



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Pregrado
Carrera de Geografía

ANÁLISIS DEL EFECTO DEL ARBOLADO URBANO SOBRE LA
ABSORCIÓN DE MATERIAL PARTICULADO RESPIRABLE (MP2,5),
MEDIANTE EL SOFTWARE I – TREE ECO AL INTERIOR DEL
PARQUE ECUADOR EN LA CIUDAD DE CONCEPCIÓN.

Memoria para optar al título profesional de Geógrafo

DANIEL IGNACIO BARRA LÓPEZ

Profesor Guía: Pamela Elisa Smith Guerra

SANTIAGO – CHILE

2019

*Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5),
mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.*

*El error consistió
en creer que la tierra era nuestra
cuando la verdad de las cosas
es que nosotros somos de la tierra.*

Ecopoemas, Nicanor Parra.

A mi madre

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a todas las personas que de alguna u otra manera me ayudaron durante este proceso, y que en los momentos más difíciles siempre estuvieron presentes dándome alguna palabra de apoyo, su energía, cariño y afecto. A mi madre que siempre ha estado conmigo, por tener siempre el consejo y la palabra precisa en los momentos más complicados, gracias a ella y a sus valores de crianza que me ayudaron a ser quien soy hoy en día.

A mi familia, especialmente mis tías, tíos, primas y primos que siempre han estado presentes y me han ayudado, gracias por el apoyo incondicional, sus consejos y sabias palabras que me han brindado durante toda mi vida, me han enseñado mucho, y si no fuera por ustedes no me encontraría en el lugar que estoy.

Agradezco especialmente a la profesora Pamela Smith Guerra, por su orientación, compromiso y preocupación en el desarrollo de esta investigación. También a todas las profesoras y profesores que me brindaron sus enseñanzas y me guiaron durante los años que estuve en la universidad.

A mis amigos, que siempre me han sacado más de una sonrisa en los momentos más difíciles, gracias a ustedes por regalarme su bonita amistad. A mis amigos de Concepción: Daniel, Diego y Carlos gracias por estos diez años juntos, me han enseñado el valor de la camaradería y el compañerismo durante todo este tiempo, no cambien nunca.

A mis amigos de Santiago: Pablo, Cristóbal, Christofer, Javier y Carlos, gracias por su apoyo incondicional, los momentos, los viajes, sus risas y consejos. También agradecer a Mariana, por brindarme su amistad durante este tiempo, y que a pesar de la distancia siempre mantenemos contacto. Agradecer a Pilar, que pese al poco tiempo que nos conocemos, se ha ganado un lugar en mi corazón, regalándome su amistad y cariño, agradezco tu apoyo y gracias por tus correcciones.

Por último, a mis compañeras y compañeros de carrera en especial a todos con los que siempre compartimos más de algún momento juntos durante terrenos, trabajos grupales, partidos de fútbol u otra actividad extracurricular.

Gracias totales.

INDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	3
ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE GRÁFICOS	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	7
1. CAPÍTULO I: PRESENTACIÓN	11
1.1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.3. OBJETIVOS.....	16
1.3.1. Objetivo General.....	16
1.3.2. Objetivos Específicos.....	16
1.4. ÁREA DE ESTUDIO.....	17
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	18
2.1. El Crecimiento Urbano y su impacto en el medio ambiente.....	18
2.1.1. Cambio Climático.....	19
2.1.2. Contaminación Atmosférica.....	20
2.1.3. Norma de calidad primaria para MP2,5.....	22
2.2. Infraestructura Verde, una manera de combatir cambio climático.....	22
2.2.1. Funciones y Tipos.....	23
2.2.2. Desde las funciones a los Servicios Ecosistémicos.....	24
2.3. Arbolado Urbano.....	27
2.3.1. Absorción y captura de gases de efecto invernadero: Proceso y opiniones divergentes.....	27
3. CAPITULO III: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	31
3.1. Etapa metodológica I: Estado de las bases de datos de concentraciones y emisiones de contaminantes atmosféricos del año 2015.....	32
3.1.1. Método de efecto sitio-dependiente (<i>SDEM Model</i>).....	34
3.2. Etapa metodológica II: Identificación de los elementos de la infraestructura verde.....	37
3.3. Etapa metodológica III: Análisis de la estructura arbórea y estimación del monto de captura de los contaminantes atmosféricos al interior del Parque Ecuador.....	39
3.3.1. Datos de Entrada (inputs) necesarios para el modelo.....	40
3.3.2. Análisis de la estructura arbórea.....	42

3.3.3.	Almacenamiento y secuestro de carbono por parte del arbolado urbano....	46
3.3.4.	Modelo de depósito en seco: Eliminación de contaminantes atmosféricos.	48
4.	CAPITULO IV: RESULTADOS.	49
4.1.	Datos de las concentraciones atmosféricas de la ciudad de Concepción.	49
4.1.1.	Aplicación del <i>SDEM model</i> , para el material particulado (MP2,5).....	51
4.1.2.	Análisis del comportamiento del material particulado (MP2,5), en la estación Kingston College, durante el año 2015.	52
4.2.	Principales tipos de infraestructura verde al interior del área urbana de la ciudad de Concepción.	57
4.3.	Análisis de la estructura del arbolado urbano presente en el “Parque Ecuador”. 63	
4.3.1.	Riqueza de especies arbóreas en el Parque.....	63
4.3.2.	Árboles por DAP (Diámetro a la altura del pecho).	66
4.3.3.	Condición del arbolado urbano.	69
4.3.4.	Área foliar de la estructura arbórea por hectárea (Ha).	71
4.4.	Monto de captura y eliminación de contaminantes atmosféricos que posee el arbolado urbano del “Parque Ecuador”.....	71
4.4.1.	Eliminación total anual de MP2,5 por parte del arbolado urbano del parque Ecuador.	72
4.4.2.	Eliminación de contaminantes por especie del parque Ecuador.	74
4.4.3.	Almacenamiento y secuestro de carbono por especie.	80
4.4.4.	Emisiones de COVBs por especies.	86
5.	CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.	88
5.1.	Discusión General.	88
5.1.1.	Sobre el almacenamiento y secuestro de carbono.....	90
5.1.2.	Sobre los COVBs.	91
5.1.3.	Gestión de datos y factores metodológicos.	91
6.	CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES.	94
7.	CAPÍTULO VII BIBLIOGRAFÍA.	95
8.	CAPÍTULO VIII: ANEXOS.	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio, localización del Parque Ecuador.....	17
Figura 2. Emisiones antropógenas anuales totales de GEI (CO ₂ , N ₂ O, CH ₄ , Gases fluorados por gigatonelada de CO ₂ -equivalente al año, GtCO ₂ -eq/año) durante el periodo entre 1970-2010.	19
Figura 3. Funciones de la infraestructura verde.	23
Figura 4. Modelo de cascada adaptado por Potschin & Haines Young (2011).	26
Figura 5. Ilustración esquemática de la estructura de una hoja.	28
Figura 6. Representaciones idealizadas de diferentes tipos de vórtices de viento.	29
Figura 7. Ejemplo de árboles plantados a nivel de calle.	30
Figura 8. Esquema de las etapas metodológicas.	31
Figura 9. Esquema etapa metodológica I.	32
Figura 10. Localización de las estaciones de red de monitoreo SINCA, provincia de Concepción.....	35
Figura 11. Esquema etapa metodológica II.	37
Figura 12. Esquema etapa metodológica III (Parte I).	39
Figura 13. Esquema etapa metodológica III (Parte II).	40
Figura 14. Esquema de los inputs y outputs del software i-Tree Eco.	41
Figura 15. Ejemplos de toma de muestras del DAP, según diferentes tipos de árboles. .	44
Figura 16. Ejemplos de cómo medir la altura total, la altura a la base de copa y el porcentaje de follaje faltante.	45
Figura 17. Tasa de mortalidad anual del arbolado urbano.	47
Figura 18. Distribución de los elementos de la infraestructura verde localizadas al interior del centro urbano de la ciudad de Concepción.	59
Figura 19. Elementos de la infraestructura verde de la ciudad de Concepción, vista campus Universidad de Concepción.....	61
Figura 20. Elementos de la infraestructura verde de la ciudad de Concepción, vista Parque Ecuador.....	61
Figura 21. Elementos de la infraestructura verde de la ciudad de Concepción, vista Laguna Redonda.	62
Figura 22. Elementos de la infraestructura verde de la ciudad de Concepción, vista Parque y laguna Lo Galindo.....	62
Figura 23. Distribución del arbolado urbano al interior del parque Ecuador, según su origen (2018).	65
Figura 24. Distribución de las especies inventariadas al interior del parque Ecuador, según su DAP (2018).....	68
Figura 25. Distribución de las especies inventariadas al interior del parque Ecuador, según la condición de copa que presentaban en el momento (2018).....	70
Figura 26. Especies que en promedio, eliminan una mayor cantidad de MP2,5, al interior del parque. a) <i>Cupressus macrocarpa</i> , b) <i>Thuja occidentalis</i> , c) <i>Cedrus libani</i> , d) <i>Araucaria heterophylla</i> , e) <i>Populus deltoides</i> , f) <i>Eucalyptus globulus</i> , g) <i>Erythrina falcata</i> , h) <i>Araucaria araucana</i>	77

Figura 27. Especies que en total, eliminan una mayor cantidad de MP2,5, al interior del parque. a) *Platanus orientalis*, b) *Liquidambar styraciflua*, c) *Robinia pseudoacacia*, d) *Tilia americana*..... 79

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Valores promedios de contaminación por MP2,5 observados durante todas las semanas de un año, para cada una de las estaciones de monitoreo.	50
Gráfico 2. Valores promedios observados durante los días de la semana por un año, para cada una de las estaciones de monitoreo.	50
Gráfico 3. Valores promedios observados durante todas las horas por un año, para cada una de las estaciones de monitoreo.....	51
Gráfico 4. Niveles promedio de concentración diaria de material particulado 2,5 (MP2,5), estación Kingston College, provincia de Concepción, año 2015.	54
Gráfico 5. Niveles promedio de concentración horaria de material particulado 2,5 (MP2,5), estación Kingston College, provincia de Concepción, año 2015.	55
Gráfico 6. Niveles promedio de concentración diaria de material particulado 2,5 (MP2,5) y precipitación diaria acumulada (mm), provincia de Concepción, año 2015.	56
Gráfico 7. Porcentaje de árboles totales, según especies al interior del parque Ecuador, año 2018.....	63
Gráfico 8. Porcentaje de especies según su lugar de origen al interior del parque Ecuador, año 2018.	64
Gráfico 9. Número de especies totales según su origen, año 2018.....	64
Gráfico 10. Porcentaje de distribución de los árboles al interior del parque según DAP (en cm).	66
Gráfico 11. Porcentaje de distribución del DAP de las especies con mayor presencia al interior del parque: <i>Tilia americana</i> (Tilo), <i>Platanus orientalis</i> (Plátano oriental), <i>Robinia pseudoacacia</i> (Falsa acacia) y <i>Liquidambar styraciflua</i> (Liquidámbar).....	67
Gráfico 12. Porcentaje de cobertura del área foliar por especie.....	71
Gráfico 13. Variación mensual de la eliminación (Kg) de material particulado 2,5 (MP2,5), por parte de la estructura arbórea del parque Ecuador, año 2015.	73
Gráfico 14. Especies que en promedio anual eliminan la mayor cantidad de MP2,5.....	74
Gráfico 15. Especies que en total anual eliminan la mayor parte de MP2,5).....	78
Gráfico 16. Porcentaje de almacenamiento de carbono por especie al interior del parque Ecuador.	81
Gráfico 17. Promedio anual de almacenamiento de Carbono por árbol individual por DAP (Kg/año).....	82
Gráfico 18. Porcentaje de secuestro de carbono por especie al interior del parque Ecuador.	84
Gráfico 19. Promedio anual de Secuestro de Carbono por árbol individual por DAP (Kg/año).....	85

Gráfico 20. Especies que más contribuyen a la emisión de COVBs anual dentro del parque Ecuador.	86
Gráfico 21. Especies que más contribuyen a la emisión de monoterpenos anuales dentro del parque Ecuador.	87
Gráfico 22. Especies que más contribuyen a la emisión de isoprenos anuales dentro del parque Ecuador.	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de fuentes emisoras.....	21
Tabla 2. Niveles de emergencia ambiental e Índice de calidad de aire para material particulado 2,5 (ICAP2,5), según concentraciones diarias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	22
Tabla 3. Clasificación de servicios ecosistémicos.....	24
Tabla 4. Porcentaje de datos perdidos para cada uno de los contaminantes en la estación Kingston College, provincia de Concepción, año 2015.	33
Tabla 5. Ejemplo de matriz con datos de material particulado (MP2,5) por cada hora, en la estación Kingston College, provincia de Concepción.	33
Tabla 6. Matriz de datos perdidos de MP2,5, según la estación monitoreo a la que pertenecen, provincia de Concepción, año 2015.	34
Tabla 7. Elementos y tipos de infraestructura verde, según su escala.....	38
Tabla 8. Variables necesarias para ejecutar el software i-Tree Eco.....	41
Tabla 9. Clasificación de los árboles según los lados por los que recibe luz solar.....	45
Tabla 10. Tasa anual de crecimiento arbóreo.....	46
Tabla 11. Promedio anual de las concentraciones de MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), en la estación Kingston College, provincia de Concepción, año 2015.	53
Tabla 12. Principales elementos de la infraestructura verde de carácter público, al interior de la ciudad de Concepción, según su tipología y tamaño.....	57
Tabla 13. Principales elementos de la infraestructura verde en la ciudad de Concepción, según su superficie.....	60
Tabla 14. Valor y eliminación mensual material particulado 2,5 (MP2,5), por parte de la estructura arbórea del parque Ecuador, año 2015.	72
Tabla 15. Almacenamiento carbono equivalente a dióxido de carbono (CO_2 Eq), según especie.	80
Tabla 16. Secuestro de carbono anual equivalente a dióxido de carbono (CO_2 Eq), según especie.	83

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ficha de terreno: Inventario de Árboles urbanos.....	103
Anexo 2. Valores específicos por semana, día y hora, a partir del modelo de imputación de datos SDEM.....	104
Anexo 3. Porcentaje total de las especies al interior del parque Ecuador, según el tamaño de su DAP (Diámetro a la altura del pecho) al momento de ser inventariadas.....	107

Anexo 4. Listado total de las especies al interior del parque Ecuador, según su condición al momento de ser inventariadas.	110
Anexo 5. Listado total de las especies al interior del parque Ecuador, según la eliminación promedio de MP2,5.	112
Anexo 6. Listado total de las especies al interior del parque Ecuador, según la eliminación total que realizan de MP2,5.	114
Anexo 7. Listado total de las especies al interior del parque Ecuador, según su almacenamiento de carbono y su equivalente en CO ₂	116
Anexo 8. Listado total de las especies al interior del parque Ecuador, según su secuestro de carbono y su equivalente en CO ₂	118
Anexo 9. Niveles de flujo acumulado de MP2,5 por metro cuadrado de cobertura arbórea por día. Los valores crecientes indican una eliminación por día, mientras que los decrecientes, períodos de resuspensión neta de partículas contaminantes. Los períodos de precipitación podrían eliminar partículas de las hojas y transportarlas al suelo. Este fenómeno fue calculado como una extracción neta de los árboles urbanos (Nowak et al., 2013).	120
Anexo 10. Niveles de flujo acumulado de MP2,5 por metro cuadrado de cobertura arbórea por día, en relación a las concentraciones de MP2,5. Los valores crecientes indican una eliminación por día, mientras que los decrecientes, períodos de resuspensión neta de partículas contaminantes.	121
Anexo 11. Programas de plantación de árboles urbanos de la ciudad de Concepción entre años 2014-2018.	122
Anexo 12. Trabajo en terreno durante el inventario de árboles urbanos.	128
Anexo 13. Trabajo en terreno durante el inventario de árboles urbanos.	129
Anexo 14. Imágenes del software i-Tree Eco.	130
Anexo 15. Imágenes del software i-Tree Eco.	131

RESUMEN

El deterioro en la calidad del aire es uno de los principales problemas ambientales que afectan a las ciudades alrededor del mundo, siendo la polución por material particulado 2,5 (MP2,5) la más peligrosa y mortal para el ser humano. Diversas también han sido las soluciones propuestas para ayudar a mitigar los efectos negativos de la contaminación atmosférica. De estas, una de las que ha tomado mayor fuerza durante el último tiempo corresponde a la utilización de los árboles urbanos para disminuir la contaminación al interior de las ciudades. Mediante el software I-Tree Eco, desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), se analizaron los efectos que posee el arbolado urbano sobre la interceptación y posterior absorción de MP2,5, al interior de la ciudad de Concepción, Región del Biobío, Chile. A partir de datos de calidad de aire, precipitación y la estructura de los árboles urbanos, el software permite estimar la cantidad de contaminación del aire removida durante un año por los árboles. Para lograr el propósito de la investigación, se utilizaron datos desde el Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA), mientras que el relleno de datos faltantes de esta base de datos, se realizó por medio del método de imputación de datos individual (*SDEM Model*). Por otra parte, la base de datos de precipitación se obtuvo desde la Red Agroclimática Nacional (AGROMET). Luego, mediante la fotointerpretación de imágenes satelitales a través de Google Earth, más las capas de levantamiento de espacios verdes, extraídas desde la red CEDEUS y el trabajo en terreno, se identificaron los elementos de la infraestructura verde de mayor relevancia, localizados al interior de la ciudad de Concepción. Junto con ello, se identificó al Parque Ecuador como uno de los espacios más importantes, debido a su tamaño y cercanía con el centro de la ciudad, asimismo, se realizó un inventario completo de los árboles urbanos presentes en su interior, identificando su estructura. Estos datos fueron procesados por el software, obteniendo la eliminación total de la contaminación por MP2,5, su capacidad de almacenamiento y secuestro de carbono, y la emisión total de compuestos orgánicos volátiles biogénicos (COVBs) que poseen los árboles urbanos del parque. Los resultados demuestran que el parque al año eliminó un total de 4,52 Kg de MP2,5, mientras que la tasa de eliminación fue de 0,13 gm⁻² por cobertura arbórea; el almacenamiento de carbono fue de 350 toneladas de carbono y su secuestro bruto fue de 3,24 toneladas métricas por año, mientras que las especies del parque anualmente emiten un total de 50,48 Kg de COVBs.

Palabras clave: Calidad del aire; Arbolado urbano; Infraestructura verde; Calidad ambiental.

La realización de esta memoria se encuentra en el marco del proyecto Fondecyt de Iniciación N°1180990 "**Construcción social del clima urbano: hacia la calidad y justicia climática en ciudades chilenas**".

ABSTRACT

Deterioration of air quality is one of the main environmental problems affecting cities around the world, with particulate matter pollution 2.5 (PM2.5) being the most dangerous and deadly for humans. The proposed solutions to help mitigate the negative effects of air pollution have been diverse; of these, one that has taken greater strength on recent times has been the use of urban trees to reduce pollution inside the cities. This way, through the software I-Tree Eco, developed by the U.S. Department of Agriculture (USDA), the effects of urban trees on the interception and subsequent absorption of PM2.5, inside of Concepción city, Biobío region, Chile were analyzed. Using data of air quality, precipitation and the structure of urban trees, the software allows to estimate the amount of air pollution removed by trees over a year. To achieve the objective of this research, data from the National Air Quality Information System (SINCA) was used, while the filling of missing data was done through the individual data imputation method (SDEM Model). Complete rainfall data was obtained from the National Agroclimatic Network (AGROMET). Then, through photointerpretation of satellite images from Google Earth, plus the layers of green space surveying, extracted from the CEDEUS network and workfield, the most relevant elements of the green infrastructure inside the city of Concepcion were identified. Ecuador Park was identified as one of the most relevant spaces on this city, and a complete inventory of the urban trees that are present inside of it was made, identifying its structure. The data was then processed by the software, obtaining the total elimination of the contamination by PM2.5, their storage capacity and carbon sequestration, and their emission of biogenic volatile organic compounds (BVOCs) that the urban trees of the park have. The results show that the park eliminated a total of 4.52 Kg of MP2.5 per year, while the elimination rate was 0.13 gm⁻² for tree coverage; carbon storage was 350 tons of carbon and its gross sequestration was 3.24 metric tons per year, while the park species annually emit a total of 50.48 Kg of BVOCs.

Key words: Air quality; Urban forest; Green infrastructure; Environmental quality.

1. CAPÍTULO I: PRESENTACIÓN.

1.1. INTRODUCCIÓN.

El deterioro en la calidad del aire es uno de los principales problemas ambientales que afectan a las ciudades alrededor del mundo. Los gases de efecto invernadero (GEI) y la concentración de aerosoles, son solo algunos de los elementos que han alterado el equilibrio energético del sistema climático, siendo los principales causantes del cambio climático (IPCC, 2007).

Dentro de la concentración de contaminantes atmosféricos, la por material particulado (MP) es una de las más peligrosas para la salud humana, se estima que el MP es el responsable de aproximadamente 3.2 millones de muertes prematuras al año, tanto en áreas urbanas como rurales, lo que equivale a más del 5% de todas las muertes prematuras globales (Lim et al., 2012).

En su mayoría, las enfermedades asociadas a altas exposiciones de MP, principalmente en su fracción más fina (MP2,5), se relacionan con problemas cardiovasculares, pulmonares y cerebrovasculares. Se ha demostrado que los efectos del MP2,5 en el sistema cardiovascular son sólidos, por ejemplo, poblaciones sometidas a una exposición prolongada a este contaminante, tienen una tasa significativamente mayor de accidentes cardiovasculares con una alta tasa de mortalidad, por otro lado, exposiciones agudas de MP2,5 durante un corto plazo, aumentan levemente la tasa de eventos cardiovasculares (Pope et al., 2002; Pope & Dockery, 2006). Además, el material particulado es el causante de una variedad de otros problemas de salud no fatales que afectan a decenas de millones de personas anualmente, como tos, asma, bronquitis, latidos cardíacos irregulares y ataques cardíacos no fatales (Pope et al., 2002; Nowak et al., 2014; Nature Conservancy, 2016).

Mientras en nuestro país se estima que alrededor de 10 millones de personas se encuentran expuestas a una concentración anual promedio de MP2,5 superior a 20 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), siendo las ciudades de la zona centro y sur las que presentan mayores concentraciones, así mismo alrededor de 4000 personas mueren prematuramente al año, debido a enfermedades asociadas a la exposición latente de MP2,5 (MMA, 2011).

La ciudad de Concepción ($36^\circ 49'S$, $73^\circ 01'W$), localizada en la zona centro-sur de Chile, no se encuentra ajena al fenómeno de la contaminación, siendo el año 2015 declarada como zona saturada por MP 2,5 (D.S. N°15, 2015).

En la búsqueda de alternativas que ayuden a mitigar los efectos de la contaminación atmosférica al interior de las ciudades, los árboles, bosques urbanos, cinturones y corredores verdes son una de las tantas opciones que ofrece la infraestructura verde (IV) para mejorar la calidad del aire de las comunidades, favoreciendo el flujo de circulación del aire, la captura, retención y absorción de contaminantes atmosféricos mediante las hojas (Nowak, 2006; Erell et al., 2011; Escobedo, 2011). Además, son capaces de ofrecer otros

servicios ecosistémicos como aliviar los efectos de la isla de calor urbano, regular la filtración del agua en la superficie y la erosión, y al mismo tiempo ofrecer valores estéticos, de recreación y ocio para las comunidades locales (WWF, 2016).

Es así que la ciudad de Concepción cuenta con una serie de elementos de IV que pueden aportar a disminuir los efectos de la contaminación en su interior; parques, bosques, áreas verdes, son algunos de los componentes que configuran el actual sistema urbano de la ciudad. De ellos, el parque urbano Ecuador es trascendental en el desarrollo ecológico y urbano de Concepción, debido a su extensión (8,59 ha), una alta arborización del espacio público, su cercanía y acceso al centro urbano, que hacen que sea el principal parque urbano de la ciudad (Municipalidad de Concepción, s/f).

De esta forma, mediante la utilización del software i-Tree Eco elaborado por el departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA en inglés), y mediante un catastro de árboles urbanos, fue posible conocer el monto de eliminación de MP2,5, almacenamiento y secuestro de carbono, y la emisión de compuestos orgánicos volátiles biogénicos (COVBs) de cada especie del parque, con el fin de contribuir a mejorar las estrategias de descontaminación de la zona urbana de la ciudad de Concepción.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El Área Metropolitana de Concepción (AMC) se ha caracterizado por una serie de cambios morfológicos en su estructura urbana, principalmente debido al crecimiento urbano de las comunas que lo componen, por un lado mientras que, Talcahuano y Coronel se han consolidado con una marcada vocación industrial, comunas como San Pedro y Chiguayante, lo han hecho por un creciente desarrollo residencial, dejando a la ciudad de Concepción como el gran centro urbano administrativo del área metropolitana y la región, y en donde los servicios profesionales, educacionales y financieros se han desarrollado en una mayor extensión (Baeriswyl, 2008).

