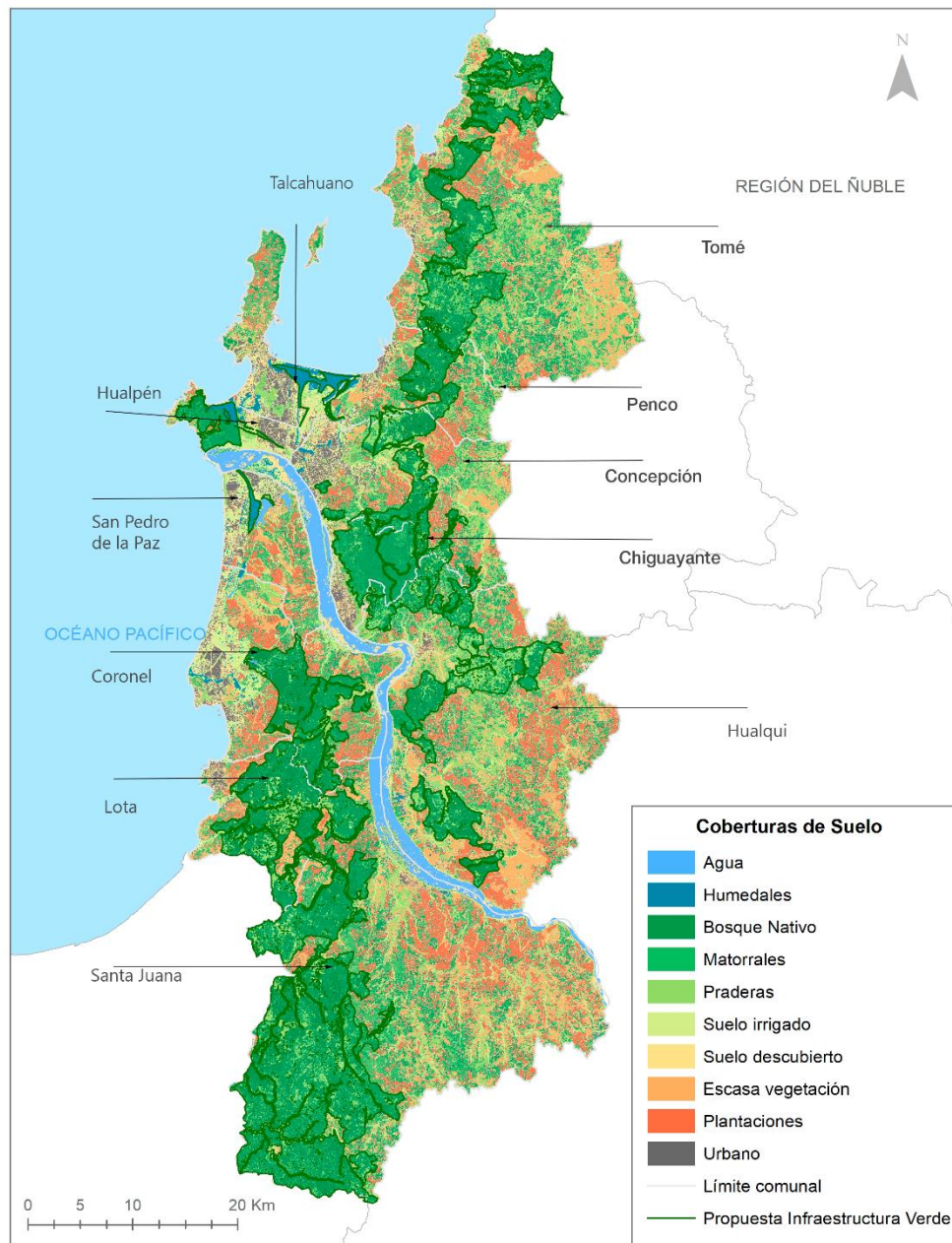
En cuanto a las métricas a nivel paisaje de diversidad (Cuadro 19), se observa que no existen grandes variaciones respecto a la clasificación inicial lo cual indica que, a pesar de los cambios y reconversiones de las coberturas dentro del territorio, estos no afectan la diversidad del paisaje, si bien los índices tanto de *Shannon* y *Simpson* disminuyen levemente, esta es constante dentro de los escenarios.

Por lo tanto todas las variaciones y modificaciones de las coberturas de los escenarios muestran métricas favorables para la implementación de un anillo verde, dentro del cual el escenario 2 es el que presenta mayor factibilidad geográfica de acuerdo a las modificaciones en base a la planificación, mientras que el escenario 3 presenta mayores grados de conectividad y mejores números en relación a la fragmentación, lo cual indica cual es el territorio que será modificado para la propuesta y cuáles son las coberturas que serán utilizadas.

4.4 Propuesta de implementación de un anillo para la infraestructura verde en el Área Metropolitana de Concepción.

La propuesta que se presenta a continuación (Figura 19) fue realizada en base a los escenarios 2 y 3 considerando modificaciones sobre las coberturas que presentaron mejor índices de conectividad de igual forma se realizó el cálculo de métricas de la propuesta.

Figura 19.- Propuesta de Infraestructura Verde para el AMC



Fuente: Elaboración propia

Un Anillo Verde para el Área Metropolitana de Concepción
Evaluación de su Factibilidad Geográfica

Cuadro 20.- Variaciones de superficie de propuesta de Infraestructura Verde en el paisaje

CUS	Superficie (ha)		Variaciones	Porcentaje
	Escenario 1	Propuesta Final	- / +	%
Agua	8.349	8.349	0	0
Bosque nativo	37.035	80.054	43.019	116
Humedales	3.390	4.529	1.139	34
Matorral	60.391	39.211	-21.180	-35
Escasa vegetación	34.236	26.462	-7.774	-23
Praderas	36.105	38.370	2.265	6
Suelo irrigado	18.112	29.910	11.798	65
Total	197.618	226.885	29.267	15
Fracción AMC	70%	80%		

