



UNIVERSIDAD DE CHILE

**Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Pregrado
Carrera de Geografía**

**DIFERENCIA ENTRE OFERTA Y DEMANDA DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE
REGULACIÓN CLIMÁTICA GLOBAL EN TRES COMUNAS DEL GRAN SANTIAGO**

Memoria para optar al título de Geógrafo

Simón Ernesto Ramírez Norambuena

Profesora Guía: Pamela Smith Guerra

Profesor co-guía: Cynnamon Dobbs Brown

SANTIAGO – CHILE

2020

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por el apoyo incondicional, por creer en mí y por el inagotable cariño que me han dado, en especial a mi madre y a mi padre, que son los más contentos por este logro, a mi hermana Javiera, mis primos, mis tíos, abuelos, todos!

Agradezco a mis amigos y amigas por siempre estar ahí, por la paciencia y el cariño y por todo el apoyo que me han dado y por todo lo que me han hecho crecer.

Especial mención para mi amigo y geógrafo Christopher Williams, por su amistad y por todo el apañe que me brindó en la elaboración de esta memoria.

También para Daniela Pino, por su cariño y comprensión que hicieron de este año de pandemia enormemente más llevadero y de infinito crecimiento y aprendizaje, y por enseñarme que aries y géminis juntos son una fiesta.

Agradezco a Cynnamon Dobbs, co-guía de esta memoria, académica impecable con quien tuve la suerte de hacer tanto mi práctica profesional como mi memoria, sin sus consejos e increíble disposición esta memoria simplemente no sería posible.

A los profesores que tuve en la escuela de Geo, en especial a Pamela Smith por aceptar ser mi profe guía, a Pablo Sarricolea, Gino Sandoval y Alexis Vásquez, que siempre tuvieron la mejor disposición para resolver mis dudas y aportar con sus conocimientos.

A los funcionarios de la FAU.

Al Huerto.

A la Manu y al Manchi, la reina y el rey de mi hogar.

Al tricampeón.

Y sobre todo a la vida.

RESUMEN

Los servicios ecosistémicos que provee el arbolado urbano tienen un rol fundamental en el bienestar de los habitantes de las ciudades, además de contribuir a la mitigación del cambio climático global a través del almacenamiento y secuestro de carbono atmosférico. Esto es relevante considerando que las ciudades juegan un rol fundamental en el ciclo global del carbono y concentran una gran cantidad de población.

Esta memoria evaluó la relación espacial entre la oferta y la demanda del servicio ecosistémico de regulación climática global para tres comunas del Gran Santiago, Lo Espejo, Quinta Normal y Vitacura. Para esto se estimó como indicador de la oferta el secuestro y almacenamiento de carbono y como indicador de la demanda las emisiones de CO₂ por parte del transporte motorizado de uso privado. A partir de esta información se mapearon la oferta y la demanda como también los desajustes espaciales entre la oferta y demanda a una escala local.

La cuantificación del secuestro y almacenamiento de carbono por parte del arbolado urbano se hizo con modelos basados en el porcentaje de cobertura arbórea. Esto se calculó a partir de imágenes satelitales GeoEye de alta resolución, utilizando índices de productividad de la vegetación y clasificación supervisada de los resultados. Para la estimación de las emisiones de carbono por parte del transporte motorizado de uso privado se utilizaron datos de la Encuesta Origen Destino 2012 y del Censo 2017 y se aplicó un modelo que combina datos de población con datos de movilidad.

Los resultados obtenidos indican que el arbolado urbano del área de estudio almacena cerca de 171.380 toneladas de carbono y secuestra anualmente cerca de 1.334 toneladas de carbono, mientras que las emisiones para el área de estudio corresponden a 279.418 toneladas de carbono emitido al año. Además, tanto para la oferta como para la demanda, los resultados obtenidos muestran una gran variación tanto intra como intercomunal.

Los resultados mostraron que existe un déficit importante en el suministro del servicio ecosistémico de regulación climática global para el área de estudio, ya que las emisiones anuales de CO₂ sobrepasan ampliamente el carbono que es secuestrado anualmente por la vegetación urbana, sin embargo, el carbono almacenado mostró tener un papel importante en la reducción del carbono en la atmósfera.

También se encontró que el arbolado urbano y las áreas periurbanas o con vegetación remanente contribuyen de manera importante a mitigar la huella de carbono a nivel local. Cabe destacar que la vegetación aportada por los jardines particulares demostró ser relevante en el suministro del servicio ecosistémico de regulación climática global.

Los resultados de esta memoria proveen de información relevante para la planificación y gestión urbana ya que contribuye a una mejor comprensión del aporte de la vegetación urbana al suministro de servicios ecosistémicos como también información espacialmente explícita que ayuda a identificar desigualdades en cuanto a la distribución de la vegetación y por lo tanto de los servicios que esta entrega.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. PRESENTACIÓN	8
1.1 Introducción	8
1.2 Planteamiento del problema	9
1.3 Objetivos	11
1.3.1 Objetivo General.....	11
1.3.2 Objetivos Específicos:.....	11
2. ESTADO DEL ARTE	12
2.1 Cambio climático.....	12
2.2 Servicios ecosistémicos.....	13
2.2.1 Servicios ecosistémicos urbanos	14
2.3 Infraestructura verde y Bosque urbano	14
2.4 Servicio ecosistémico de regulación climática global	16
2.5 Oferta y demanda de servicios ecosistémicos.....	17
2.5.1 Oferta y demanda del servicio ecosistémico de regulación climática global para zonas urbanas	17
3. METODOLOGÍA.....	19
3.1 Área de estudio	19
3.2 Estimación de indicadores de oferta.....	20
3.2.1 Estimación de la cobertura arbórea.....	21
3.2.1.1 Pre-procesamiento de imágenes	21
3.3 Estimación de indicadores de Demanda.....	24
3.3.1 Estimación de viajes totales en modo de transporte privado.....	25
3.3.2 Distancia recorrida en un día	26
3.3.3 Cálculo de emisiones de CO ₂	26
3.4 Evaluación espacial de desajustes entre oferta y demanda.....	27
4. RESULTADOS	28
4.1. Estimación de indicadores de oferta.....	28
4.1.1. Validación de la clasificación.....	28
4.1.2 Extracción de capa de árboles	28
4.1.2 Porcentaje de cobertura arbórea.....	29
4.1.3 Estimación del suministro de secuestro y almacenamiento de carbono por parte del bosque urbano	31
4.2 Estimación de indicadores de demanda	34

4.3 Evaluación espacial de desajustes entre oferta y demanda.....	36
5. DISCUSIÓN.....	41
BIBLIOGRAFÍA.....	44
ANEXOS.....	49

INDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Tipos de servicios ecosistémicos según la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio	13
Tabla 3-1 Metadatos de las imágenes Geoeye-1 utilizadas.	21
Tabla 3-2 Valoración índice de Kappa.	23
Tabla 3-3 Generación de viajes en día laboral temporada normal según modo de transporte por comuna de residencia.....	26
Tabla 4-1 Precisión Global e Índice de Kappa para la clasificación del área de estudio...	28
Tabla 4-2 Error de omisión y comisión para la clase de árboles.	28
Tabla 4-3 Estadísticas de cobertura arbórea por comuna y variación intracomunal zonas censales.	30
Tabla 4-4 Estadísticas de almacenamiento de carbono para el área de estudio.	31
Tabla 4-5 Estadísticas de secuestro de carbono para el área de estudio.....	33
Tabla 4-6 Estadísticas de emisiones de carbono para el área de estudio.	35
Tabla 4-7 Estadísticas de desajustes entre oferta y demanda del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono.....	37
Tabla 4-8 Estadísticas de desajustes entre oferta y demanda del servicio ecosistémico de secuestro de carbono.	39

INDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Servicios ecosistémicos asociados a la infraestructura verde con la ciudad. ..	16
Figura 2-2 Oferta y demanda del servicio ecosistémico de secuestro de carbono.	18
Figura 3-1 Esquema metodológico	19
Figura 3-2 Área de estudio: Comunas de Lo Espejo, Quinta Normal y Vitacura.....	20
Figura 3-3 Esquema metodológico objetivo 2.	24
Figura 4-1 Mapa de cobertura arbórea por comuna.....	29
Figura 4-2 Mapa de porcentaje de cobertura arbórea por zona censal.	30
Figura 4-3 Mapa del suministro de almacenamiento de carbono por zona censal.	32

Figura 4-4 Mapa del suministro de secuestro de carbono por zona censal.	34
Figura 4-5 Mapa de emisiones de carbono por zona censal.	36
Figura 4-6 Mapa de desajustes entre oferta y demanda del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono con déficit y superávit.	38
Figura 4-7 Mapa de desajustes entre oferta y demanda del servicio ecosistémico de secuestro de carbono con déficit y superávit.	40

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 CO ₂ Almacenado.....	21
Ecuación 2 CO ₂ Secuestrado	21
Ecuación 3 Toneladas de carbono por zona censal.....	25
Ecuación 4 Taza de viajes por hogar (TV)	25
Ecuación 5 Viajes totales al día por zona censal (VT)	26
Ecuación 6 Viajes totales en modo transporte privado (VTP)	26
Ecuación 7 Distancia recorrida en un día por el transporte privado (d).....	26
Ecuación 8 Emisiones de CO ₂ por kilómetro	27
Ecuación 9 Relación oferta/demanda	27

INDICE DE FORMULAS

Fórmula 1 Emisiones de CO ₂ por milla recorrida	27
--	----

ANEXO

Anexo 1 Imagen comparativa de imágenes GeoEye con y sin refinado pancromático y corrección topográfica.....	49
Anexo 2 Regiones de entrenamiento por comuna y clase.	49
Anexo 3 Matriz de confusión comuna de Lo Espejo.....	50
Anexo 4 Matriz de confusión comuna de Quinta Normal.....	50
Anexo 5 Matriz de confusión comuna de Vitacura	51
Anexo 6 Detalle visual de capa de árboles.	52

Anexo 7 Toneladas de carbono almacenado y secuestrado por kilómetro cuadrado por comuna.....	52
Anexo 8 Tabla detallada de porcentajes de cobertura arbórea, almacenamiento de carbono, secuestro de carbono y carbono emitido por zona censal para la comuna de Lo Espejo.	53
Anexo 9 Tabla detallada de porcentajes de cobertura arbórea, almacenamiento de carbono, secuestro de carbono y carbono emitido por zona censal para la comuna de Quinta Normal.....	54
Anexo 10 Tabla detallada de porcentajes de cobertura arbórea, almacenamiento de carbono, secuestro de carbono y carbono emitido por zona censal para la comuna de Vitacura.	55
Anexo 11 Tabla detallada de desajuste y porcentaje de déficit por zona censal para secuestro y almacenamiento de carbono de la comuna de Lo Espejo.	56
Anexo 12 Tabla detallada de desajuste y porcentaje de déficit por zona censal para secuestro y almacenamiento de carbono de la comuna de Quinta Normal.	57
Anexo 13 Tabla detallada de desajuste y porcentaje de déficit por zona censal para secuestro y almacenamiento de carbono de la comuna de Vitacura.....	58
Anexo 14 Detalle visual de las zonas censales con superávit de la Comuna de Lo espejo.	59
Anexo 15 Detalle visual de la zona censal con superávit de la comuna de Quinta Normal	59
Anexo 16 Detalle visual de las zonas censales con superávit de la comuna de Vitacura N°1.	60
Anexo 17 Detalle visual de las zonas censales con superávit de la comuna de Vitacura N°2.	60

1. PRESENTACIÓN

1.1 Introducción

Hoy en día se tiene la certeza de que el fenómeno del cambio climático es real e inducido por el ser humano, mientras que se ha vuelto ampliamente reconocido como el desafío global clave de este siglo (Hamin y Gurrán, 2009). La atención ahora se ha centrado en poner el primer foco en mitigación, definiendo los pasos a seguir para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero

La acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera ha significado que los cambios producidos en el clima global ya se vuelven irreversibles. Por lo tanto, el tema de la mitigación y la adaptación se está convirtiendo en uno de los temas más apremiantes que enfrentan las naciones y las ciudades (Hamin y Gurrán, 2009).

Las ciudades están en la primera línea de las respuestas mundiales al cambio climático, como fuente clave de emisiones de gases de efecto invernadero y con grandes poblaciones vulnerables a los impactos y riesgos de un clima cambiante, por lo que cada vez más se requiere que las ciudades actúen para mitigar y adaptarse al cambio climático (Frantzeskaki et al, 2019).

Por otro lado, en las últimas décadas se ha generado una comprensión creciente del rol que cumplen los ecosistemas y los servicios que estos proveen para el mantenimiento del bienestar humano, adquiriendo así un rol clave en las políticas de desarrollo sostenible tanto a nivel global como local. En efecto, el concepto de servicio ecosistémico se está utilizando cada vez más dentro de la investigación sobre desarrollo sostenible para detectar y reducir las áreas con menor provisión de estos (Dobbs et al, 2014).

Si bien existe un gran número de investigaciones dirigidas a cuantificar el suministro que entregan los servicios ecosistémicos, estos aún carecen de una consideración integrada y sistemática de la demanda, a pesar de existir cierto consenso en la importancia de incluir la relación oferta/demanda en su evaluación (Amini et al, 2019).

La vegetación urbana proporciona importantes servicios ecosistémicos para las ciudades, como la purificación del aire, regulación de la temperatura, mitigación de la escorrentía, reducción de ruido, provisión de sombra, recreativos y estéticos (Baró, et al 2015; Dobbs, 2014) todos los cuales contribuyen al mantenimiento del bienestar humano. Además de estos beneficios, en los últimos años se ha vuelto relevante comprender como la vegetación urbana aporta en la mitigación al cambio climático, debido a que se reconoce que cumple un rol fundamental en la disminución de los gases de efecto invernadero (Rowntree y Nowak, 1991). Lo anterior se explica por la capacidad de la vegetación urbana para contribuir a la reducción del CO₂ atmosférico, a través del secuestro y almacenamiento de carbono, además de reducir el uso de combustibles fósiles a través de los procesos de transpiración, sombreado y bloqueo de vientos (Nowak y Dwyer, 2000; Myeong et al, 2006).

Si bien la mitigación del cambio climático a través del almacenamiento y el secuestro de carbono se realiza a nivel mundial, comprender el grado de desajuste espacial entre la oferta y la demanda de este servicio a nivel local sigue siendo crítico para su gestión, debido a que las políticas globales actuales no logran regular de manera efectiva las emisiones locales de carbono (Zhao y Sanders, 2015). Así, proporcionar información espacialmente

explícita en torno a la oferta y demanda a una escala local, se vuelve fundamental para facilitar evaluaciones del balance de carbono dentro de las ciudades y mejorar la formulación de políticas destinadas a producir ciudades más sostenibles (Zhao y Sanders, 2015).

1.2 Planteamiento del problema

La ciudad de Santiago es la séptima ciudad más grande de Latinoamérica, con cerca de ocho millones de habitantes, además, es por amplio margen la ciudad más importante de Chile, tanto en términos demográficos, como económicos y administrativos.

Al igual que el resto de las metrópolis latinoamericanas, Santiago no ha quedado al margen de las tendencias y dinámicas urbanas que han prevalecido a nivel mundial debido al avance y consolidación de la globalización. En efecto, la ciudad ha vivido una importante metamorfosis urbana durante las últimas décadas que se ha visto reflejada, entre otras cosas, en un crecimiento territorial en constante expansión (Mattos et al, 2014).

Esta dinámica de expansión ha estado en constante oposición con los sistemas naturales asociados a las condiciones geográficas predominantes, lo cual ha devenido en una serie de consecuencias ambientales negativas, como por ejemplo la pérdida de ecosistemas naturales y disminución de superficies vegetadas, el aumento de la temperatura superficial y ambiental de la ciudad, o elevadas concentraciones de contaminantes atmosféricos entre otros (Vásquez, 2016; Romero et al, 2010).

Uno de los problemas ambientales de mayor importancia para la ciudad de Santiago en las últimas décadas, es el de la contaminación del aire, el cual tiene su origen tanto en las condiciones naturales, como la ubicación de la ciudad en un sistema orográfico semicerrado que dificulta la ventilación o la incidencia de fenómenos térmicos (especialmente en invierno) que encajonan e impiden la elevación del aire, como también en una fuerte influencia antrópica, como lo son los contaminantes aéreos generados por actividades humanas (Romero et al, 2010).

Uno de los factores antrópicos más relevantes que contribuyen a la contaminación del aire en la ciudad, son las emisiones de gases producto del transporte privado, en efecto, desde el año 2000 y en especial desde el 2010 la ciudad ha reportado un importante incremento del parque vehicular de uso privado, tendencia que tiene como causas, entre otras, los cambios en la estructura de los viajes (por el crecimiento urbano y el desarrollo de las periferias) desvalorización y deterioro del transporte público o el aumento real del ingreso (Garrido-Díaz, 2013).

Las emisiones producidas por el tránsito vehicular tienen un efecto negativo no solo para la salud de los habitantes de la ciudad, sino también en la regulación del clima global, debido al importante aporte que este genera a las emisiones de gases de efecto invernadero, de los cuales el CO₂ es el más importante. Según cifras del Ministerio del Medio Ambiente en su Segundo Informe Bienal de Actualización de Chile Sobre el Cambio Climático, para el caso de Chile, el sector que más aporta a las emisiones de CO₂ es el sector transporte, y dentro de este el transporte terrestre con un 88,9%, además, las emisiones provenientes de dicha categoría han mostrado un considerable aumento desde 1990 y especialmente a partir del 2010 (Ministerio del Medio Ambiente, 2016).