Este crecimiento de los centros urbanos junto con procesos de industrialización, ha traído consigo una serie de impactos negativos en el medioambiente, como la fragmentación y pérdida de ecosistemas nativos, tales como humedales, bosques nativos, entre otros (Pauchard et al., 2005; Smith & Romero, 2009), y la contaminación atmosférica debido a la intensa actividad industrial y a la utilización de biomasa para calefacción durante invierno, contribuyendo así al aumento en la emisión de gases de efecto invernadero (Rioseco et al., 2015; Saavedra, 2015).

Considerando esto, existe una alta presencia de gases nocivos para la salud en la zona, como el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado de 10 y 2,5 micrómetros (MP10 & MP2,5). Entre dichos gases, los más peligrosos son los MP y los derivados del SO₂, principalmente por ser considerados como factores de riesgo de mortalidad por accidentes cerebrovasculares, infartos agudos al miocardio, cáncer cardiopulmonar, entre otras (Nowak et al., 2014). Estudios demuestran, por ejemplo, que existe una alta asociación entre la contaminación ambiental por partículas finas y los elevados riesgos de mortalidad, tanto por cáncer cardiopulmonar, como de pulmón. Los resultados de un estudio demuestran que, por cada elevación de 10 µg/m³ en las concentraciones ambientales promedio de MP2,5, se observó un aumento aproximado de un 4%, 6% y 8% de riesgo de mortalidad por cáncer en todas sus causas, cáncer cardiopulmonar y cáncer de pulmón respectivamente (Pope et al., 2002).

Es así como en la región del Biobío en promedio se producen alrededor de 600 muertes al año, a raíz de la contaminación ambiental tanto dentro como fuera de los hogares, siendo los accidentes cerebro vasculares, la primera causa de muerte (Ortiz, 2017).

De esta manera, el 25 de julio del año 2006, mediante decreto supremo de ley, las comunas de Lota, Coronel, San Pedro de la Paz, Hualqui, Chiguayante, Concepción, Penco, Tomé, Hualpén y Talcahuano, todas pertenecientes al AMC, fueron declaradas como zona latente por MP10 (D.S. N°41, 2006), poniendo en marcha el día 6 de marzo del año 2007, el proceso de elaboración del Plan de Prevención Atmosférica para el MP10 (R.E. N°476, 2007). Así mismo, el 11 de marzo del año 2015 la misma zona comprendida por el AMC, fue declarada como zona saturada, esta vez por MP2,5 (D.S. N°15, 2015), dando pie a que

el 19 de agosto del 2015 se dio inicio al proceso de elaboración del Plan de Descontaminación Atmosférica para MP2,5 (R.E. N°822, 2015).

En consecuencia, el 26 de agosto del 2016, el Ministerio de Medio Ambiente mediante resolución exenta N°870, ordenó la integración de ambos planes, tanto el de Descontaminación Atmosférica por MP2,5, como el Plan de Prevención Atmosférica por MP10, unidos en un solo procedimiento, creando así el proyecto de elaboración del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA), y dejando sin efecto la R.E. N°1612 de diciembre del 2011, que aprobó el anteproyecto de Plan de Prevención Atmosférico por MP10, como concentración diaria, para la comunas de Concepción metropolitano.

Dentro de su objetivo principal, el anteproyecto del PPDA está centrado, principalmente, en la reducción de las emisiones de gases provenientes de la calefacción domiciliaria y de las fuentes estacionarias, que corresponden al 59% y 34% respectivamente del total de las emisiones de MP2,5 y así mejorar la calidad del aire dentro de la zona del AMC. Para ello, las medidas se centran mayoritariamente en restricciones en el uso de la leña, mejoramiento en la calidad de los artefactos de calefacción, aislación térmica de las viviendas y control en las emisiones industriales de MP, SO₂, NO_x y CO, además de regulaciones en torno a quemas agrícolas y emisiones del transporte urbano. Por otra parte, el plan propone promover programas de difusión y educación ambiental en todas las comunas involucradas, incluso como complemento, se busca generar un programa de arborización urbana, que considere la plantación y mantención de un mínimo de 20.000 ejemplares durante un periodo de 10 años desde la puesta en marcha del plan, y la elaboración de un programa que promueva el aumento de manera paulatina de la superficie de áreas verdes de las comunas incluidas en el plan, y como consecuencia aumentar el índice de áreas verdes por habitante (m²/hab), pasando de un 4,1 m² a 6,0 m² de áreas verdes por habitante (R.E. N°242, 2017).

Es en este contexto y en la búsqueda de alternativas que ayuden a mitigar las concentraciones atmosféricas de gases contaminantes que la infraestructura verde (IV) emerge como una opción complementaria para el mejoramiento de la calidad del aire en las ciudades. La IV es entendida como, una red de espacios verdes estratégicamente interconectados y planificados, que se encuentran localizados, tanto en zonas rurales como urbanas y que pueden ser tanto áreas naturales como semi-naturales, en las cuales se promueve mejorar la calidad de vida y la biodiversidad, mediante la promoción de bienes y servicios ecosistémicos (SE), produciendo redes de espacios multifuncionales planificados integralmente y con un enfoque en el desarrollo sostenible, que ayudan a generar zonas adaptables y resilientes, funcionando así como una protección contra los efectos del cambio climático (*Landscape Institute*, 2009; EC, 2010; 2014, EEA, 2011).

Dentro de los beneficios y servicios que ofrece la infraestructura verde se encuentran: la reducción de escorrentías durante periodos de fuertes precipitaciones, aumento en la captura de carbono, mejoramiento en la calidad del aire, mitigación del efecto de isla de

calor urbano, creación de hábitats de vida silvestre y la generación de espacios culturales y recreativos de carácter ecológico y sostenible (EEA, 2015).

En esta línea, el AMC y en específico la ciudad de Concepción dentro de su trama urbana, posee una serie de espacios, principalmente de carácter natural, que aportan al desarrollo de la ciudad y al mejoramiento en la calidad de vida de sus habitantes. Cerro Caracol, Parque Laguna Redonda, Parque Ecuador, los campus de las universidades de Concepción y Biobío, Laguna Tres Pascualas, son algunos de los elementos verdes que se configuran al interior de la ciudad.

En ella, los parques urbanos cumplen un rol fundamental a nivel local, ya que ofrecen una serie de funciones y servicios ecosistémicos que ayudan a mejorar la calidad ambiental de las zonas próximas en las que se encuentran ubicados. El mejoramiento en la calidad del aire, regulación de las temperaturas, permeabilidad del suelo frente a episodios extremos de lluvias, recreación y ocio, son algunos de los beneficios que ofrecen los parques urbanos.

Entendiendo el actual escenario que presenta la comuna de Concepción, es que se propone evaluar el efecto que tiene el arbolado urbano del Parque Ecuador, sobre las concentraciones atmosféricas de material particulado (MP2,5) al interior de la ciudad. La evaluación se realizará mediante la utilización del software i-Tree Eco, proporcionado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (*USDA* en inglés), el cual, mediante datos meteorológicos y de contaminación local, más la recopilación de datos en terreno de la estructura arbórea del parque, es posible cuantificar durante un año, la capacidad de captura que posee el arbolado urbano sobre la contaminación atmosférica.

Con este análisis, será posible conocer el monto de captura que posee la estructura arbórea del parque, qué tipos de especies tienen un mejor desempeño frente a la captura y posterior eliminación de contaminantes atmosféricos, además que los datos de estructura arbórea permitirán conocer la cantidad de almacenamiento de carbono que poseen los árboles urbanos y la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COVBs) que aportan las especies del parque.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. Objetivo General.

Evaluar el efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable de 2,5 micrómetros (MP 2.5), como marco para disminuir su concentración y mejorar la calidad del aire al interior de la ciudad de Concepción.

1.3.2. Objetivos Específicos.

1. Analizar los datos de concentraciones atmosféricas del año 2015, que posee la ciudad de Concepción
2. Identificar los principales elementos de infraestructura verde al interior del área urbana de la ciudad de Concepción.
3. Analizar la estructura del arbolado urbano presente en el “Parque Ecuador”, ubicado en la ciudad de Concepción.
4. Modelar el monto de captura de contaminantes atmosféricos que posee el arbolado urbano del “Parque Ecuador” al interior de la ciudad.

1.4. ÁREA DE ESTUDIO.

La ciudad de Concepción ($36^{\circ} 49'S$, $73^{\circ} 01'W$), ubicada en la región del Biobío, con una superficie de 221 Km² y una población de 223.574 habitantes (INE, 2017), es una de las principales urbes del país.

En su interior, la ciudad cuenta con una serie de espacios, tanto urbanos como naturales, que aportan a su desarrollo y al mejoramiento en la calidad de vida de sus habitantes. Cerro Caracol, Parque Laguna Redonda, Parque Ecuador, los campus de las universidades de Concepción y Biobío, Laguna Tres Pascualas, son algunos de los espacios verdes que se configuran al interior de la ciudad.

De ellos, el parque Ecuador (Figura 1), ubicado a los pies del Cerro Caracol y con una superficie de 8,59 ha, por su cercanía al centro de la ciudad, es uno de los principales parques urbanos de la ciudad, anteriormente llamado parque Alameda y renombrado en 1911 como actualmente se le conoce, en un acto de gratitud con la nación ecuatoriana, luego de la ayuda proporcionada durante el terremoto de Valparaíso el año 1906, que causó graves daños en la ciudad de Concepción (Diario Concepción, 2016).

En su interior, el parque cuenta con áreas verdes, juegos infantiles, áreas de monumentos y deportes para la recreación de sus usuarios, además de ser el primer parque inclusivo del país, al considerar la accesibilidad universal en su diseño y ofrecer a todas las personas los servicios disponibles al interior del parque, independiente de sus capacidades (Municipalidad de Concepción, s/f).

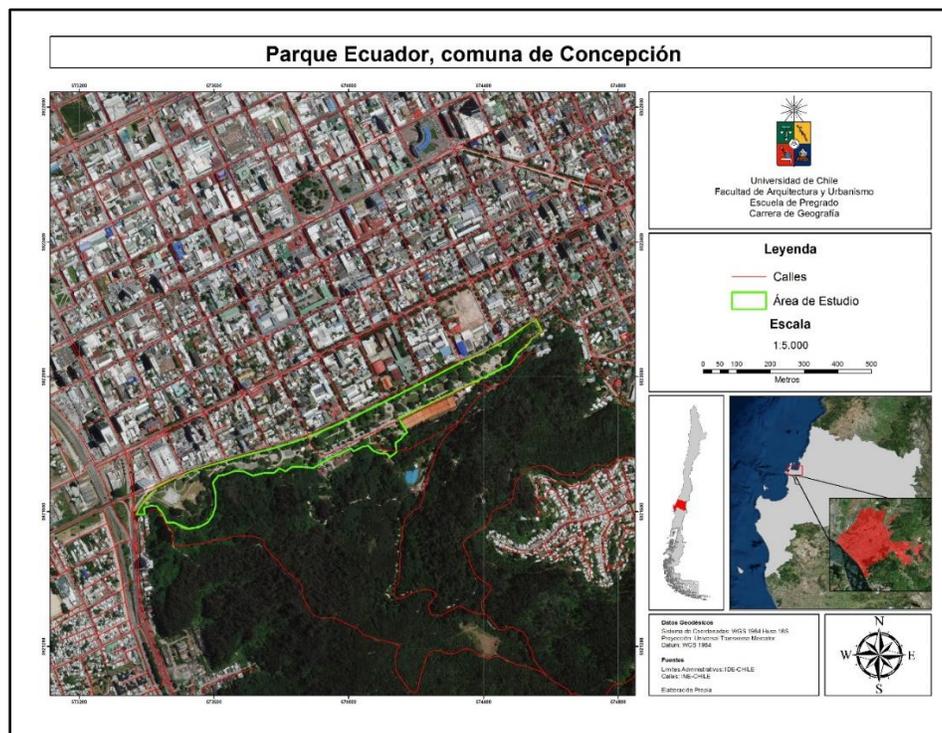


Figura 1. Área de estudio, localización del Parque Ecuador. Fuente: Elaboración propia.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.

2.1. El Crecimiento Urbano y su impacto en el medio ambiente.

Durante su desarrollo, las ciudades han experimentado una serie de cambios y transformaciones que se han visto acrecentadas durante los últimos 50 años (Alberto, 2009). Estos cambios se han visto justificados principalmente por procesos de globalización, tanto económica como social y cultural (Pérez & Salinas, 2007), que han llevado a las ciudades a un crecimiento acelerado y descontrolado hacia zonas periféricas y no urbanizadas, cambiando su estructura y forma, en este sentido las ciudades latinoamericanas no han estado exentas de este proceso (Ciccolella, 2012).

Debido a esto, no es una sorpresa que actualmente más del 50% de la población se encuentre concentrada en zonas urbanas y que, además, se estime que para el año 2050 la mayoría, -un 70%- de la población, vivirá en ciudades (OMS, 2010).

Este proceso de expansión descontrolada de las ciudades ha generado una serie de problemas sociales, políticos, económicos y ambientales, que han impactado fuertemente en sus habitantes. Escenarios de violencia, cambio climático, desempleo, entre otros, son algunos de los desafíos más importantes que tienen que enfrentar las grandes metrópolis del mundo (Nature Conservancy, 2016).

Chile no ha sido la excepción, tal y como afirma Vásquez et al. (2008), el crecimiento urbano chileno se ha caracterizado por un proceso de expansión física descontrolada, que ha tenido profundos efectos ambientales y sobre la sustentabilidad de las mismas ciudades. Estos procesos han afectado severamente los sistemas de soporte de vida de las personas y los servicios ambientales ofertados por los territorios naturales. Dicho de otra manera, los procesos de urbanización, entre otras cosas, están impulsando la dinámica de la contaminación y la alteración de la estructura y función de los ecosistemas naturales, y, junto con ello, contribuyendo a aumentar los efectos del cambio climático (Escobedo et al., 2011).

Siguiendo en esta línea, Romero et al. (2010) hace mención de que estos procesos de crecimiento espacial no controlado de las superficies urbanas y el desaparecimiento de las áreas verdes y cultivadas que se ubicaban previamente en los terrenos que han sido reemplazados, han contribuido severamente a algunas de las causas y consecuencias del cambio climático que actualmente se viven en las ciudades.

2.1.1. Cambio Climático.

El cambio climático se define como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables” (CMNUCC, 1992). En ese sentido, la influencia del ser humano en el sistema climático es clara y las emisiones antropogénicas de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de las últimas décadas han sido las más altas de la historia, como se observa en la figura 2, donde se estima que desde el año 1970 muchos de los cambios observados en el sistema climático, asociados al calentamiento de la atmosfera y el océano, además de la disminución de los volúmenes de hielo y nieve, y el aumento en el nivel del mar, tienen que ver con la influencia humana mediante la emisión de este tipo de gases y el desarrollo de la era industrial (IPCC, 2014).

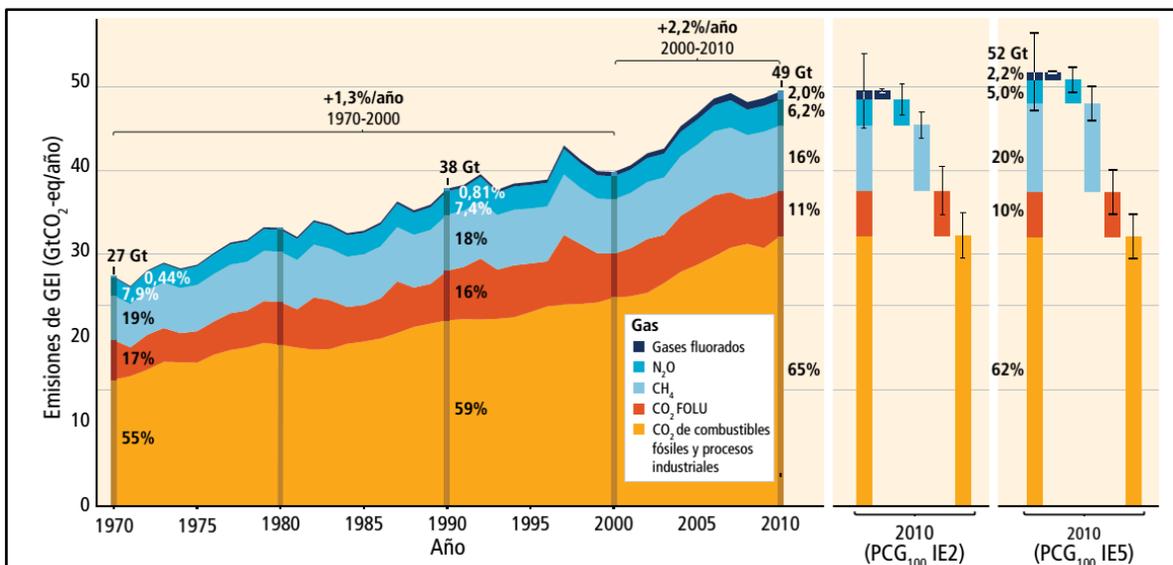


Figura 2. Emisiones antropógenas anuales totales de GEI (CO₂, N₂O, CH₄, Gases fluorados por gigatonelada de CO₂-equivalente al año, GtCO₂-eq/año) durante el periodo entre 1970-2010. Fuente: IPCC, 2014.

Las concentraciones en la atmósfera de los GEI y los aerosoles alteran el balance de energía del sistema climático, afectando la absorción, la dispersión y la emisión de radiación en la atmósfera y en la superficie de la Tierra (IPCC, 2007). Para cuantificar este balance energético, que es producido por una alteración de origen externo, se utiliza el concepto de forzamiento radiativo, el cual se mide en vatios por metro cuadrado ($W m^{-2}$) y se define como “la variación del flujo descendente neto (onda corta más onda larga) en la tropopausa, tras permitir que las temperaturas estratosféricas se reajusten hasta alcanzar el equilibrio radiativo, mientras se mantienen fijas otras variables de estado, como las temperaturas troposféricas, el vapor de agua y la cubierta de nubes, en este sentido cuando el forzamiento es positivo se produce un calentamiento en la superficie, mientras que cuando es negativo ésta se enfría (IPCC, 2013).

Estos gases, y en particular el aumento en la concentración atmosférica de CO₂, han sido la principal causa de que el forzamiento radiativo total de la superficie terrestre sea positivo, llevando con ello a un calentamiento general de la tierra (IPCC, 2013). Estos gases se encuentran presentes en forma natural en el planeta y permiten que su temperatura sea lo suficientemente cálida para el desarrollo de la vida, sin embargo, la actividad humana ha aumentado sus medios de producción de manera creciente, razón por la cual el proceso de calentamiento se ha acelerado (MMA, 2011).

De esta manera algunas de las consecuencias del cambio climático en el planeta son: el incremento de las temperaturas a nivel global, derretimiento de los campos de hielo - que provoca el aumento en el nivel del mar -, aumento de eventos extremos de temperatura, intensificando la ocurrencia de olas de calor, aumento de precipitaciones y ausencia de ellas en diversos lugares, entre otras (MMA, 2011).

Tanto los sistemas naturales como humanos se han visto afectados por los efectos del cambio climático, de ellos, las ciudades son las áreas en donde se experimenta un mayor grado de vulnerabilidad, debido a que la mayor parte de la población del planeta se encuentra asentada en ellas. Olas de calor, sequías, inundaciones, ciclones e incendios forestales son fenómenos que han ocurrido con una mayor frecuencia alrededor del mundo durante los últimos años, y son prueba latente de los cambios en el clima global (IPCC, 2014).

2.1.2. Contaminación Atmosférica.

Uno de los principales problemas ambientales de las ciudades y a su vez, una de las causas del cambio climático, es la emisión y sobreproducción de GEI. Es así que la contaminación se genera principalmente por la acción humana y que, con el aumento del tamaño de los centros urbanos, la población, y las actividades industriales -en gran medida como resultado del aumento de la generación de energía y el uso del transporte basado en combustibles fósiles- se han producido grandes cantidades de contaminantes que han afectado a la salud humana (Szkop, 2016).

Dentro de los principales contaminantes que se encuentran en los GEI, el dióxido de carbono es el gas predominante. El aumento del CO₂ atmosférico se debe principalmente al uso de combustibles fósiles (alrededor del 80-85%) y a la deforestación en todo el mundo, principalmente de los bosques templados y tropicales (Schneider, 1989; Hamburgo et al., 1997 en Nowak & Crane 2002). Entre otros gases que aportan a la contaminación se encuentran el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), el ozono troposférico (O₃), los gases fluorados y los COVBs. Sin embargo, es el material particulado (MP) el contaminante del aire con la mayor carga sobre la salud, responsable de alrededor de 3,2 millones de muertes prematuras anuales, tanto en zonas rurales como urbanas (Nature Conservancy, 2016). Dentro de los efectos nocivos para la salud de las personas que tiene el material particulado se encuentran; reducción de la función pulmonar, aumento de la susceptibilidad de contraer infecciones respiratorias, muertes prematuras, cáncer, enfermedades cardiovasculares, entre otras. (MMA, 2011).

Las principales fuentes de emisión de material particulado se encuentran en la quema residencial de biomasa o combustibles fósiles para calentar o cocinar y en la quema de combustibles fósiles en fuentes estacionarias más grandes, como fábricas y centrales eléctricas. Por otro lado, el sector del transporte es también una fuente importante de generación de MP, al igual que el sector agrícola, que puede liberar grandes cantidades cuando se queman sus residuos (Nature Conservancy, 2016).

El material particulado se divide en dos de acuerdo al tamaño de sus partículas, para las partículas más grandes es el MP10 (10 micrones de diámetro), en el cual el polvo de las carreteras (resultado del desgaste de las carreteras, los neumáticos y los frenos) y las operaciones de construcción son las principales fuentes de emisiones, al igual que la sal marina de las zonas costeras. Mientras que, para la fracción más pequeña, es el MP2,5 (2,5 micrones de diámetro), en el cual las emisiones directas (primarias) de la quema de biomasa o combustibles fósiles son la fuente principal de emisión. Por otro lado, existen las emisiones secundarias, que ocurren cuando una molécula se transforma a través de procesos físicos o químicos. Por ejemplo, los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los óxidos de azufre (SO_x) pueden reaccionar para formar partículas de MP2,5 (Nature Conservancy, 2016).

En el caso de Chile las fuentes emisoras se encuentran clasificadas de acuerdo a los criterios presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de fuentes emisoras.

Tipo	Contaminantes	Subtipo	Ejemplo de Actividades
Fuentes fijas	MP ₁₀ , MP _{2,5} , NO _x y SO _x	Areales	Calefacción residencial, quemas agrícolas e incendios forestales
		Puntuales (Industria)	Generación eléctrica, procesos industriales como combustión en calderas generadoras de vapor y hornos industriales, y otros procesos industriales como la fundición de cobre
Fuentes fugitivas	MP ₁₀ , MP _{2,5}	Polvo suspendido	Construcción de edificios Calles sin pavimentar Erosión eólica
Fuentes móviles	MP ₁₀ , MP _{2,5} , NO _x , SO _x y COVBs	En ruta	Buses, camiones, vehículos particulares, vehículos comerciales, taxis y motocicletas
		Fuera de ruta	Maquinaria de construcción o agrícola, operación de puertos o aeropuertos.

Fuente: MMA (2011), en base a Jorquera (2007).

2.1.3. Norma de calidad primaria para MP2,5.

En Chile el decreto N°12 establece las Normas de Calidad Ambiental Primaria para el Material Particulado fino respirable (MP2,5), en donde la norma anual de concentraciones no puede superar los 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la concentración de 24 horas no puede ser mayor a los 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Así mismo, define los valores específicos para decretar los episodios de alerta, preemergencia y emergencia ambiental, de acuerdo con los pronósticos de calidad del aire o a partir de las mediciones realizadas por una estación de monitoreo con representatividad poblacional (EMRP), además de establecer los índices de calidad de aire para material particulado (ICAP), según los niveles de concentración observados durante 24 horas (Tabla 2).

Tabla 2. Niveles de emergencia ambiental e Índice de calidad de aire para material particulado 2,5 (ICAP2,5), según concentraciones diarias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Nivel	ICAP (2,5)	Concentración 24 horas MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
-	0	0
Bueno	100	1-50
Regular	200	51-79
Alerta	300	80-109
Preemergencia	400	110-169
Emergencia	500	170 o superior

Fuente: www.leychile.cl

2.2. Infraestructura Verde, una manera de combatir cambio climático.

Según Benedict & McMahon (2002:5) citado en Vásquez (2016:65) “La infraestructura verde puede ser definida como una red interconectada de espacios verdes que conservan las funciones y valores de los ecosistemas naturales y proveen beneficios asociados a la población humana”. Como complemento, la Comisión del Medio Ambiente de la Unión Europea (2014) hace mención de que estos espacios verdes pueden estar localizados tanto en zonas rurales como urbanas, pudiendo ser tanto áreas naturales como seminaturales, con las cuales se promueve mejorar la calidad de vida, la biodiversidad y generar una protección contra el cambio climático.