Fuente: Elaboración propia

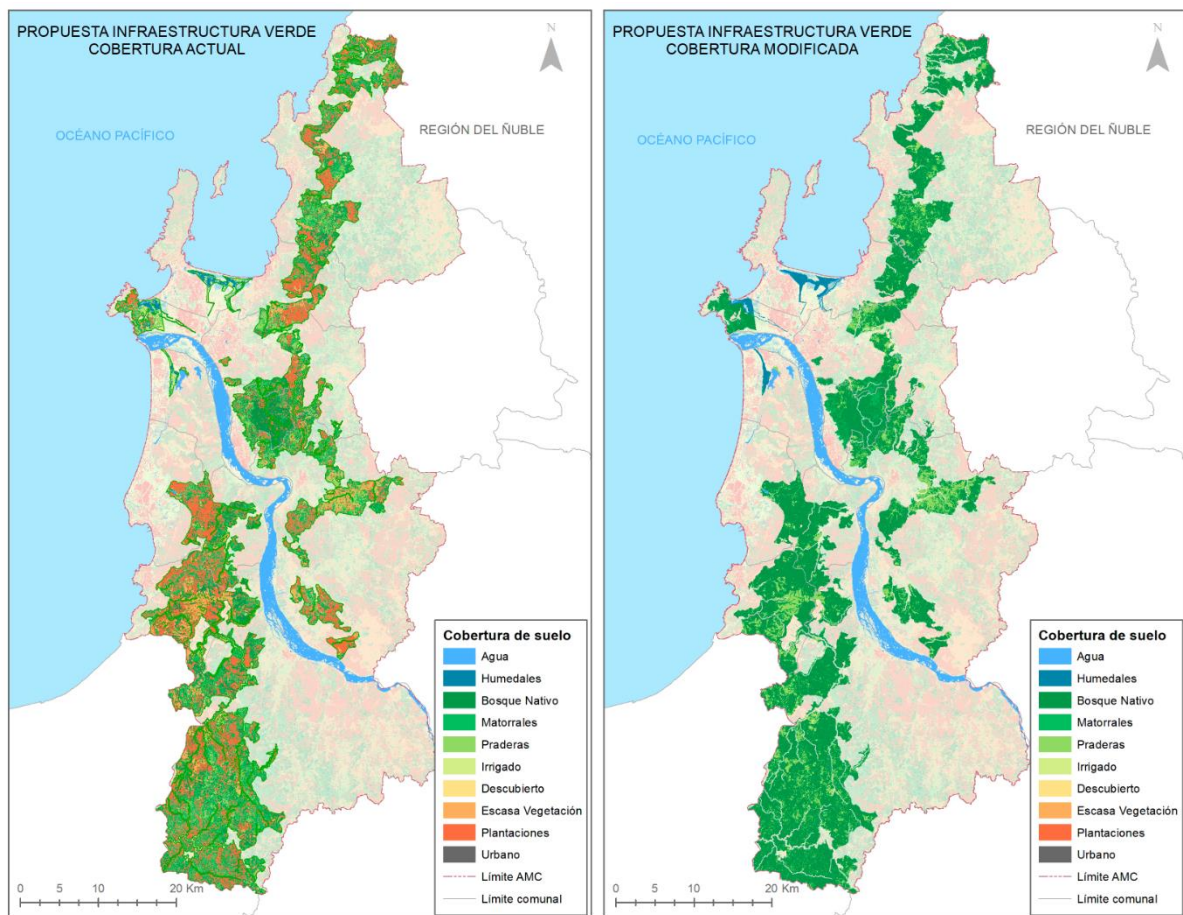
En relación a las variaciones de superficie (Cuadro 20) encontramos que la mayoría de las coberturas aumenta su superficie respecto al escenario 1, encontrando disminuciones solamente en las coberturas de matorral y escasa vegetación, esto se explica debido a la reconversión de estas coberturas, ya que se asume que donde existe escasa vegetación por ser suelos principalmente desforestados e incendiados poseen una alta probabilidad de restaurarse y recuperarse a modo de praderas o bosque nativo, al igual que sucede con matorrales, al no encontrarse en contacto con plantaciones forestales donde tienen mayor afinidad de convivencia, esta cobertura se comienza a transformar en bosque nativo.

En relación a las coberturas que aumentaron su superficie, esto corresponde principalmente a la ocupación de zonas con regulaciones aptas para la protección ecológica propuestas por el Plan Regulador Metropolitano de Concepción de este modo bosque nativo es el que tiene mayor aumento llegando a superar en más de 100% su superficie actual, esto se logra debido a la existencia de extensas zonas consideradas Área Rural por el PRMC considerando dentro de esta categoría la categoría AR5 que es propicia para la implementación de una infraestructura verde ya que es considerado de “Alta Relevancia Ecológica”; otra de las coberturas que aumenta es suelo irrigado, esto debido a que existe una gran cantidad de zonas de inundación (ZD) las cuales se incorporan dentro de esta cobertura, esta además incorpora las zonas de riberas de río llegando a un aumento de su superficie de un 65%. Luego le siguen la cobertura de humedales y praderas con un 34% y 6% respectivamente. Si bien no son grandes aumentos de superficie si consideramos que los humedales son ecosistemas frágiles que han sido fragmentados históricamente en el

Un Anillo Verde para el Área Metropolitana de Concepción Evaluación de su Factibilidad Geográfica

AMC es un gran avance registrar este aumento lo cual indica que aún quedan zonas desprotegidas posiblemente con gran probabilidad de desaparecer siendo rellenados.

Figura 20.- Variaciones de coberturas al interior de la Infraestructura Verde.



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 21.- Variaciones de superficie de coberturas dentro de la Infraestructura Verde

CUS	Superficie (ha)		Variaciones	Porcentaje
	Escenario 1	Propuesta Final	- / + (ha)	%
Agua	110	110	0	0
Bosque Nativo	15.395	60.858	45.463	295
Descubierto	181	0	-181	-100
Humedales	788	1.532	744	94
Matorrales	22.279	1.150	-21.129	-95
Plantaciones	23.244	0	-23.244	-100
Escasa vegetación	6.127	0	-6.127	-100
Praderas	8.119	13.523	5.404	67
Suelo irrigado	2.447	1.628	-819	-33
Urbano	31	0	-31	-100

Fuente: Elaboración propia

La Figura 20 muestra las variaciones de coberturas con la implementación de una IV de acuerdo a las coberturas actuales en relación a las coberturas modificadas de la propuesta donde claramente podemos observar que en la primera imagen (izquierda) existe una mayor diversidad de usos, lo cual refleja un mayor grado de fragmentación ya que encontramos diversos parches de coberturas alejados y dispersos entre sí, ahora si se observa la segunda imagen (derecha), si bien existe menor diversidad de coberturas, las que se encuentran presente cuentan con una gran conectividad, debido a su compactación visible.