Lo anterior se vuelve sumamente relevante en el actual contexto de cambio climático, en el que Chile, en el marco de su suscripción al acuerdo de París, ha declarado en su último informe sobre Contribución Determinada a Nivel Nacional (2020) la meta de alcanzar la carbono neutralidad para 2050. Sin embargo, las tendencias actuales no apuntan hacia esa dirección, como lo demuestra el hecho de que el país ha alcanzado una huella de carbono per cápita por sobre el promedio a nivel mundial.

Por otro lado, cada vez se hace más notoria la importancia que tienen las ciudades en la mitigación al cambio climático, y en especial el aporte que pueda tener la vegetación urbana para almacenar y secuestrar carbono. Sin embargo, la ciudad de Santiago mantiene un importante déficit en la cantidad de áreas verdes por habitantes, alcanzando el año 2010 los 3,9 m²/hab, muy lejos del estándar fijado por la Organización Mundial de la Salud (10 m²/hab) (Reyes y Figueroa, 2010). Además, la ciudad presenta una desigual distribución de las áreas verdes y de su cobertura arbórea, en efecto, se ha demostrado mediante diversos estudios que para el Área Metropolitana de Santiago la distribución de la vegetación está asociada al nivel de ingresos de la población, siendo mayor su concentración para zonas de más altos ingresos (Ministerio del Medio Ambiente, 2018).

Esta desigualdad en la distribución de la ciudad genera por consiguiente una desigualdad en el suministro de servicios ecosistémicos para las distintas áreas de la ciudad (Fernandez y De la Barrera, 2018). Es por eso que la presente investigación se propone evaluar el grado de desajustes entre oferta y demanda del servicio ecosistémico de regulación climática global a una escala local y de una manera espacialmente explícita. En efecto, el contexto climático global y el desarrollo de las ciudades ha vuelto de vital importancia el estudio y evaluación de los servicios ecosistémicos presentes en estas, sin embargo, urge comprender la forma en que se relacionan el suministro de estos servicios con su respectiva demanda, haciendo relevante el grado de desajuste entre ambos y como este se manifiesta espacialmente (Zhao y Sanders, 2015).

La presente investigación busca determinar el grado en que la vegetación urbana satisface la demanda del servicio ecosistémico de regulación climática global. Para esto tomaremos como indicadores la capacidad de la vegetación urbana para secuestrar y almacenar carbono (oferta) y la cantidad de CO₂ emitido por el parque vehicular (demanda) para el caso de tres comunas del Gran Santiago en un gradiente socioeconómico, Vitacura, Lo Espejo y Quinta Normal.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la relación espacial entre la oferta y demanda del servicio ecosistémico de regulación climática global existente en las comunas de Vitacura, Lo Espejo y Quinta Normal

1.3.2 Objetivos Específicos:

1. Estimar el suministro del servicio ecosistémico de regulación climática global a partir de la cuantificación del carbono almacenado y secuestrado por el bosque urbano de las comunas en estudio.
2. Estimar la demanda del servicio ecosistémico de regulación climática global a partir de la cuantificación de las emisiones derivada del parque automotriz para cada comuna en estudio.
3. Identificar y evaluar espacialmente desajustes entre oferta y demanda para el servicio ecosistémico de regulación climática global.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Cambio climático

En la actualidad la definición más aceptada sobre cambio climático es la de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMNUCC), la cual define este fenómeno como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”

Diferenciar entre cambio climático como un fenómeno inducido por la humanidad de la variabilidad climática que experimenta el planeta producto de sus procesos geológicos internos o por influencias externas (ciclos solares) no es antojadizo, ya que después de algunas décadas de discusión se ha llegado a un consenso científico internacional que posiciona al actual proceso de cambio climático como consecuencia de las actividades humanas.

La acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera y el rápido incremento de sus emisiones son la principal causa del actual proceso de cambio climático, debido a que estos gases absorben y emiten radiación térmica reteniendo calor en la atmósfera y por consiguiente aumentando la temperatura superficial del planeta (Domínguez, 2016). El aumento de las concentraciones de GEI en la atmósfera comenzó a ser significativa a partir de los procesos de industrialización del siglo 19, de los cuales el principal gas contaminante que influye en este proceso es el dióxido de carbono (CO₂) (Estrada, 2001).

Para hacerle frente al cambio climático, en 2016 la ONU adoptó formalmente los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en donde los países de todo el mundo se enfrentan a la tarea de desarrollar las vías para alcanzar los objetivos que incorporen las dimensiones sociales, económicas y ambientales de la sostenibilidad. Sobre la base de los avances logrados en el marco de los Objetivos de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas (United Nations, 2015), los ODS se tratan de un conjunto de 17 objetivos acordados a nivel mundial, 169 metas y más de 200 indicadores asociados que establecen la agenda para enfrentar los desafíos del desarrollo sostenible para 2030.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible buscan a través de un enfoque multisectorial una amplia gama de temas relevantes como la reducción de la pobreza y el hambre, el desarrollo de las ciudades y las economías, como también los ecosistemas y la sostenibilidad. Sin embargo, no se ha especificado como se pueden lograr estos objetivos a través de la protección de los ecosistemas como forma de alcanzar mayores niveles de bienestar humano (Wood et al, 2018).

Lo anterior es relevante si se considera que la biodiversidad, los ecosistemas, y los servicios que brindan sustentan todas las dimensiones del bienestar humano, social, cultural y económico (MEA, 2015). Por lo tanto, todos los ODS se relacionan en cierta medida de la protección del ecosistema, la restauración y el uso sostenible como también a la mantención y mejora de los flujos de los servicios ecosistémicos para la humanidad (Wood et al, 2018).

Específicamente el objetivo n°11 de los ODS hace referencia a las ciudades y comunidades sostenibles. Sin embargo, uno de los grandes desafíos es el de como incorporar soluciones basadas en la naturaleza para los ambientes urbanos (Frantzeskaki et al, 2019). Así como dilucidar el rol de los servicios ecosistémicos para la generación de sociedades sostenibles.

2.2 Servicios ecosistémicos

Si bien existen numerosas definiciones del concepto de servicios ecosistémicos, una definición muy común dentro de las investigaciones actuales es la que define los servicios ecosistémicos como los beneficios directos e indirectos proporcionados por los ecosistemas y que contribuyen al bienestar humano (Dobbs et al, 2014; Constanza et al, 1997; Constanza et al, 2017).

Esta definición incluye los ecosistemas naturales y modificados por humanos como fuente de servicios ecosistémicos. Se utiliza el término "servicios" para abarcar los beneficios tangibles e intangibles que los humanos obtienen de los ecosistemas, que pueden ser tanto "servicios" como "bienes" (MEA, 2005).

Los servicios ecosistémicos influyen en todos los componentes del bienestar humano, incluyendo las necesidades básicas para una buena vida, salud, buenas relaciones sociales, seguridad y libertad de elección y acción (MEA, 2005). El bienestar humano, en este contexto, se define como las condiciones necesarias para la realización física, social, psicológica y espiritual de las personas (Wu, 2013).

Siguiendo con la definición de servicios ecosistémicos, el MEA popularizó una categorización ampliamente reconocida que distingue entre servicios de aprovisionamiento, de regulación, culturales y de soporte (Tabla 2-1) (Ernstson y Sörlin, 2013).

Tabla 2-1 Tipos de servicios ecosistémicos según la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio

Servicios de Aprovisionamiento	Bienes que se obtienen de los ecosistemas	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentos • Agua pura • Leña • Entre otros
Servicios de Regulación	Beneficios que se obtienen de los procesos ecológicos de los ecosistemas	<ul style="list-style-type: none"> • Regulación del clima • Regulación de las enfermedades • Regulación del agua • Purificación del agua • Entre otros
Servicios Culturales	Beneficios intangibles que se obtienen de los ecosistemas	<ul style="list-style-type: none"> • Espirituales y religiosos • Recreación y ecoturismo

		<ul style="list-style-type: none"> • Estéticos • De inspiración - Educativos • Sentido de identidad y pertenencia a un lugar - Herencia cultural • Entre otros
Servicios de Soporte	Servicios necesarios para la producción de los demás servicios de los ecosistemas	<ul style="list-style-type: none"> • Formación del suelo • Ciclos de los nutrientes • Producción de materias primas • Entre otros

Fuente: Elaboración propia en base a MEA (2005)

2.2.1 Servicios ecosistémicos urbanos

Los ecosistemas urbanos se caracterizan por la presencia de componentes naturales y construidos, cuyas interacciones están influenciadas por procesos naturales (clima, procesos geomorfológicos) pero principalmente por la cultura, la organización social, económica y política, y el comportamiento individual de los habitantes. Los ecosistemas urbanos han sido descritos como un complejo de tres subsistemas: natural, construido y social. Al igual que otros ecosistemas pueden ser caracterizados en términos de sus componentes bióticos y abióticos, y de la circulación de materia y energía (Ministerio del Medio Ambiente, 2018)

Algunos estudios han identificado diversos ecosistemas presentes en las ciudades, como humedales, bosques urbanos, parques, cultivos, lagos, estuarios o arroyos (Haase et al, 2014; Retamal, 2015). Estos ecosistemas proveen de servicios de manera directa e indirecta a los habitantes de las ciudades, siendo estos denominados como servicios ecosistémicos urbanos.

2.3 Infraestructura verde y Bosque urbano

Benedict y McMahon (2006) Definen Infraestructura verde como “una red interconectada de áreas naturales y otros espacios abiertos que conserva los valores y las funciones de los ecosistemas naturales, mantiene el aire y el agua limpios y brinda una amplia gama de beneficios para las personas y la vida silvestre”.

A su vez, la infraestructura verde es un concepto que aborda la conectividad de los ecosistemas, su protección y la provisión de servicios de los ecosistemas, al mismo tiempo que aborda la mitigación y adaptación al cambio climático. La infraestructura verde ayuda a garantizar la provisión sostenible de bienes y servicios de los ecosistemas al tiempo que aumenta la resiliencia de los ecosistemas (Agencia Europea de Medio ambiente, 2011).

A una escala local como lo serían las áreas urbanas, el concepto de infraestructura verde abarca una amplia gama de ambientes, como los árboles y arbustos de la calle, jardines

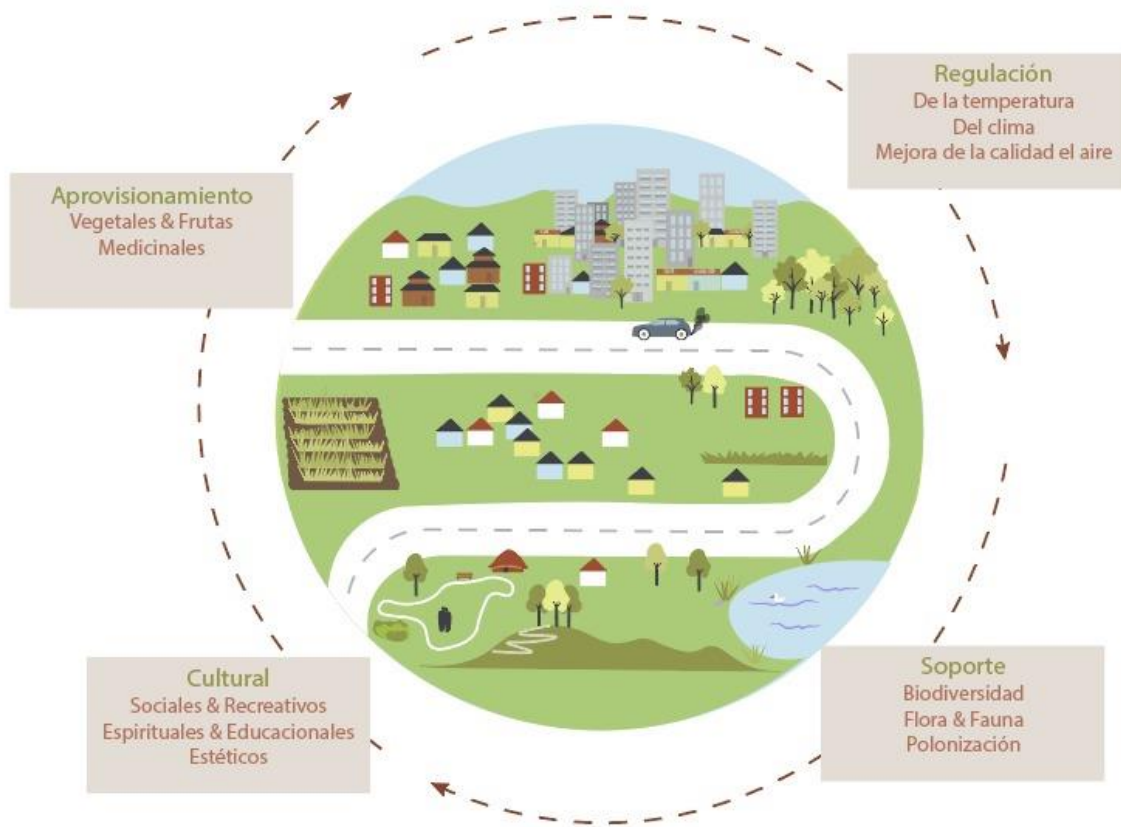
públicos y privados, techos verdes, espacios abiertos, estanques y arroyos, canales, ríos, lagunas, bosques urbanos, terrenos escolares o deportivos, cunetas o zanjas con césped, parcelas, cementerios y terrenos baldíos (Vásquez, 2016; Pulighe, 2016).

El bosque urbano corresponde a todos los árboles, arbustos, céspedes y suelos permeables que se encuentran en áreas urbanas (FAO, 2016). Estos pueden ser caracterizados por su estructura, cantidad, tamaño distribución y composición (Dobbs et al, 2011). Estas características pueden ser determinantes como medios para mitigar los problemas de calidad ambiental asociados a los entornos urbanos. A su vez, Hernández y Dobbs (2016) agregan que “al referirse a la vegetación urbana se debe incluir todo el ambiente natural existente dentro del área urbana, pero sin dejar de lado las zonas peri-urbanas”.

La Figura 2-1 Muestra algunos de los servicios ecosistémicos ofrecidos por la infraestructura verde en las ciudades. En cuanto a la capacidad del bosque urbano para mitigar las emisiones de GEI, Myeong et al (2006) considera tanto la capacidad de la vegetación para secuestrar y almacenar carbono, como también su contribución en la reducción de las emisiones por quema de combustibles fósiles a través de los procesos de transpiración, sombreado y bloqueo de vientos.

En esta investigación se utilizará el concepto de bosque urbano como referido a todos los árboles y arbustos presentes en el área urbana y periurbana y se ocupará como sinónimo de arbolado urbano.

Figura 2-1 Servicios ecosistémicos asociados a la infraestructura verde con la ciudad.



Fuente: Elaboración propia en base a Pulighe (2016)

2.4 Servicio ecosistémico de regulación climática global

La regulación climática es el servicio ecosistémico que regula los procesos relacionados con la composición química atmosférica, el efecto invernadero, la capa de ozono, la precipitación, la calidad del aire y moderación de la temperatura y los patrones climáticos (incluida la formación de nubes), tanto a escala global como local (Costanza et al., 1997).

Desde una perspectiva global, usualmente se ha definido como servicio ecosistémico de regulación climática global a la capacidad de los ecosistemas para contribuir a la reducción de gases de efecto invernadero en la atmósfera a una escala global, en esta línea, la Evaluación de Ecosistemas del Milenio, ha recomendado distintos indicadores para evaluar la regulación climática global, como los GEI almacenados en la vegetación, los suelos y los océanos (Ma et al, 2018). Por otro lado, en las investigaciones sobre este servicio para contextos urbanos se suele utilizar como indicadores la capacidad del bosque urbano para almacenar y secuestrar carbono (Burkhard et al, 2014).

2.5 Oferta y demanda de servicios ecosistémicos

La incorporación de la demanda dentro de las evaluaciones de servicios ecosistémicos se ha vuelto cada vez más relevante durante los últimos años, la noción de dependencia humana de la naturaleza implica que los servicios ecosistémicos no existen sin beneficiarios y por lo tanto se ha volcado la mirada en entender en qué medida estos beneficios logran ser aprovechados por los seres humanos, como también la medida en que las sociedades requieren de estos servicios para satisfacer sus necesidades.

En efecto, diversos autores plantean la necesidad de incorporar la demanda en los estudios de servicios ecosistémicos urbanos, distinguiendo entre la capacidad de los ecosistemas para producir un servicio y la demanda social de este. Este paso sería fundamental en el desarrollo de políticas y gestión sostenible de los servicios ecosistémicos y de las ciudades (Amini et al, 2019; Burkhard et al, 2012; Vásquez, 2016; Zhao y Sanders, 2015).