En este sentido, la infraestructura verde ofrece; fomentar una mejor calidad de vida, apoyando el bienestar humano y ofreciendo un medioambiente de mejor calidad en el que poder vivir y trabajar. Ayuda a reconectar zonas naturales aisladas, aumentando la movilidad de la fauna silvestre en un paisaje más amplio. Además, mitiga los efectos del cambio climático, reduciendo los efectos de las inundaciones, almacenando carbono, evitando la erosión del suelo, sirviendo de corredores de flujos de aire, etc. Por último, fomenta un desarrollo integrado en la planificación territorial, garantizando una utilización

de los espacios de forma eficiente y práctica, en conjunto con un desarrollo sostenible en el tiempo (Comisión de Medio Ambiente de la Unión Europea, 2014).

2.2.1. Funciones y Tipos.

La infraestructura verde ofrece una serie de funciones (Figura 3), principalmente para las ciudades, “desempeñando un importante papel en el apoyo a la biodiversidad, ya que proporcionan el contacto primario con el ambiente natural que influye en la salud física y el bienestar mental de las personas, y, en el caso del espacio verde público, pueden ofrecer además beneficios sociales más amplios, como lugares de encuentro y de recreación ciudadana” (Valdés & Foulke; 2016:48).

La infraestructura verde urbana incluye desde grandes parques urbanos, bosques urbanos, campos verdes, árboles/ parques de la calle hasta espacios verdes privados, tales como jardines, jardines en la azotea, enredaderas de matorral, etc. Esta infraestructura no sólo incluye el verde, sino también zonas azules, como las zonas ribereñas y los lagos que apoyan al crecimiento del verdor (Cvejić et al., 2015 en Anguluri, 2017).



Figura 3. Funciones de la infraestructura verde. Fuente: Valdés & Foulke (2016) en base a Ecotec & NENW, 2008 en European Environment Agency, 2014.

2.2.2. Desde las funciones a los Servicios Ecosistémicos.

Las funciones que ofrece la infraestructura verde son clasificadas por otros autores como servicios ecosistémicos, definidos como los beneficios que se obtienen a partir de los ecosistemas (Constanza et al., 1997; MEA, 2005 en Vásquez, 2016). Y es que, en la línea de lo establecido por MEA (2005) en Vásquez (2016), los servicios ecosistémicos pueden ser clasificados en cuatro grandes grupos: soporte, regulación, provisión y culturales (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de servicios ecosistémicos.

Servicios de Regulación	Servicios de Provisión	Servicios Culturales	Servicios de Soporte
Regulación del clima local	Cultivos	Recreación, turismo y ecoturismo	Formación de suelo Fotosíntesis
Regulación de la calidad del aire	Forraje	Inspiración y belleza escénica	Producción Primaria
Infiltración y drenaje de aguas	Ganado	Conocimiento de los sistemas	Ciclo de Nutrientes
Purificación del agua	Fibra	Experiencia espiritual y religiosa	Ciclo del Agua
Regulación de la erosión	Madera	Patrimonio y diversidad	
Protección ante riesgos naturales	Leña	Cultural	
Polinización	Acuicultura	Patrimonio natural y biodiversidad	
Control de Plagas y Enfermedades	Alimentos y Vegetación	Valor educativo	
Descomposición de orgánicos	Medicamentos y bioquímicos	Integración social	
Reducción de Ruido	Agua fresca y potable	Salud mental y física de personas	
Regulación de gases (+O y CO ₂)	Recursos minerales		
Secuestro de Carbono	Recursos energéticos y abióticos		
	Recursos genéticos		

Provisión de Hábitat			
----------------------	--	--	--

Fuente: Vásquez (2016) en base a MEA (2005), Bolund y Hunhammar (1999), Hernández-Morcillo, Plieninger y Bieling (2013), Kandziora, Burkhard, y Müller (2005 y 2013) y Niemelä et al., (2010).

Sin embargo, actualmente esta clasificación se encuentra en constante cuestionamiento, debido a que algunos de los servicios ecosistémicos mencionados en dicha clasificación deberían ser más bien considerados funciones ecosistémicas, por no generar beneficios directos a la población (Vásquez, 2016).

Lo anterior se ve reflejado por Potschin & Haines Young (2011), ya que, si bien comparten la definición anterior, haciendo mención a que, mientras se pueda identificar a un beneficiario humano a partir de una función ecosistémica, es posible calificarla como un servicio ecosistémico, hacen principal hincapié en diferenciar entre los "servicios finales", aquellos que contribuyen al bienestar de las personas y las "estructuras y funciones intermedias del ecosistema", desde donde se originan estos servicios. Esto concuerda con lo propuesto por Escobedo et al., (2011), cuyo enfoque clave es distinguir entre las funciones de los ecosistemas y los servicios (beneficios), haciendo énfasis en la necesidad de incorporar los "dis-services" (costos) de mantener los servicios ecosistémicos funcionando de manera óptima.

Siguiendo esta idea es que Potschin & Haines Young (2011), proponen un marco de referencia para analizar los servicios ecosistémicos, teniendo en consideración las funciones y los servicios, entendiendo las diferencias que existen, en lo que los autores llaman el modelo de cascada (Figura 4).

La intención del modelo de cascada es destacar los principales elementos que deben considerarse en cualquier análisis completo de un servicio ecosistémico y los tipos de relaciones que existen entre ellos, además de distinguir las características funcionales de los servicios ecosistémicos y los beneficios propios de ellos (Potschin et al., 2017).

Es así como el modelo de cascada es:

- Una herramienta que puede ayudar a hacer de los sistemas complejos, mucho más simples de acuerdo a un determinado propósito.
- Un dispositivo para estructurar y priorizar el trabajo.
- Una manera de aclarar y enfocar el pensamiento sobre relaciones complejas, apoyando así la comunicación entre disciplinas, sistemas de conocimiento, y entre ciencia y política.
- Y ser un punto de referencia común que fomenta el "buy-in" (aceptación) de los diferentes grupos participantes (United Nations, 2012; UNEP, 2014; Díaz et al., 2015 en Potschin et al., 2017).

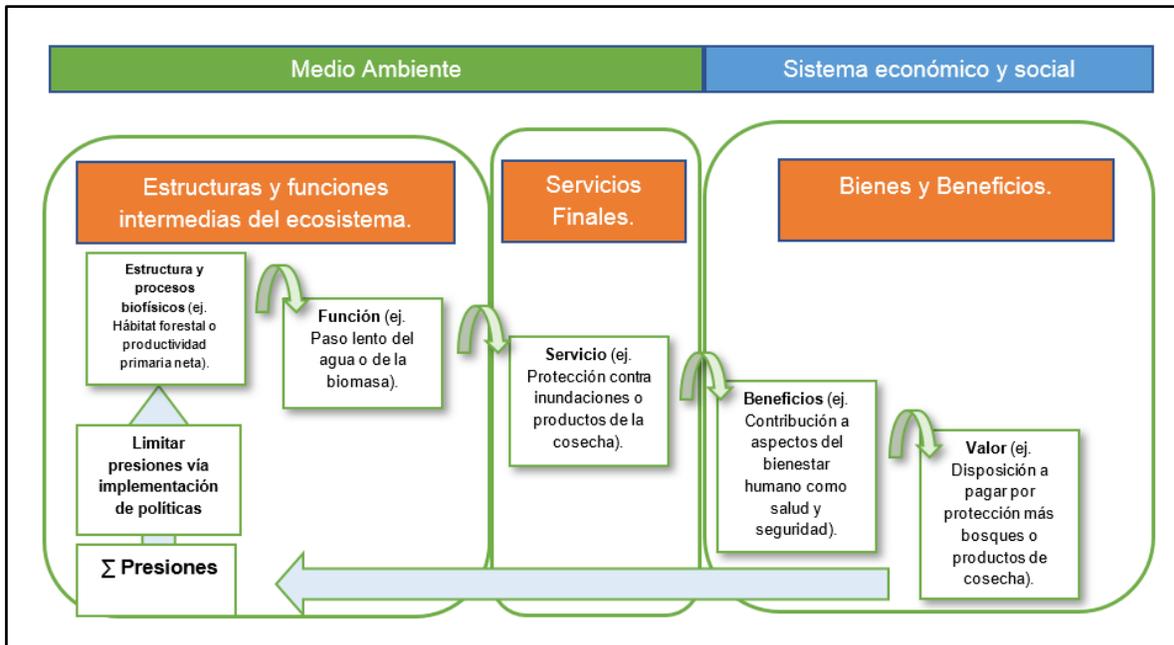


Figura 4. Modelo de cascada adaptado por Potschin & Haines Young (2011). (Traducción Libre).

Sin embargo, cabe señalar que el carácter de este modelo no es rígido, y está sujeto a modificaciones constantes, considerando los diferentes contextos, actores involucrados y servicios con los cuales se encuentra trabajando (Potschin & Haines Young, 2011).

De esta manera es que la infraestructura verde urbana puede ser capaz de ofrecer una serie de servicios ecosistémicos y ser evaluados como tal, lo cual abre un abanico de posibilidades. Según Baró et al., (2014) el verde urbano puede proporcionar una serie de servicios ecosistémicos adicionales, tales como: la regulación micro-climática, la mitigación de la escorrentía superficial, oportunidades recreativas, etc.

2.3. Arbolado Urbano.

El arbolado urbano -sean árboles, arbustos, céspedes y suelos permeables- presenta funciones tales como; la eliminación de la contaminación atmosférica, la interceptación de aguas pluviales y el sombreado proporcionado por el follaje de los árboles (Escobedo et al., 2011), sirviendo así como agentes de regulación, adaptación y mitigación de los ambientes urbanos frente a los procesos de cambio climático actual. Cabe destacar que este tipo de vegetación es altamente compleja y se encuentra en ambientes súbitamente alterados como lo son las ciudades, en donde los seres humanos son los principales impulsores de sus tipos, cantidades y distribución espacial (Escobedo et al., 2011).

Nowak et al. (2006) también hacen principal énfasis en que a través del arbolado urbano es posible, entre otras cosas, eliminar contaminantes del aire, mediante procesos de deposición seca en la superficie de las plantas, además de reducir las temperaturas por medio de procesos de transpiración de la vegetación urbana, y reducir la energía que utilizan las edificaciones de la ciudad -por ejemplo en aire acondicionado- y por consiguiente disminuir las emisiones de las centrales eléctricas encargadas de producir dicha energía.

De esta manera, el arbolado urbano toma relevancia, considerándose como una alternativa real para la remoción de gases contaminantes tales como el dióxido de carbono (CO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), ozono troposférico (O₃), entre otros.

2.3.1. Absorción y captura de gases de efecto invernadero: Proceso y opiniones divergentes.

Según Nowak et al. (2014), el proceso de captura y eliminación de contaminantes que posee la vegetación funciona mediante procesos de absorción a través de estomas foliares, aunque algunos gases son eliminados también por la superficie de la planta. En particular, el O₃, SO₃, NO₃ y la mayor parte de la contaminación se eliminan a través de las estomas de las hojas. Una vez dentro de la hoja, los gases se difunden en los espacios intercelulares y pueden ser absorbidos por las películas de agua para formar ácidos o reaccionar con las superficies de las hojas internas.

Este proceso se muestra de manera esquemática en la figura 5, en donde la imagen central representa una toma aérea de una planta. La imagen derecha muestra una sección transversal esquemática ampliada de una hoja, donde la superficie de la hoja y los tricomas pueden retener el MP mientras que los estomas lo adsorben y absorben, así como la forma en que las hojas pueden asimilar SO₂, NO₂ y CH₂O (formaldehído) a compuestos orgánicos simples, aminoácidos o proteínas. La imagen izquierda representa una superficie de la hoja ampliada con bacterias, que pueden biodegradarse o transformar COVBs en menos tóxicos o no tóxicos, como el benceno y sus derivados, que pueden degradarse a través de la vía Orto o Meta (Wei et al., 2017).

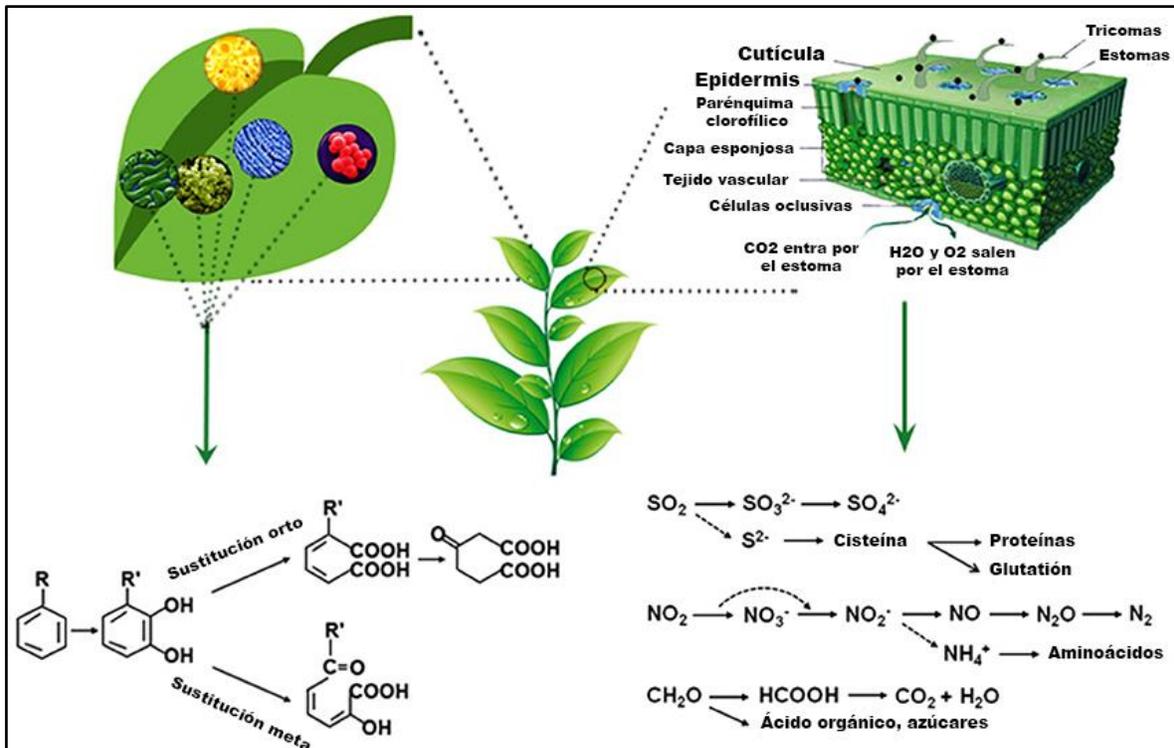


Figura 5. Ilustración esquemática de la estructura de una hoja. Fuente: Wei et al., (2017) (Traducción Libre).

En tanto a nivel externo, los árboles interceptan, emiten (ej. polen) y re suspenden parte del MP capturado en la superficie de la planta. Estas partículas interceptadas, y que a menudo se re suspenden hacia la atmósfera, son lavadas por la lluvia o llevadas al suelo con la caída de hojas y ramas. Durante períodos secos, una parte de las partículas son interceptadas constantemente y son suspendidas hacia la atmósfera, dependiendo de la velocidad del viento (Nowak et al., 2013).

Cabe mencionar también que existen opiniones divergentes con respecto al nivel de captura de GEI que posee la vegetación urbana. Por ejemplo, en un estudio realizado en un vecindario de la Ciudad de México, que considera la vegetación y el suelo juntos, se encontró que la reducción que ofrecen del flujo total de CO₂ es de un 1,4%, mientras que, según un estudio desarrollado en un barrio de Singapur este proceso agrega un 4,4% más de contaminantes a la atmósfera (Velasco et al., 2016).

En ambos estudios, además de considerar el componente biogénico completo (vegetación y suelo), se consideraron los COVBs que son emitidos en grandes cantidades hacia la atmósfera, a partir de las hojas que poseen los árboles, ayudando a la formación del ozono troposférico (O₃) (Peralta, 2009).

La emisión de COVBs desde los árboles puede no contribuir a la contaminación local del ozono a nivel del suelo, si al interior de un municipio no se encuentran los otros precursores necesarios para su formación, como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y una radiación solar intensa durante un largo período de tiempo. Sin embargo, las emisiones de COVBs pueden

viajar fuera del municipio hasta donde estos precursores se encuentren presentes y así contribuir a la formación de ozono en estos lugares (Paoletti, 2009 en Escobedo et al., 2011).

Por otro lado, existen cuestionamientos principalmente asociados a los procesos de flujo y captura de gases de efecto invernadero que posee el arbolado urbano, ya que según Vos et al. (2013), los árboles pueden aumentar significativamente las concentraciones de contaminantes atmosféricos, básicamente a través de estudios de flujos de aire, en los cuales la vegetación urbana obstruye el flujo del viento, reduciendo así la ventilación que es responsable de diluir los contaminantes, principalmente a nivel local (de calles).

Erell et al. (2011) se refiere al fenómeno anterior, ya que, según estudios de túneles de viento, una hilera de árboles plantados a lo largo de una calle al interior de una ciudad interfiere con la formación de vórtices de viento (Figura 6), que constituye uno de los mecanismos para la eliminación de contaminantes originados al interior de las calles (Figura 7).

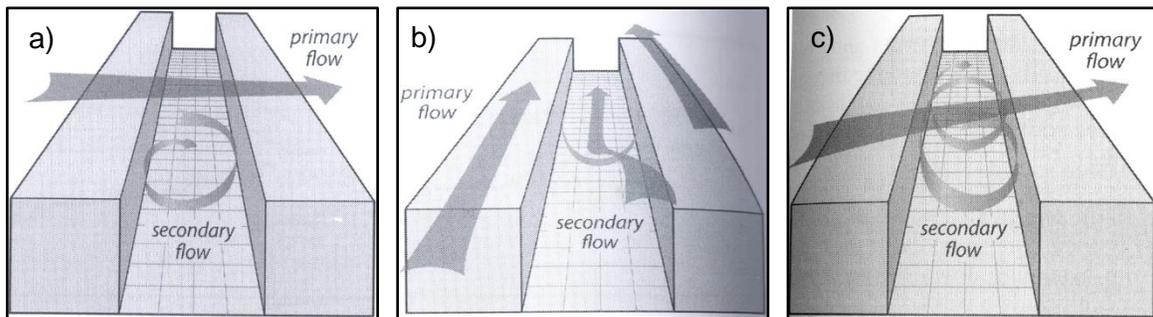


Figura 6. Representaciones idealizadas de diferentes tipos de vórtices de viento. a) Es un vórtice de viento formado en un cañón de una calle urbana, en donde el viento sopla en la parte superior con una incidencia normal al eje del cañón. b) Es un flujo que circula por el cañón de una calle urbana, generado por el viento que sopla de forma paralela al eje del cañón. c) Es un vórtice de viento formado por el viento que sopla en ángulo con respecto al eje del cañón. Fuente: Errell et al., (2011) (Traducción Libre).

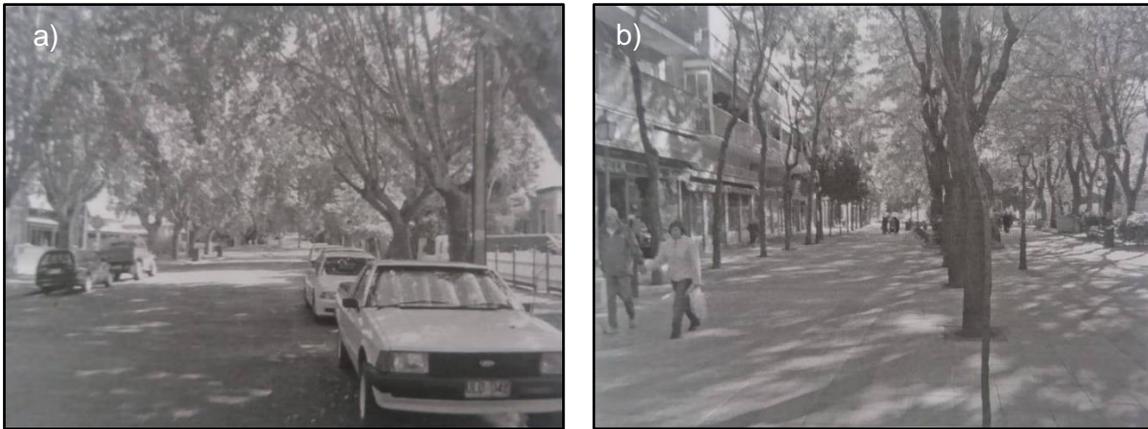


Figura 7. Ejemplo de árboles plantados a nivel de calle. a) Son árboles que se alinean en una calle amplia, que proporcionan sombra casi completa, los edificios se encuentran atrás, el flujo de aire circula de manera normal y no es un problema. b) Sin embargo, muestra una avenida con una fila de árboles adyacentes a los edificios, los cuales en su izquierda se encuentran muy cerca de la fachada de estos, por lo tanto, cuando los árboles se encuentren en su etapa de mayor crecimiento el flujo de aire será interrumpido cerca de la pared de los edificios. Fuente: Erell et al., (2011) (Traducción Libre).

Sin embargo, los efectos adversos de los árboles sobre la dispersión de gases pueden ser mitigados, en cierta medida, siguiendo las siguientes recomendaciones (Erell et al., 2011):

- Las copas de los árboles no deben ocupar grandes volúmenes al interior de las calles, con el fin de no suprimir el vórtice de ventilación y los remolinos en las esquinas. En particular, debe garantizarse un espacio libre suficiente entre las coronas de los árboles y las paredes adyacentes. De lo contrario, el intercambio de aire se ve obstaculizado y la concentración de contaminantes a nivel de la calle pueden aumentar.
- La altura del árbol no debe exceder el nivel del techo del flujo de aire, ya que esto resultaría en una reducción sustancial en el aire arrastrado arriba del techo requerido para ventilar el cañón de la calle.
- Un espaciado amplio entre árboles crea menos obstáculos y permite que el flujo genere vórtices al interior de las calles.
- Los árboles tienen un efecto menor en cañones de calle poco profundos. Siempre que sea posible, ampliar las avenidas con dos filas de árboles ya que son preferibles a calles estrechas con una fila.

Cabe destacar que este tipo de cuestionamientos, se encuentran dados principalmente a los procesos de arborización a nivel de calle, y no al proceso de captación de contaminantes a nivel de ciudad. Es por eso que al momento de realizar este tipo de estudios hay que tener en cuenta tanto el contexto como la escala en la cual se encuentra trabajando, ya que, dependiendo de esto, las conclusiones con respecto al uso del arbolado urbano para la mitigación de la contaminación pueden variar e incluso hasta ser paradójicas (Vos et al., 2013).

3. CAPITULO III: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.

El Planteamiento metodológico en el cual se centra la presente investigación es de carácter cuantitativo, y se encuentra subdividido en tres etapas metodológicas, donde las dos primeras etapas corresponden a los objetivos específicos 1 y 2 respectivamente, mientras que la tercera etapa incluye a los objetivos 3 y 4 (Figura 8).

Para el caso de la presente investigación se utilizaron datos meteorológicos y de contaminación del año 2015, debido a que es el año más reciente con el cuál se puede trabajar en el software, sin embargo, se encuentran trabajando para adaptar el modelo para los siguientes años. Cabe señalar que los datos sirven para tener una caracterización local del comportamiento anual que tienen tanto las precipitaciones como la contaminación.

Por otra parte, los datos de estructura arbórea necesarios para evaluar el desempeño del arbolado frente a la eliminación de contaminantes fueron extraídos de trabajos en terreno realizados durante el año 2018. Estos datos, al ser recientes, sirven para tener una mirada actual del comportamiento que tiene la estructura arbórea al interior del parque.



Figura 8. Esquema de las etapas metodológicas. Fuente: Elaboración propia, 2018.

3.1. **Etapa metodológica I:** Estado de las bases de datos de concentraciones y emisiones de contaminantes atmosféricos del año 2015.

Para la recopilación y posterior análisis de los datos de contaminantes atmosféricos, se utilizaron las bases de datos obtenidas a partir de las redes de monitoreo del sistema de información nacional de calidad de aire (SINCA) (ver Figura 9). Los datos utilizados provienen de la estación Kingston College (36° 46'S, 73° 03'W, 50 m.s.n.m), ubicada en la ciudad de Concepción y en pleno sector residencial. Se utiliza esta estación debido a ser la única al interior de la ciudad y además de ser la más próxima al parque.