Respecto a los cambios de superficie (Cuadro 21), se evidencia una tendencia favorable en las métricas respecto a las coberturas naturales; disminuyó la fragmentación y mejoró la conectividad. Misma tendencia apreciada en los escenarios anteriores (2 y 3). En este caso, al disminuir la fragmentación aumenta la conectividad de los parches, pese a que esta relación no es siempre directamente proporcional.

Mientras las plantaciones, matorrales y escasa vegetación se alejan de la propuesta por presentar mayores pérdidas de coberturas, son bosque nativo (295%), humedales (94%) y praderas (67%) las coberturas naturales mayormente beneficiadas con la reconversión. Es el efecto de la reconversión el que genera no una pérdida, sino más bien una reconversión profunda de las coberturas del área delimitada en esta propuesta.

La profundidad del cambio en el área que afecta dicha reconversión contraviene la tendencia actual que propone el modelo económico de la Región, donde la actividad forestal

se posiciona como un eje macroeconómico que impacta no sólo a nivel local, sino también nacional e internacional. Es por ello que conviene enfatizar que esta propuesta responde fielmente a la factibilidad geográfica, bajo una mirada objetiva del territorio.

Sin perder esta directriz, el paradigma actual en el escenario mundial demanda no sólo una recuperación del bosque nativo y su ecosistema, considerados esenciales en la relación del propio ser humano y su entorno, sino también asumir que son las propuestas radicales y efectivas las que albergan mayor valor funcional tanto para la economía como para la vida cotidiana. Chile, por las características propias de su territorio, se encuentra en un lugar privilegiado para ser un ejemplo internacional en esta materia; además, a tiempo de tomar decisiones que impacten en el desarrollo humano, económico, social y cultural.

Existen algunas alternativas y proyectos asociados a este tipo de reconversiones como - por ejemplo- el proyecto global “Desafío de Bonn”² que fue impulsado por el gobierno alemán y la UICN el año 2011; su objetivo consistía en restaurar 150 millones de hectáreas de bosques degradados y deforestados para el año 2020, objetivo que posteriormente fue avalado y ampliado hasta el 2030, donde se espera tener 350 millones de hectáreas restauradas y recuperadas. América Latina y el Caribe colaboran con este proyecto a través la de iniciativa 20x20³, la cual reúne a 8 países latinoamericanos con la finalidad de restaurar 20 millones de hectáreas de suelos degradados. Chile es miembro de esta iniciativa y propuso la restauración de 500 mil hectáreas degradadas, específicamente 400 mil hectáreas de suelos agrícolas degradados y 100 mil hectáreas de restauración de bosque nativo.

Tomando en consideración el compromiso asumido por el país, y sumando además la relevancia de la Región del Biobío en términos forestales respecto a las 100 mil ha propuestas, se considera que la restauración de 43 mil hectáreas de coberturas naturales degradadas y la reconversión de un área de 24 mil ha de plantaciones forestales - aproximadamente- es una opción viable y que además resulta de vital importancia en vista de las consecuencias directas del cambio climático y la acción humana que ha contribuido a la degradación de suelos. El perfil económico de la Región, que la convierte en una de las principales regiones exportadoras de madera y, por ende, una de las zonas con mayor porcentaje de bosque forestal, contribuye a pensar que la reconversión de un 25% del total

² Desafío de Bonn: <https://www.iucn.org/es/tema/bosques/el-desafio-de-bonn>

³ Iniciativa 20x20 <https://www.iucn.org/es/content/paises-de-latinoamerica-y-el-caribe-lanzan-la-iniciativa-20x20-para-restaurar-20-millones-de-hectareas-de-tierra-degradada>

Un Anillo Verde para el Área Metropolitana de Concepción
Evaluación de su Factibilidad Geográfica

de hectáreas propuestas para del territorio nacional cumple con el objetivo de promover la restauración y conservación de bosque nativo.

Cuadro 22.- Métricas de la propuesta de Infraestructura Verde a nivel Clase

CUS	Área - borde		Forma	Área núcleo	Agregación	
	PLAND	NP	PAFRAC	CPLAND	PROX	COHESION
	%	N°	N°	%	N°	%
Agua	3,59	929	1,32	3,09	9.295	99,8
Bosque Nativo	35,35	152.644	1,41	20,90	2.537	99,42
Humedales	2,00	34.416	1,43	1,00	157	96,49
Matorrales	17,26	160.316	1,43	3,31	115	95,64
Escasa vegetación	11,68	47.454	1,37	5,14	150	97,26
Praderas	16,92	71.574	1,35	5,38	177	97,14
Suelo irrigado	13,19	139.929	1,43	3,76	645	98,39

Fuente: Elaboración propia en base a Fragstats.

Cuadro 23.- Métricas de la propuesta de Infraestructura Verde a nivel Paisaje

PR	SHDI	SIDI
7	1,75	0,89

Fuente: Elaboración propia en base a Fragstats.

En el Cuadro 22 podemos observar las métricas obtenidas de la propuesta de IV que al compararlas con el escenario actual (Cuadro 24) da cuenta como el grado de fragmentación disminuye en todas las coberturas que contrapuesto con los indicadores de conectividad, dan como resultado que la factibilidad de implementar una infraestructura verde en el AMC permitirá una restauración, protección y conservación de ecosistemas que se ven constantemente afectados. Cabe mencionar que, para el caso de la cobertura del Agua, las variaciones no son reflejo de pérdida de esta cobertura, sino más bien consiste en variaciones en relación a las otras coberturas. En cuanto a la diversidad si bien existe una disminución de riqueza de coberturas dentro del área propuesta la diversidad se mantendrá constante (Cuadro 23).

Cuadro 24.- Variación porcentual de métricas, escenario inicial-propuesta de Infraestructura Verde.

CUS	Área - borde		Forma	Área núcleo	Agregación	
	PLAND	NP	PAFRAC	CPLAND	PROX	COHESION
Agua	-15%	-18%	0%	-14%	+14%	0%
Bosque Nativo	+88%	-36%	-1%	+921%	+2.250%	+5%
Humedales	+16%	-18%	0%	+158%	+533%	+7%
Matorrales	-43%	-25%	0%	-50%	-63%	-1%
Escasa vegetación	-33%	-26%	0%	-33%	-5%	0%
Praderas	-7%	-1%	0%	+8%	+26%	0%
Suelo irrigado	+44%	-9%	0%	+139%	+429%	+3%

Fuente: Elaboración propia

Esta propuesta de acuerdo a los antecedentes de Vitoria Gasteiz, 2012 presenta los componentes centrales de una infraestructura verde, ya que esta se compone principalmente de núcleos, estos grandes espacios que anclan las redes, dando cuenta de un origen y destino de los procesos biológicos y ecológicos que se mueven a través de esta infraestructura, en otras palabras, esta propuesta corresponde sólo a un elemento estructurante de la infraestructura verde por fuera del área urbana, el borde. Para implementar una infraestructura verde como tal, es necesario señalar los enlaces y las pasarelas, las cuales a priori podría señalarse como algunas alternativas la ruta del agua, la ribera de los ríos y el borde costero.