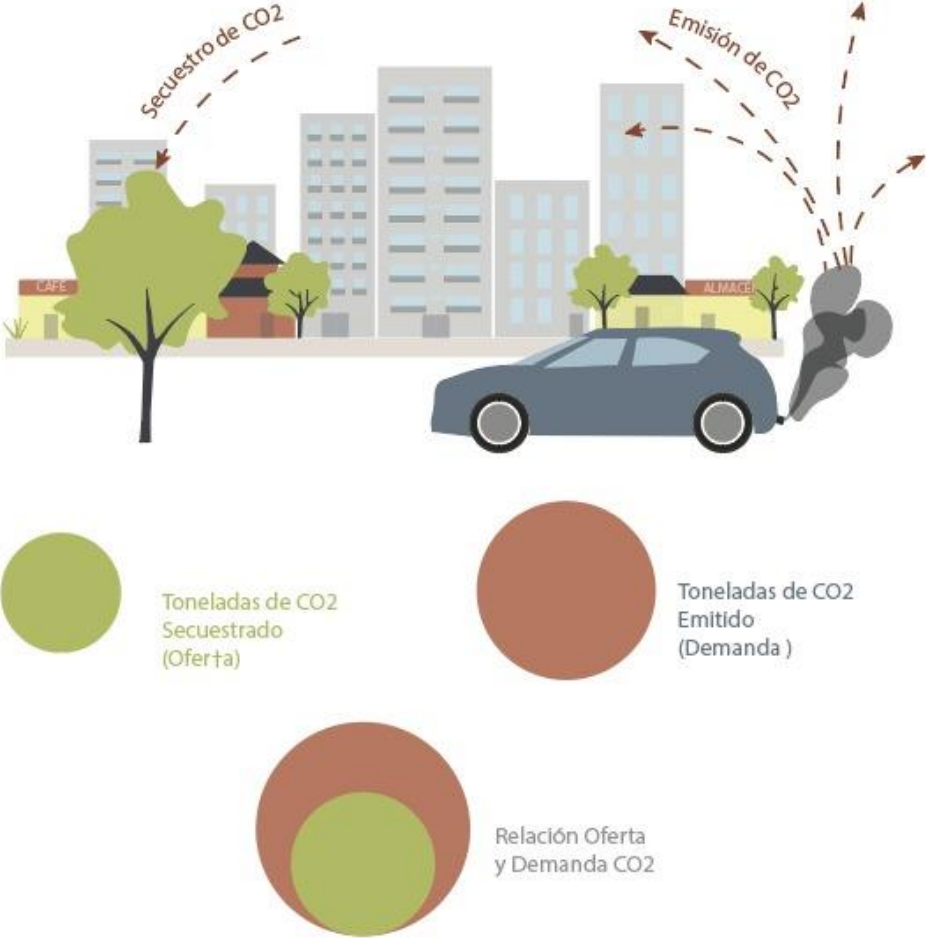
Baró et al (2015) define la oferta de servicios ecosistémicos como el suministro o uso real del servicio experimentado por las personas, mientras que la demanda se ha definido como la cantidad del servicio requerida o deseada por la sociedad, de esta forma, mientras que los indicadores de suministro de un servicio ecosistémico estiman el flujo o la cantidad de un servicio realmente entregado, los indicadores de demanda estiman la cantidad de insumos que necesitan regulación.

2.5.1 Oferta y demanda del servicio ecosistémico de regulación climática global para zonas urbanas

El suministro del servicio ecosistémico de regulación climática global se relaciona con la capacidad del bosque urbano para secuestrar y/o almacenar CO₂, ya que los servicios ecosistémicos de almacenamiento y secuestro de carbono están vinculados a una reducción del CO₂ concentrado en la atmósfera, lo cual tiene un efecto sobre el clima global y contribuye a mitigar los efectos del cambio climático. El CO₂ almacenado y secuestrado se suele estimar como derivado de la biomasa aérea de los árboles y arbustos urbanos. Rowntree y Novak (1991) y Myeong (2005).

La demanda de servicios de almacenamiento y secuestro de carbono se expresa en función de las emisiones antropogénicas de CO₂ a una escala local. Zhao y Sanders (2015) han propuesto como supuesto fundamental para medir la demanda que el aumento de las emisiones de CO₂ está asociado a una mayor necesidad del servicio de almacenamiento y secuestro de carbono para mitigar el cambio climático y que esta necesidad es un indicador de la demanda de este servicio. La Figura 2-2 muestra la relación oferta/demanda para el servicio ecosistémico de secuestro de carbono en áreas urbanas, en donde la demanda estaría representada por las emisiones de carbono provenientes del transporte motorizado.

Figura 2-2 Oferta y demanda del servicio ecosistémico de secuestro de carbono.

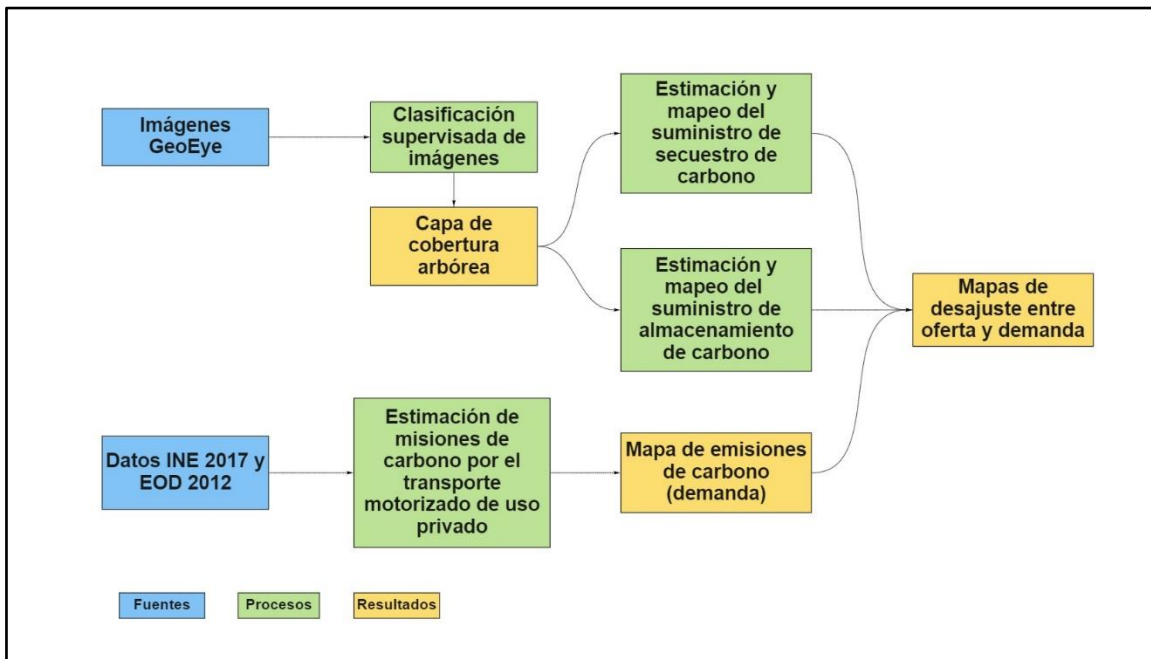


Fuente: Elaboración propia (2020)

3. METODOLOGÍA

La presente metodología es de carácter cuantitativo la cual se detalla en la Figura 3-1 donde se presenta un diagrama de flujo que incluye las fuentes de información y datos, además de las distintas etapas que componen esta memoria.

Figura 3-1 Esquema metodológico



Fuente: Elaboración propia (2020)

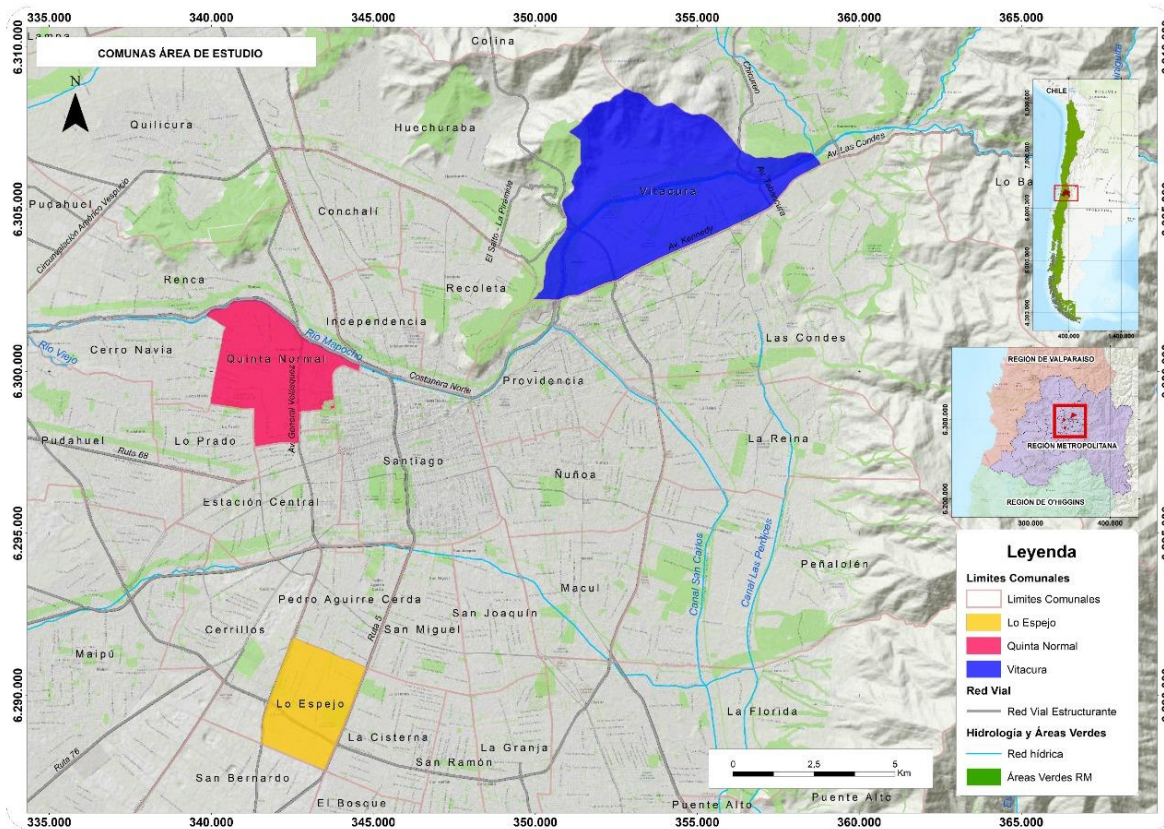
3.1 Área de estudio

El área de estudio corresponde a las comunas de Lo Espejo, Quinta Normal y Vitacura, ubicadas en la provincia de Santiago, perteneciente a la Región Metropolitana. La comuna de Lo Espejo tiene una superficie de 8 km² y una población de 98.804 habitantes, la comuna de Quinta Normal tiene una superficie de 12,4 km² y una población de 110.026 habitantes, mientras que la comuna de Vitacura posee una superficie de 28,3 km² y una población de 85.384 habitantes, dando un total de 48,7 km² y 298.214 habitantes para toda el área de estudio (INE, 2017).

El área de estudio presenta un paisaje de carácter principalmente urbano, con excepción del área norte de la comuna de Vitacura, pertenecientes a los faldeos del cordón montañoso Manquehue, que corresponden al 17% del territorio comunal y ha sido definido como zona de conservación de valor natural (PLADECO Vitacura, 2016).

En cuanto al nivel socioeconómico la comuna de Vitacura es considerada una comuna de altos ingresos en donde predomina el grupo socioeconómico ABC1, mientras que Quinta Normal y Lo Espejo predomina el nivel socioeconómico D (Reyes y Figueroa, 2010).

Figura 3-2 Área de estudio: Comunas de Lo Espejo, Quinta Normal y Vitacura.



3.2 Estimación de indicadores de oferta

El cumplimiento del objetivo 1 involucra la estimación del carbono secuestrado y almacenado por el bosque urbano dentro de las comunas en estudio.

Para esto se utilizaron indicadores propuestos por Rowntree y Nowak (1991) que permiten la estimación del secuestro y almacenamiento del carbono por parte del bosque urbano para ciudades o áreas urbanas. El cálculo para ambas variables requiere de tres datos: el área o superficie de cada unidad de análisis, el porcentaje de cobertura arbórea por unidad de análisis, y una estimación de la distribución del diámetro de la población arbórea presente en el área de estudio (ecuaciones 1 y 2).

Al no contar con datos de campo de la población arbórea del área estudiada que permitan una estimación de la distribución del diámetro predominante. Rowntree y Nowak proponen utilizar una cifra que representa el promedio de los distintos tipos de distribución de diámetro propuesta por McPherson and Rowntree (1986).

Los cálculos que permiten la estimación de la cantidad de carbono secuestrado y almacenado de por parte del arbolado urbano quedan expresados en las ecuaciones 1 y 2:

$$CO_2 \text{ almacenado} = \% \text{ de cobertura} \cdot \text{área} \cdot 0,4423 \quad (1)$$

$$CO_2 \text{ secuestrado} = \% \text{ de cobertura} \cdot \text{área} \cdot 0,00335 \quad (2)$$

A continuación, se detalla la obtención de cada uno de los datos necesarios para el cálculo de la ecuación:

3.2.1 Estimación de la cobertura arbórea

El porcentaje de cobertura arbórea se estimó a partir de imágenes satelitales de alta resolución, mediante las cuales se extrajo una capa de árboles a partir de una clasificación supervisada. Tanto para el pre-procesamiento de las imágenes y la clasificación como para la estimación del porcentaje de cobertura, se utilizó el software ArcGis 10.7. La unidad de análisis mínima para la estimación de la cobertura arbórea está determinada por las zonas censales de cada comuna.

3.2.1.1 Pre-procesamiento de imágenes

Se utilizaron imágenes del sensor espacial Geoeye-1. Este sensor recopila y proporciona imágenes de alta resolución espacial, con 0,46 m en la banda pancromática y 1,65 m en la banda multispectral, pero con las restricciones de licencia de operación del NOAA, son remuestreadas a una resolución espacial de 0,5 m en pancromática y 2 m en multispectral. Las bandas multispectrales incluidas en cada imagen son: azul (0,45 – 0,51 μm), verde (0,51 – 0,58 μm), rojo (0,65 – 0,69 μm) e infrarrojo cercano (0,78 – 0,92 μm).

En este estudio, se utilizaron, procesaron y clasificaron 4 escenas del sensor Geoeye-1, para las comunas de Quinta Normal (QN 1, QN 2), Vitacura (V) y Lo Espejo (LE), en la Tabla 3-1 se detallan los metadatos de las escenas utilizadas.

Tabla 3-1 Metadatos de las imágenes Geoeye-1 utilizadas.

	QN 1	QN 2	V	LE
Tipo de Producto	Standard2A	Standard2A	Standard2A	Standard2A
Fecha y hora de generación	2015-04-23T 18:47:06	2015-04-23T 18:46:35	2015-04-23T 18:46:59	2015-04-23T 18:56:08
Fecha y hora de adquisición	03-11-2013 14:41:14	26-10-2013 14:48:59	03-11-2013 14:41:14	26-10-2013 14:48:58
Azimut Solar	59,20°	53,00°	59,00°	52,90°
Elevación Solar	60,20°	59,60	60,10°	59,80°

Los productos procedentes de este sensor se comercializan en diferentes tipos, cada uno de ellos con características específicas. Las imágenes en cuestión corresponden al tipo de producto Estándar: que incluye una referencia a un sistema de coordenadas y proyección cartográfica, además de ser imágenes corregidas radiométricamente. En este caso las imágenes están referenciadas al Datum WGS84, en el Sistema de Coordenadas UTM, zona 19 Sur.

El pre-procesamiento de las imágenes consistió en un refinado pancromático y en una ortorrectificación, para esto se utilizaron las funciones de análisis de imágenes, las cuales se agregan directamente desde el archivo de metadatos, que es el archivo IMD asociado a cada imagen.

El refinado pancromático, consiste en un afinamiento de las imágenes, que se obtiene mediante la fusión de la banda pancromática (de mayor resolución) hacia la banda multiespectral, de tal forma que la banda multiespectral obtiene la resolución espacial de la banda pancromática sin perder su resolución espectral (Anexo 1). Para esto se utilizó la función raster de refinado pancromático y se eligió el método Gram-Schmidt, el cual ha demostrado excelentes resultados en imágenes Geoeye (Li et al, 2016; Cánovas García y Alonso Sarría, 2014). Es importante aclarar, que la utilización de cualquier método de *pansharpening* solo es recomendable cuando las imágenes son producidas por el mismo sensor y corresponden a la misma fecha, como es el caso de esta investigación, de lo contrario los resultados pueden presentar distorsiones espectrales, inversiones de brillo, entre otros problemas (Ehlers et al, 2010).

Este procedimiento fue necesario, ya que aumentar el nivel de detalle de la imagen, permite una mejor fotointerpretación para la selección de regiones de entrenamiento y por lo tanto una mejor clasificación supervisada.

La ortorrectificación, en tanto, consiste en un proceso de superposición de la imagen para que coincida con la exactitud espacial del terreno al considerar la ubicación, la elevación y la información del sensor. Para esto se trabajó con el Modelo Digital de Elevación (DEM) DEM-ALOS-PALSAR de 12,5 metros de resolución, mientras que los RPC son brindados por el proveedor de las imágenes en sus metadatos. Para este fin se utilizó la función raster geométrica. El DEM-ALOS-PALSAR es un producto ofrecido por *Alaska Satellite Facility* y se elabora a partir de imágenes capturadas por el satélite ALOS de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial. Se descargó la imagen DEM para la Región Metropolitana desde la página web de la Estructura de Datos Geoespaciales de Chile (IDE), en donde se puede encontrar el DEM-ALOS-PALSAR por región para todo el país.