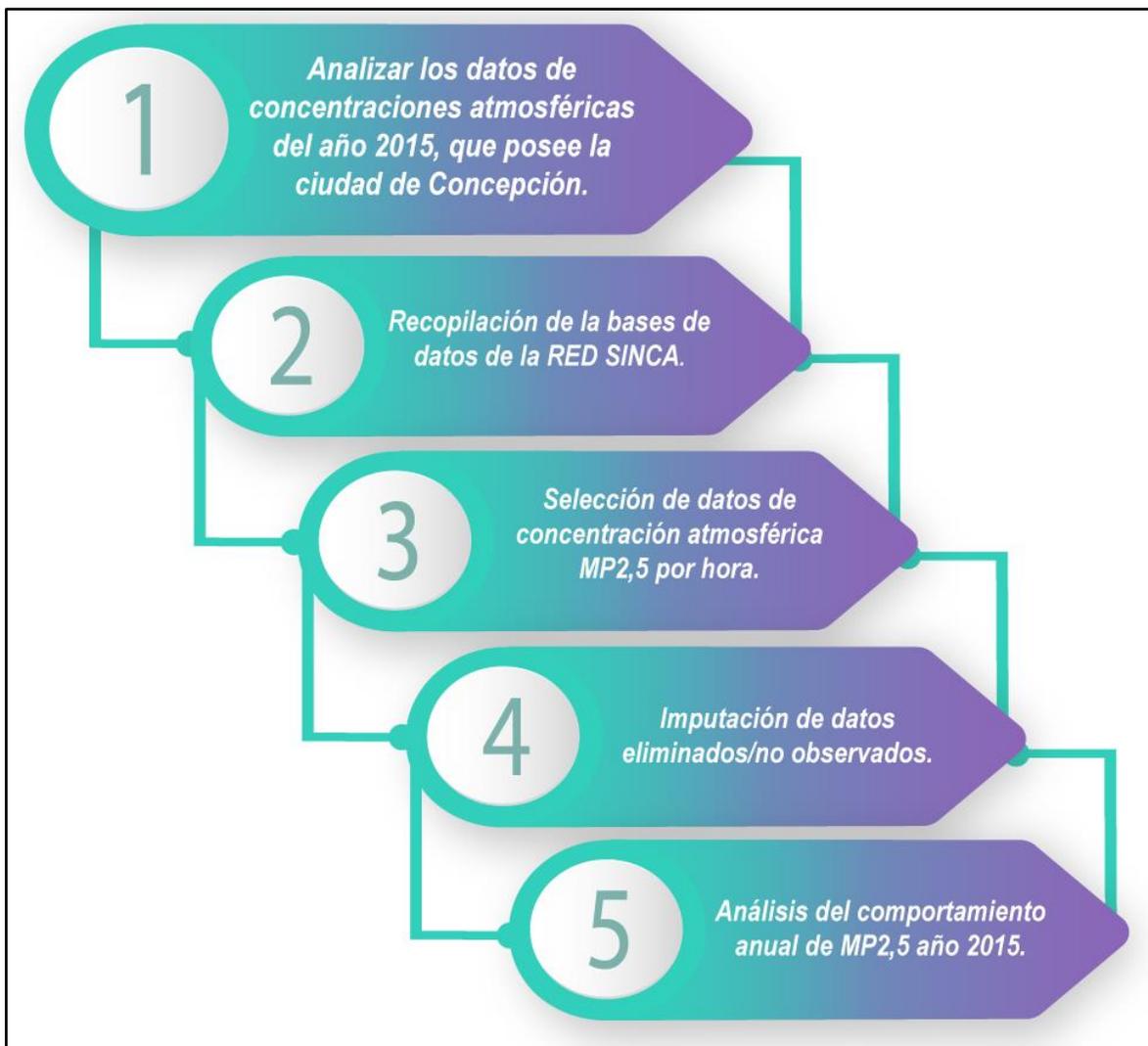


Figura 9. Esquema etapa metodológica I. Fuente: Elaboración propia, 2018.

Los datos de la estación fueron ordenados y sistematizados en el software MS Office Excel, mediante columnas separadas por semanas, días y horas.

Junto con ello, se logró identificar de forma más clara los datos perdidos de cada matriz de contaminantes, es así como se propone trabajar solo con la concentración atmosférica de MP2,5, debido a que los otros datos, como por ejemplo de CO, O₃, NO₂ u SO₂, no se encontraban registrados o en su defecto, presentaban una pérdida considerable de datos, que llegaba a semanas e incluso meses durante el año 2015, que hacían imposible trabajar con ellos (Tabla 4).

Tabla 4. Porcentaje de datos perdidos para cada uno de los contaminantes en la estación Kingston College, provincia de Concepción, año 2015.

Contaminante Atmosférico	Porcentaje de datos perdidos
Material Particulado (MP2,5)	23,73%
Monóxido de Carbono (CO)	64,03%
Ozono Troposférico (O ₃)	95,68%
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	96,50%
Dióxido de Azufre (SO ₂)	100%

Fuente: Elaboración propia, en base a datos Red SINCA.

De esta forma se obtuvo una matriz con 8760 registros solo perteneciente al contaminante MP2,5, donde cada valor hace referencia al promedio diario por hora específica de un día de la semana, desde enero a diciembre del año 2015, generando así una matriz de 8760 X 4, para el tipo de contaminante utilizado (Tabla 5).

Tabla 5. Ejemplo de matriz con datos de material particulado (MP2,5) por cada hora, en la estación Kingston College, provincia de Concepción.

Kingston College (MP2,5)	Semana	Día	Hora
15,04	1	1	0
14,56	1	1	1
13,95	1	1	2
13,88	1	1	3
13,83	1	1	4
13,77	1	1	5
14,13	1	1	6
14,53	1	1	7
14,73	1	1	8
13,57	1	1	9
12,71	1	1	10

Fuente: Elaboración propia, en base a datos Red SINCA.

Considerando esto, y que no es posible calcular una media diaria si faltan más del 25% de los datos diarios por hora (Plaia & Bondi, 2006), y además de la necesidad de contar con todos los datos de medición por hora, es que pretende completar los datos faltantes de concentración de MP2,5, utilizando el método de efecto sitio-dependiente (*SDEM Model*, en sus siglas en inglés), el cual dado la estructura multinivel de los datos observados, es decir, que posee datos en un periodo prolongado de tiempo (semanas, días y horas) y además de carácter específico en un sitio determinado, es el que presenta una mejor imputación de datos a nivel individual, y evita una sobreestimación de los valores faltantes, evitando generar valores de contaminación que sobrepasan a los ya observados (Plaia & Bondi, 2006).

3.1.1. Método de efecto sitio-dependiente (*SDEM Model*).

El SDEM es un modelo que incorpora tanto la información espacial como temporal para completar los registros faltantes en una base de datos de calidad de aire (Plaia & Bondi, 2006).

Para el desarrollo del modelo SDEM, es necesario tener en cuenta la información de estaciones de calidad del aire cercanas, de esta forma se usaron los datos de las estaciones Punteras, ubicada en la comuna de Chiguayante y Nueva Libertad, localizada en la comuna de Talcahuano, siendo éstas las que presentan una menor pérdida de datos, además de ser las estaciones más próximas a la estación Kingston College, ubicada en la comuna de Concepción (Tabla 6).

En este sentido, por una parte Kingston College se encuentra situada en pleno centro de la ciudad de Concepción, mientras que la estación Nueva Libertad se localiza en los sectores periféricos de la comuna de Talcahuano, colindando con la compañía de aceros del pacífico (CAP) en pleno cordón industrial. Y por último la estación Punteras se ubica en la comuna de Chiguayante a las orillas del río Bio-Bio, en un sector de características más bien residenciales (Figura 10).

Tabla 6. Matriz de datos perdidos de MP2,5, según la estación monitoreo a la que pertenecen, provincia de Concepción, año 2015.

Estación de monitoreo	Porcentaje de datos perdidos MP2,5
Nueva Libertad	0,44%
Kingston College	23,73%
Punteras	65,64%

Fuente: Elaboración propia, en base a datos Red SINCA.

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

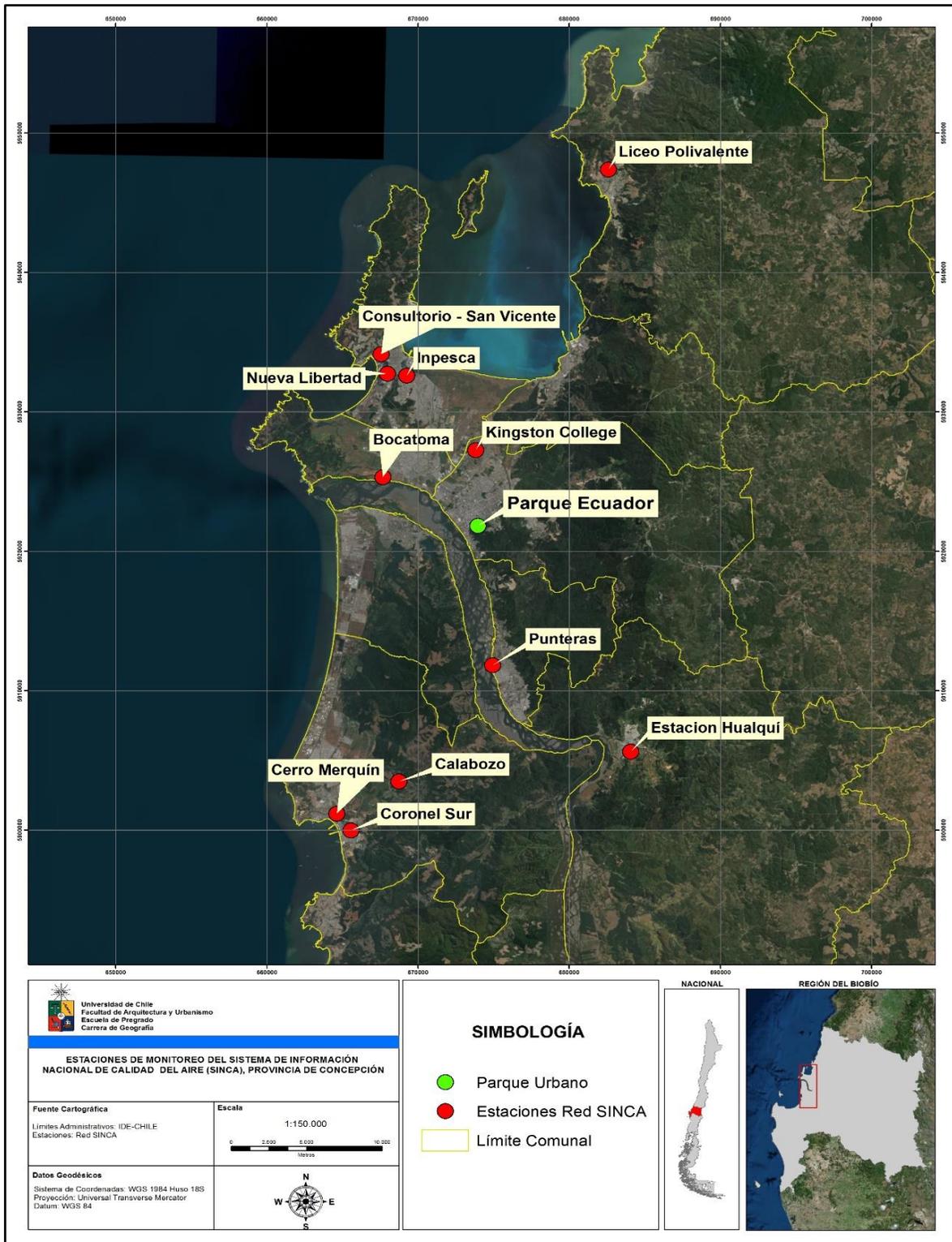


Figura 10. Localización de las estaciones de red de monitoreo SINCA, provincia de Concepción. Fuente: Elaboración propia, 2018.

De esta manera, el método de efecto sitio-dependiente considera, tanto los efectos por semana, día y hora, de todas las estaciones analizadas sumándolas entre sí, y estimando los valores perdidos con la siguiente ecuación:

Ecuación 1:

$$\hat{x}_{swdh} = \bar{x}_{wdh} + \frac{1}{2} \left(\bar{x}_{sw} - \sum_{s=1}^S \frac{\bar{x}_{sw}}{S} \right) + \frac{1}{2} \left(\bar{x}_{sd} - \sum_{s=1}^S \frac{\bar{x}_{sd}}{S} \right) + \frac{1}{2} \left(\bar{x}_{sh} - \sum_{s=1}^S \frac{\bar{x}_{sh}}{S} \right)$$

Fuente: Plaia & Bondi (2006).

Considerando la estructura de la base de datos que mide la calidad del aire de las tres estaciones, el elemento individual del conjunto de datos es x_{swdh} , donde s se refiere a la estación de monitoreo ($s = \text{Kingston College, Punteras y Nueva Libertad}$), w se refiere a la semana ($w = 1, 2, 3 \dots, 53$), d se refiere al día de la semana ($d = 1, 2, 3 \dots, 7$) y h se refiere a la hora ($h = 0, 1, 2 \dots, 23$), de acuerdo a esto:

El promedio por semanas es una matriz de 53 X 3, en el cual el elemento genérico \bar{x}_{sw} , es la media de los valores observados de una semana (w) en una estación (s). Por otro lado, se obtiene el valor marginal a partir de la sumatoria de los promedios por semana de las estaciones (promedio marginal), dividiéndolos por el número de estaciones ($\sum_{s=1}^S \bar{x}_{sw} / S$). De acuerdo con esto, la diferencia entre \bar{x}_{sw} , y ($\sum_{s=1}^S \bar{x}_{sw} / S$) se considera como el efecto semanal específico para una estación s .

Así mismo, el promedio por días de la semana es una matriz de 7 X 3 en el cual el elemento general es \bar{x}_{sd} . El efecto específico por días de la semana para una estación s , se obtiene de la diferencia entre \bar{x}_{sd} , y el valor marginal por fila ($\sum_{s=1}^S \bar{x}_{sd} / S$).

Finalmente, la matriz de promedio por hora es una matriz de 24 X 3, en donde el elemento general es \bar{x}_{sh} , el cual es el promedio de valores observados por hora (h), en una estación (s). Mientras que el efecto específico por hora, se encuentra dado por la diferencia entre \bar{x}_{sh} , y la media marginal por fila ($\sum_{s=1}^S \bar{x}_{sh} / S$).

Cabe mencionar que \bar{x}_{wdh} es el promedio total de todos los valores observados por todas las estaciones en una semana (w), día (d) y hora (h), el cual corresponde a 17,91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio.

Por ejemplo, considerando que el día 7, de la semana 21 a las 15 horas, no existe un valor registrado, utilizando los valores del anexo 2, la operación para obtener un nuevo valor sería:

$$\hat{x}_{swdh} = 17,91 + \frac{1}{2} (-4,39) + \frac{1}{2} (3,95) + \frac{1}{2} (-0,89)$$

$$\hat{x}_{swdh} = 13,29$$

Dando como resultado, el valor de 13,29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para las 15 horas del día 7, de la semana 21, del año 2015.

3.2. Etapa metodológica II: Identificación de los elementos de la infraestructura verde.

Para identificar los elementos de la infraestructura verde (IV) más relevantes dentro de la ciudad de Concepción, fue necesaria la revisión del levantamiento de espacios verdes del Minvu durante del año 2013, extraída de la red CEDEUS, además de información recopilada en terreno y fotointerpretación de imágenes satelitales mediante Google Earth (ver Figura 11).

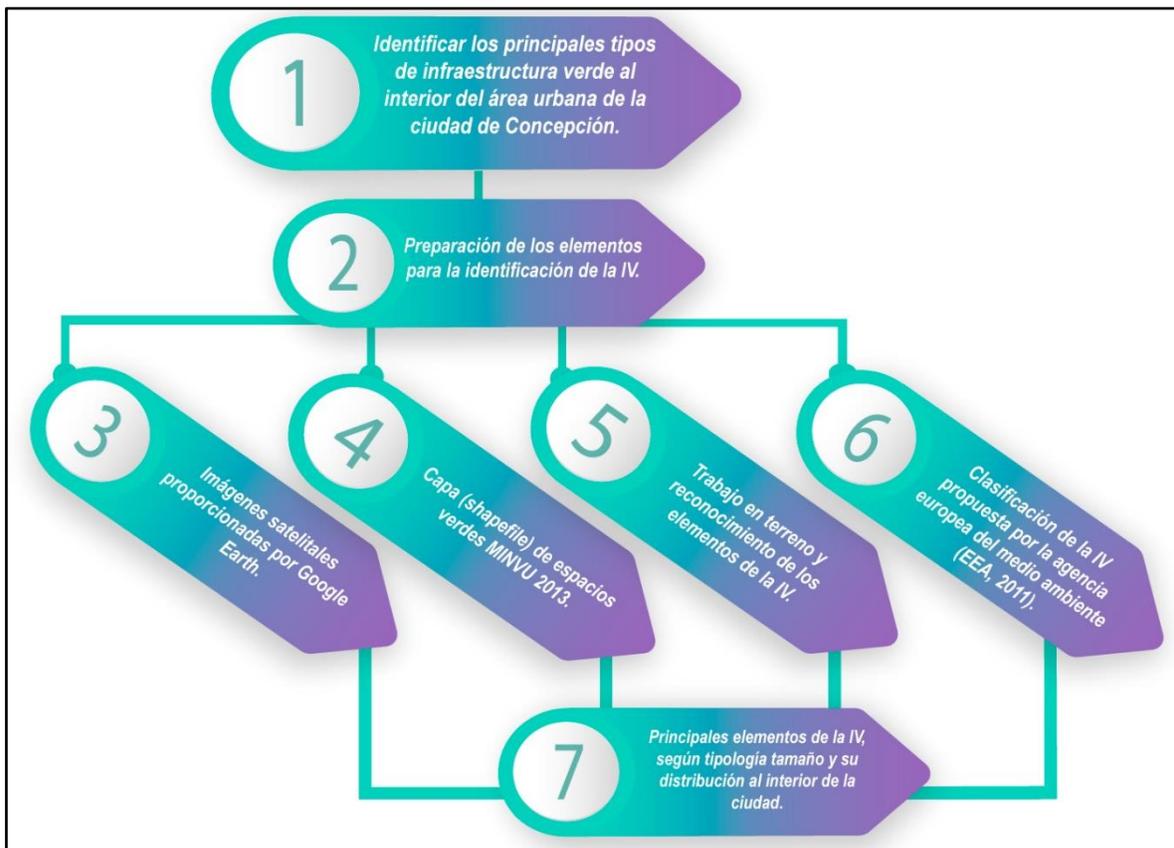


Figura 11. Esquema etapa metodológica II. Fuente: Elaboración propia, 2018.

La clasificación utilizada para la identificación de la IV, es la propuesta por la agencia europea del medio ambiente (*European Environment Agency, EEA*) del año 2011, en la que se identifican los diferentes tipos de infraestructura verde asociados a la escala en la cual se encuentran, ya sea a nivel vecinal, de ciudad o regional (Tabla 7).

Tabla 7. Elementos y tipos de infraestructura verde, según su escala.

Escala a nivel local/vecinal	Escala a nivel ciudad	Escala a nivel regional
<ul style="list-style-type: none"> • Árboles de Calles • Techos y paredes verdes • Plazas de bolsillo • Jardines privados • Plazas urbanas • Espacios verdes comunes • Derechos locales de caminos • Rutas peatonales y ciclistas • Cementerios • Espacios abiertos institucionales • Estanques y arroyos • Pequeños bosques • Áreas de juego • Reservas naturales locales • Áreas de escuela • Canchas deportivas • Zanjias • Jardines comunitarios • Áreas abandonadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Parques intercomunales • Canales urbanos • Espacios urbanos comunes • Parques naturales • Frentes de agua continuos • Plazas municipales • Lagos • Grandes espacios recreativos • Ríos y llanuras aluviales • Terrenos abandonados • Bosques comunitarios • Sitios de formación y extracción de minerales • Tierras agrícolas • Vertederos 	<ul style="list-style-type: none"> • Parques regionales • Ríos y llanuras de inundación • Costas • Senderos estratégicos y de larga distancia • Grandes bosques • Embalses • Redes viales y ferroviarias • Cinturones verdes y espacios verdes estratégicos • Tierras agrícolas • Parques nacionales • Cordones montañosos • Canales • Tierras comunes • Campo abierto • Acueductos y gaseoductos • Fallas geológicas

Fuente: *Landscape institute* (2009) modificado por EEA (2011), traducido por Riveros et al., (2016).

3.3. **Etapa metodológica III:** Análisis de la estructura arbórea y estimación del monto de captura de los contaminantes atmosféricos al interior del Parque Ecuador.

Para realizar el análisis de la estructura arbórea y posteriormente estimar el monto de captura de contaminantes atmosféricos se utilizó el software i-Tree Eco, desarrollado por el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (*USDA Forest Service*), el cual proporciona una serie de mecanismos y herramientas para analizar la estructura del arbolado urbano, y el comportamiento de éste frente a episodios de contaminación atmosférica al interior de las ciudades. De esta forma, el software evalúa los costos y beneficios de los diferentes servicios ambientales que provee la estructura arbórea al interior de una ciudad (ver Figura 12).

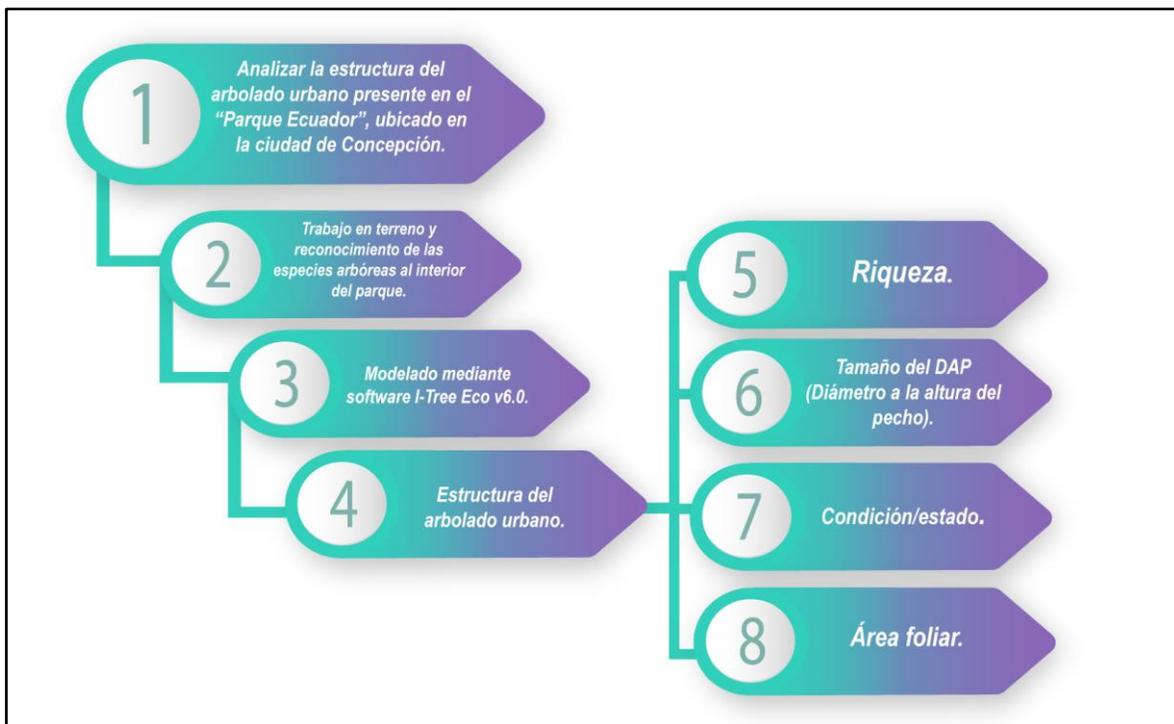


Figura 12. Esquema etapa metodológica III (Parte I). Fuente: Elaboración propia, 2018.

El software funciona en base al modelo UFORE (*Urban Forest Effects*), el cual, a partir de datos de campo de la estructura arbórea, datos meteorológicos y de contaminación (Figura 13), es capaz de estimar la cantidad de contaminación de aire removida en un área determinada (Nowak & Crane, 2002).

Así que, por un lado, el software i-Tree Eco estima el servicio de secuestro (y almacenamiento) de carbono a partir de la cuantificación del área de la biomasa del arbolado urbano, en base a las ecuaciones alométricas disponibles en la literatura y datos de campo recogidos. Y, por otro lado, procesa los datos de contaminación y meteorología para estimar el flujo de los servicios ecosistémicos analizados, tanto en términos biofísicos como monetarios (Baro et al., 2014).