CAPITULO 5.- DISCUSIÓN

La expansión urbana en el AMC es un fenómeno que ha producido transformaciones drásticas del paisaje durante muchos años, lo cual se ve reflejado en la pérdida de diversos recursos como el agua, los humedales, los bosques y diversos tipos de suelo, lo cual ha provocado la modificación tanto la biodiversidad del área al igual que la provisión de los servicios ecosistémicos. Esta presión se encuentra latente hasta el día de hoy, ya que son innumerables los proyectos asociados a viviendas, infraestructura vial y cambios de usos de suelo al igual que el gran aumento de la actividad forestal dentro de la región y del área. Esto se ve reflejado al encontrar que la cobertura con mayor predominancia dentro del área es la asociada a plantaciones forestales.

Por otra parte, al observar las imágenes, estas dan cuenta que existe una gran presión sobre los ecosistemas que están insertos dentro del área urbana del AMC al punto que al no encontrar espacios para seguir construyendo empieza a expandirse hacia los bordes de la ciudad, el cual es el foco de la investigación ya que se busca una alternativa para contener de cierto modo la expansión urbana.

5.1 Aspectos Metodológicos

El planteamiento inicial de desarrollar un anillo verde en sentido estricto dentro del AMC fue objeto de una profunda reflexión a lo largo del desarrollo de este trabajo, ya que implementar una infraestructura verde de este tipo es difícil en un área con la configuración territorial del AMC y debido a que las definiciones originales se basan en una estructura circular que contenga el área urbana. Debido a la morfología irregular que presenta el territorio, sumado a la gran barrera natural presente como es el río Bío-Bío, esta infraestructura requiere de ajustes y una flexibilización en su comprensión.

De igual manera, varios autores discuten sobre la necesidad de adecuación del concepto, debido principalmente a que la evolución de la economía y políticas a través de los años no permiten mantener el concepto en su forma original. De esta forma, Thomas & Littlewood (2010) señalan que la idea de un cinturón verde (anillo verde) podría no ser una solución eficaz para la protección y desarrollo de las zonas marginales urbanas, sino que más bien los conceptos de infraestructura urbana serían más apropiados como forma para planificar y gestionar estos espacios, ya que de esta forma se obtendría una comprensión más

sofisticada y un mejor entendimiento de la dinámica de estos espacios. Existen casos internacionales que ya están trabajando con estrategias políticas con la finalidad de poder ampliar los lineamientos de este concepto para poder incluir el concepto de infraestructura verde (Amati & Taylor, 2010). Así, la propuesta pasa a representar un elemento que nace de la idea de anillo verde pero que debe llegar a ser parte de una infraestructura verde.

Por otra parte, de acuerdo a la fragmentación encontramos dos aspectos importantes de mencionar. El primero corresponde al tipo de fragmentación que presenta el área, que de acuerdo a Harris & Silva-López (1992) en Sarmiento, 2000; en el ÁMC se da principalmente una fragmentación tipo divisiva, puesto que, debido a sus características geográficas, el río Biobío funciona como un atributo fragmentador, dividiendo y fragmentando la propuesta hacia sus extremos. Esta situación no puede ser revertida, sin embargo, se puede proyectar como un conector oriente-poniente, a través de la ribera del río como conectores y enlaces.

El segundo da cuenta del grado de fragmentación existente en el área. Siguiendo lo que se señala en Junta de Andalucía (2011), el AMC presenta grados de fragmentación del tipo salpicado (70%) de las coberturas naturales, lo cual se ve modificado con la implementación de la propuesta del Anillo Verde, alcanzando niveles altamente favorables en el grado de intacto (96 %), sin embargo, se considera que es un intacto falso o moldeado, ya que para que cumpla esta condición se debería hablar de un ecosistema casi prístino.

5.1.1 Procesos metodológicos

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede señalar que parte de los procesos metodológicos pueden corregirse para una mejora en la investigación, de tal forma que se pueda simplificar la metodología o desarrollarla con otra escala de detalle.

Para mejorar y simplificar la metodología se debe señalar primero que realizar estudios de caso en busca de una clasificación adecuada para el área de estudio no resultó determinante, ya que la mayoría de estas clasificaciones presentan como base la clasificación del CORINE land cover, lo cual da cuenta que se pudo agilizar el trabajo basándose desde el inicio en esta o de igual manera hubiera sido más eficiente utilizar una clasificación ya determinada por algún organismo nacional, tal como lo es la clasificación de vegetación de CONAF. Otro factor que señalar es que al enfocarse en una clasificación en base a las coberturas no siempre es lo idóneo ya que como quedó demostrado en este

caso, fue más determinante la clasificación realizada respecto a la planificación territorial, puesto que esto permite tener una mirada más clara respecto a las zonas que pueden ser intervenidas.

En segundo lugar, se debe señalar que la cantidad de métricas seleccionadas fueron demasiadas en relación a las variaciones obtenidas y al análisis realizado, de las 11 métricas de tipo clase escogidas, sólo fueron relevantes para el análisis 6 de estas, lo que da cuenta que el proceso de cálculo de métricas se puede optimizar al reducir la cantidad sólo a las que resulten más relevantes. Por otra parte, se trabajó con métricas de tipo clase y tipo paisaje, sin embargo, esta última presentó muy poco impacto y variación en los escenarios, lo que da cuenta que para este tipo de estudio no es relevante su determinación.

En tercer lugar, para realizar un estudio más robusto, se debe incorporar en el estudio otro tipo de escalas, puesto que como se ha demostrado la escala utilizada en esta investigación no permitió realizar análisis más detallados respecto a la escala urbana, sino que más bien se mantuvo en una escala a nivel comunal abarcando sólo los grandes ecosistemas del borde urbano. Por otra parte, existen otras formas de complementar esta investigación, una de ellas es la realización de análisis de las coberturas y cambios en el paisaje a través de diferentes años, lo cual permitiría determinar aquellas zonas que han sufrido los mayores cambios y pérdida, así como también aquellas áreas más persistentes en el territorio. Otra forma de complementar la investigación es a través de análisis de accesibilidad, los cuales permiten determinar cuanta población se vería beneficiada con esta propuesta.