3.2.1.2 Clasificación de imágenes satelitales

La clasificación se realizó mediante el método *Support Vector Machine* (SVM), el cual es un método de clasificación supervisada de aprendizaje automático. El método SVM ha demostrado ser más preciso que los métodos de clasificación clásicos, como el de vecino más cercano (Aguilar et al, 2013). Además, se ha demostrado que posee varios beneficios para la clasificación, entre ellos que la precisión de la clasificación resulta más estable en

espacios de alta dimensión, necesita una pequeña muestra de áreas de entrenamiento y, además, ha demostrado un buen desempeño en estudios de clasificación de árboles en ambientes urbanos (Roffey y Wang, 2020).

Para la clasificación se utilizó la herramienta de análisis espacial de segmentación y clasificación, para esto se definieron seis clases: Agua, árboles, suelo desnudo, césped, cubierta urbana y no-data. Mientras que para crear la firma espectral tipo para cada clase, se crearon regiones de entrenamiento que comprenden una muestra de entre 15 a 100 píxeles por clase para cada imagen (Anexo 2), siguiendo la metodología propuesta en Foddy y Mathur (2004).

Para evaluar la fiabilidad de los resultados de la clasificación, se determinaron puntos de evaluación de exactitud a través del método de muestreo aleatorio estratificado. A partir de estos resultados se elaboró una matriz de confusión para determinar los conflictos existentes entre las clases.

Conforme a lo planteado por Congalton y Green (2019), la matriz de confusión presenta la cantidad de aciertos en la clasificación para las distintas clases, lo cual nos da información sobre la fiabilidad global de la clasificación, como también los errores de omisión, que son la medida porcentual en que el productor de la clasificación representó incorrectamente los rasgos del terreno, y el error de comisión, que indica la probabilidad de que el usuario de la clasificación encuentre información incorrecta durante su uso. Dicho de otro modo, corresponde a atributos de la clasificación que no se ajustan a la realidad del terreno.

Además, se evaluó el índice de Kappa, el cual permite conocer la exactitud con la cual se realizó la clasificación, comparándolo con los resultados que pudiese dar una clasificación hecha completamente al azar. Los valores del índice van de 0 a 1, siendo los valores cercanos a 1 de mayor concordancia inter-observador (Chuvienco, 2008) en (Castillo, 2016).

Landis y Koch (1977) proponen una clasificación cualitativa del índice Kappa presentada en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2 Valoración índice de Kappa.

Índice de Kappa	Concordancia
0,00	Pobre
0,01 – 0,20	Leve
0,21 – 0,40	Aceptable
0,41 – 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Considerable
0,81 – 1,00	Casi perfecta

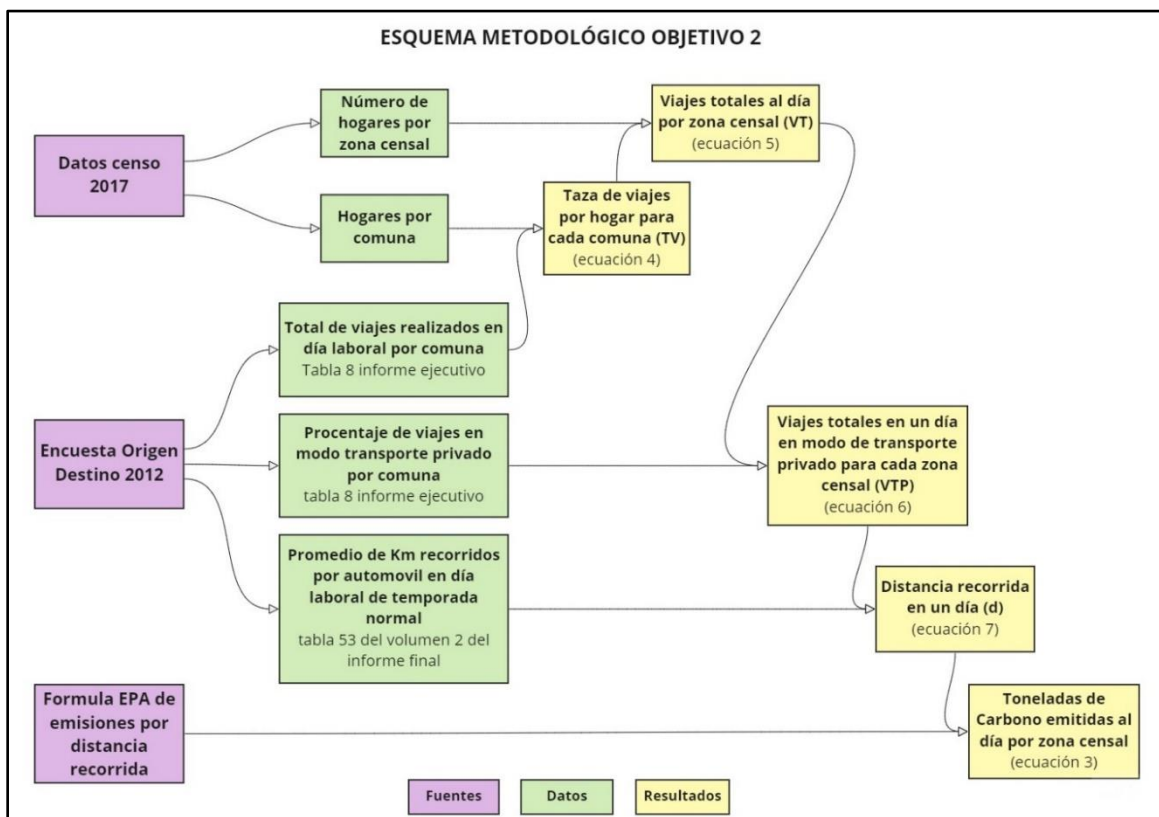
Fuente: Landis y Koch (1977)

3.3 Estimación de indicadores de Demanda

Para el cumplimiento del objetivo número dos, se estimaron las emisiones de carbono generadas por el desplazamiento de la población en modo de transporte motorizado de uso privado, para esto se ocupó el método propuesto en Garrido-Díaz (2013). En el siguiente esquema

Figura 3-3 se muestran las fuentes y los datos que se ocuparon, como también los pasos necesarios para la estimación de las toneladas de carbono emitidas al día, los cuales serán explicados en detalle dentro de las siguientes secciones.

Figura 3-3 Esquema metodológico objetivo 2.



Fuente: Elaboración propia (2020)

Como se muestra en el esquema anterior (

Figura 3-3), para este modelo se utilizaron datos de la Encuesta Origen Destino (EOD) (2012) y del Censo de Población y Vivienda (2017). La EOD 2012 de Santiago fue realizada para 45 comunas de la Región Metropolitana y corresponde a la encuesta de movilidad más actual para la ciudad de Santiago, mientras que el Censo de Población y Vivienda 2017, corresponde al último censo realizado en el país y cuenta con datos desagregados a nivel de manzana.

Para estimar las toneladas de CO₂ por zona censal (ton/día) para las comunas de estudio, se consideró la distancia recorrida en un día por el transporte motorizado privado (d; en km/día), para cada zona censal y las emisiones asociadas a una distancia unitaria (E_{día}; en gCO₂/km) (ecuación 3).

$$CO_2 \frac{ton}{día} = d_{km} \frac{día}{día} \cdot E_{día} \frac{gCO_2}{km} \quad (3)$$

Para estimar la distancia recorrida en un día (d), fue necesario estimar los viajes totales en un día en modo de transporte privado (VTP) y conocer la distancia promedio recorrida por estos viajes (dTP). Mientras que para las emisiones asociadas a una distancia unitaria se tomaron en cuenta las formulaciones hechas por la agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA) para las emisiones de gases de efecto invernadero de un vehículo de pasajeros típico.

El detalle de las etapas necesarias para el cálculo de emisiones será descrito a continuación:

3.3.1 Estimación de viajes totales en modo de transporte privado

Para el cálculo de VTP, fue necesario conocer la tasa de viajes por hogar para cada comuna (TV), además del número de viajes totales por día laboral de temporada normal para cada zona censal (VT). Para conocer TV se extrajo del censo el número de hogares por comuna, mientras que de la EOD se extrajo la información del total de viajes realizados en día laboral de temporada normal por comuna, entregada en la tabla 8 del informe ejecutivo, de la cual se muestra un extracto con las comunas de estudio en la

Tabla 3-3.

La ecuación para calcular TV es la siguiente:

$$TV = \frac{N^\circ \text{ de viajes por comuna}}{N^\circ \text{ de hogares por comuna}} \quad (4)$$

Tabla 3-3 Generación de viajes en día laboral temporada normal según modo de transporte por comuna de residencia.

Comuna	Transporte Público	%	Transporte Privado	%	Resto	%	No Motorizados	%	Total
	miles		miles		miles		miles		miles
Lo Espejo	78,1	24,4	61,1	19,3	7,8	2,4	172,4	53,3	319,9
Quinta Normal	81,8	29,2	71,3	25,4	10,5	3,7	116,9	41,7	280,6
Vitacura	48,9	13,2	232,8	62,8	4,9	1,3	84,3	22,7	371

Fuente: elaboración propia sobre la base de la EOD 2012.

El número de viajes totales al día por zona censal (VT) se obtuvo multiplicando la cantidad de hogares de cada zona censal (Hzc) por la tasa de viajes correspondiente según la comuna (Ec. 5).

$$VT = Hzc \cdot TV$$

(5)

Hay que mencionar que el número de viajes totales incluye todos los modos de transporte (público, privado, caminata, otros), por lo tanto, es necesario excluir los modos de viaje que no sean privado, para esto se utilizó el porcentaje de viajes en transporte privado para cada comuna (%TP) (

Tabla 3-3) en la siguiente ecuación:

$$VTP = \%TP \cdot VT$$

(6)

3.3.2 Distancia recorrida en un día

Para calcular la distancia recorrida en un día por el transporte privado (d), se utilizó el promedio de km recorridos por un automóvil en un día laboral de temporada normal (dTP), información que se encuentra en la Tabla N° 5 del volumen 2 de la EOD, así, d está representado por la siguiente ecuación:

$$d = VTP \cdot dTP$$

(7)

3.3.3 Cálculo de emisiones de CO₂

Según la EPA (2020) un vehículo de pasajeros promedio emite alrededor de 404 gramos de CO₂ por milla, equivalente a 252 gr de CO₂ por kilómetro recorrido. Este cálculo se hace considerando las variaciones que pueda sufrir este número, en base al menos en dos

factores: el rendimiento de combustible del vehículo y el contenido de carbono del combustible. En los EE.UU. los vehículos de gasolina en carretera rinden aproximadamente 22 millas por galón (MPG), y cada galón de gasolina genera unos 8.887 gramos de CO₂ cuando se quema. Por lo tanto, las emisiones de CO₂ de los vehículos por milla recorrida queda expresada por la Fórmula 1 (EPA, 2011). Para obtener la cantidad de emisiones de CO₂ en gramos por kilómetro se utilizó la Ecuación 8.

Fórmula 1(EPA, 2020)

$$Emisiones\ de\ CO_2\ por\ milla = CO_2\ por\ galón \cdot \frac{CO_2\ por\ galón}{MPG} = \frac{8887}{22} = 404 \frac{gr\ CO_2}{milla} \quad (1)$$

$$E_{\frac{gr\ CO_2}{km}} = 404 \frac{gr\ CO_2}{milla} \cdot \frac{1\ milla}{1,6\ km} \quad (8)$$

3.4 Evaluación espacial de desajustes entre oferta y demanda

Para comparar la oferta y la demanda del servicio ecosistémico de regulación climática global, se procedió a mapear la oferta y la demanda según zona censal para luego estimar una relación entre oferta y demanda para el área de estudio y para cada comuna y zona censal. Cabe precisar que la relación oferta y demanda se estimó para el servicio de secuestro de carbono y almacenamiento de carbono por separado utilizando la siguiente ecuación:

$$R = \frac{S \cdot 100\%}{D} \quad (9)$$

En donde:

R = Relación entre la oferta y la demanda del servicio

S = Suministro del servicio en toneladas de carbono

D = Demanda del servicio en toneladas de carbono

De esta forma se obtuvo el porcentaje de la demanda que logra ser satisfecha por la oferta, con lo cual se precisó el porcentaje de déficit o superávit por zona censal.

4. RESULTADOS

4.1. Estimación de indicadores de oferta

4.1.1. Validación de la clasificación

Comúnmente, el uso y cobertura de suelos en ambientes urbanos es sumamente heterogéneo a escalas espaciales pequeñas, especialmente para ciudades latinoamericanas, lo cual dificulta la obtención de altos grados de precisión en métodos de clasificación (Hernández y Dobbs, 2016). Sin embargo, se obtuvieron resultados a partir de las matrices de confusión que representan una buena fiabilidad global, siendo superior al 76% para las tres comunas, a su vez, el índice de Kappa muestra valores superiores a 0,7 (Tabla 4-1), lo cual se considera un resultado considerable (Anexo 3, Anexo 4 y Anexo 5).

Tabla 4-1 Precisión Global e Índice de Kappa para la clasificación del área de estudio.

Comuna	Precisión Global	Kappa
Lo Espejo	79,1%	0,72
Quinta Normal	80%	0,73
Vitacura	77,4%	0,72

En cuanto a los errores de omisión y comisión para la clase de árboles (Tabla 4-2), se puede desprender que los porcentajes son más bien bajos, y que los mayores errores están representados por la interacción con las clases de césped e infraestructura urbana, lo cual podría deberse a la alta heterogeneidad entre las coberturas de infraestructura urbana, como a la cercanía espectral entre la vegetación aérea y el césped.

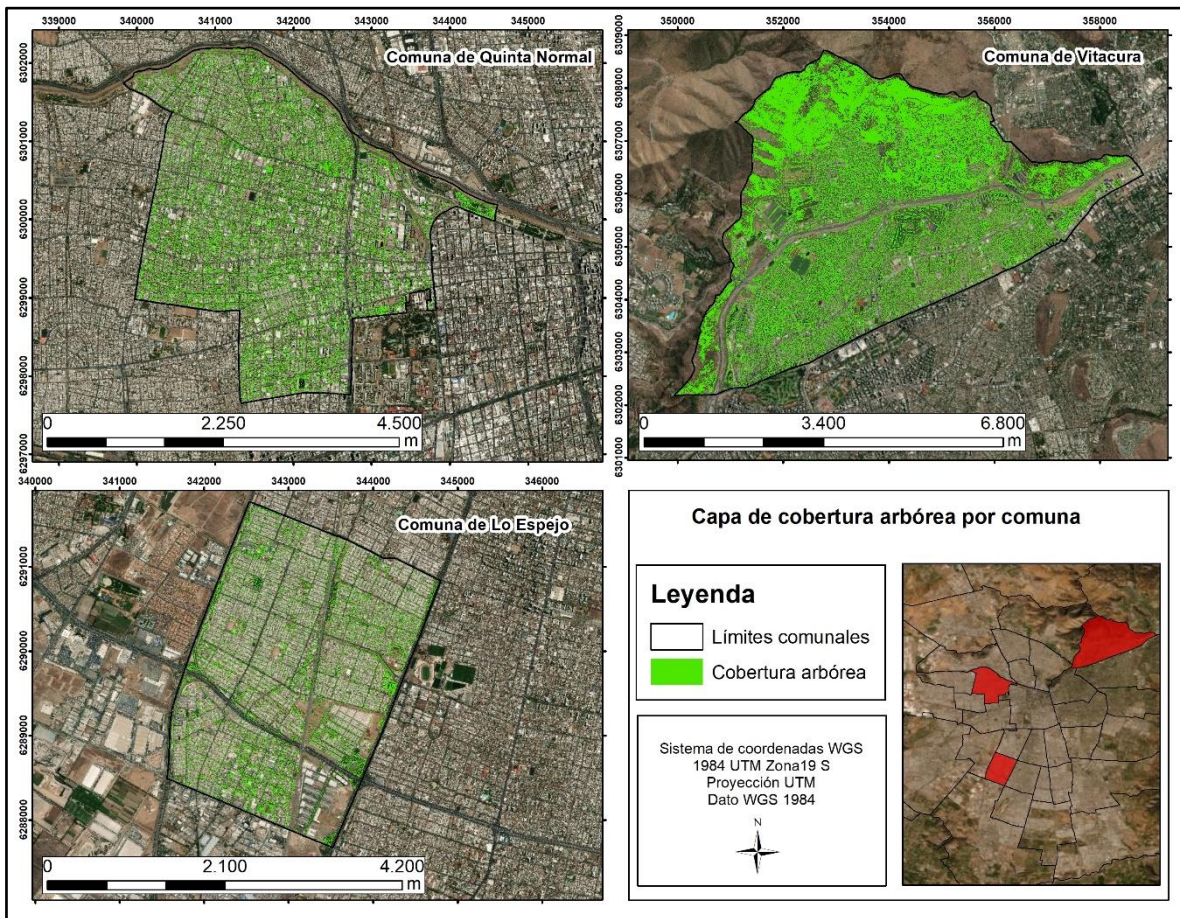
Tabla 4-2 Error de omisión y comisión para la clase de árboles.