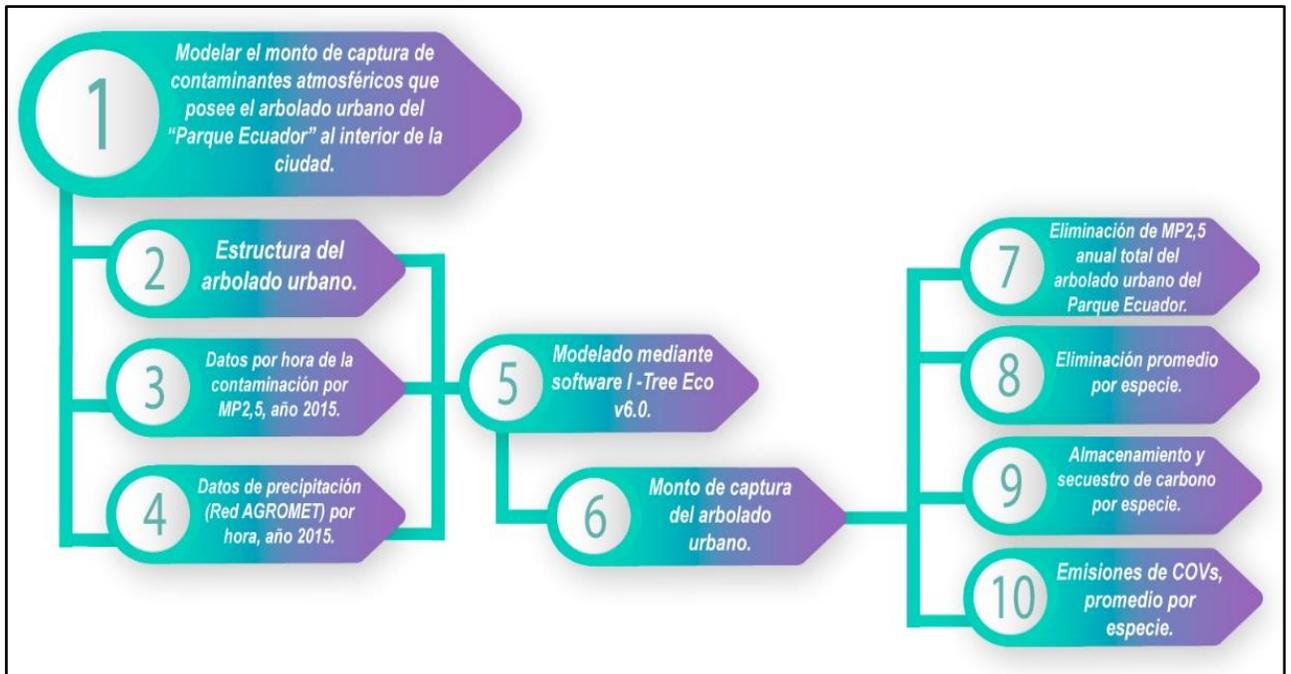


Figura 13. Esquema etapa metodológica III (Parte II). Fuente: Elaboración propia, 2018.

3.3.1. Datos de Entrada (inputs) necesarios para el modelo.

Para realizar el proceso de modelación mediante el software i-Tree Eco se necesitan una serie de datos de entrada (Figura 14), como lo son: la ubicación del área de estudio, datos de precipitación acumulada por hora durante un año, datos de las concentraciones atmosféricas de los principales contaminantes, por hora durante un año, además de información de la estructura arbórea del área de estudio, lo que incluye especies, diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total del árbol y su copa, ancho de la copa y estado de salud (condición), tal y como muestra la tabla 8.

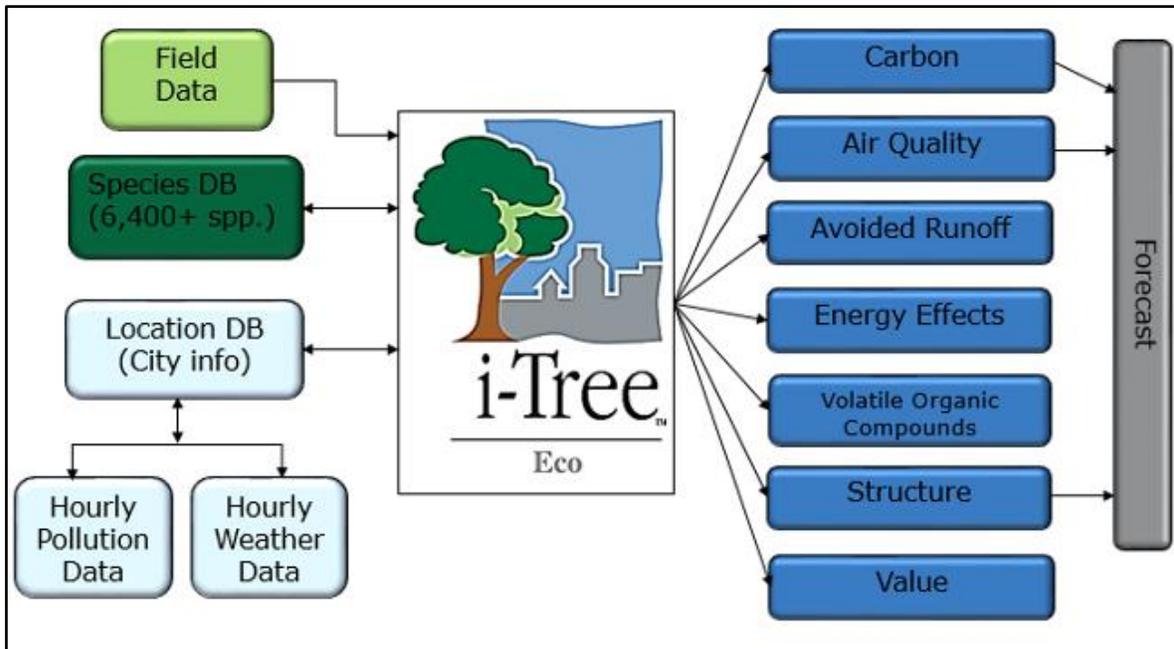


Figura 14. Esquema de los inputs y outputs del software i-Tree Eco. (Manual de i-Tree Eco v6.0, 2017).

Tabla 8. Variables necesarias para ejecutar el software i-Tree Eco.

Variable de Entrada	Descripción
Datos de precipitación	Obtenida a partir de la Red Agroclimática Nacional (AGROMET). Tomando datos de la Estación Chiguayante (36° 53'S, 73° 02'W), provincia de Concepción (Año 2015)
Datos de calidad del aire	Extraída desde el Sistema de información nacional de la calidad del aire (SINCA). Datos (CO & MP2,5) desde la estación Kingston College, provincia de Concepción (Año 2015).
Datos de Estructura arbórea	Obtenidos a partir del trabajo de campo realizado entre los meses de abril-diciembre, en el Parque Ecuador, Concepción (Año 2018)

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Análisis de la estructura arbórea.

La estructura arbórea hace alusión principalmente a la medida de los atributos de la vegetación, en este caso de los árboles urbanos, como tipo, cantidad, tamaño y diversidad de especies (Ugalde, 2014).

Dado lo anterior y para el análisis de la estructura arbórea, fue necesario realizar un inventario de árboles urbanos del Parque Ecuador, para lo que se trabajó con una ficha técnica, proporcionada por el software i-Tree Eco. Esta ficha fue modificada de acuerdo a los objetivos de este estudio y en ella se recopilieron todos los parámetros necesarios para la identificación del arbolado urbano (Ver Anexo 1).

Los parámetros esenciales utilizados para realizar el inventario de árboles urbanos fueron:

ID Árbol: Numero único de identificación de cada árbol identificado.

Especie: Especie del árbol levantado. En los casos que fue extremadamente difícil identificar la especie, como en el caso de árboles muertos, los individuos fueron identificados por sus clases taxonómicas, sean: Magnoliopsida, Pinopsida, Ginkgoopsida, Liliopsida, Filicopsida, o Cicadopsida.

Ubicación: Dentro de este criterio, se identifica si el árbol está localizado en la calle o no.

Estado/Condición: Asociado al estado del árbol, si está plantado, de semilla propia o desconocido, principalmente a través de datos de inventarios municipales.

Uso de Suelo: Uso de suelo en el cual se encuentra localizado el árbol. Para este caso, todos los árboles fueron identificados en el uso de suelo pertenecientes al área verde urbana.

DAP (cm): Diámetro a la altura del pecho del árbol, estimado a 1,35 metros sobre el nivel del suelo (Manual de campo i-Tree Eco, 2017).

- Casos especiales de medición del DAP (Figura 15):
 - **Árbol con bifurcaciones o con múltiples tallos:** Si el punto de separación de la medula está por encima del suelo, el árbol se considera como uno solo. En cambio, si la unión de la medula está por debajo del suelo, cada tallo se considera como un árbol independiente. En los casos en que el árbol posea 6 o más tallos, se bajó la altura de medición del DAP de 1,35 m a 30,5 cm sobre el nivel del suelo y se seleccionan 6 tallos, considerando los más grandes e ignorando los más pequeños (Manual de campo i-Tree Eco, 2017).
 - **Brotos de Raíz:** Cualquier brote con un DAP \geq a 30, 5 cm se consideró como un árbol independiente. Brotes de raíz menores a 30, 5 cm se ignoraron.

- **Árbol con base hinchada o cuello de botella:** Para estos casos, el DAP se midió por encima del final de la zona hinchada, así mismo, en caso de poseer alguna irregularidad, ya sea protuberancias, depresiones o ramas se midió por encima de la zona afectada.
- **Árbol en pendiente:** Para estos casos se midió el DAP por el costado que va cuesta arriba del árbol.
- **Árbol inclinado:** Se midió el diámetro a 1,35 m del suelo a lo largo del tronco, por el lado interior de este.

Altura Total: Altura total del árbol desde el suelo hasta la parte superior, sea este vivo o muerto.

Copa Altura Superior: Altura desde el suelo hasta la copa viva del árbol (esta altura no puede ser mayor a la altura total del árbol).

Copa Altura hasta la base: Altura desde el suelo hasta la base de la copa del árbol. La base de la copa es el punto más bajo en el que se incluye la última rama dentro de la copa. De acuerdo a esto, la base de la copa se determina por medio del follaje vivo y no por el punto en el cual la rama converge con el tronco principal. De acuerdo a esto, si la base de la copa toca el suelo, 0 sería un valor aceptable.

Copa Ancho N/S y E/O (m): Ancho de la copa medido en dos direcciones, Norte/Sur y Este/Oeste. En los casos en el que árbol se encontraba caído o inclinado, se tomó la medida de manera perpendicular al tronco, mientras que los árboles muertos se clasifican como - 1.

Copa porcentaje faltante (%): Porcentaje del volumen de la copa que no se encuentra ocupado por ramas y hojas. Para este caso, se visualizó la silueta de la copa esperada según las mediciones de ancho de la copa, altura total y altura hasta la base de la copa, imaginando un árbol lleno de hojas y en excelentes condiciones, luego se estimó el porcentaje de follaje que se encontraba ausente debido a la poda, muerte, defoliación, copa dispareja u hojas enanas o escasas. No se incluyen los vacíos normales al interior de las copas causados por el sombreado de las hojas y se toma en cuenta la forma natural de la copa para la especie en particular (Figura 16).

Copa Exposición a la luz: Número de lados en los que el árbol recibe luz solar, si el sol estuviera directamente encima del árbol, (Máximo cinco). Para esto se dividió la copa del árbol en 4 lados iguales, más la cima del árbol que se cuenta como un lado. Para que un lado califique, por lo menos una tercera parte de ese lado tiene que recibir luz plena. Si solo una mínima parte recibe luz, ese lado no califica (Tabla 9).

Salud de la copa: Para identificar la salud de la copa, se trabajó con el valor del porcentaje faltante y luego se convirtió a partir de lo siguiente:

$$\text{Salud de la copa} = 100\% - \text{Porcentaje de copa faltante.}$$

Público o Privado: Si el árbol es gestionado por la ciudad (público) o no (privado).

Coordenadas GPS: Coordenadas del árbol (latitud y longitud).

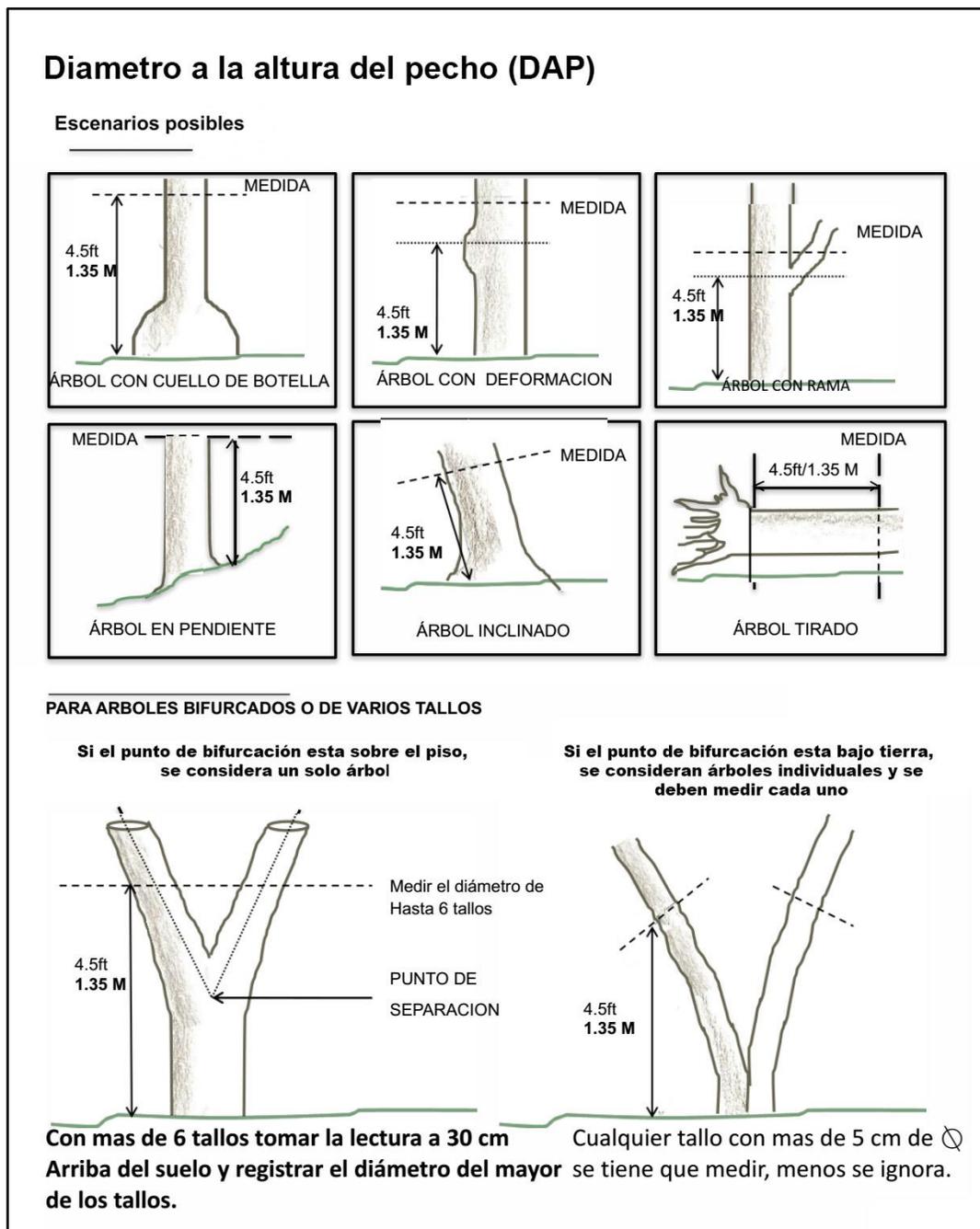


Figura 15. Ejemplos de toma de muestras del DAP, según diferentes tipos de árboles.

Fuente: Traducción manual de campo i-Tree Eco, 2017.

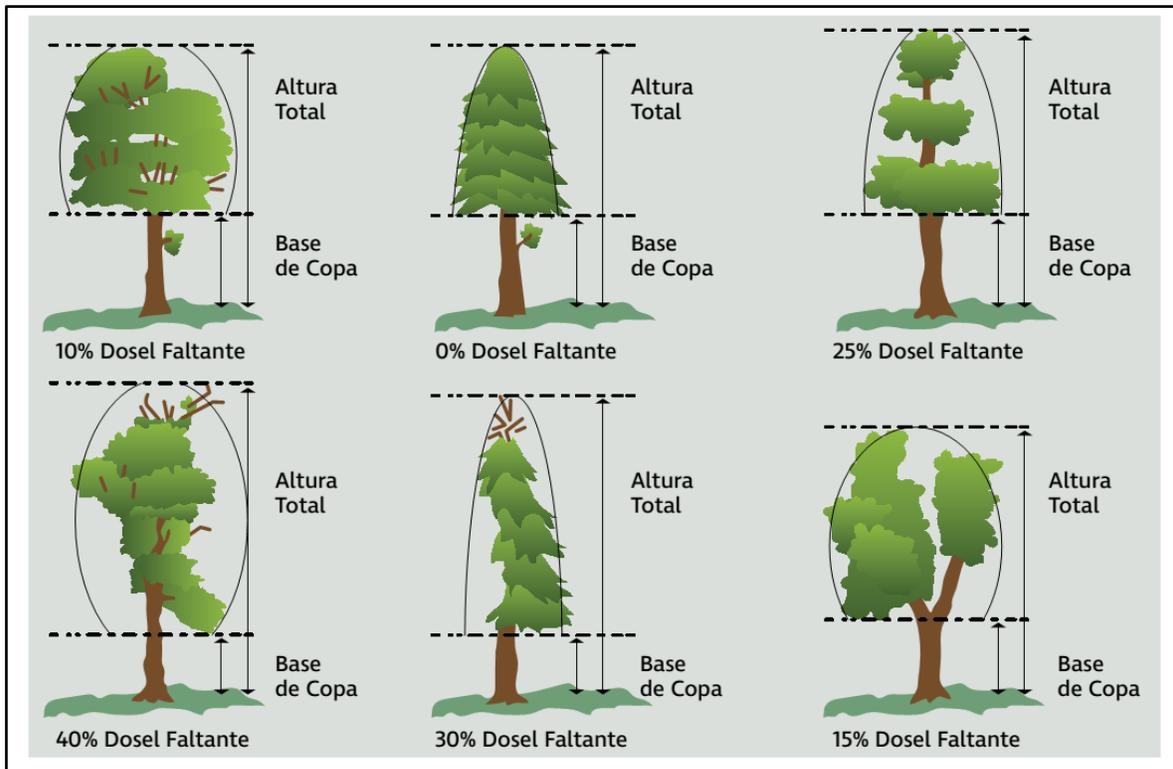


Figura 16. Ejemplos de cómo medir la altura total, la altura a la base de copa y el porcentaje de follaje faltante. Fuente: Traducción manual de campo i-Tree Eco, 2017.

Tabla 9. Clasificación de los árboles según los lados por los que recibe luz solar.

Valor	Descripción
-1	Árbol muerto
0	El árbol no recibe luz plena por estar sombreado por otros árboles, enredaderas, edificios u otro.
1	El árbol recibe luz plena del lado superior o 1 lateral.
2	El árbol recibe luz plena del lado superior y 1 lateral o solo dos lados laterales.
3	El árbol recibe luz plena del lado superior y de 2 laterales o 3 de lados.
4	El árbol recibe luz plena del lado superior y 3 laterales.
5	El árbol recibe luz plena por todos sus lados.

Fuente: Traducción, Manual de campo i-Tree Eco v6.0, 2017.

Por otro lado, i-Tree Eco, al ser un software que adapta el modelo UFORE para el procesamiento de sus datos, opera bajo una serie de supuestos de carácter científico, lo cual le permite trabajar a diferentes escalas y en diferentes escenarios. Algunos de estos supuestos se tratan a continuación.

3.3.3. Almacenamiento y secuestro de carbono por parte del arbolado urbano.

Dentro del modelo y para la elaboración de una matriz de datos de almacenamiento y secuestro de carbono para cada una de las especies arbóreas, el software trabaja con ecuaciones alométricas, que permiten estimar con precisión la biomasa de las diferentes especies.

Estas estimaciones de biomasa se combinan con las tasas de crecimiento medio arbóreo (y arbustivo), para derivar, tanto el almacenamiento de carbono, como su secuestro anual (Baro et al., 2014).

Las ecuaciones se basan en árboles cultivados dentro de bosques, pero como los árboles mantenidos en lugares abiertos tienden a tener menos biomasa en su área, que la predicha por las ecuaciones de biomasa derivadas del bosque para árboles con DAP similar, los resultados de biomasa para árboles urbanos abiertos fueron multiplicados por un factor predeterminado. Por otra parte, si no se pudo encontrar una ecuación alométrica para una especie individual, se utilizó el promedio de los resultados de las ecuaciones del mismo género. Si no se encontraron ecuaciones de género, se utilizó el promedio de los resultados de todas las ecuaciones de hoja ancha o de coníferas (Nowak et al., 2012)

Por otro lado, las tasas de crecimiento del modelo se basan en las fórmulas trabajadas por Fleming (1988), de acuerdo con el factor específico de crecimiento del DAP de cada árbol, estos se ajustaron en función a la condición actual del árbol (Nowak & Crane, 2002), tal y como muestra la tabla 10.

Tabla 10. Tasa anual de crecimiento arbóreo.

Tasa de crecimiento arbóreo	
Condición	Factor de crecimiento
Excelente/Bueno	1
Pobre	0,76
Crítico	0,42
Moribundo	0,15
Muerto	0

Fuente: Nowak & Crane, (2002).

Los factores de ajuste que existen son proporcionales al porcentaje de muerte regresiva de la corona (es decir, cuanto mayor era la muerte regresiva de la corona, más lenta era la tasa de crecimiento) y la suposición de que menos del 25% de muerte regresiva tenía un efecto limitado sobre las tasas de crecimiento del DAP. La diferencia en las estimaciones de almacenamiento de carbono entre un año y el año siguiente es la cantidad bruta de carbono secuestrada anualmente (Nowak & Crane, 2002).

Por último, la muerte del árbol conduce a la liberación final del carbono almacenado. Para estimar la cantidad neta de carbono secuestrada por los árboles urbanos, se deben considerar las emisiones de carbono debidas a la descomposición después de la muerte del árbol. Para calcular la liberación potencial de carbono debido a la muerte y descomposición del árbol, las estimaciones de las tasas de mortalidad anual, por clase de condición, se derivaron de un estudio de la mortalidad del árbol de las calles. La mortalidad anual se estimó de acuerdo a los estudios de Nowak & Crane (2002), en 1.92% para los árboles con un DAP de 0 -7,62 (cm) en la clase de condición de bueno-excelente; 1.46% para árboles mayores a 7,62 (cm) en la clase de estado bueno-excelente; 3.32% para árboles en buen estado; condición pobre = 8.86%; condición crítica = 13.08%; moribundo = 50%; y muerto = 100% (Figura 17).

Excelente/Bueno		Media	Pobre	Crítica	Moribundo	Muerto
						
DAP (cm)		3,32 %	8,86 %	13,08 %	50 %	100 %
0 - 7,62	7,62 <					
1,92 %	1,46 %					

Figura 17. Tasa de mortalidad anual del arbolado urbano. Fuente: Elaboración propia, en base a Nowak & Crane (2002).

3.3.4. Modelo de depósito en seco: Eliminación de contaminantes atmosféricos.

Para la eliminación de los contaminantes que se encuentran suspendidos en la atmósfera, i-Tree Eco genera un modelo a partir de los datos de estaciones meteorológicas cercanas, principalmente de precipitación y viento, además de ocupar los datos de contaminación atmosférica.

Este servicio de filtración de aire, según Baro et al., (2014), se cuantifica a partir de una modelización de la deposición seca (es decir, durante períodos sin lluvia) de los contaminantes atmosféricos, que tiene lugar en la superficie del arbolado urbano.

En ese sentido, según Nowak et al., (2006) el flujo de contaminante filtrado (F , en $\mu\text{g}/\text{m}^2 \text{h}^{-1}$) se calcula como el producto de la velocidad de deposición (V_d , en m/h^{-1}) y la concentración del contaminante (C , en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

$$F = V_d \times C$$

De esta manera, según Escobedo & Chacalo (2008), para obtener la velocidad de deposición (V_d), se calcula como la sumatoria de tres resistencias: aerodinámica (R_a), capa de contorno (límite), cuasilaminar (R_b) y de copa (R_c) (Nowak et al., 2006). Los valores de resistencia aerodinámica y capa de contorno son obtenidos a partir de los datos meteorológicos, junto con los algoritmos presentados por Nowak & Crane (2000). Mientras que, para obtener la resistencia de la copa, se utilizan los modelos de deposición de hoja grande y copa con múltiples capas, elaborados por Baldocchi et al., (1987). Cabe destacar que los efectos de (R_a) y (R_b) son relativamente pequeños, comparados con los de (R_c) (Nowak et al., 2006).

Por último, como la eliminación del material particulado (MP2,5) no está directamente relacionada con los procesos de fotosíntesis/transpiración, (R_c) se establece como una constante tanto para períodos con hojas, como sin ellas, mientras que la base de V_d se ajusta para estos mismos períodos. Por otro lado, para limitar las estimaciones de deposición a los períodos de deposición seca, las velocidades de deposición se establecen en cero durante los períodos de precipitación (Nowak et al., 2006).