5.1.2 Herramientas metodológicas

Respecto a las herramientas utilizadas es necesario señalar que la utilización de softwares para este tipo de investigaciones resulta cada vez más relevante, en un mundo donde prima la innovación y la inmediatez el utilizar herramientas que permitan agilizar los procesos de análisis espaciales cobran gran importancia, más aún cuando se trata del manejo y análisis de grandes bases de datos como lo son los *Big Data*. De este modo el uso de plataformas de análisis geomáticos como lo es Google Earth Engine se vuelve una herramienta de gran importancia. Al ser una plataforma que se aloja en la nube minimiza la utilización de espacio, y recursos computacionales del equipo en el cual se está trabajando, sin embargo, esto no afecta su desempeño ya que entrega los resultados de los análisis de manera veloz.

En este trabajo, la utilización de esta plataforma para la clasificación de usos de suelo agilizó el trabajo optimizando los tiempos, puesto que, se debe tomar en cuenta que la utilización de imágenes satelitales con resolución de 10 metros genera un nivel de detalle muy alto, por lo cual el realizar este tipo de clasificaciones por medio de un software común hubiera demorado mucho tiempo y un alto gasto de recursos computacionales.

Esto da cuenta lo necesaria que se hace la innovación de las enseñanzas y aplicaciones este tipo de tecnologías de información geográfica, que debiesen ser parte esencial en el aprendizaje de profesionales que realizan este tipo de análisis espaciales, la academia y los profesionales deben estar al día con las nuevas tecnologías.

5.2 Aportes para la gestión del territorio

La inclusión de la naturaleza en la ciudad está relacionada con el enfoque naturalista del urbanismo (Cordero, *et al.*, 2015), cuyas propuestas llevaron a plantear la conveniencia de reducir barreras y diferencias entre diferentes hábitats. Es así como la teoría de la ecología urbana podría construirse desde una pluralidad de conceptos y desde múltiples disciplinas que tratan de responder a los mecanismos que gobiernan el comportamiento urbano. Este crecimiento desordenado de las ciudades repercute en las dinámicas ambientales internas y muchas veces en la disminución de la biodiversidad urbana (Ortega & McGregor, 2013).

En este contexto es importante fomentar la investigación ecológica en zonas urbanas a nivel local para lograr la consolidación de actividades de manejo y planeación urbana que integren los componentes ecológicos, políticos, económicos y culturales de cada ciudad (Ortega & McGregor, 2013; Cordero, *et al.*, 2015). Principalmente considerando que en Chile el estudio de la ecología urbana es muy reducido y sólo ha ido aumentando a medida que las principales ciudades han ido creciendo (Ortega & McGregor, 2013).

A partir de esto es que se hace necesario estrategias de planificación que incorporen los componentes fundamentales de crecimiento sustentable con la finalidad de crear ciudades más sustentables con sistemas naturales en sana convivencia, con aportes a la economía, a la cultura, a la prevención de riesgos climáticos y que permitan mitigar los efectos del cambio climático.

De igual manera se debe señalar que esta propuesta quedará a disposición de la comunidad y del servicio público a través de la plataforma de datos del Observatorio Urbano

de CEDEUS, mediante la página www.datos.cedeus.cl, como un aporte a la planificación territorial, tomando en cuenta que existen propuestas de estudios y proyectos enfocados en la creación de un sistema de infraestructura verde o infraestructura ecológica dentro del Área Metropolitana de Concepción, por lo cual esta propuesta sirve de insumo para que el diseño tenga un enfoque integrador y no sólo basado en la planificación netamente urbana que históricamente se centra en el interior de las ciudades, sino que además incorpore los ecosistemas de borde de estas mismas.

CAPITULO 6.- CONCLUSIONES

El AMC es un área que ha visto grandes transformaciones de su paisaje a través del tiempo partiendo por su constante crecimiento urbano hasta el aumento de zonas forestales por todo el borde de lo construido, lo cual ha producido pérdidas de valiosos ecosistemas siendo algunos de estos ya imposibles de recuperar, por lo cual se vuelve esencial centrarnos en aquellos en los cuales aún existen posibilidades de recuperación, restauración o conservación, con la finalidad de mejorar la funcionalidad y equilibrio existente en el paisaje.

Urgen nuevas leyes, políticas públicas y propuestas territoriales que brinden protección a estos ecosistemas que cumplen roles fundamentales para la humanidad, sobre todo en estos tiempos donde cada vez aparecen más amenazas y riesgos para la vida humana, recordándonos lo importante que es contar con un sistema natural que permita dar confort, tranquilidad y seguridad a la población. Es por esto por lo que la generación de nuevas iniciativas como la planteada en esta investigación: la implementación de una infraestructura verde es necesaria, sobre todo donde la alta densidad de población y la poca dotación de las áreas de recreación y espacio naturales generan ambientes hostiles.

La propuesta resultante de este trabajo es geográficamente factible de implementar, ya que ya que plantea la recuperación de alrededor de 43 mil ha de bosque nativo y cerca de 750 ha de humedales, considerando que Chile se comprometió, a través de la iniciativa 20x20, a restaurar de 500 mil hectáreas degradadas, dentro de las cuales se cuentan 100 mil hectáreas de restauración de bosque nativo. Esta propuesta espera ser un insumo para la discusión de trazados definitivos, los que deben ser acordados por los diversos actores del territorio, considerando especialmente a las comunidades, ya que serían las principales beneficiarias de una iniciativa de este tipo y son ellas los conocedores de su territorio.

Para finalizar, esta investigación aporta al desarrollo de planes de infraestructura verde para el área metropolitana de Concepción. Sin embargo, para que esta tenga mayor robustez se deben realizar análisis a escala comunal y dentro del territorio urbano para integrar humedales, riberas de río, canales, plazas, parques y cerros isla, entre otros, que en esta propuesta orientada a la generación de un anillo periférico no fueron consideradas.