Comuna	Error de omisión	Error de comisión
Lo Espejo	0%	30%
Quinta Normal	15,4%	15,4%
Vitacura	9,1%	26,9%

4.1.2 Extracción de capa de árboles

En la Figura 4-1 se puede apreciar el resultado de la clasificación referente a la clase árboles, en esta se muestran los píxeles que fueron interpretados como pertenecientes a la clase árboles por el método de clasificación en una capa superpuesta a una imagen satelital, desde un análisis visual se aprecia que existen diferentes concentraciones de píxeles según la comuna, además, se aprecia una buena correspondencia entre los píxeles que fueron interpretados como árboles y la imagen (Anexo 6).

Figura 4-1 Mapa de cobertura arbórea por comuna.



Fuente: Elaboración propia (2020)

4.1.2 Porcentaje de cobertura arbórea

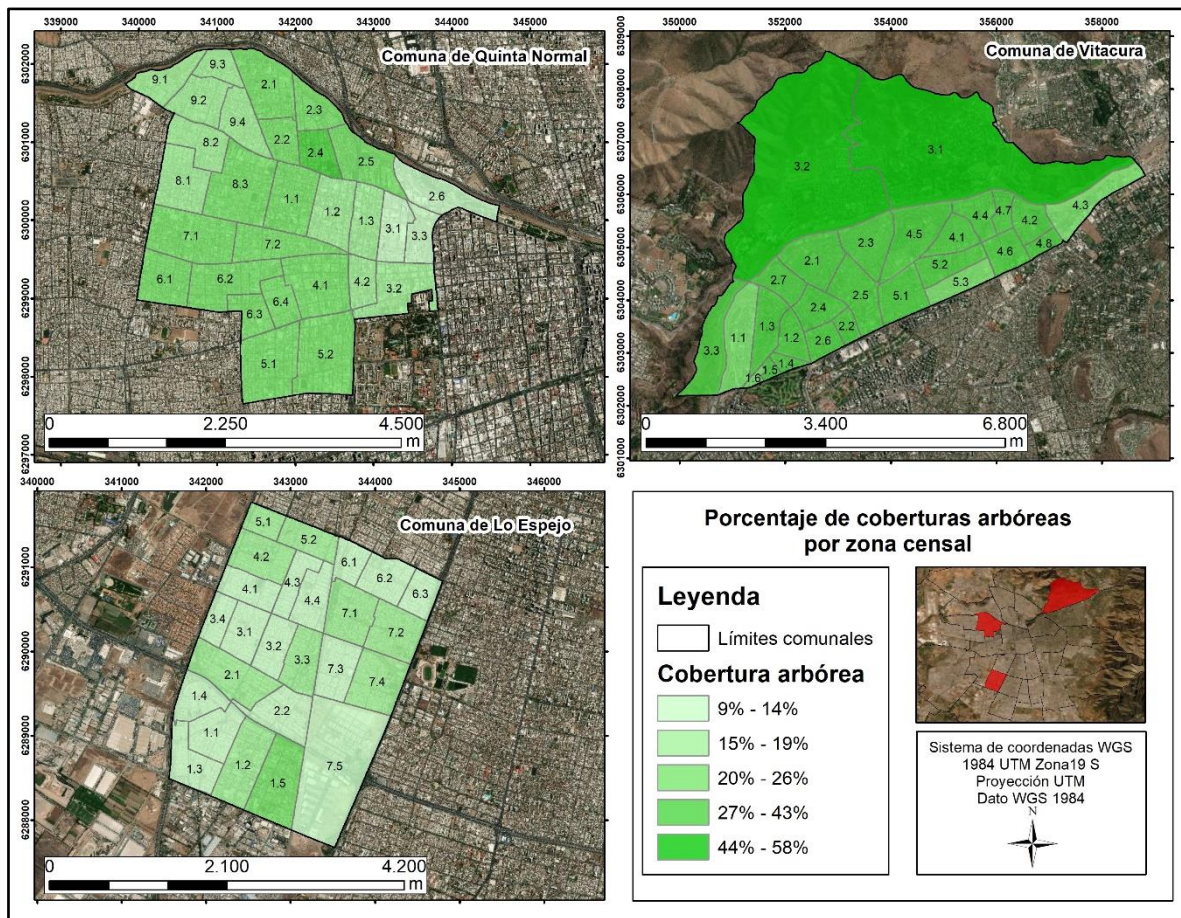
La estimación del porcentaje de cobertura arbórea para las zonas censales dio resultados dispares para las distintas comunas. La comuna de Vitacura presenta el porcentaje más alto de cobertura, como también presenta las zonas censales con los mayores porcentajes del área de estudio, además de la mayor variación entre estas. Por otro lado, las comunas de Lo Espejo y Quinta Normal presentan valores similares en cuanto a la variación de los porcentajes de cobertura arbórea entre zonas censales. Sin embargo, Quinta Normal presenta casi siete puntos porcentuales más que Lo Espejo en cuanto al porcentaje de cobertura arbórea comunal, mientras que esta presenta la zona censal con menos porcentaje de cobertura arbórea del área de estudio (Tabla 4-3), para consultar los datos estadísticos de cada zona censal ir a (Anexo 8), (Anexo 9) y (Anexo 10).

Tabla 4-3 Estadísticas de cobertura arbórea por comuna y variación intracomunal zonas censales.

Comuna	Cobertura arbórea (%)	Desviación estándar (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)
Lo Espejo	13,41	3,19	21,15	8,52
Quinta Normal	20,4	3,91	30,23	11,07
Vitacura	44,32	8,17	58,00	23

Mediante una visualización espacial de los porcentajes de cobertura arbórea por comuna (Figura 4-2), se puede apreciar como la comuna de Vitacura concentra la mayoría de las zonas con porcentajes superiores a 27% y es la única que tiene zonas de más de 44 por ciento de cobertura arbórea. Quinta Normal en tanto, presenta mayoritariamente zonas entre 20 y 26 por ciento de cobertura y solo una que supera los 26. Mientras que Lo Espejo concentra principalmente zonas de entre 9 a 14% de cobertura y solo posee una zona superior al 20%.

Figura 4-2 Mapa de porcentaje de cobertura arbórea por zona censal.



*N.N corresponde al distrito censal y zona censal

4.1.3 Estimación del suministro de secuestro y almacenamiento de carbono por parte del bosque urbano

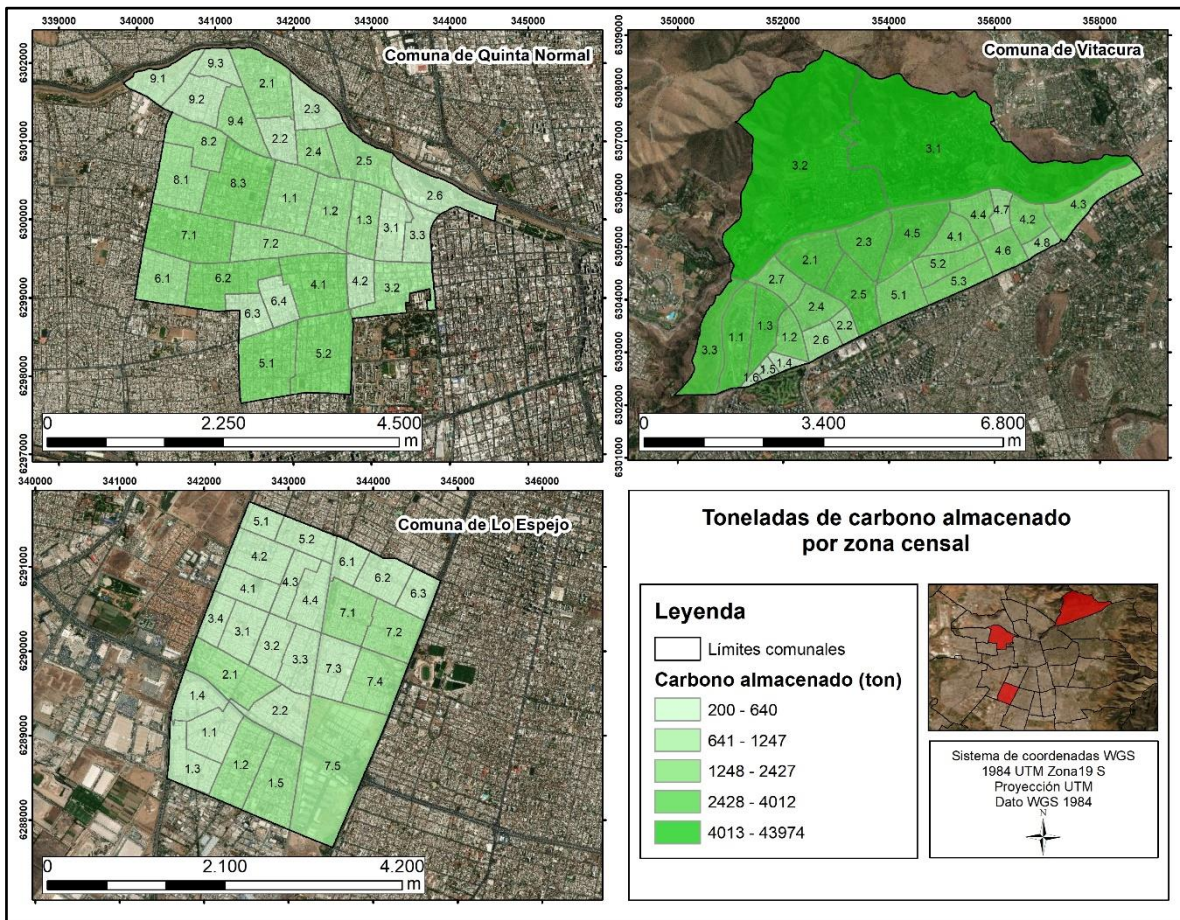
4.1.3.1 Almacenamiento

De acuerdo con los cálculos derivados de la ecuación 1, se estimó que el bosque urbano del área estudiada almacena cerca de 171.380 toneladas de carbono, de los cuales 133.902 ton corresponden a la comuna de Vitacura, 26.733 ton a Quinta Normal y 11.745 ton a Lo Espejo. El almacenamiento promedio por zona censal fue de 6.140 toneladas para la comuna de Vitacura, 879 para Quinta Normal y 469 para Lo Espejo, mientras que las mayores variaciones se produjeron en la comuna de Vitacura, la cual posee las mayores cifras de almacenamiento por zona censal (Tabla 4-4). En cuanto al carbono almacenado por Km², la comuna de Vitacura almacena 3.281 toneladas, cerca del doble que Quinta Normal que almacena 1.513 toneladas, y más de tres veces que Lo Espejo, que almacena 995 toneladas de carbono por Km² (Anexo 7), para consultar los datos estadísticos de cada zona censal ir a (Anexo 8), (Anexo 9) y (Anexo 10). De la figura (Figura 4-3) se aprecia que el suministro de almacenamiento de carbono es más abundante en el sector norte de la comuna de Vitacura, comuna que concentra la mayoría de zonas que superan las 2.400 toneladas de carbono almacenado. El sector norte de la comuna de Vitacura está compuesto de las zonas censales 3.1 y 3.2, las cuales son las únicas que superan las 40.000 toneladas de carbono almacenado y de las cuales un área importante no se encuentre urbanizado. Se estimó que el área no urbanizada referente al sector norte de la comuna de Vitacura, almacena cerca de 40.175 toneladas de carbono, si a esto se le suma el carbono almacenado en las demás áreas no urbanizadas de la comuna, tenemos un almacenamiento total de 44.187 toneladas, lo cual corresponde a un tercio de todo el carbono almacenado por el bosque urbano en la comuna. Por otro lado, la comuna de Lo Espejo concentra la mayor cantidad de zonas censales con menos de 640 toneladas de carbono almacenado y no posee valores superiores a las 1.250 toneladas. En tanto, Quinta Normal presenta valores más heterogéneos, aunque con una mayoría de zonas con entre 1.200 y 2.400 toneladas de carbono almacenadas.

Tabla 4-4 Estadísticas de almacenamiento de carbono para el área de estudio.

Comuna	Almacenamiento de carbono total (ton)	Promedio de almacenamiento de carbono por zona censal (ton)	Desviación estándar (ton)	Máximo (ton)	Mínimo (ton)
Lo Espejo	11.745	469,8	268,6	1190,3	217,9
Quinta Normal	25.733	887,4	418,3	1683,8	288,2
Vitacura	133.902	4.959,3	10.788	43.973,6	200,3

Figura 4-3 Mapa del suministro de almacenamiento de carbono por zona censal.



*N.N corresponde al distrito censal y zona censal

Fuente: Elaboración propia (2020)

4.1.3.2 Secuestro

De acuerdo a los cálculos derivados de la ecuación N°2 se estimó que el secuestro anual neto de carbono para el área de estudio por parte del bosque urbano es de 1.334 toneladas al año. En promedio 16,5 toneladas por zona censal, sin embargo, este promedio varía mucho entre las diferentes comunas, siendo Vitacura la comuna que más carbono secuestra anualmente por zona censal con cerca de 39 toneladas promedio al año, mientras que en Quinta Normal y Lo Espejo el promedio no supera el 7 y el 4 por ciento respectivamente (Tabla 4-5). En cuanto al carbono secuestrado por Km², la comuna de Vitacura secuestra 25,6 toneladas, seguido de Quinta Normal con 11,8 y Lo espejo con 7,7 (Anexo 7), para consultar los datos estadísticos de cada zona censal ir a (Anexo 8), (Anexo 9) y (Anexo 10). Si bien las cantidades de carbono secuestrado anualmente son muy inferiores a lo que se estimó como almacenado, la distribución espacial del carbono secuestrado se presenta de una forma muy similar al carbono almacenado (

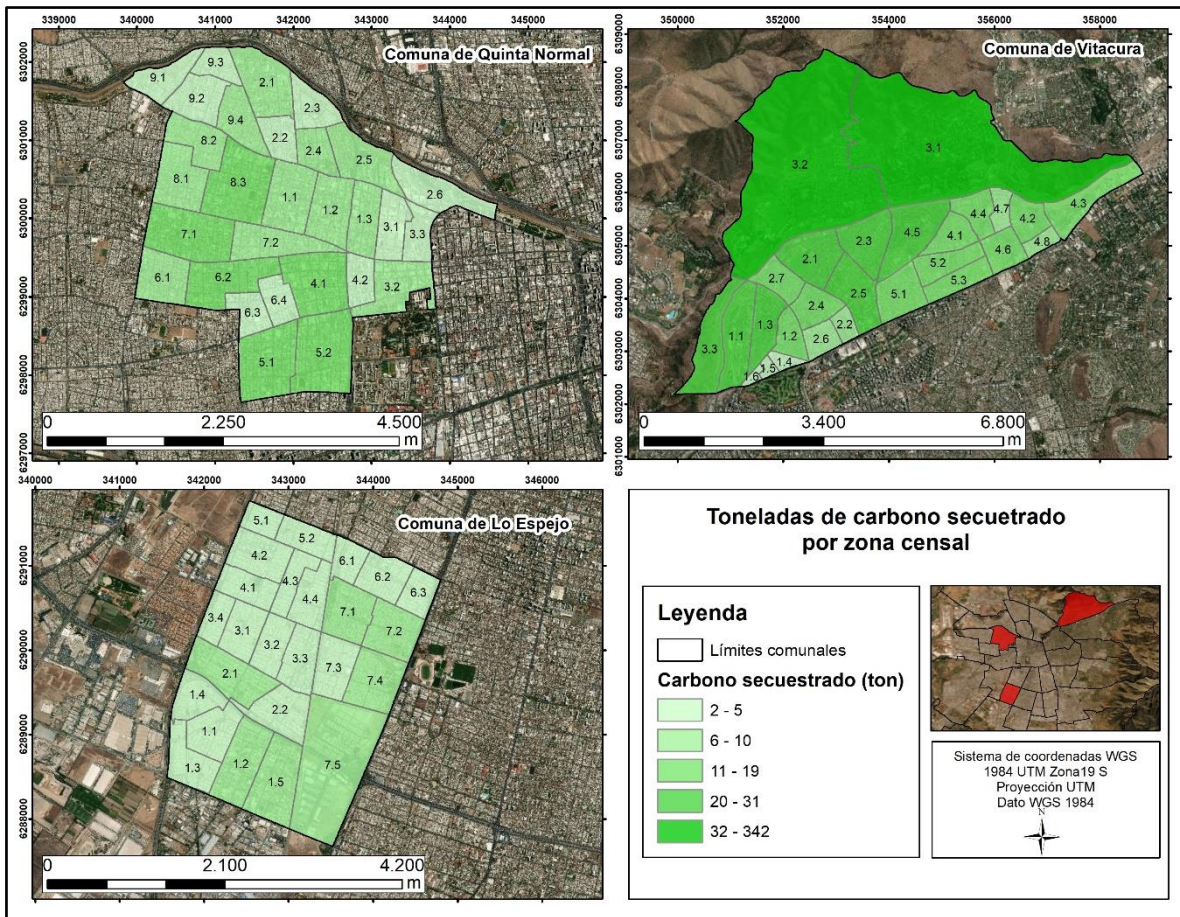
Figura 4-4) siendo nuevamente Vitacura, y en especial el sector norte de la comuna, el que presenta las cifras más altas, en donde el área no urbanizada vuelve a tener una relevancia

importante al representar el 30% del carbono secuestrado por la vegetación arbórea de la comuna, mientras que Lo Espejo, y en particular el sector norponiente de la comuna la que presenta las cifras más bajas.