4. CAPITULO IV: RESULTADOS.

La presentación de los resultados en este capítulo se encuentra ajustada a un análisis descriptivo realizado, y que está dado de acuerdo al cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos propuestos, fundamentándose mediante la puesta en marcha de las etapas metodológicas detalladas en el capítulo III.

4.1. Datos de las concentraciones atmosféricas de la ciudad de Concepción.

Antes de aplicar los modelos de imputación de datos perdidos fue necesario evaluar las características espaciales y temporales que presenta cada estación de monitoreo. En el gráfico 1, que muestra los valores promedios observados para las estaciones de monitoreo de calidad del aire por semana, es posible apreciar que la distribución de datos es, en general, similar entre estaciones, en donde no existen grandes variaciones.

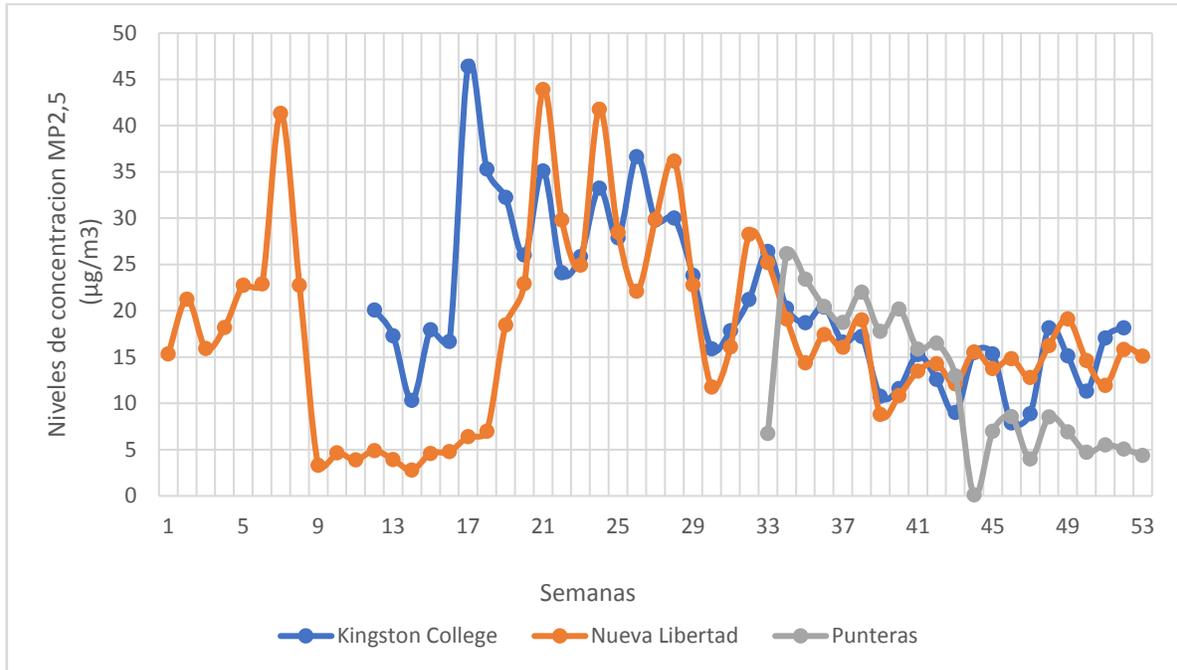
Aunque existen casos excepcionales como la semana 17, correspondiente al mes de abril donde la estación Kingston College ve aumentada su concentración de MP2,5, esto coincide además con el comienzo de la temporada otoño-invierno, y la disminución de temperaturas, por ende, la demanda por calefacción a leña aumenta, haciendo que las concentraciones de MP2,5 se vean incrementadas.

Por otro lado, a pesar de que la estación Kingston College presenta datos incompletos entre la semana 1 y 11 (enero y febrero), y la estación Punteras contiene sus datos incompletos hasta la semana 33 (agosto), es posible establecer cierta similitud entre las tres estaciones, ya que son de tendencia similar y, por lo tanto, la estación Nueva Libertad cumple bien la función de estación guía para ambas.

Siguiendo en la misma línea, los datos promedios observados por día (Gráfico 2) no presentan una mayor variación con respecto a las tres estaciones de monitoreo, todas responden al mismo patrón de distribución, con pequeñas diferencias en los niveles de concentración del contaminante. Esta similitud en los patrones de cada estación, según Masseran et al., (2013) indica la presencia de una fuente valiosa de información, que se puede usar para estimar los valores perdidos, particularmente con el método SDEM.

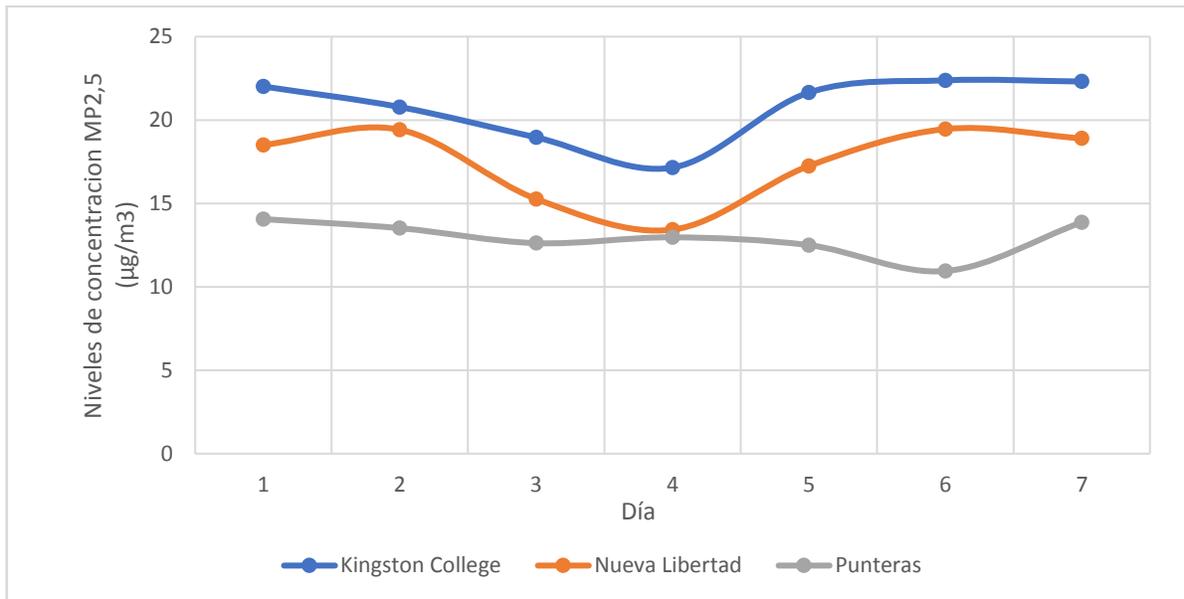
Por último, el gráfico 3 nos muestra los valores de promedio por hora para todas las estaciones, en donde, siguiendo la misma lógica anteriormente señalada, no existe una gran variación entre las tres estaciones. Si bien la estación Nueva Libertad presenta algunas variaciones mínimas, durante los horarios de 8 a 17 hrs, con respecto a las demás estaciones, esta no es ningún impedimento para la aplicación del método SDEM, debido a que presenta una base de datos completa.

Gráfico 1. Valores promedio de contaminación por MP2,5 observados durante todas las semanas de un año, para cada una de las estaciones de monitoreo.



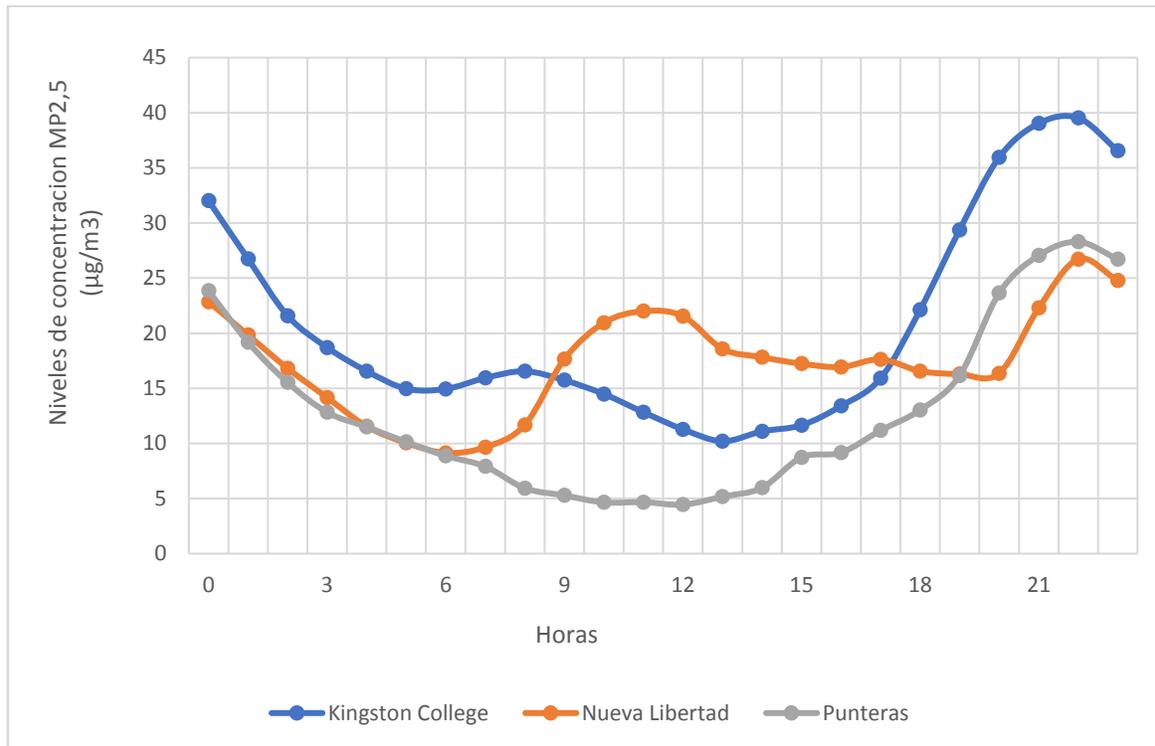
Fuente: Elaboración propia, en base a datos Red SINCA.

Gráfico 2. Valores promedio observados durante los días de la semana por un año, para cada una de las estaciones de monitoreo.



Fuente: Elaboración propia, en base a datos Red SINCA.

Gráfico 3. Valores promedio observados durante todas las horas por un año, para cada una de las estaciones de monitoreo.



Fuente: Elaboración propia, en base a datos Red SINCA.

Sabiendo que existe una relación entre los datos de contaminación de las tres estaciones consideradas, a partir de las evaluaciones realizadas y con la elaboración de los gráficos 1, 2 y 3, es posible implementar el método de sitio dependiente para la imputación de datos de calidad del aire (SDEM Model).

4.1.1. Aplicación del *SDEM Model*, para el material particulado (MP2,5).

El Anexo 2 muestra los valores específicos obtenidos por semana arrojados por el modelo, desde las estaciones Kingston College, Nueva Libertad y Punteras. De acuerdo con esto, dentro de las primeras once semanas del año (meses de enero, febrero y parte del mes de marzo), el componente específico para las estaciones Kingston College y Punteras es el promedio marginal pero con un valor negativo, mientras que para la estación Nueva Libertad es 0. Esto se debe, principalmente, a que, tanto las estaciones Kingston College, como Punteras no contaban con los valores de contaminación por MP2,5 para esas semanas, por lo tanto, solo se utilizó el promedio de la estación Nueva Libertad, que funciona como promedio marginal y que era la que contaba con esos valores (Ver Anexo 2).

Esta corrección es realizada por Masseran et al., (2013), indicando que debido a que el intervalo de valores perdidos es demasiado grande, (en este caso se extiende por

semanas), se utiliza el valor de la estación de monitoreo más próxima, que para este caso corresponde a la estación Nueva Libertad.

Por otra parte, se muestra el valor de sitio dependiente por día, de las estaciones de monitoreo analizadas, mientras que el cuadro 9 hace referencia a los valores de efecto sitio-dependiente por hora (Ver Anexo 2).

En este sentido, los elementos de efecto sitio-dependiente por día como por hora, se encuentran dentro de los márgenes de valores entregados por el modelo, ya que ambas matrices contienen una gran cantidad de datos.

De acuerdo con esto y considerando que los valores de efecto sitio-dependiente por semana, hora y día se encuentran calculados, se procede a realizar la imputación individual para cada uno de los valores perdidos, para la estación Kingston College, aplicando la ecuación 1.

A partir de la ecuación, se obtuvo como resultado todos los valores que se encontraban vacíos, permitiendo construir la serie completa de valores de concentración de contaminación atmosférica por MP2,5 por hora de la estación Kingston College, durante todo el año 2015.

Cabe mencionar que, si bien se necesitaron los datos de las estaciones Nueva Libertad y Punteras para la aplicación del modelo, solo fue necesario realizar la imputación de datos en la estación Kingston College, que corresponde, como fue señalado, a la seleccionada para obtener los datos de material particulado 2,5.

4.1.2. Análisis del comportamiento del material particulado (MP2,5), en la estación Kingston College, durante el año 2015.

A partir de los datos extraídos por la red de monitoreo SINCA y el modelo de imputación de datos SDEM, fue posible analizar el comportamiento general del MP2,5 en la estación Kingston College, durante el año 2015.

Por un lado, el promedio anual durante el año 2015 fue de $19,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quedando bajo la norma anual de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Además, los meses en los cuales los promedios de contaminación fueron más altos correspondieron a abril ($22,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mayo ($31,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), junio ($29 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y julio ($26 \mu\text{g}/\text{m}^3$), por el contrario, en los meses de octubre ($12 \mu\text{g}/\text{m}^3$), noviembre ($12,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), diciembre ($15,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y enero ($12,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) los valores disminuyen considerablemente, llegando a su valor mínimo en el mes de febrero ($9,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Tabla 11).

Tabla 11. Promedio anual de las concentraciones de MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), en la estación Kingston College, provincia de Concepción, año 2015.

Meses	MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Enero	12,6
Febrero	9,1
Marzo	20,5
Abril	22,9
Mayo	31,2
Junio	29
Julio	26
Agosto	20,5
Septiembre	16,9
Octubre	12
Noviembre	12,9
Diciembre	15,9
Promedio anual	19,1

Fuente: Elaboración propia, en base a datos Red SINCA.

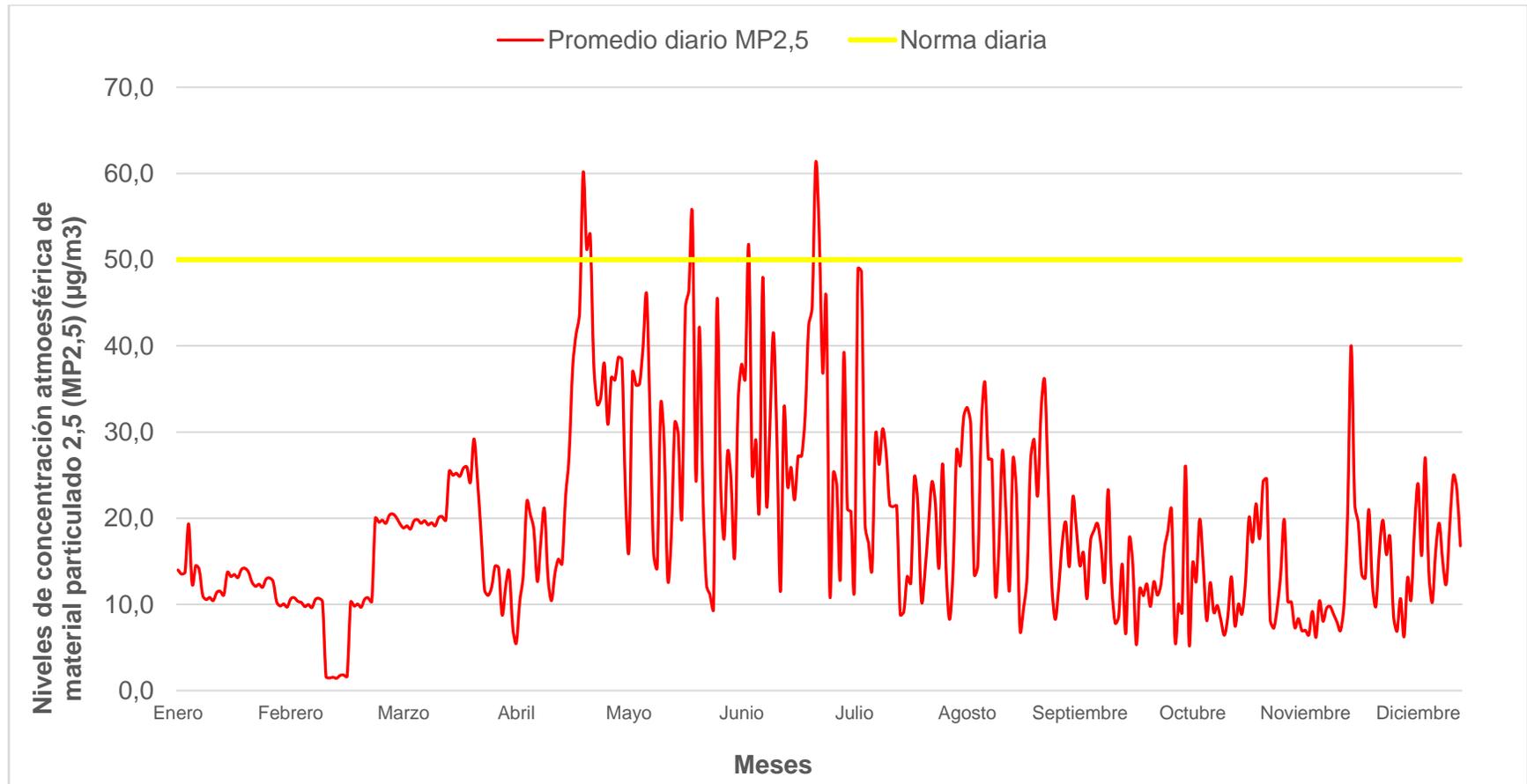
A nivel diario, los valores más altos observados durante el año 2015 corresponden a los meses de invierno. Durante dicha estación ocurrieron siete días en que la norma diaria de MP2,5 fue superada, estos corresponden a los días 26, 27 y 28 de abril, 27 de mayo, 12 de junio, 1 y 2 de junio (Gráfico 4).

El gráfico 4, además muestra como los períodos de concentración de MP2,5 disminuyen pasado los meses críticos de invierno y se logran estabilizar durante los meses de primavera-verano.

Por último, el gráfico 5 muestra el comportamiento horario de la concentración de MP2,5, presentando valores que fluctúan entre $16,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 8 horas y $10,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 13 horas. Por el contrario, los momentos del día que poseen una mayor concentración del contaminante se encuentran entre las 18 y 19 horas, donde se produce un aumento considerable de la concentración atmosférica de MP2,5, pasando de $20,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $26,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, alcanzando el *peak* a las 21 horas, con una concentración que llega a los $33,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dado lo anterior, el comportamiento durante el año 2015 de las concentraciones de MP2,5 en la ciudad de Concepción se encuentra influenciado principalmente por factores meteorológicos de escala local y sinóptica; fenómenos de inversión térmica, sistemas frontales, presencia de vientos moderados, sistemas de altas presiones, entre otras generan períodos de altas y bajas concentraciones de MP2,5 (CENMA, 2013).

Gráfico 4. Niveles promedio de concentración diaria de material particulado 2,5 (MP2,5), estación Kingston College, provincia de Concepción, año 2015.



Fuente: Elaboración propia, en base a datos Red SINCA.

Gráfico 5. Niveles promedio de concentración horaria de material particulado 2,5 (MP2,5), estación Kingston College, provincia de Concepción, año 2015.

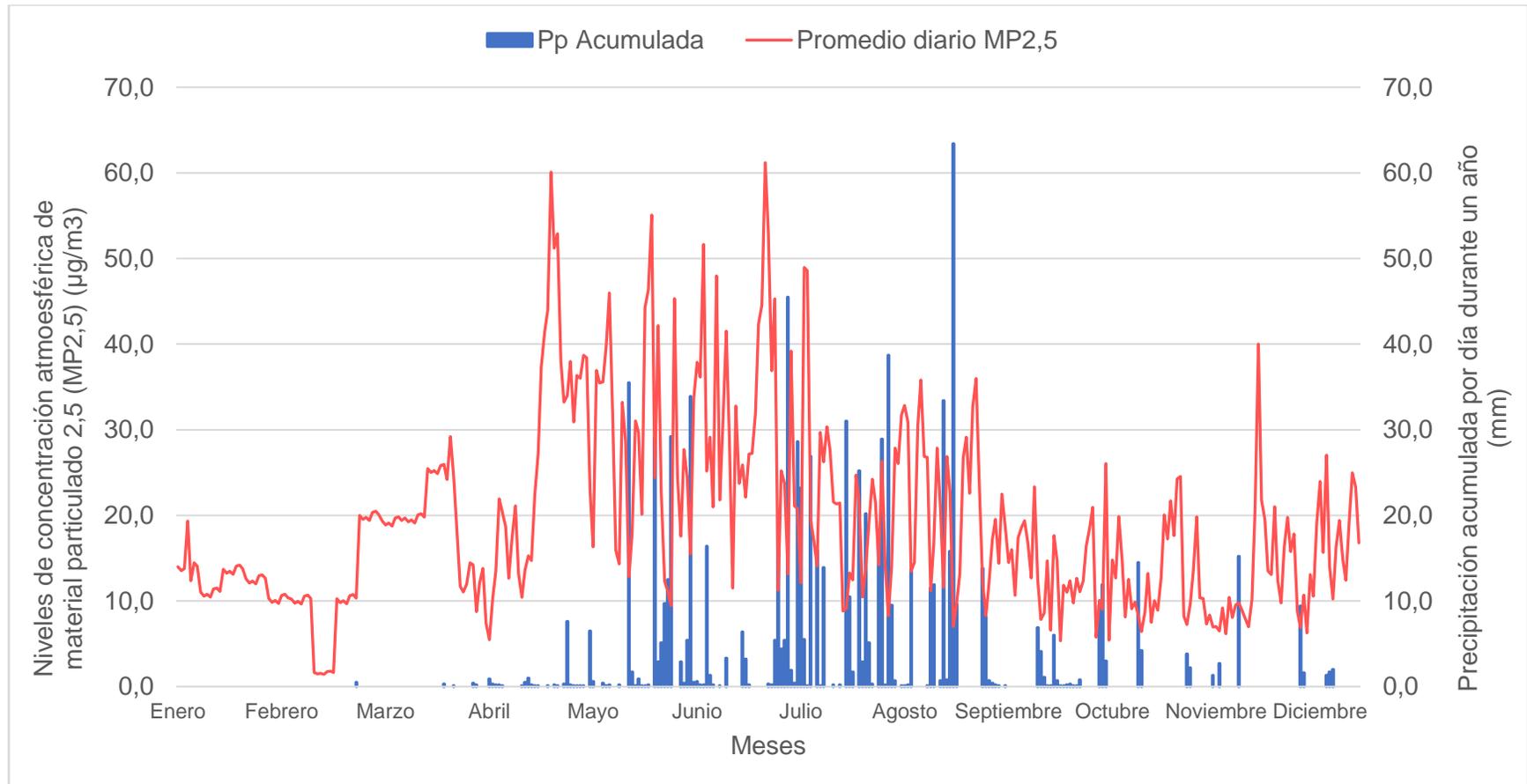


Fuente: Elaboración propia, en base a datos Red SINCA.

Por ejemplo, el gráfico 6 muestra cómo la concentración diaria de MP2,5 se comporta en relación con la precipitación acumulada por día durante el año 2015, de esta manera, los momentos de mayor precipitación coinciden con concentraciones menores de MP2,5, lo que ocurre, como es de esperar, principalmente durante los meses de invierno. Por el contrario, los períodos de escasa o nula precipitación, coinciden comúnmente con episodios en donde el nivel de concentración del contaminante atmosférico es mayor.

Además, los períodos de altas concentraciones de MP2,5 durante los meses de invierno, se relacionan con el uso de biomasa para calefacción domiciliaria, en donde para el área metropolitana de la ciudad de Concepción el aporte de material particulado alcanzaría el 46% de la concentración total durante los meses de invierno y el 25% de la concentración total anual, mientras que durante los períodos de primavera-verano, en donde las temperaturas son más cálidas, estas concentraciones disminuyen y el aporte de MP2,5 viene principalmente de fuentes puntuales, como el uso de calderas industriales, producción de cemento, calderas de generación eléctrica, y también de fuentes móviles; como automóviles, camiones de carga, microbuses, entre otras (Rojas et al., 2017).