CAPITULO 7.- BIBLIOGRAFÍA

- Adam, E., Mutanga, O., Odindi, J., & Abdel-Rahman, E. M. (2014). Land-use/cover classification in a heterogeneous coastal landscape using RapidEye imagery: evaluating the performance of random forest and support vector machines classifiers. *International Journal of Remote Sensing*, 35(10), 3440-3458.
- Aguado, I., Barrutia, J. M., & Etxebarria, C. (2017). Anillos verdes: algunas experiencias europeas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (73).
- Amati, M., & Taylor, L. (2010). From green belts to green infrastructure. *Planning Practice & Research*, 25(2), 143-155
- Álvarez del Castillo, S. (2017) La implementación de la infraestructura Verde Urbana como elemento clave para la adaptación al cambio climático en las ciudades de Filadelfia, México y Montreal. Una mirada hacia América del Norte.
- Álvarez, T. M. (2015). Ebenezer Howard y la Ciudad Jardín. *ArtyHum, Revista digital de Artes y Humanidades.*, 9, 118-123.
- August, P., Iverson, L., & Nugranad, J. (s.f.). Human Conversion of Terrestrial Habitats. In K. J. Gutzwiller, *Applying Landscape Ecology in Biological Conservation* (pp. 198-224). Springer.
- Baeriswyl, S (2009) Crecimiento urbano del Gran Concepción, Patrones y Tendencias de una Metropolización. En *Chile: del país urbano al país metropolitano*, editado por Rodrigo Hidalgo, Carlos De Mattos y Federico Arenas, 241-256. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Baró, F.; R. Bugter; E. Gómez-Baggethun; J. Hauck; L. Kopperoinen; C. Liqueste; (2016) Green infrastructure. En: Potschin. *OpenNESS Ecosystem Service Reference Book*. K. Jax. 6p.
- Baxendale, C & Eguia, S. (2018) “Infraestructura verde” concepto y enfoque integrador en la práctica del ordenamiento territorial. *Revista Fronteras* N°17, Editorial Frotenteras, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 25 – 32p.

- Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2002). Green infrastructure: Smart conservation for the 21st century. Sprawl watch clearing house monograph series.
- Bocco, G. (2003). Carl Troll y la ecología del paisaje. Gaceta ecológica, (68), 69-70.
- Bolay, J. C. (2006). Slums and urban development: Questions on society and globalization. The European journal of development research, 18 (2), 284-298.
- Breiman, L. (1996) Bagging predictors, Machine Learning, 24 (2), 123-140.
- Breiman, L. (2001) Random forests, Machine Learning, 45 (1), 5-32.
- Junta de Andalucía, (2011). Retrieved from: http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos_tecnicos/integra_territorial/integ2.pdf.
- Chassot, O; Finegan, B & Monge-Arias, G. (2011) Red de conectividad ecológica en el Caribe Norde de Costa Rica. Revista Latinoamericana de Conservación. Vol. 2 N°1 Enero -Junio ISSN 2027 – 3851.
- Cely González, A. F. (2017). Cinturones verdes: el papel de la reserva natural Thomas van der Hammen en la planificación territorial del área metropolitana de Bogotá.
- CONAF (Corporación Nacional Forestal), s.f.a. Programa de Arborización + Árboles para Chile. <https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/arborizacion/>
- Conaf (2018). “Plantaciones Forestales: Superficie Regional Forestada y Reforestada” <https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/estadisticas-forestales/>
- De Mattos, C, Fuentes, L, & Link, F. (2014). Tendencias recientes del crecimiento metropolitano en Santiago de Chile: ¿Hacia una nueva geografía urbana? Revista INVI, 29(81), 193-219. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-83582014000200006>
- Demuzere, M., Orru, K., Heidrich, O., Olazabal, E., Geneletti, D., Orru, H., Bhawe, A. G., Mittal, N., Feliu, E. & Faehnle, M. (2014). Mitigating and adapting to climate

change: Multifunctional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. *Journal of environmental management*, 146, 107-115.

- Deng, X., Liu, Q., Deng, Y., Mahadevan, S. (2016). An improved method to construct basic probability assignment based on the confusion matrix for classification problem. *Information Sciences*. 340. 10.1016/j.ins.2016.01.033
- Di Giulio, M., Holderegger, R., & Tobias, S. (2009). Effects of habitat and landscape fragmentation on humans and biodiversity in. Elsevier, 2959-2968.
- Dobbs, C., Escobedo, F. J., Clerici, N., de la Barrera, F., Eleuterio, A. A., MacGregor-Fors, I., ... & Hernández, H. J. (2019). Urban ecosystem Services in Latin America: mismatch between global concepts and regional realities. *Urban ecosystems*, 22(1), 173-187.
- ECORONEL (Observatorio Ecológico de Coronel) (2012) Plan Verde Coronel 2050. Municipalidad de Coronel.
- EEA (European Environment Agency). (2011). Green infrastructure and territorial cohesion. The concept of green infrastructure and its integration into policies using monitoring systems. (Rep. Tec. N°18), Unión europea, Copenhagen, Dinamarca: EEA. 142p.
- EEA, (2015). European Environment-State and Outlook 2015: Assessment of Global Megatrends. European Environment Agency, Copenhagen.
- Forman, K. y M, Godron (1986) Landscape ecology. John Wiley and Sons, New York, New York, USA. 619 pp.
- Forman, R. T. (1995). Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape ecology*, 10(3), 133-142.
- Forman, R (2008) Urban regions. Ecology and planning beyond the city. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
- Garreaud, R. (2011) Cambio Climático: Bases Físicas e Impactos en Chile. *Revista Tierra Adentro-INIA*. (93):13-19.
- Gill, S.E., Handley, J.F., Ennos, A.R. & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: the role of green infrastructure. *Built environment*, 33, 1, 115-133.