Tabla 4-5 Estadísticas de secuestro de carbono para el área de estudio.

Comuna	Secuestro de carbono total (ton)	Promedio de secuestro de carbono de zonas censales (ton)	Desviación estandar (ton)	Máximo (ton)	Mínimo (ton)
Lo Espejo	91,4	3,7	2,1	9,3	1,7
Quinta Normal	200,3	6,9	3,3	13,1	2,3
Vitacura	1042,5	38,6	84	342,4	1,6

Figura 4-4 Mapa del suministro de secuestro de carbono por zona censal.



*N.N corresponde al distrito censal y zona censal

Fuente: Elaboración propia (2020)

4.2 Estimación de indicadores de demanda

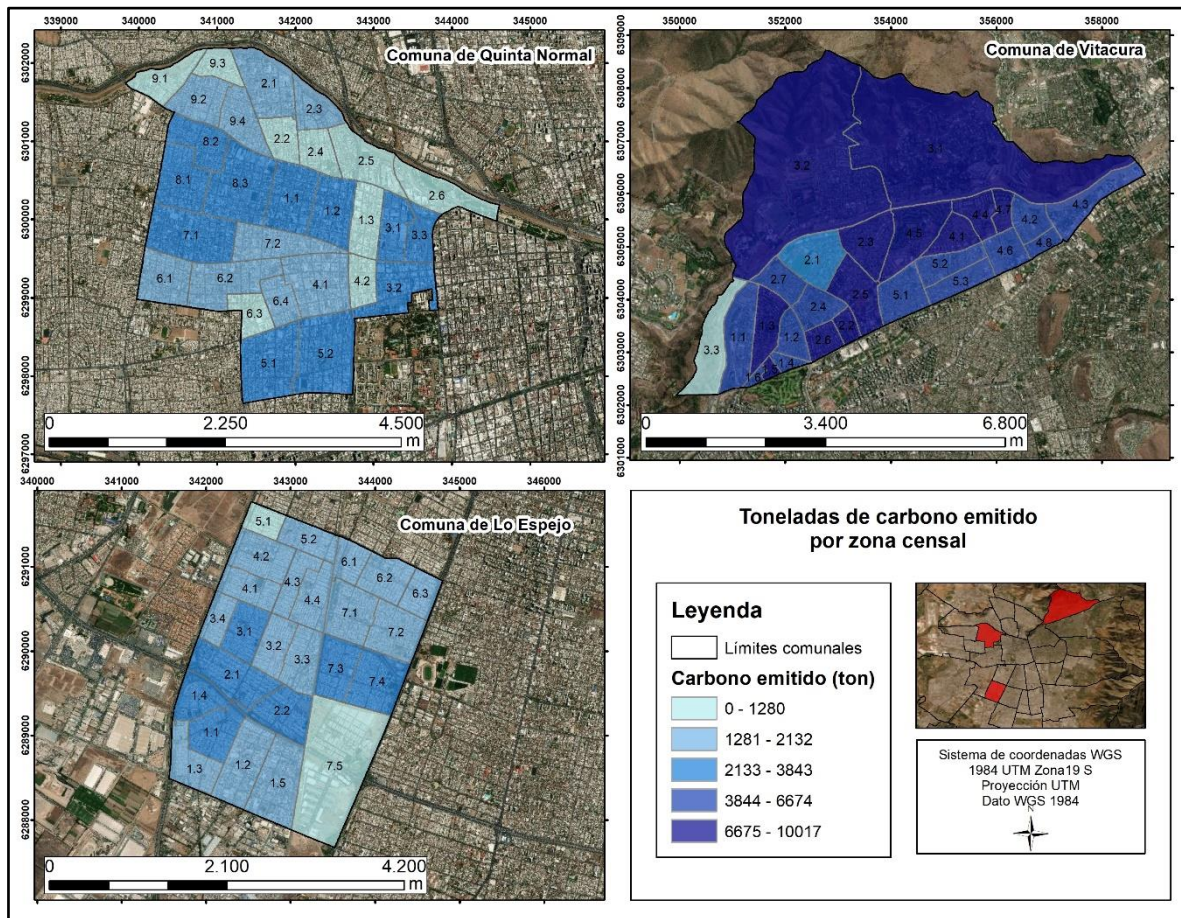
De acuerdo a la ecuación N°3 se estimó que las emisiones de carbono de los vehículos motorizados de uso privado para toda el área de estudio corresponden a cerca de 279.418 toneladas al año, de las cuales Vitacura es la que más aporta con cerca de 178.000 toneladas, seguido de Quinta Normal con cerca de 54.000 toneladas y por último Lo Espejo con cerca de 47.000 toneladas (Tabla 4-6). El promedio de emisiones por zona censal para la comuna de Vitacura (6.841 toneladas) es más de tres veces superior al promedio de Quinta Normal y Lo Espejo (1.876 y 1885 respectivamente) además de presentar las mayores variaciones entre zonas. Mediante una visualización espacial de las emisiones de carbono (Figura 4-5) se observa que la comuna de Vitacura es la única comuna del área de estudio que posee zonas censales con emisiones superiores a las 3.800 toneladas, concentradas principalmente en las zonas centro y norte de la comuna. Mientras que las comunas de Quinta Normal y Lo Espejo presentan distribuciones similares, con emisiones

más altas para la zona centro y sur en el caso de Quinta Normal y la zona centro en el caso de Lo espejo.

Tabla 4-6 Estadísticas de emisiones de carbono para el área de estudio.

Comuna	Total de emisiones de carbono (ton)	Promedio de emisiones por Zona Censal (ton)	Desviación estándar (ton)	Máximo (ton)	Mínimo (ton)
Lo Espejo	47.135	1.885,4	626	3.103	24
Quinta Normal	54.412	1.876,3	675	2.927	61
Vitacura	177.871	6.841,2	1.606,1	10.017	3.843

Figura 4-5 Mapa de emisiones de carbono por zona censal.



*N.N corresponde al distrito censal y zona censal

Fuente: Elaboración propia (2020)

4.3 Evaluación espacial de desajustes entre oferta y demanda

Tanto para el caso del almacenamiento como del secuestro de carbono existe un desajuste considerable. El desajuste total del área de estudio da como resultado un 61% al contrastar el almacenamiento con la demanda de este y un 0,5% en el caso del secuestro. Esto quiere decir que para el caso del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono, la demanda se logra satisfacer en un 61%, mientras que para el caso del servicio ecosistémico de secuestro de carbono la demanda logra ser satisfecha en tan solo un 0,5%, Esto da como resultado que exista un déficit de 39% y 99,5% respectivamente para el área de estudio.

Para el servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono, las tres comunas muestran resultados dispares (Tabla 4-7) ya que el porcentaje de déficit varía mucho de una comuna a otra. Para el caso de la comuna de Vitacura se observan los niveles más bajos de déficit y posee tres zonas censales con superávit (3.1; 3.2 y 3.3) (Figura 4-6) las cuales aportan un 66% del carbono almacenado en toda la comuna y son la principal contribución en mantener un déficit bajo a nivel comunal. Cabe destacar que esta comuna es la que

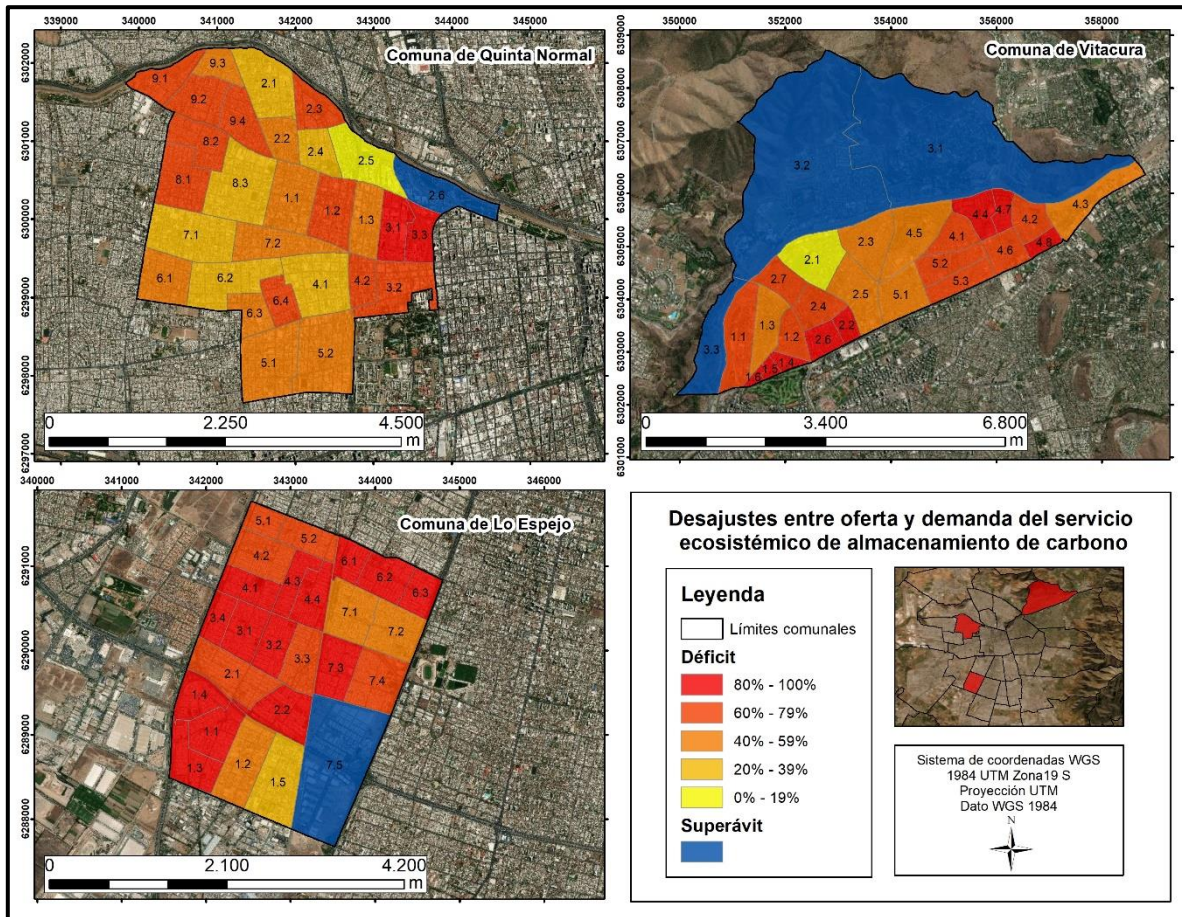
presenta el menor déficit en relación a las comunas analizadas y es la que presenta la mayor variabilidad intracomunal (Figura 4-6). Por otro lado, la comuna de Lo Espejo es la que presenta niveles más altos de déficit, tanto a nivel comunal como por zona censal, a pesar de poseer una zona censal con superávit (7.5), la mayoría de las zonas censales presentan un déficit de entre 60% y 100% (Figura 4-6), incluyendo además menor variabilidad en sus resultados (Tabla 4-7, Figura 4-6). La comuna de Quinta Normal presenta el menor déficit promedio censal, sin embargo se encuentra en un nivel de heterogenidad intracomunal intermedia al comparar con las otras comunas estudiadas.

Tabla 4-7 Estadísticas de desajustes entre oferta y demanda del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono.

Comuna	Total déficit	Déficit promedio por zona censal*	Desviación estándar*	Máximo*	Mínimo*
Lo Espejo	75%	77%	14,2%	91%	31%
Quinta Normal	53%	53%	17,9%	88%	7%
Vitacura	25%	69%	19,9%	97%	5%

**para los cálculos estadísticos se excluyeron las cifras aportadas por las zonas censales con superávit*

Figura 4-6 Mapa de desajustes entre oferta y demanda del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono con déficit y superávit



*N.N corresponde al distrito censal y zona censal

Fuente: Elaboración propia (2020)

Para el servicio ecosistémico de secuestro de carbono existe un desajuste considerable entre la oferta y la demanda para el área de estudio; existe un déficit sustancial ya que la demanda (279.418 toneladas de carbono emitido anualmente) supera ampliamente la oferta del servicio (1.334 toneladas de carbono secuestrado anualmente).

La magnitud de la diferencia entre la oferta y la demanda de secuestro de carbono hace que compararlos en cantidades absolutas sea un desafío. Sin embargo, el mapa de desajustes entre oferta y demanda (Figura 4-7) facilita la comparación entre ambas al demostrar la relación entre ellas de una manera cuantitativa y fácilmente visualizable.

Por ejemplo, la zona censal 3.3 de la comuna de Vitacura, es la única con un superávit en el suministro del servicio ecosistémico de secuestro de carbono, sin embargo, esto se debe a que dicha zona censal no presenta emisiones por no estar urbanizada y por lo tanto no tener emisiones, además de poseer un porcentaje alto de cobertura arbórea. Por otro lado, a excepción de la zona censal 7.2 en la comuna de Lo Espejo y la 2.6 en la comuna de Quinta Normal, además de la zona Norte de Vitacura (3.1 y 3.2), todo el resto del área de

estudio presenta un déficit superior al 99%. Para consultar los datos estadísticos de cada zona censal ir a (Anexo 11), (Anexo 12) y (Anexo 13).

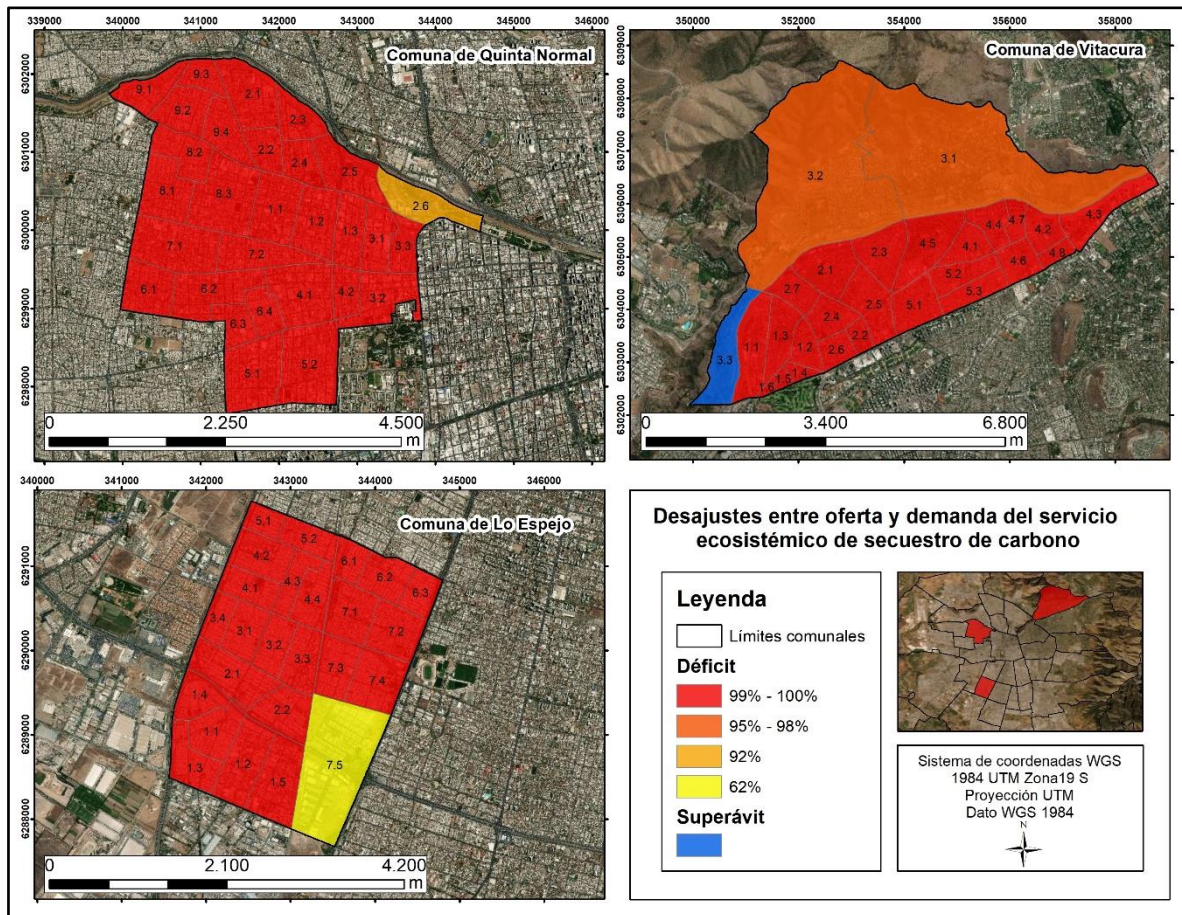
La diferencia porcentual entre la comuna con mayor déficit (Lo Espejo) y la comuna con menor déficit (Vitacura) es de 0,4 puntos, al igual que el déficit promedio por zona censal en que Quinta Normal presenta el menor porcentaje además de la mayor variación intracomunal (Tabla 4-8).

Tabla 4-8 Estadísticas de desajustes entre oferta y demanda del servicio ecosistémico de secuestro de carbono.

Comuna	Total déficit	Déficit promedio por zona censal*	Desviación estándar*	Máximo*	Mínimo*
Lo Espejo	99,80%	99,80%	0,1(%)	99,9%	61,3%
Quinta Normal	99,60%	99,40%	1,4(%)	99,9%	92,2%
Vitacura	99,40%	99,60%	0,9(%)	99,9%	96,2%

**para los cálculos estadísticos se excluyeron las cifras aportadas por las zonas censales con superávit*

Figura 4-7 Mapa de desajustes entre oferta y demanda del servicio ecosistémico de secuestro de carbono con déficit y superávit.