Gráfico 6. Niveles promedio de concentración diaria de material particulado 2,5 (MP2,5) y precipitación diaria acumulada (mm), provincia de Concepción, año 2015.



Fuente: Elaboración propia, en base a datos Red SINCA y AGROMET.

4.2. Principales tipos de infraestructura verde al interior del área urbana de la ciudad de Concepción.

Dentro del área urbana, Concepción cuenta con una serie de elementos de la infraestructura verde. La Tabla 12 hace referencia a estos elementos, según su tipología y superficie (en hectáreas) que estos ocupan al interior de la ciudad. Los cerros corresponden a la tipología más relevante (268,60 Ha), seguido de las áreas verdes universitarias (74,63 Ha) y los humedales (51,51 Ha).

Tabla 12. Principales elementos de la infraestructura verde de carácter público, al interior de la ciudad de Concepción, según su tipología y tamaño.

Tipología	Hectáreas
Cerros ¹	268,60
A.V. Universitarias	74,63
Humedales	51,51
Riberas	21,24
Lagunas	20,58
Parques Urbanos	19,83
Plazas	9,85

Fuente: Elaboración propia, año 2018.

A continuación, tal y como muestra la figura 18, es posible identificar según su tipología, la distribución de los principales elementos de la infraestructura verde ubicados al interior del centro urbano de la ciudad de Concepción. Dentro de estos se reconocen: áreas verdes universitarias, cerros, humedales, lagunas, plazas, riberas y parques urbanos, los cuales se distribuyen y configuran en su interior.

Según Pauchard et al., (2006) los principales espacios verdes y de mayor importancia ecológica en Concepción, tales como humedales, lagunas y cerros, han sido reemplazados por pavimento y edificios, mientras lo que queda del suelo natural está cubierto por áreas verdes, ya sea parques o plazas, que en su mayoría se encuentran dominadas por especies ornamentales no nativas

Cabe mencionar, además, que en su mayoría el potencial verde de la ciudad de Concepción se encuentra en sus alrededores, existiendo una alta presencia de cerros verdes que coexisten con el desarrollo de la urbe (OCUC, 2018). Sin embargo, el problema se relaciona principalmente con el acceso que tienen las personas a estos espacios, además de la presencia de vegetación exótica y de cultivo, como *Pinus radiata* (Pino insigne) y *Eucalyptus globulus* (Eucalipto común), que han reducido la vegetación nativa en los lugares próximos a la ciudad (Pauchard et al., 2006).

¹ Incluye cerros islas.

Por ejemplo y de acuerdo con esto último, un estudio realizado por el Observatorio Metropolitano del Gran Concepción encontró que solo el 10% de los espacios urbanos se encuentran adecuadamente habilitados en forma de miradores, costaneras, paseos y parques para la apreciación del entorno natural y el paisaje (Observatorio Metropolitano del Gran Concepción, 2014).

Siguiendo en esta misma línea, además, es posible visualizar el alto grado de fragmentación de las principales áreas verdes al interior de la ciudad, producto de la consolidación de los centros urbanos, y que traen consigo la disminución de los espacios que podrían albergar algún tipo de cobertura vegetal (OCUC, 2018).

En consecuencia, el parque Ecuador es la única área verde de la ciudad que presenta las características propias de un parque urbano, tanto por su accesibilidad universal, el acceso a servicios, su localización, tamaño e infraestructura. Todo esto lo ubica como el principal parque urbano de la ciudad de Concepción, he ahí su relevancia y necesidad de estudio.

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

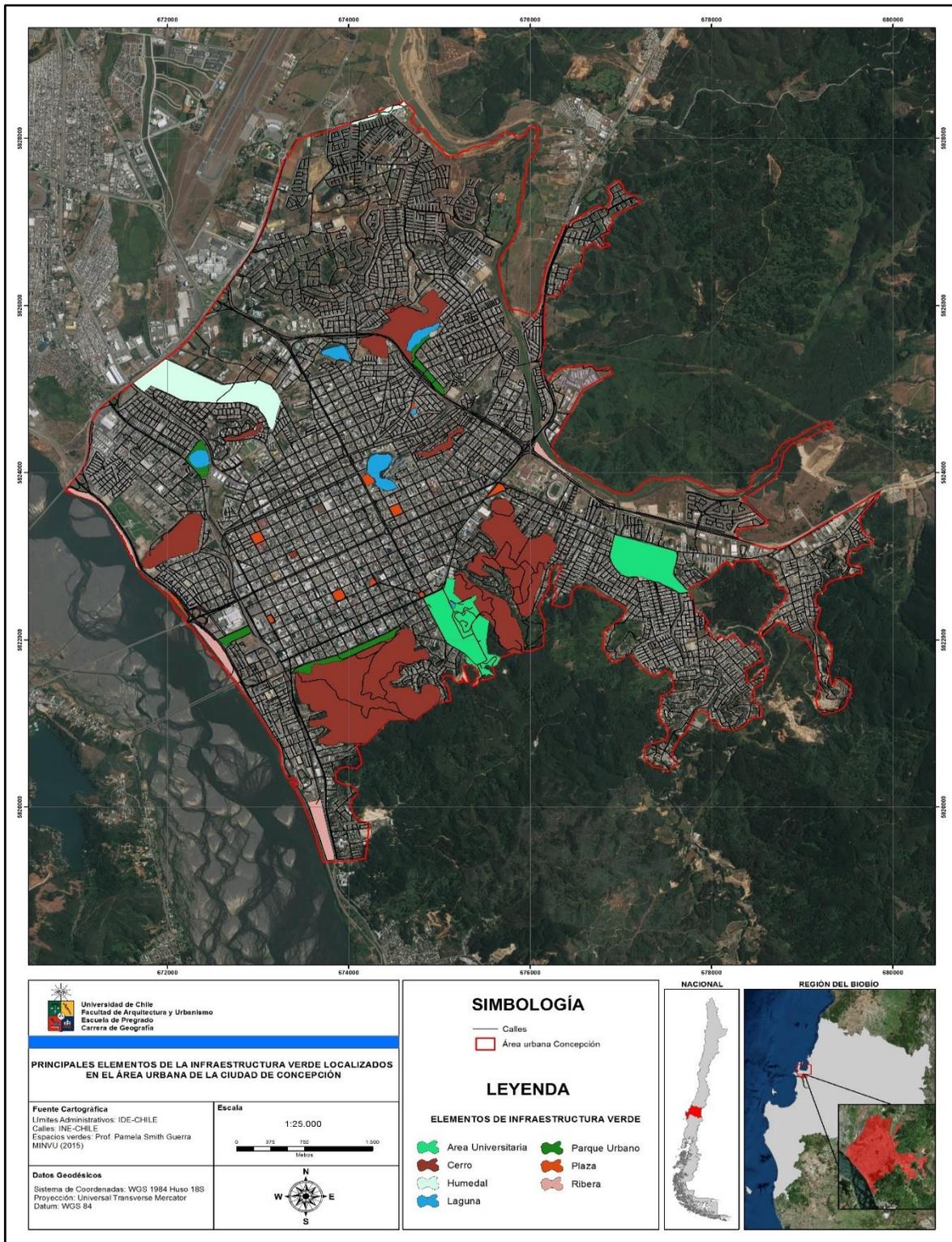


Figura 18. Distribución de los elementos de la infraestructura verde localizados al interior del centro urbano de la ciudad de Concepción. Fuente: Elaboración propia en base a fotointerpretación de imágenes satelitales y trabajo en terreno.

La Tabla 13, por otro lado, muestra la información en detalle de estos elementos de la infraestructura verde urbana, siendo los cerros Caracol y La Virgen, los espacios más importantes en cuanto al número de hectáreas que poseen. En ese mismo sentido, el humedal Paicaví es un ecosistema importante dentro del entorno urbano de la ciudad, además de ser relevante por su superficie. Paicaví es uno de los últimos humedales localizados al interior del área urbana de Concepción y que actualmente se encuentra amenazado por diferentes intereses empresariales de carácter inmobiliario, de ahí su importancia y su cuidado (Comité de Defensa Humedal Paicaví, 2018).

Los espacios verdes de las universidades de Concepción (Figura 19) y Biobío ofrecen al interior de sus campus, una importante cantidad de áreas verdes (Tabla 13). Es relevante señalar que la cantidad de hectáreas involucradas, en ambos casos, abarca todo el campus, incluyendo salas, edificios, áreas deportivas, etc., en consecuencia, ambos elementos presentan una superficie mayor que si solo se incluyen sus áreas verdes.

Otro de los elementos de la infraestructura verde urbana que destaca por su superficie es el Parque Ecuador (Figura 20), que en conjunto con el cerro Caracol, son considerados el pulmón verde de la ciudad. Además de ser el principal parque urbano de Concepción, el parque Ecuador destaca por su accesibilidad y su cercanía al centro histórico, relacionando su presencia con la dinámica vida urbana y los ciclos vitales de la naturaleza y su biodiversidad (Bascañán et al., 2007).

Además, las lagunas Redonda (Figura 21), lo Galindo (Figura 22) y Tres Pascualas, son fundamentales tanto por su valor recreativo como ecológico al interior de la ciudad, siendo el hogar de diferentes tipos de aves que habitan en los sectores próximos.

Tabla 13. Principales elementos de la infraestructura verde en la ciudad de Concepción, según su superficie.

Nombre	Hectáreas
Cerro Caracol	123,40
Cerro La Virgen	86,73
Humedal Paicaví	48,12
Área verde privada U. de Concepción	43,11
Área verde privada U. del Biobío	31,52
Cerro Lo Galindo	24,89
Cerro Chepe	20,99
Parque Ecuador	8,59
Área de ribera	8,47
Laguna Las tres Pascualas	8,17

Fuente: Elaboración propia, año 2018.

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

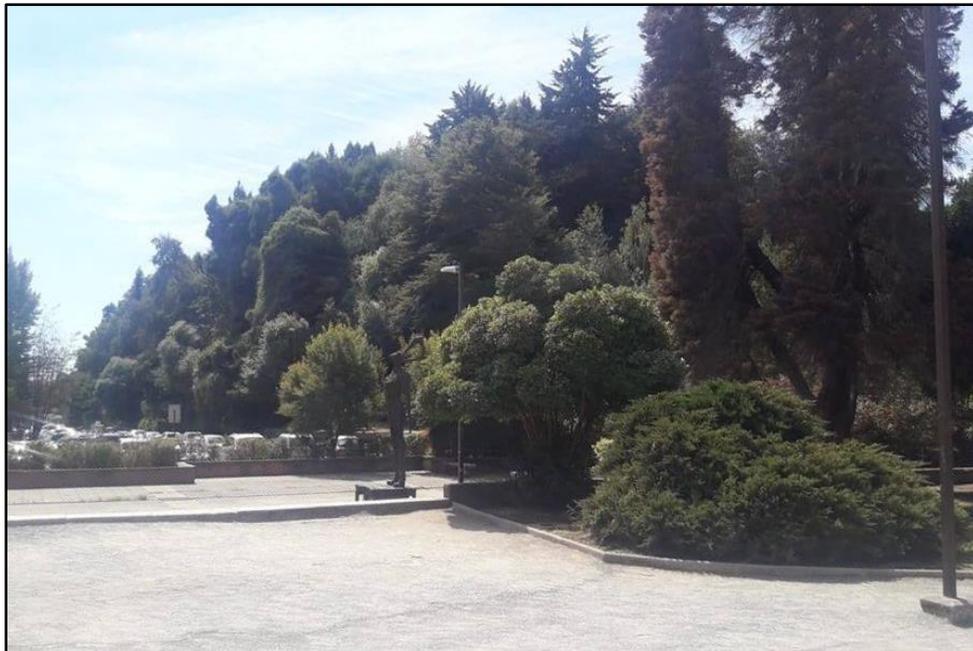


Figura 19. Elementos de la infraestructura verde de la ciudad de Concepción, vista campus Universidad de Concepción. Fuente: Elaboración propia, 2018. Fotografía tomada el 03 de octubre, 2018.



Figura 20. Elementos de la infraestructura verde de la ciudad de Concepción, vista Parque Ecuador. Fuente: Elaboración propia, 2018. Fotografía tomada el 04 de octubre, 2018.

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.



Figura 21. Elementos de la infraestructura verde de la ciudad de Concepción, vista Laguna Redonda. Fuente: Elaboración propia, 2018. Fotografía tomada el 04 de octubre, 2018.

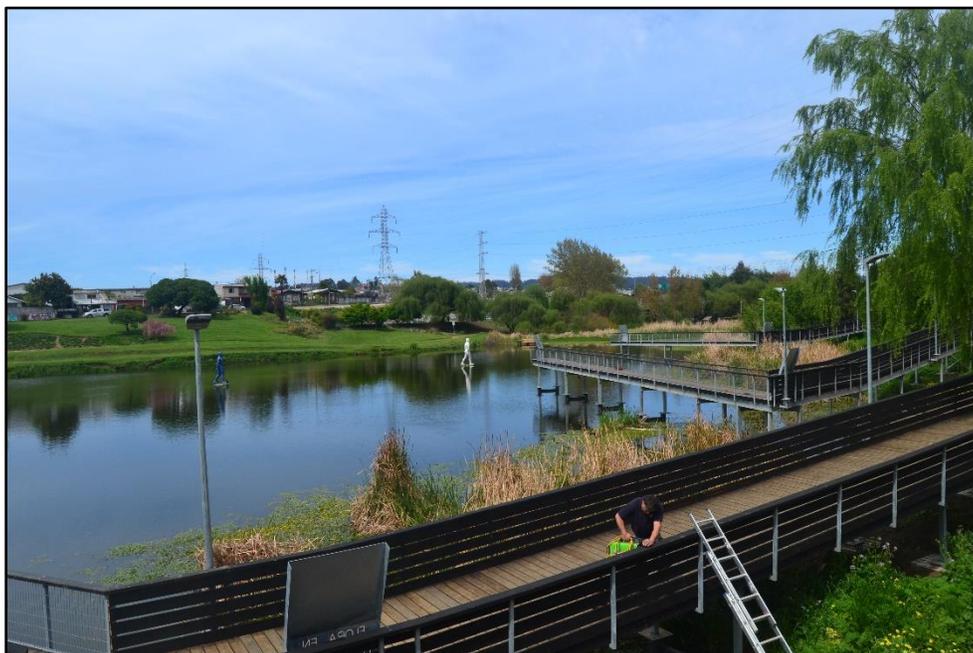


Figura 22. Elementos de la infraestructura verde de la ciudad de Concepción, vista Parque y laguna Lo Galindo. Fuente: Elaboración propia, 2018. Fotografía tomada el 04 de octubre, 2018.

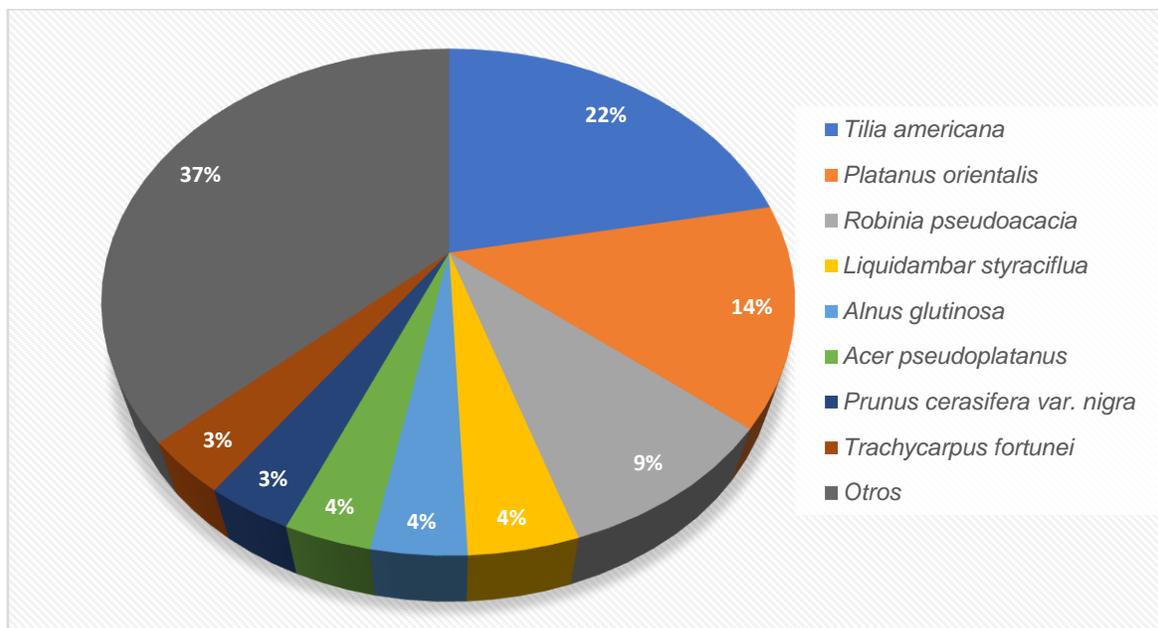
4.3. Análisis de la estructura del arbolado urbano presente en el “Parque Ecuador”.

El análisis propuesto para dar cumplimiento a este objetivo fue elaborado gracias al trabajo en terreno realizado durante los meses de abril a diciembre del año 2018 y fueron modelados por software i-Tree Eco, esto se encuentra detallado en la metodología propuesta anteriormente (ver 3.3), obteniendo a partir de ella los siguientes productos:

4.3.1. Riqueza de especies arbóreas en el Parque.

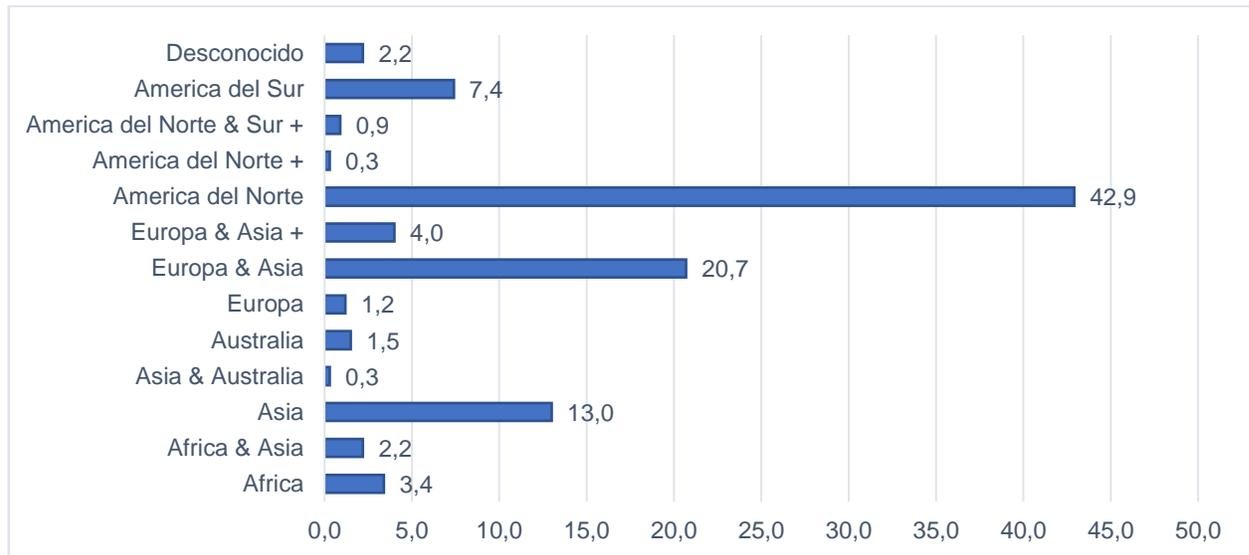
De acuerdo al inventario realizado en el parque Ecuador, se identificaron 351 árboles urbanos en su interior, de los cuales; *Tilia americana* (21,9 %), *Platanus orientalis* (14,0 %) y *Robinia pseudoacacia* (9,1 %), son los más frecuentes (Gráfico 7). De los 351 árboles identificados, se encontraron un total de 53 especies diferentes, en su mayoría árboles exóticos, siendo América del Norte el continente de origen de las especies que más aporta al interior del parque, con un 42,9 % de los individuos inventariados (Gráfico 8).

Gráfico 7. Porcentaje de árboles totales, según especies al interior del parque Ecuador, año 2018.



Fuente: Elaboración propia en base a modelación hecha por el software i-Tree Eco.

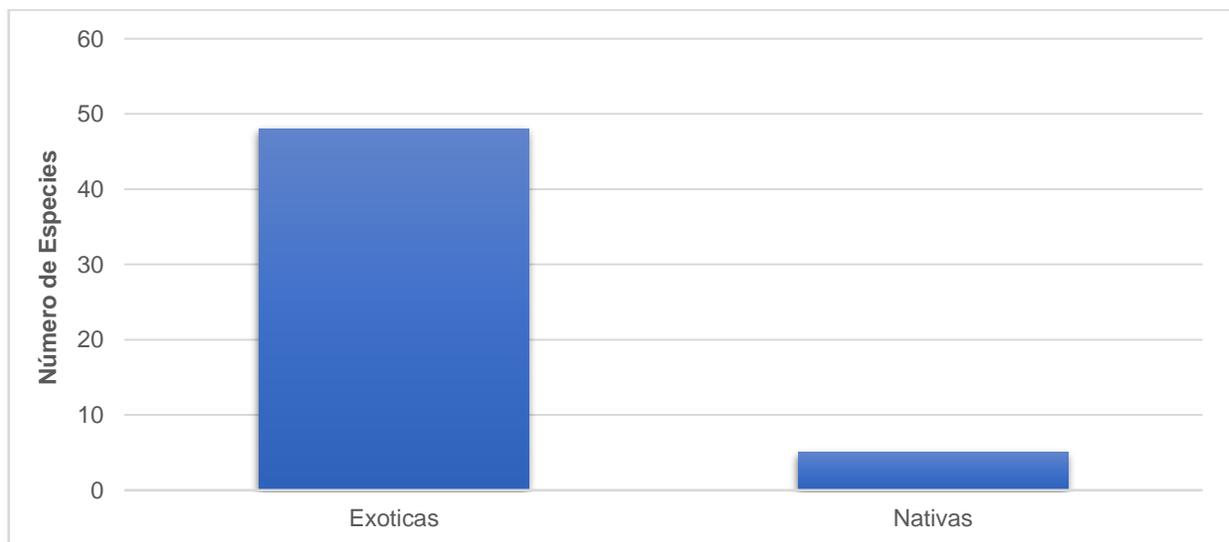
Gráfico 8. Porcentaje de especies según su lugar de origen al interior del parque Ecuador, año 2018.



. Fuente: Elaboración propia en base a modelación hecha por el software i-Tree Eco.

Cabe mencionar, además, que, de estas especies, solo cinco son nativas de nuestro país (Gráfico 9): *Maytenus boaria* (Maitén), *Quillaja saponaria* (Quillay), *Cryptocarya alba* (Peumo), *Araucaria araucana* (Pehuén) y *Peumus boldus* (Boldo). En este sentido, la figura 23 muestra la distribución de las especies al interior del parque, según su origen.

Gráfico 9. Número de especies totales según su origen, año 2018



. Fuente: Elaboración propia en base a modelación hecha por el software i-Tree Eco.