- Gorelick, N; Hancher, N; Dixon, S; Ilyushchenko, D & R. Moore (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.* 202, 18–27. doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031.
- Haaland, C., & van den Bosch, C. K. (2015). Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: A review. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(4), 760–771.
- Haase, D.; N. Larondelle; E. Andersson; M. Artmann; S. Borgström y J. Breuste (2014). A Quantitative Review of Urban Ecosystem Service Assessments: Concepts, Models, and Implementation. *Ambio*, 43(4): 413-433.
- Hansen, R. y S. Pauleit, S. (2014) From multifunctionality to multiple ecosystem services? A Conceptual framework for multifunctionality in green infrastructure planning for urban areas. *Ambio*, 43(4): 516-529.
- Hölzl, C. y H. Nussli. (2014) Urban Policy and Spatial Planning in a Globalized City. A Stakeholder View of Santiago de Chile. *Planning Practice & Research*, 29(1): 21-40.
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas). (2017) Segunda Entrega Resultados definitivos CENSO 2017.
- IIED (International Institute for Environment and Development) (2006) – Editorial: Towards a real-world understanding of less ecologically damaging patterns of urban development. *Environment and Urbanization*, 18 (2): 267-273.
- Inostroza, L; Garay Sarasti, H y Andrade, G. (2020). Servicios ecosistémicos urbanos en Latinoamérica. Oportunidades para el desarrollo urbano sostenible, la acción climática y la gestión de la biodiversidad urbana. Centro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina. Documento N°4. Enero 2020
- Jara, R (2017) Oportunidades y desafíos para el desarrollo de sistemas de infraestructura verde, estudio de casos en Chile. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/153120>.
- Jiménez, M. J. (2013) Corredores verdes y corredores ecológicos en la planificación espacial: historias y encuentros. In *Planificación espacial y conectividad ecológica: los corredores ecológicos* (pp. 71-111). Instituto Universitario de Urbanística.

- Labidoire, L. (2013) La planificación urbanística de los cinturones verdes: el caso del Anillo Verde de Vitoria-Gasteiz. Trabajo Fin de Máster. Máster Planificación Territorial y Gestión Ambiental. Barcelona, Universidad de Barcelona.
- Lee, D., & Oh, K. (2012) A Landscape Ecological Management System for Sustainable. (APCBEE, Ed.) Elsevier, 375-380.
- López de Ullibarri I, Pita S (1999) Medidas de concordancia: el coeficiente kappa. Cad aten primaria, 6: 169- 71.
- Margules, C y Pressey, R. (2000) Systematic conservation planning. Nature 405, 243–253.
- Martínez de Toda, S. S., González, Á., & Rosselló, R. E. (2011). Evaluación de los cambios en la conectividad de los boques: El índice del Área Convexa Equivalente y su aplicación a los bosques de Castilla y León. Montes, 15-21.
- Martínez, P. C. (2016). Infraestructura verde. Sistema natural de salud pública. Mundi-Prensa Libros.
- McDonald, L., Allen, W., Benedict, M., O'connor, K., (2005) Green infrastructure plan evaluation frameworks. J. Conserv. Plann. 1, 12–43. McGarigal, K., y Marks, B. J. (1995): FRAGSTATS: Spatial pattern análisis program for Quantifying Landscape Structure. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-351.
- Murriera, E; Finegan, B; Delgado, D; Villalobos, R & Campos, J. (2007). Propuesta para una red de conectividad ecológica en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica. Recursos Naturales y Ambiente, 51-52
- Naveh, Z., Lieberman, A., Sarmiento, F. O., Guersa, C., Rueda, L., & Latin American student. (2003). Ecología de paisajes: Teoría y aplicaciones. Latin American student ed. Buenos Aires: Editorial Universidad de Buenos Aires, Faculty of Agronomy.
- Niamela, J. (2014). Ecology of urban green spaces: The way forward in answering major research questions. Elsevier, 298-303.
- Norton, B. A., A. M. Coutts, S. J. Livesley, R. J. Harris, A. M., Hunter. & N. S., Williams. (2015). Planning for cooler cities: a framework to prioritise green

infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 134, 127-13.

- McHugh, N., & Thompson, S. (2011). A rapid ecological network assessment tool and its use in locating habitat extension areas in a changing landscape. *Journal for Nature Conservation*, 236.
- Merriam, G. (1984) "Connectivity: A fundamental characteristic of Landscape Pattern". En: *Methodology in Landscape Ecology Research and Planning*. Brandt, J. y P. Agger, editores. Denmark: Proceedings of the First International Seminar IALE.
- Moizo, P. (2004). La percepción remota y la tecnología SIG: una aplicación en Ecología de Paisaje. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (4), 1-24.
- Morláns, M. C. (2005). *Introducción a la Ecología del Paisaje. Área ecológica*. Catamarca: Editorial Científica Universitaria, Universidad Nacional de Catamarca.
- OCC (Oficina de Cambio Climático). (2014). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio climático*. Ministerio del Medio Ambiente. [en línea]. Santiago, Chile: MMA. 56p.
- Orive, L. (2008) "Relaciones ciudad-naturaleza: hacia modelos de planificación territorial más sostenibles en Vitoria-Gasteiz". En *Boletín de ciudades para un futuro más sostenible*. N° 38-39. Madrid: Instituto Juan de Herrera, 2008. 157-171.
- Perilla, Gabriel Alejandro; MAS, Jean-François (2020) Google Earth Engine (GEE): una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube. *Investigaciones Geográficas*, [S.I.], n. 101, mar. ISSN 2448-7279
- Phillips B., J. F., & Navarrete E., D. A. (2009). *Análisis de Fragmentación y Conectividad*. Bogotá: Alcaldía de Bogotá.
- PNPU: Nueva política de Parques Urbanos.
<https://www.latercera.com/nacional/noticia/avanza-nueva-politica-parques-urbanos-mas-arboles-menos-cesped/767433/#>

- Pauleit, S., Liu, L., Ahern, J., & Kazmierczak, A. (2011). Multifunctional green infrastructure planning to promote ecological services in the city.
- Plan Verde Coronel
<https://www.ecoronel.cl/espacios-verdes/plan-verde-coronel-2050/>
- Praus, S., Palma, M., & Domínguez, R. (2011). La situación jurídica de las actuales áreas protegidas de Chile.
- Quintero González, Laura Estefanía & Quintero González, Julián Rodrigo (2019). Infraestructuras verdes vivas: características tipológicas, beneficios e implementación. Cuadernos de Vivienda y Urbanismo, 12(23).
- Rich, A., Dobkin, D., & Niles, L. (1994). Defining Forest Fragmentation by Corridor Width: The Influence of Narrow Forest-Dividing Corridors on Forest-Nesting Birds in Southern New Jersey. Conservation Biology, 8(4), 1109-1121
- Rodríguez Galiano, V & Chica Rivas, M. (2012). Clasificación de imágenes de satélite mediante software libre: nuevas tendencias en algoritmos de Inteligencia Artificial. In XV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica, Madrid, AGE-CSIC (pp. 19-21).
- Rodríguez-Galiano, V.F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M. y Rigol-Sánchez, J.P. (2012). An assessment of the effectiveness of a Random Forest Classifier for land-cover classification, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 67, 93-104.
- Rojas, Carolina, Sergio Opazo y E. Jaque. (2009) “Dinámica de crecimiento urbano del área metropolitana de Concepción: tendencias de las últimas décadas”. En Chile: del país urbano al país metropolitano, editado por Rodrigo Hidalgo, Carlos De Mattos y Federico Arenas, 257-268. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Rojas, C. y Sepúlveda E. (2011) “Clasificación de los Humedales del Área Metropolitana de Concepción, según su estado de naturalidad”. Universidad de Concepción, 1-10 pp.
- Rojas, C & Sepúlveda (2013a). Informe Conectividad Ecológica. FONDECYT · 11090163 “Valoración del Territorio Metropolitano. Aproximaciones desde su Sostenibilidad y Evaluación Ambiental Estratégica” (2009-2012).