*N.N corresponde al distrito censal y zona censal

Fuente: Elaboración propia (2020).

5. DISCUSIÓN

Las ciudades son puntos críticos de emisiones de gases de efecto invernadero y a pesar de representar una pequeña porción de la superficie terrestre tienen un papel esencial en el ciclo global del carbono, esto sumado a que las ciudades son más vulnerables al cambio climático y albergan grandes poblaciones. En consecuencia, se hace más necesario comprender la huella de carbono que generan y las estrategias e insumos que poseen para su mitigación. Entender cómo la vegetación urbana contribuye a la mitigación del cambio climático a través de la provisión de servicios ecosistémicos se vuelve fundamental para la orientación de políticas y medidas que favorezcan dichos objetivos y, de paso, mejorar la calidad de vida de los habitantes urbanos.

Para lo anterior se ha vuelto necesario abordar e implementar el concepto de servicios ecosistémicos de una manera holística, que incluya tanto la oferta como la demanda de estos. En este estudio se buscó comprender el grado de desajuste espacial entre la oferta y la demanda del servicio ecosistémico de regulación climática global, usando como indicadores para estimar la oferta al secuestro y almacenamiento de carbono del bosque urbano, mientras que se utilizaron las emisiones de carbono provenientes del transporte motorizado de uso privado como proxy para estimar la demanda.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que el carbono secuestrado por el arbolado urbano hace una pequeña contribución a la mitigación del cambio climático, compensando menos de un 1% de las emisiones provenientes del transporte motorizado privado, esta tasa de compensación de carbono es muy similar a la obtenida en otros estudios (Amini et al, 2019; Liu y Li, 2012; Zhao y Sanders 2015). Sin embargo, el carbono almacenado por el arbolado urbano demostró tener un papel más relevante en la reducción del carbono atmosférico. Por otro lado, el nivel de desajuste entre oferta y demanda es muy grande para toda el área de estudio, esto hace que haya un nivel importante de déficit en el suministro del servicio ecosistémico de regulación climática global, las razones de este desajuste son tanto el alto nivel de emisiones, como también los bajos niveles de cobertura arbórea.

Se encontró que la infraestructura verde desempeña un papel importante en mantener niveles bajos de déficit, ya que las zonas censales dentro del área de estudio que presentaron un menor desajuste coinciden con áreas donde prima la infraestructura verde, para el caso de la oferta de almacenamiento, estas fueron las únicas que mostraron un superávit, este es el caso de la zona censal 7.5 de la comuna de Lo Espejo (Anexo 14), que corresponde al Cementerio Metropolitano, la zona censal 2.6 de la comuna de Quinta Normal (Anexo 15), que corresponde al Parque Los Reyes y las zonas censales 3.1 y 3.2 de Vitacura, que poseen una amplia zona catalogada como área de valor natural (

Anexo 16). Lo mismo ocurre con las zonas no urbanizadas, como la zona censal 3.3 de Vitacura (Anexo 17) y el sector norte de esta comuna, las cuales constituyen una reserva importante de biomasa que ayudarían a mantener cifras altas de secuestro y almacenamiento, como también a mantener una baja demanda. No obstante lo anterior, no hay que desestimar el papel que cumplen los árboles de calles y aceras, como también la vegetación presente en los jardines y patios privados, lo cual para el caso de comunas residenciales puede representar un porcentaje importante de la vegetación presente en la comuna (Dobbs et al, 2013; Reyes-Paecke y Meza, 2011).

Los resultados muestran heterogeneidad espacial para todos los indicadores estimados, tanto intra como intercomunal. La comuna de Vitacura muestra niveles muy altos de cobertura arbórea, lo cual se condice con mayores niveles de secuestro y almacenamiento,

sin embargo, también es la comuna que genera más emisiones por parte del transporte motorizado de uso privado. Lo Espejo, en tanto, es la comuna que presenta menores niveles de cobertura arbórea, y por lo tanto de secuestro y almacenamiento de carbono, pero a su vez es la comuna con menores niveles de emisiones de carbono.

El alto nivel de emisiones en áreas urbanas con una oferta considerable contribuye a mantener un alto desajuste, aun para zonas con mayor cobertura arbórea. Lo anterior, sumado al limitado alcance que tiene la vegetación urbana para capturar el carbono atmosférico, hacen que sea insuficiente centrarse únicamente en el suministro del servicio ecosistémico de regulación climática global, es decir, promover únicamente el aumento de la vegetación urbana como medida efectiva para contribuir a la mitigación del cambio climático.

Esta situación sugiere que para disminuir los niveles de desajuste entre oferta y demanda es necesario tanto un aumento en la provisión de servicios ecosistémicos como también políticas y medidas destinadas a reducir la cantidad de emisiones de carbono. Además, es importante destacar que el aumento de la vegetación urbana no solo contribuiría a la reducción de gases de efecto invernadero de la atmósfera, sino que también repercutiría positivamente en el suministro de varios servicios ecosistémicos urbanos, por lo tanto, comprender las sinergias entre servicios ecosistémicos se vuelve muy relevante a la hora de valorar la contribución que pueda hacer la vegetación urbana y la infraestructura verde a la mitigación del cambio climático y a la mejora de la calidad de vida de los habitantes urbanos.

En esta investigación se trabajó con la premisa de que incorporar el lado de la demanda a la evaluación de servicios ecosistémicos es fundamental para comprender el nivel de equilibrio entre los beneficios proporcionados por los ecosistemas y la necesidad social de estos. Los resultados mostraron, además, que esta metodología permite generar información espacialmente explícita que muestre cómo varía geográficamente la relación oferta/demanda.

No obstante lo anterior, existen varias limitaciones para la estimación de la oferta y la demanda que pueden generar incertidumbre en cuanto a su cuantificación. En el caso de la estimación de la oferta, se encontró que existe una carencia significativa de datos e inventarios de recursos arbóreos para la ciudad de Santiago, esto es importante ya que este tipo de información permite elaborar un perfil más fiel de la morfología del arbolado urbano y, por lo tanto, una mejor estimación del suministro de los servicios ecosistémicos que este provee. Sin embargo, se demostró que la teledetección puede ser una herramienta importante para la estimación de servicios ecosistémicos y estudios que necesiten abarcar grandes extensiones, para las cuales no siempre se disponen de datos ni del tiempo para generarlos en terreno.

El caso de la demanda presentó dificultades similares, ya que se encontró que existe una carencia de datos e información que den cuenta del grado real de emisiones en las ciudades de Santiago. La metodología utilizada en este estudio no incluye fuentes de emisiones que pueden ser importantes a la hora de estimar la demanda, como es el caso de las emisiones derivadas del uso eléctrico, del transporte público o de industrias que puedan existir en el área urbana. Los indicadores utilizados en esta investigación han demostrado ser útiles cuando el estado de los servicios ecosistémicos no se monitorea ni se pueden medir directamente.

Dado que tanto la oferta como la demanda de servicios ecosistémicos urbanos presentan características temporalmente dinámicas, es necesario que estudios futuros atiendan la

variabilidad temporal de los recursos forestales urbanos, para esto es necesario un monitoreo continuo del estado y la salud de la vegetación urbana, esto toma aún más relevancia en el contexto de cambio climático, en que los árboles urbanos se pueden ver afectados por la ocurrencia cada vez más frecuente de eventos climáticos extremos, como sequías o eventos de lluvias concentradas, como también la aparición de plagas o enfermedades.

Las ciudades deben tener un rol activo en la mitigación al cambio climático a través de la disminución de su huella de carbono, estudios sobre servicios ecosistémicos urbanos como el presente ayudan a valorizar el rol clave que cumplen los ecosistemas urbanos en esta materia, además, incorporar la demanda en la evaluación de servicios ecosistémicos ayuda a comprender en qué medida el suministro de estos servicios logra satisfacer las necesidades reales de las sociedades y puede ser un componente importante de enfoques o medidas que apunten hacia la sostenibilidad de las ciudades.

Estudios como este tienen el potencial de ayudar a los planificadores urbanos a tener una mejor comprensión del rol de la vegetación urbana y la infraestructura verde en el suministro de servicios ecosistémicos. Esta metodología puede ayudar a determinar patrones socioespaciales en la distribución de la oferta y la demanda de servicios ecosistémicos urbanos, como también a identificar desigualdades espaciales y las zonas prioritarias en que se necesitan medidas tendientes a aumentar su suministro. Esto es especialmente relevante en ciudades espacialmente heterogéneas y con altos niveles de desigualdad socioespacial como Santiago, y donde, además, muchas comunas presentan recursos urbanos limitados.

Si bien esta metodología está enfocada a ser un insumo para la gestión y planificación local, también puede ayudar a evaluar en qué medida se cumplen los objetivos de reducción de GEI que se han implementado a nivel país y cómo la gestión local puede ser un buen campo de acción de medidas que apunten a la sustentabilidad de las ciudades a través de la reducción de su huella de carbono, lo cual contribuiría a alcanzar la meta de carbono neutralidad para el año 2050 que se ha aprobado el año 2020 en el proyecto de ley marco de cambio climático.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, M., SALDANA, M., AGUILAR, F. 2013. GeoEye-1 and Worldview-2 pan-sharpened imagery for object-based classification in urban environments. *International Journal of Remote Sensing*, 2583-2606p.
- AMBIENTE, A. E. 2011. Green infrastructure and territorial cohesion. The concept of green infrastructure and its integration into policies using monitoring systems. Luxemburgo: EEA.
- AMINI, V., SELEHI, E., REZA, A., Y VAN BODEGOM, P. .2019. An improved method for assessing mismatches between supply and demand in urban regulating ecosystem services: A case study in Tabriz, Iran. *PLOS ONE*, 14p.
- BENEDICT, M., Y MCMAHON, E. 2006. Green Infrastructure, linking landscapes and communities. Washington D.C: Island Press.
- BARÓ, F., HAASE, D., GOMEZ-BAGGETHUN, E., & FRANTZESKAK, N. 2015. Mismatches between ecosystem services supply and demand in urban areas: A quantitative assessment in five European cities. *Ecological Indicators*, 146-158P.
- BURKHARD, B., KROLL, F., NEDCOV, S., & MÜLLER, F. 2012. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*, 17-29P.
- BURKHARD, B., KANDZIORA, M., HOU, Y., MÜLLER, F. 2014. Ecosystem service potentials, Flows and Demands Concepts for Spatial Localization, Indication and Concepts for Spatial Localization, Indication and Quantification. *Landscape online*, 1-32p.
- CÁNOVAS-GARCÍA, F. y ALONSO, F. 2014. Comparación de técnicas de fusión de imágenes de alta resolución espacial. *Geofocus*, 144-162p.
- CASTILLO, D. 2016. Análisis espaciotemporal del cambio de cobertura de suelo para el período 1985-2014 en las comunas de Coltauco y Doñihue, Región del Libertador Bernardo O'Higgins, Chile. Memoria para optar al título profesional de: ingeniería en Recursos Naturales Renovables.
- CHUVIECO, E. 2008. Fundamentos de Teledetección Espacial. Tercera Edición Barcelona: Ariel.
- CONGALTON, R. y GREEN, K. 2019. assessing the accuracy of remotely sensed data, principles and practices. New York: CRC Press.
- CONSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEIL, R., PARUELO, J., RASKIN, G., SUTTON, P., VAN DEN BELT, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 253–260p.
- CONSTANZA, R., DE GROOT, R., BRAT, L., KUBISZEWSKI, I., FIORAMONTI, L., SUTTON, Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28, 1–16.

- DE MATTOS, C., FUENTES, L., & LINK, F. (2014). Tendencias reciente del crecimiento metropolitano en Santiago de Chile. ¿hacia una nueva geografía urbana?. *Revista INVI*, 193-219.
- DOBBS, C., ESCOBEDO, F., ZIPPERER, W. 2011. A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators *Landscape and Urban Planning*, 196-206p.
- DOBBS, C., KENDAL, D., NITSCHKE, C. 2013. The effects of land tenure and land use on the urban forest structure and composition of Melbourne. *Urban Forestry & Urban Greening*, 417-425p.
- DOBBS, C., KENDAL, d., & NITSCHKE, C. 2014. Multiple ecosystem services and disservices of the urban forest establishing their connections with landscape structure and sociodemographics. *Ecological Indicators*, 44-55p.
- DOMINGUEZ M., A Y. 2016. Estimaciones de captura de los parques y emisiones de Co2 vehicular en Tijuana, B.C. Tesis para obtener el grado de Maestra en Administración Integral Del Ambiente. Tijuana, B.C. México
- EPA. (2020). Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle. Office of Transportation and Air Quality.
- ERNSTSON, H., SÖRLIN, S. 2013. Ecosystem services as technology of globalization: On articulating values in urban nature. *Ecological Economics*, 274-284p.
- ESTRADA, M. (2001). Cambio climático global: causas y consecuencias. *Revista de información y Análisis*, 7-17.
- EHLERS, M., KLONUS, S., ASTRAND, P., ROSSO, P. 2010. Multi-sensor image fusion for pansharpening in remote sensing. *International Journal of Image and Data Fusion*, 25-45p.
- FAO. 2016. Guidelines on urban and peri-urban forestry. Roma. FAO Forestry Paper.
- FERNANDEZ, I. Y DE LA BARRERA, F. 2018. Biodiversidad urbana, servicios ecosistémicos y planificación ecológica: un enfoque desde la ecología del paisaje. Biodiversidad urbana en Chile: Estado del arte y los desafíos futuros. Universidad de Chile, 114-147p.
- FOODY, G., y MATHUR, A. 2004. Arelative Evaluation of Multiclass Image Classification by Support Vector Machines. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1335-1343p.
- FRANTZESKAKI, N., MCPHEARSON, T., COLLIER, M., KENDAL, D., BULKELEY, H., DUMITRU, A., WALSH, C., NOBLE, K., VAN WYK E., ORDÓÑEZ, C., OKE, C AND PINTÉR, L. 2019. Nature-Based Solutions for Urban Climate Change Adaptation: Linking Science, Policy, and Practice Communities for Evidence-Based Decision-Making *BioScience*, 455–466p.
- GARRIDO-DÍAZ, P. 2013. Las emisiones de CO2 generadas por el desplazamiento de la población en modo de transporte privado en el Gran Santiago. *Revista de Geografía Eapacios*, 69-86p.

- GOBIERNO DE CHILE. 2020. Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) de Chile. Santiago, Chile.
- HAASE, D., LARONDELLE, N., ANDERSSON, E., ARTMANN, M., BORGSTRÖM, S., BREUSTE, J., GOMEZ-BAGGETHUN, E., GREN, A., HAMSTEAD, Z., HANSEN, R., KABISCH, N., KREMER, P., LANGEMEYER, J., RALL, E., MCPHERSON, T., STEPHAN, P., QURESHI, S., SCHWARZ, N., VOIGT, A., WURSTER, D Y ELMQVIST, T. 2014. A Quantitative Review of Urban Ecosystem Service Assessments: Concepts, Models, and Implementation. *AMBIO*, 43(4), 413–433p.
- HAMIN, E. y GURRAN, N. 2009. Urban form and climate change: Balancing adaptation and mitigation in the U.S. and Australia. *Hábitat International*, 238-245p.
- HERNÁNDEZ, J. y DOBBS, C. 2016. Evaluación y Seguimiento de la Vegetación Urbana. En C. L. (editores), *Sustentabilidad y Biodiversidad Urbana*. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza.
- INE. 2017. Censo de Población y Vivienda. Gobierno de Chile.
- LI, X., ZHANG, Y., GAO, Y., & SHIGANG, Y. 2016. Using Guided Filtering to Improve Gram-Schmidt Based Pansharpening Method for GeoeEye-1 Satellite Images. 4th International Conference on Information Systems and Computing Technology.
- LIU, C., y LI, X. 2012. Carbon storage and sequestration by urban forests in Shenyang, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(2): 121-128p.
- LANDIS, J., y KOCH, G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1): 59-74p.
- LIWEI, M., BICKING, S., MÜLLER, F. 2018. Mapping and comparing ecosystem service indicators of global climate regulation in Schleswig-Holstein, Northern Germany. *Science of the Total Environment*.
- MEYEONG, S., NOWAK, D., DUGGIN, M. 2006. A temporal analysis of urban forest carbon storage using remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 277-282p.
- MCPHERSON, E., y ROWNTREE, R. 1986. Using structural measures to compare twenty-two street tree populations. *Landscape*.
- MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island, Washington, DC.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2016. Segundo Informe Bienal de Actualización de Chile Sobre Cambio Climático. Santiago, Chile.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2018. Biodiversidad de Chile, Patrimonios y desafíos. Tercera Edición. Tomo II 264p. Santiago de Chile.
- NACIONES UNIDAS. 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático [en línea] t.ly/HyP0 [Consulta: diciembre 2020]
- NOWAK, D., y CRANE, D. 2000. The Urban Forest Effects (UFORE) model: quantifying urban forest structure and functions.

- NOWAK, D., DWYER, J. 2000. Understanding the Benefits and Costs of Urban Forest Ecosystems. *Urban and Community Forestry in the Northeast*, 25–46.
- PULIGHE, G., FAVA, F., LUPIA, F. 2016. Insights and opportunities from mapping ecosystem services of urban green spaces and potentials in planning. *Ecosystem Services*, 1-10p.
- RETAMAL, C. 2015. Cuantificación de Servicios Ecosistémicos Urbanos en Cerros Isla. El Proyecto de parque Urbano en Cerro Chena, Santiago de Chile. Tesis presentada para obtener el grado académico de Magíster en Asentamientos Humanos y Medio Ambiente. Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile.
- REYES, S., y FIGUEROA, I. 2010. Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. *EURE (Santiago)*, 89-110p.
- REYES-PAECKE, S., MEZA, L. 2011. Jardines residenciales en Santiago de Chile: Extensión, distribución y cobertura vegetal. *Revista chilena de historia natural*, 581-592p.
- ROFFEY, M., y WANG, J. 2020. Evaluation of Features Derived from High Resolution Multispectral Imagery and LIDAR Data for Object-Based Support Vector Machine Classification of Tree Species. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1-16p.
- ROMERO, H., IRARRÁZABAL, F., OPAZO, D., SALGADO, M., & SMITH, P. (2010). Climas urbanos y contaminación atmosférica en Santiago de Chile. *EURE (Santiago)*, 35-62.
- ROWNTREE, R., y NOWAK, D. 1991. Quantifying the role of urban forests in removing atmospheric carbon dioxide. *Journal of Agriculture*, 269-275p.
- SECTRA. 2012. Encuesta Origen Destino de Viajes (EOD). Santiago, Chile: Gobierno de Chile.
- UNITED NATIONS. 2015. Millennium Development Goals Report 2015. [en línea] t.ly/EoKC [Consulta: diciembre 2020]
- 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*, 63-86p.
- WOOD, S., JONES, S., JOHNSON, J., BRAUMAN, K., CHAPLIN-KRAMER, R., FREMIER, A., GIVETZ, E., GORDON, L., KAPPEL, C., MANDLE, L., MULLIGAN, M., OFERREL, P., SMITH, W., WILLEMEN, L., ZHANG, W., DECLERK, F. 2018. Distilling the role of ecosystem services in the Sustainable Development Goals. *Ecosystem Services*, 29, 70–82p.
- WU, J. 2013. Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes. *Landscape Ecology*, 28(6), 999–1023p.

ZHAO, C., y SANDERS, H. 2015. Quantifying and Mapping the Supply of and Demand for Carbon Storage and Sequestration Service from Urban Trees. PLOS ONE. TEMPORAL ANALYSIS of urban forest carbon storage using remote sensing. 2006. S. Myeong "et al" .Remote Sensing of Environment, 277-282.

ANEXOS

Anexo 1 Imagen comparativa de imágenes GeoEye con y sin refinado pancromático y corrección topográfica.



Anexo 2 Regiones de entrenamiento por comuna y clase.

Comuna	Agua	Árboles	Césped	Urbano	Suelo	No Data
Vitacura	62	115	33	144	36	18
Quinta Normal	34	58	18	31	29	26
Lo Espejo	16	26	32	46	22	11

Anexo 3 Matriz de confusión comuna de Lo Espejo.

Clases	Agua	Arboles	Suelo	Césped	Infraestructura Urbana	No data	Total	Exactitud del Usuario	Error de Comisión
Agua	0	0	0	0	9	1	10	0,0%	100,0%
Arboles	0	7	0	2	1	0	10	70,0%	30,0%
Suelo	0	0	15	0	2	0	17	88,2%	11,8%
Césped	0	0	0	10	0	0	10	100,0%	0,0%
Infraestructura Urbana	0	0	2	0	31	1	34	91,2%	8,8%
No data	0	0	0	0	1	9	10	90,0%	10,0%
Total	0	7	17	12	44	11	91		
Exactitud del Productor	0,0%	100,0%	88,2%	83,3%	70,5%	81,8%			
Error de Omisión	100,0%	0,0%	11,8%	16,7%	29,5%	18,2%			

Exactitud Global	79,1%
Kappa	0,72

Anexo 4 Matriz de confusión comuna de Quinta Normal.

Clases	Agua	Arboles	Suelo	Césped	Infraestructura Urbana	No data	Total	Exactitud del Usuario	Error de Comisión
Agua	6	0	0	0	3	1	10	60,0%	40,0%
Arboles	0	11	0	0	2	0	13	84,6%	15,4%
Suelo	0	0	9	0	5	0	14	64,3%	35,7%
Césped	0	2	0	7	0	0	10	70,0%	30,0%
Infraestructura Urbana	1	0	2	0	28	1	32	87,5%	12,5%
No data	0	0	0	0	1	9	10	90,0%	10,0%
Total	7	13	11	7	39	11	88		
Exactitud del Productor	85,7%	84,6%	81,8%	100,0%	70,0%	81,8%			
Error de Omisión	14,3%	15,4%	18,2%	0,0%	30,0%	18,2%			

Exactitud Global	80%
Kappa	0,73

Anexo 5 Matriz de confusión comuna de Vitacura

Clases	Agua	Arboles	Suelo	Césped	Infraestructura Urbana	No data	Total	Exactitud del Usuario	Error de Comisión
Agua	7	0	2	0	1	0	10	70,0%	30,0%
Arboles	0	20	1	2	3	0	26	73,1%	26,9%
Suelo	0	1	10	0	5	0	16	62,5%	37,5%
Césped	0	0	1	9	0	0	10	90,0%	10,0%
Infraestructura Urbana	0	0	1	0	11	0	12	91,7%	8,3%
No data	1	1	0	0	0	8	10	80,0%	20,0%
Total	8	22	15	11	20	8	84		
Exactitud del Productor	87,5%	90,9%	66,6%	81,8%	55,0%	100,0%			
Error de Omisión	12,5%	9,1%	33,4%	18,2%	45,0%	0,0%			

Exactitud Global	77,4%
Kappa	0,72

Anexo 6 Detalle visual de capa de árboles.



Anexo 7 Toneladas de carbono almacenado y secuestrado por kilómetro cuadrado por comuna

Comuna	Toneladas de carbono almacenado por km ²	Toneladas de carbono secuestrado por km ²
Lo Espejo	995	7,7
Quinta Normal	1.513	11,8
Vitacura	3.281	25,6

Anexo 8 Tabla detallada de porcentajes de cobertura arbórea, almacenamiento de carbono, secuestro de carbono y carbono emitido por zona censal para la comuna de Lo Espejo.

Comuna	Distrito	Zona censal	GEOCODIGO	Porcentaje de cobertura	Almacenamiento de carbono (ton)	Secuestro de carbono (ton)	Carbono emitido (ton)
Lo Espejo	1	1	13116011001	11	357	2,8	2342
	1	2	13116011002	18	846	6,6	1741
	1	3	13116011003	12	398	3,1	2078
	1	4	13116011004	9	228	1,8	2402
	1	5	13116011005	21	1084	8,4	1582
	2	1	13116021001	15	695	5,4	3103
	2	2	13116021002	14	499	3,9	2681
	3	1	13116031001	11	303	2,4	2295
	3	2	13116031002	11	285	2,2	1994
	3	3	13116031003	15	448	3,5	2004
	3	4	13116031004	12	218	1,7	1396
	4	1	13116041001	14	365	2,8	1813
	4	2	13116041002	16	553	4,3	1671
	4	3	13116041003	11	232	1,8	1801
	4	4	13116041004	13	373	2,9	2025
	5	1	13116051001	15	238	1,9	1034
	5	2	13116051002	14	355	2,8	1673
	6	1	13116061001	12	227	1,8	1369
	6	2	13116061002	9	246	1,9	1946
	6	3	13116061003	12	234	1,8	1659
	7	1	13116071001	17	660	5,1	1521
	7	2	13116071002	18	673	5,2	1579
	7	3	13116071003	11	373	2,9	2589
	7	4	13116071004	16	663	5,2	2816
	7	5	13116071005	9	1190	9,3	24

Anexo 9 Tabla detallada de porcentajes de cobertura arbórea, almacenamiento de carbono, secuestro de carbono y carbono emitido por zona censal para la comuna de Quinta Normal.

Comuna	Distrito	Zona censal	GEODIGO	Porcentaje de cobertura	Almacenamiento de carbono (ton)	Secuestro de carbono (ton)	Carbono emitido (ton)
Quinta Normal	1	1	13126011001	23	1179	9,2	2396
	1	2	13126011002	19	897	7,0	2418
	1	3	13126011003	19	694	5,4	1235
	2	1	13126021001	22	1186	9,2	1934
	2	2	13126021002	21	525	4,1	952
	2	3	13126021003	21	632	4,9	1826
	2	4	13126021004	30	809	6,3	1280
	2	5	13126021005	23	1147	8,9	1229
	2	6	13126021006	13	611	4,8	61
	3	1	13126031001	14	441	3,4	2748
	3	2	13126031002	19	948	7,4	2504
	3	3	13126031003	11	288	2,2	2350
	4	1	13126041001	22	1394	10,9	2073
	4	2	13126041002	19	437	3,4	1237
	5	1	13126051001	23	1548	12,1	2927
	5	2	13126051002	21	1628	12,7	2723
	6	1	13126061001	25	1051	8,2	2086
	6	2	13126061002	25	1444	11,2	2132
	6	3	13126061003	21	497	3,9	1117
	6	4	13126061004	20	486	3,8	1641
	7	1	13126071001	24	1684	13,1	2290
	7	2	13126071002	20	918	7,1	1952
	8	1	13126081001	18	890	6,9	2539
	8	2	13126081002	18	657	5,1	2396
	8	3	13126081003	21	1574	12,3	2418
	9	1	13126091001	15	479	3,7	1235
	9	2	13126091002	17	640	5,0	1934
	9	3	13126091003	19	395	3,1	952
	9	4	13126091004	18	656	5,1	1826

Anexo 10 Tabla detallada de porcentajes de cobertura arbórea, almacenamiento de carbono, secuestro de carbono y carbono emitido por zona censal para la comuna de Vitacura.

Comuna	Distrito	Zona censal	GEOCODIGO	Porcentaje de cobertura	Almacenamiento de carbono (ton)	Secuestro de carbono (ton)	Carbono emitido (ton)
Vitacura	1	1	13132011001	25	2655	20,7	6674
	1	2	13132011002	39	1715	13,4	5490
	1	3	13132011003	43	3140	24,4	7300
	1	4	13132011004	30	488	3,8	4825
	1	5	13132011005	30	301	2,3	7414
	1	6	13132011006	23	200	1,6	5945
	2	1	13132021001	37	3659	28,5	3843
	2	2	13132021002	38	914	7,1	8769
	2	3	13132021003	38	3372	26,3	8041
	2	4	13132021004	41	2303	17,9	6534
	2	5	13132021005	34	3224	25,1	7617
	2	6	13132021006	32	1247	9,7	10017
	2	7	13132021007	41	2127	16,6	6053
	3	1	13132031001	58	43974	342,3	9004
	3	2	13132031002	51	40372	314,3	9434
	3	3	13132031003	37	4012	31,2	0
	4	1	13132041001	34	1769	13,8	7364
	4	2	13132041002	35	1760	13,7	5939
	4	3	13132041003	23	2038	15,9	4274
	4	4	13132041004	30	1566	12,2	7984
	4	5	13132041005	31	3643	28,4	7187
	4	6	13132041006	36	1901	14,8	5262
	4	7	13132041007	36	1050	8,2	9048
	4	8	13132041008	35	793	6,2	6541
	5	1	13132051001	32	2427	18,9	5749
	5	2	13132051002	32	1850	14,4	6154
	5	3	13132051003	26	1400	10,9	5407

Anexo 11 Tabla detallada de desajuste y porcentaje de déficit por zona censal para secuestro y almacenamiento de carbono de la comuna de Lo Espejo.

Comuna	Distrito	Zona	GEOCODIGO	% desajuste Secuestro	% de déficit secuestro	% desajuste Almacenamiento	% de déficit almacenamiento
Lo Espejo	1	1	13116011001	0,1	99,9	15	85
	1	2	13116011002	0,4	99,6	49	51
	1	3	13116011003	0,1	99,9	19	81
	1	4	13116011004	0,1	99,9	9	91
	1	5	13116011005	0,5	99,5	69	31
	2	1	13116021001	0,2	99,8	22	78
	2	2	13116021002	0,1	99,9	19	81
	3	1	13116031001	0,1	99,9	13	87
	3	2	13116031002	0,1	99,9	14	86
	3	3	13116031003	0,2	99,8	22	78
	3	4	13116031004	0,1	99,9	16	84
	4	1	13116041001	0,2	99,8	20	80
	4	2	13116041002	0,3	99,7	33	67
	4	3	13116041003	0,1	99,9	13	87
	4	4	13116041004	0,1	99,9	18	82
	5	1	13116051001	0,2	99,8	23	77
	5	2	13116051002	0,2	99,8	21	79
	6	1	13116061001	0,1	99,9	17	83
	6	2	13116061002	0,1	99,9	13	87
	6	3	13116061003	0,1	99,9	14	86
	7	1	13116071001	0,3	99,7	43	57
	7	2	13116071002	0,3	99,7	43	57
	7	3	13116071003	0,1	99,9	14	86
	7	4	13116071004	0,2	99,8	24	76
7	5	13116071005		38,7	61,3	4976	Sin déficit

Anexo 12 Tabla detallada de desajuste y porcentaje de déficit por zona censal para secuestro y almacenamiento de carbono de la comuna de Quinta Normal.

Comuna	Distrito	Zona	GEOCODIGO	% desajuste Secuestro	% de déficit secuestro	% desajuste Almacenamiento	% de déficit almacenamiento
Quinta Normal	1	1	13126011001	0,4	99,6	49	51
	1	2	13126011002	0,3	99,7	37	63
	1	3	13126011003	0,4	99,6	56	44
	2	1	13126021001	0,5	99,5	61	39
	2	2	13126021002	0,4	99,6	55	45
	2	3	13126021003	0,3	99,7	35	65
	2	4	13126021004	0,5	99,5	63	37
	2	5	13126021005	0,7	99,3	93	7
	2	6	13126021006	7,8	92,2	1001	Sin déficit
	3	1	13126031001	0,1	99,9	16	84
	3	2	13126031002	0,3	99,7	38	62
	3	3	13126031003	0,1	99,9	12	88
	4	1	13126041001	0,5	99,5	67	33
	4	2	13126041002	0,3	99,7	35	65
	5	1	13126051001	0,4	99,6	53	47
	5	2	13126051002	0,5	99,5	60	40
	6	1	13126061001	0,4	99,6	50	50
	6	2	13126061002	0,5	99,5	68	32
	6	3	13126061003	0,3	99,7	44	56
	6	4	13126061004	0,2	99,8	30	70
	7	1	13126071001	0,6	99,4	74	26
	7	2	13126071002	0,4	99,6	47	53
	8	1	13126081001	0,3	99,7	35	65
	8	2	13126081002	0,2	99,8	27	73
	8	3	13126081003	0,5	99,5	65	35
	9	1	13126091001	0,3	99,7	39	61
	9	2	13126091002	0,3	99,7	33	67
	9	3	13126091003	0,3	99,7	41	59
	9	4	13126091004	0,3	99,7	36	64

Anexo 13 Tabla detallada de desajuste y porcentaje de déficit por zona censal para secuestro y almacenamiento de carbono de la comuna de Vitacura.

Comuna	Distrito	Zona	GEOCODIGO	% desajuste Secuestro	% de déficit secuestro	% desajuste Almacenamiento	% de déficit almacenamiento
Vitacura	1	1	13132011001	0,3	99,7	40	60
	1	2	13132011002	0,2	99,8	31	69
	1	3	13132011003	0,3	99,7	43	57
	1	4	13132011004	0,1	99,9	10	90
	1	5	13132011005	0,0	100,0	4	96
	1	6	13132011006	0,0	100,0	3	97
	2	1	13132021001	0,7	99,3	95	5
	2	2	13132021002	0,1	99,9	10	90
	2	3	13132021003	0,3	99,7	42	58
	2	4	13132021004	0,3	99,7	35	65
	2	5	13132021005	0,3	99,7	42	58
	2	6	13132021006	0,1	99,9	12	88
	2	7	13132021007	0,3	99,7	35	65
	3	1	13132031001	3,8	96,2	488	Sin déficit
	3	2	13132031002	3,3	96,7	428	Sin déficit
	3	3	13132031003	4012,0	Sin déficit	4012	Sin déficit
	4	1	13132041001	0,2	99,8	24	76
	4	2	13132041002	0,2	99,8	30	70
	4	3	13132041003	0,4	99,6	48	52
	4	4	13132041004	0,2	99,8	20	80
	4	5	13132041005	0,4	99,6	51	49
	4	6	13132041006	0,3	99,7	36	64
	4	7	13132041007	0,1	99,9	12	88
	4	8	13132041008	0,1	99,9	12	88
	5	1	13132051001	0,3	99,7	42	58
	5	2	13132051002	0,2	99,8	30	70
	5	3	13132051003	0,2	99,8	26	74

Anexo 14 Detalle visual de las zonas censales con superávit de la Comuna de Lo espejo.



Anexo 15 Detalle visual de la zona censal con superávit de la comuna de Quinta Normal



Anexo 16 Detalle visual de las zonas censales con superávit de la comuna de Vitacura N°1.



Anexo 17 Detalle visual de las zonas censales con superávit de la comuna de Vitacura N°2.