- Rojas, C., Plata, W., Valdebenito, P., Muñiz, I., & de La Fuente, H. (2013b). La dinámica de expansión urbana del área metropolitana de Concepción. *Metropolizaciones Colombia-Chile: experiencias de Bogotá, Medellín, Santiago y Concepción*. [Book in Spanish]. National University of Colombia, Bogotá, Colombia, 39-56.
- Rojas, C; Sepúlveda, E; Barbosa, O; Rojas, O & Martínez, C (2015). Patrones de urbanización en la biodiversidad de humedales urbanos en Concepción metropolitano. *Revista de geografía Norte Grande*, (61), 181-204. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022015000200010>.
- Rojas, C., de la Barrera, F., Aránguiz, T., Munizaga, J., & Pino, J. (2017). Efectos de la urbanización sobre la conectividad ecológica de paisajes metropolitanos. *Revista Universitaria de Geografía*, 26(2), 155-182.
- Romero, H. y A. Vásquez. (2005) La comodificación de los territorios urbanizables y la degradación ambiental en Santiago de Chile. *Scripta Nova*. 194(68): 1-68.
- Ruta del Agua
https://www.mhnconcepcion.gob.cl/640/w3-article-86377.html?_noredirect=1
- San Vicente, M. G., & Valencia, P. J. L. (2012). Efectos de la fragmentación de hábitats y pérdida de conectividad ecológica dentro de la dinámica territorial. *Polígonos. Revista de Geografía*, (16), 35-54.
- Sarmiento, F. O. (2000). *Diccionario de ecología: paisajes, conservación y desarrollo sustentable para Latinoamérica*. Editorial Abya Yala.
- Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K., & Williams, J. R. (1998). Manejo de las áreas verdes urbanas. Inter-American Development Bank.
- Soule, M.E (1991). Land use planning and wildlife maintenance: guidelines for conserving wildlife in an urban landscape. *J. Am. Plann. Assoc.* 57, 313–323.
- Suárez, M. (2012) *Resiliencia de los ecosistemas urbanos: una propuesta de evaluación para la sostenibilidad*. Tesis de maestría en ecología. Madrid, España: Universidades Autónoma y Complutense de Madrid. 52p.
- Thomas, K., & Littlewood, S. (2010). From green belts to green infrastructure? The evolution of a new concept in the emerging soft governance of spatial strategies. *Planning Practice & Research*, 25(2), 203-222.

- Suárez-Parra, K. V., Cély-Reyes, G. E., & Forero-Ulloa, F. E. (2016). Validación de la metodología Corine Land Cover (CLC) para determinación espacio temporal de coberturas: caso microcuenca de la quebrada Mecha (Cómbita, Boyacá), Colombia. *Biota Colombiana*, 17(1), 1-15.
- STGO+: Infraestructura verde Santiago
<http://infraestructuraverdesantiago.cl>
- Tovar Blanco, A. L., Lizarazo Salcedo, I. A., & Rodríguez Eraso, N. (2020). Estimating aboveground biomass of *Eucalyptus grandis* and *Pinus* spp using Sentinel-1A and Sentinel-2A images in Colombia. *Colombia Forestal*, 23(1), 117-141.
- Troll, C. (2003). Ecología del paisaje. *Gaceta ecológica*, (68), 71-84.
- UNFPA (Fondo de Población de las Naciones Unidas). (2007) Estado de la Población Mundial 2007: Liberar el Potencial del Crecimiento Urbano. Nueva York: Estado de la Población Mundial 2007. 108p.
- UN-HABITAT (United Nations Human Settlements Programme), (2016) 2016 – Urbanization and development: Emerging futures. *World Cities Report 2016*, xiii + 247 pp.; Nairobi.
- Valdés, P., & Foulkes, M. D. (2016). La infraestructura verde y su papel en el desarrollo regional aplicación a los ejes recreativos y culturales de resistencia y su área metropolitana. *Cuaderno urbano. Espacio, cultura, sociedad*, 20(20), 45-70.
- Vásquez, A. y M. Salgado. (2009) Desigualdades socioeconómicas y distribución inequitativa de los riesgos ambientales en las comunas de Peñalolén y San Pedro de la Paz. Una perspectiva de justicia ambiental. *Revista de geografía Norte Grande*. (43): 95-110.
- Vásquez, A (2016) Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: El caso del corredor ribereño del Río Mapocho en Santiago de Chile. *Revista de geografía Norte Grande*. (63): 63-86.

- Vila Subirós, J., Varga, D., Llausàs i Pascual, A., & Ribas Palom, A. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. Documents d'Anàlisi Geogràfica, 2006, núm. 48, p. 151-166.
- Vimal, R., Mathevet, R., & Thompson, J. D. (2012). The changing landscape of ecological networks. Journal for Nature Conservation, 20(1), 49–55. <http://doi.org/10.1016/j.jnc.2011.08.001>
- Wang, J., & Banzhaf, E. (2018). Towards a better understanding of Green Infrastructure: A critical review. Ecological Indicators, 85, 758-772.
- Wong, T. & Yuen, B. (2011). Understanding the origins and evolution of Eco-city Development: An Introduction. In T. Wong; B. Yuen (Ed.), Eco-city planning policies, practice and design. Springer, New York. pp.1-14.
- Yigitcanlar, T. & Dizdaroglu, D. (2015). Ecological approaches in planning for sustainable cities. A review of the literature. Global J. Environ. Sci. Manage., 1(2), 159-188.
- Zonneveld, I.S. (1988) Landscape ecology and its application. En: Landscape Ecology and Management. Proceedings of the First Symposium of the Canadian Society for Landscape Ecology and Management: University of Guelph, May 1987. Editado por Michael R. Moss. Polyscience Publications Inc. Second Printing.