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

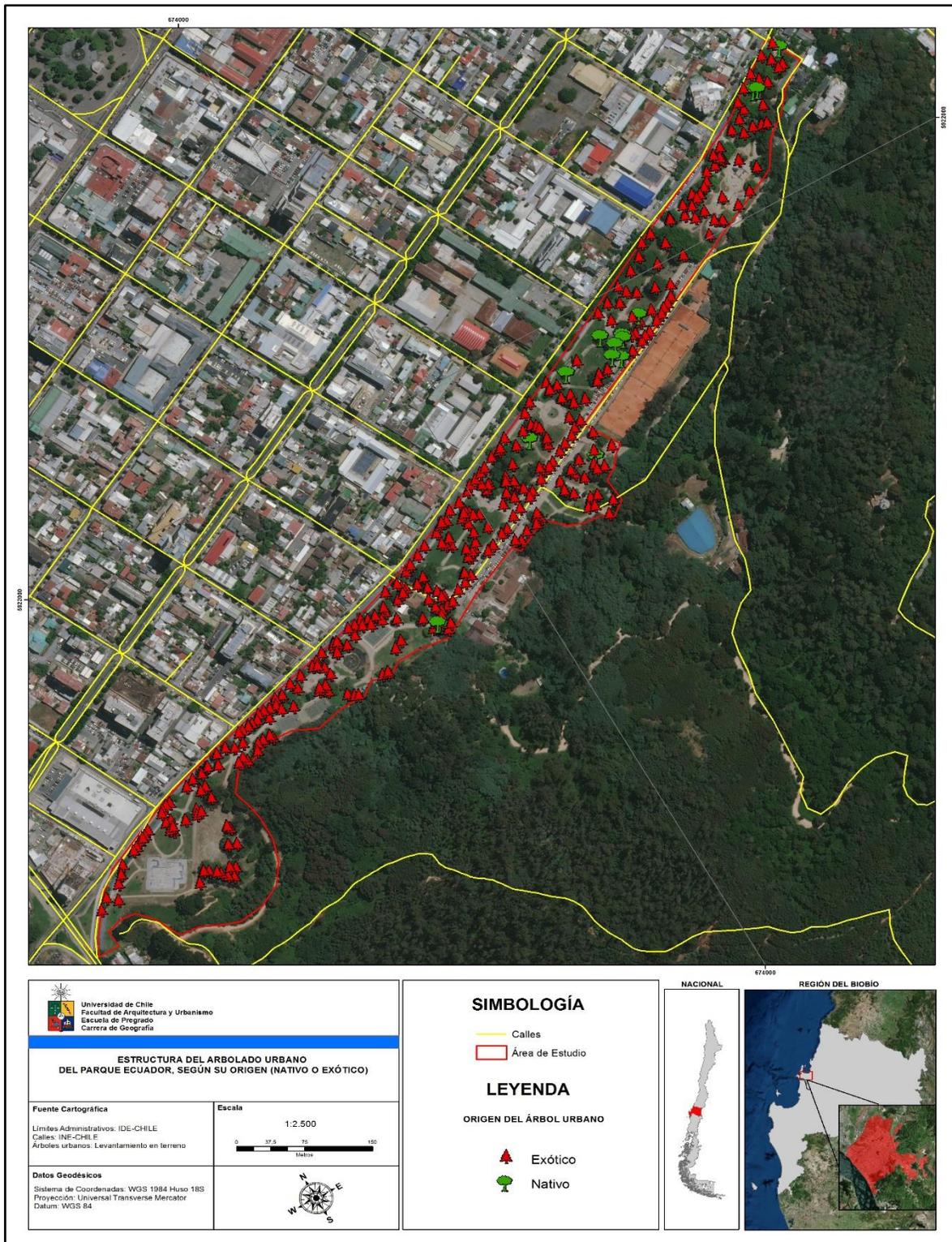


Figura 23. Distribución del arbolado urbano al interior del parque Ecuador, según su origen (2018). Fuente: Elaboración propia, en base a inventario de árboles urbanos realizado durante el primer semestre del año 2018..

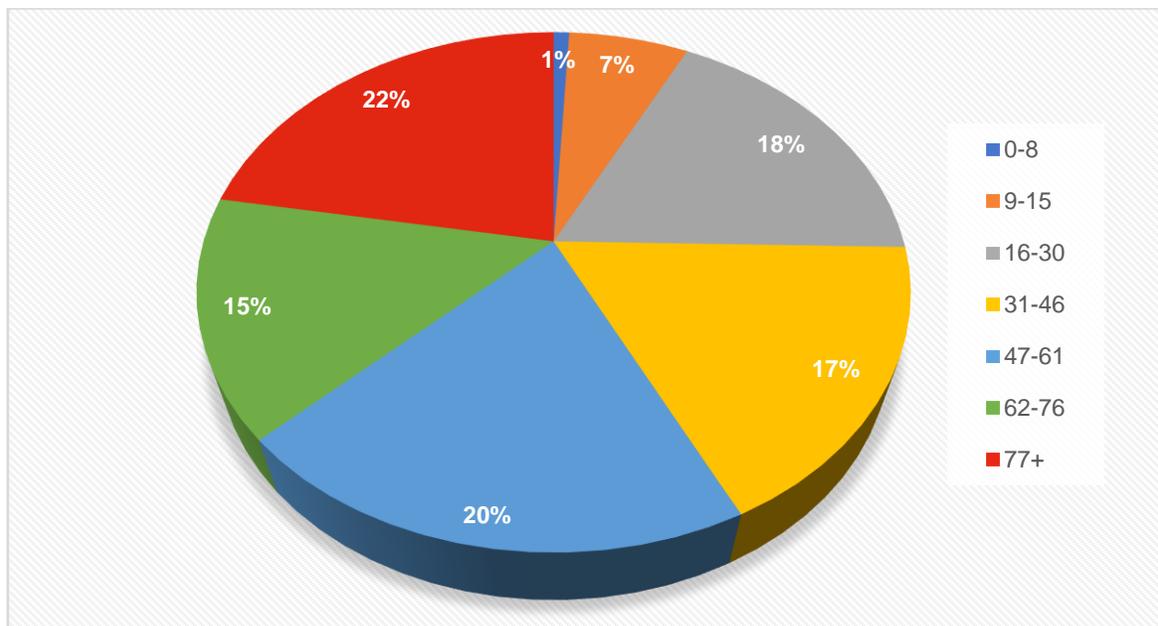
En general, la presencia de árboles nativos en el entramado urbano de las ciudades es bajo, por ejemplo, en un estudio realizado durante los años 2002-2014, en Santiago, más del 90% de las especies de árboles urbanos son exóticas, las cuales representan entre el 96% y 86% del número total de árboles medidos durante los años del estudio (Hernández & Villaseñor, 2018)

La ciudad de Concepción no es la excepción, sus áreas verdes, por lo general, se encuentran dominadas por especies ornamentales no nativas, tales como *Liquidambar styraciflua* (Liquidámbar), *Robinia pseudoacacia* (Falsa acacia), *Platanus orientalis* (Plátano oriental), entre otras (Pauchard et al., 2006). Siguiendo la misma línea, este caso no es diferente y de los 351 árboles inventariados al interior del parque Ecuador, el 95,73% de los árboles corresponde a especies de origen exótico.

4.3.2. Árboles por DAP (Diámetro a la altura del pecho).

El Gráfico 10, muestra el porcentaje de distribución de los 351 árboles al interior del parque Ecuador según su DAP, de acuerdo con esto, los árboles que tienen una mayor presencia son aquellos que tienen un DAP mayor a 77 cm (22%). Por otro lado, solo el 1% de los árboles poseen un DAP menor a los 8 cm.

Gráfico 10. Porcentaje de distribución de los árboles al interior del parque según DAP (en cm).



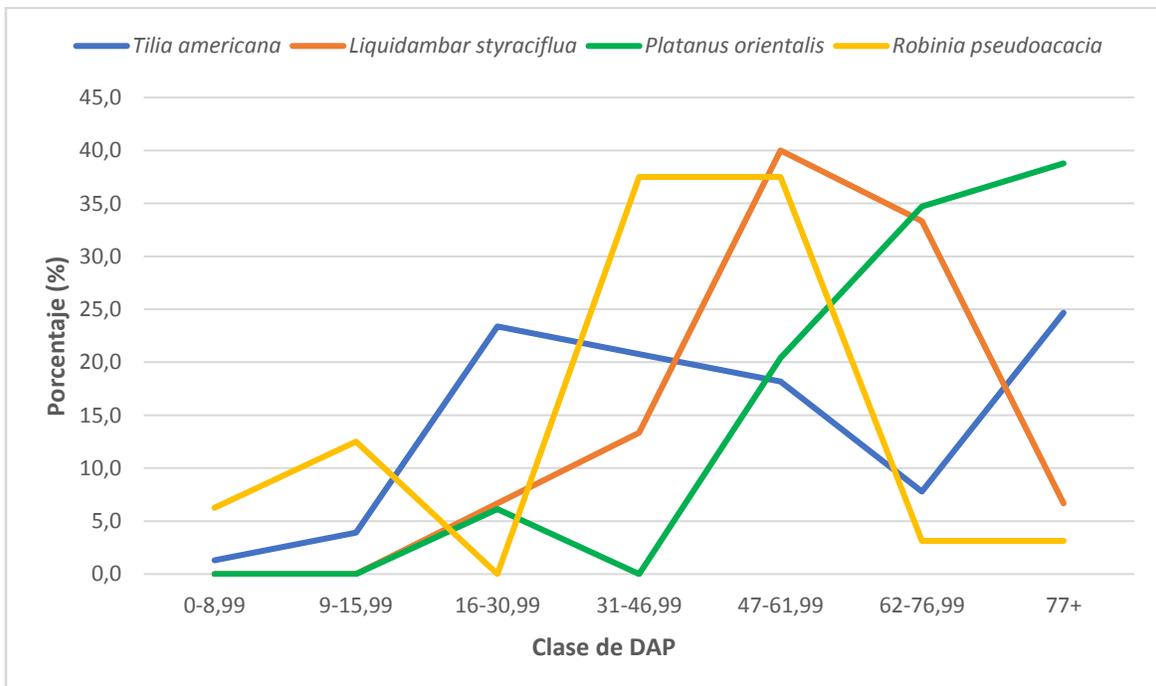
Fuente: Elaboración propia en base a modelación hecha por el software i-Tree Eco.

Los árboles que tienen una mayor frecuencia al interior del parque (*Tilia americana*, *Platanus orientalis*, *Robinia pseudoacacia*, *Liquidambar styraciflua*), presentan, por lo general, una distribución concentrada en los intervalos de DAP medios y mayores.

Por ejemplo, para la especie *Tilia americana* (Tilo), el 25% de los árboles muestreados presenta valores de DAP superiores a los 77 cm, seguido de un 23,4% de los individuos con un DAP entre 16-30,9 cm y un 20,8% con un DAP entre 31-46,99 cm. Mientras que para la especie *Platanus orientalis* (Plátano oriental), la mayoría de los individuos (38,8%) poseen un DAP superior a los 77 cm, seguido de un 34,7% que tienen un DAP entre 62-76,9 cm y un 20,4% de árboles que poseen un DAP entre 47-61,9 cm. Así mismo, las especies de *Robinia pseudoacacia* (Falsa acacia), presentan principalmente valores entre 31-46,9 cm y 47-61,9 cm, ambos con un 37,5%. Por último, la especie *Liquidambar styraciflua*, presenta una mayor concentración de valores de DAP, entre los intervalos 47-61,9 cm con un 40% y el intervalo de 62-76,99 cm con un 33% (Gráfico 11).

La Figura 24, muestra la distribución de DAP que poseen todos los árboles inventariados al interior del parque. Mientras que para conocer los valores de DAP de todas las especies ubicadas al interior del parque ver anexo 3.

Gráfico 11. Porcentaje de distribución del DAP de las especies con mayor presencia al interior del parque: *Tilia americana* (Tilo), *Platanus orientalis* (Plátano oriental), *Robinia pseudoacacia* (Falsa acacia) y *Liquidambar styraciflua* (Liquidámbar).



Fuente: Elaboración propia en base a modelación hecha por el software i-Tree Eco.

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

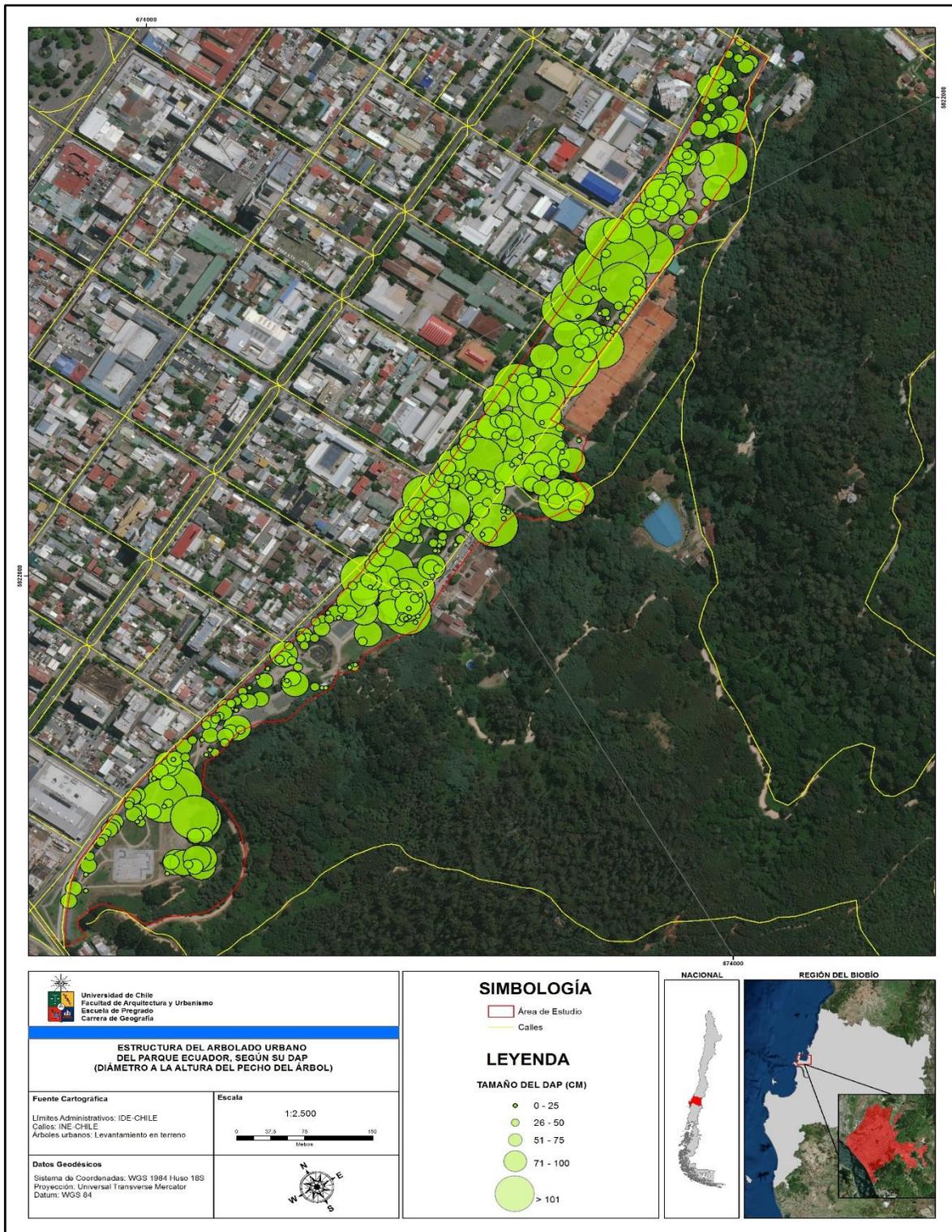


Figura 24. Distribución de las especies inventariadas al interior del parque Ecuador, según su DAP (2018). Fuente: Elaboración propia, en base a inventario de árboles urbanos realizado durante el primer semestre del año 2018 y modelación hecha por el software i-Tree Eco.

4.3.3. Condición del arbolado urbano.

La condición del arbolado urbano hace alusión al estado de salud actual a partir de la copa de cada árbol, para luego generar un promedio a nivel general para cada especie (i-Tree Eco, 2017).

En general, al interior del parque la condición total promedio de todas las especies fue de un 49,71%, en donde las especies que presentaban los individuos en las mejores condiciones fueron: *Sequoia sempervirens* (Secuoya de California) (98,25%), *Phoenix canariensis* (Palmera canaria) (96,14%), *Peumus boldus* (Boldo) (94,50%), *Cedrus deodara* (Cedro del Himalaya) (94,50%), *Cryptocarya alba* (Peumo) (94,50%), entre otras.

Por otro lado, las especies que presentaban los individuos con las peores condiciones a nivel de copa fueron: *Catalpa bignonioides* (Catalpa común), *Betula pendula* (Abedul común), *Myoporum laetum* (Mioporo), *Quercus robur* (Roble común), ya que no poseían hojas en su copa o sus hojas se encontraban en condiciones paupérrimas, por lo tanto, su condición general fue evaluada con un 0%.

La Figura 25, muestra la distribución actual de las especies, según la condición actual que presentaba la copa al momento de ser inventariada, mientras que en el anexo 4 se encuentran todas las especies inventariadas y su condición promedio.

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

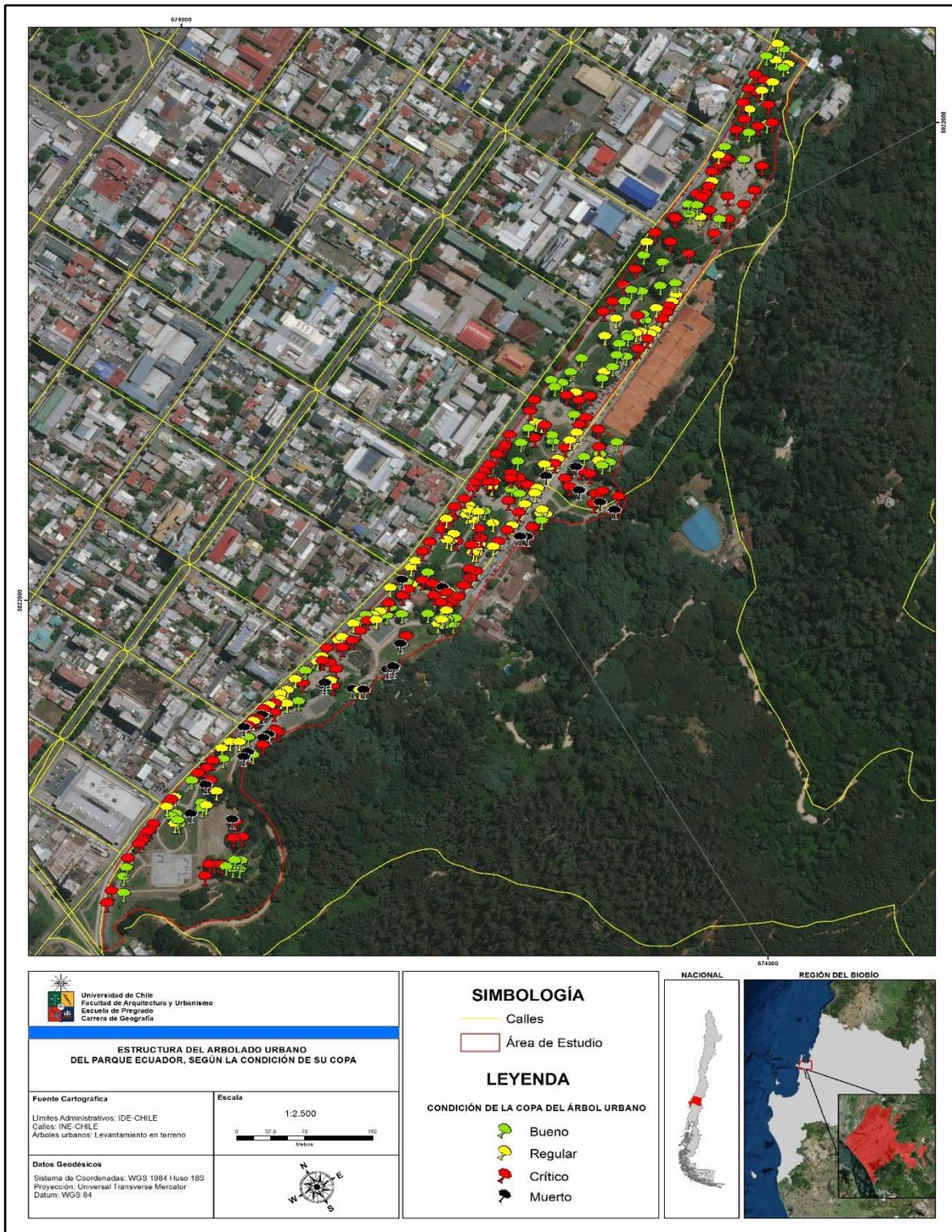


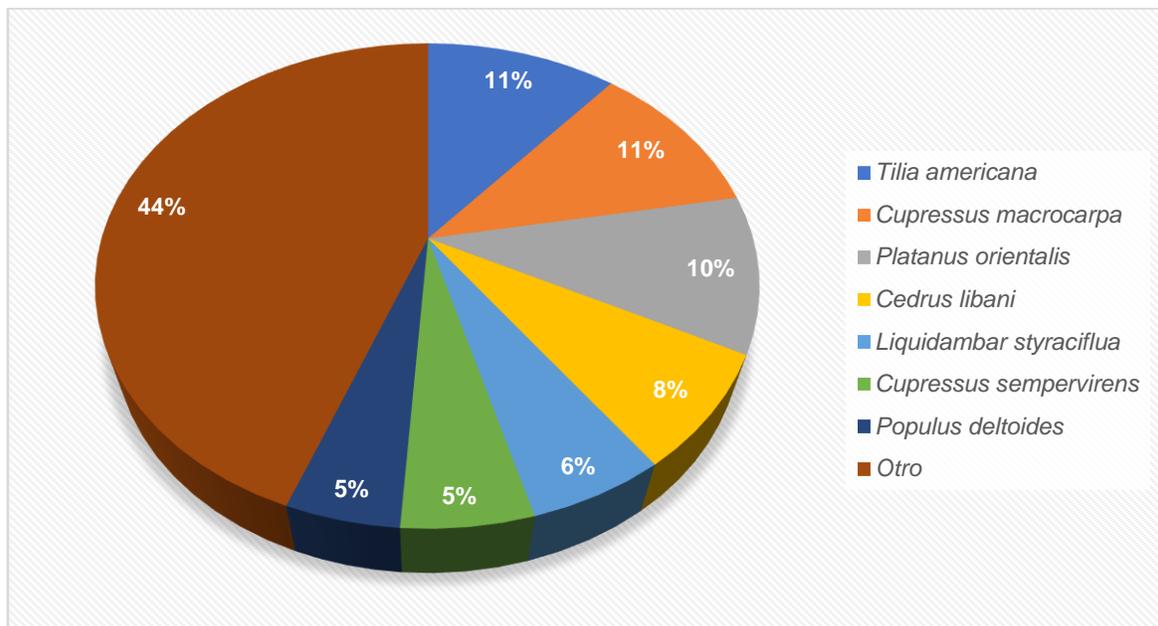
Figura 25. Distribución de las especies inventariadas al interior del parque Ecuador, según la condición de copa que presentaban en el momento (2018). Fuente: Elaboración propia, en base a inventario de árboles urbanos realizado durante el primer semestre del año 2018 y modelación hecha por el software i-Tree Eco.

4.3.4. Área foliar de la estructura arbórea por hectárea (Ha).

El área foliar de la estructura arbórea hace referencia a la cobertura de la copa y el tamaño de las hojas de cada especie, la que puede variar según género, especie e incluso dentro de un mismo individuo (Álvarez et al., 2012).

Según los resultados arrojados por el modelo, la cobertura total de área foliar de las 351 especies que se encuentra al interior del parque es de 6,223 ha. Las especies que tienen una mayor área foliar son: *Tilia americana* (Tilo) (0,695 Ha), *Cupressus macrocarpa* (Ciprés de Monterrey) (0,681 Ha), *Platanus orientalis* (Plátano oriental) (0,647 Ha), *Cedrus libani* (Cedro del Líbano) (0,472 Ha), entre otras. El Gráfico 12 hace referencia a las especies que tienen un mayor porcentaje de cobertura de área foliar al interior del parque.

Gráfico 12. Porcentaje de cobertura del área foliar por especie.



Fuente: Elaboración propia en base a modelación hecha por el software i-Tree Eco.

4.4. Monto de captura y eliminación de contaminantes atmosféricos que posee el arbolado urbano del “Parque Ecuador”.

Los resultados obtenidos a partir de la simulación hecha por software i-Tree Eco, se sustentan en los datos de estructura arbórea del parque (ver 4.3) y de contaminación (ver 4.1), además de la inclusión de datos de precipitación local, es así que se modela la captura y posterior eliminación de contaminantes atmosféricos que realiza el arbolado urbano, mientras que el almacenamiento y secuestro de carbono que posee la estructura arbórea del parque, es calculada de acuerdo al CO₂ equivalente que estos pueden producir hacia la atmosfera. Así mismo los valores de COVBs son simulados por el software mediante datos de estructura arbórea y su posible comportamiento, de acuerdo a la literatura consultada.

4.4.1. Eliminación total anual de MP2,5 por parte del arbolado urbano del parque Ecuador.

De acuerdo con el modelamiento realizado por el software i-Tree Eco, la contaminación total eliminada durante el año 2015 por el arbolado urbano del parque Ecuador fue de 4,52 Kg de MP2,5. La Tabla 14, muestra el comportamiento que tuvo a nivel mensual la estructura arbórea presente en el parque, frente a la eliminación de material particulado 2,5 (MP2,5), además de involucrar el valor monetario alcanzado por este proceso, calculado por el software mediante los valores europeos de externalidades promedio (van Essen et al., 2011), con las ecuaciones de regresión BenMAP (Nowak et al., 2014), que incorporan cálculos de población definidos localmente. Luego los valores fueron convertidos desde dólares (USD) a peso chileno (CLP).

Tabla 14. Valor y eliminación mensual material particulado 2,5 (MP2,5), por parte de la estructura arbórea del parque Ecuador, año 2015.

Mes	Material Particulado 2,5 (MP2,5)	
	Eliminación (kg) (media)	Valor (\$) (media)
Enero	0,231	1061,47
Febrero	-0,105	-481,67
Marzo	0,053	244,22
Abril	0,219	1006,02
Mayo	0,789	3626,7
Junio	1,097	5043,18
Julio	0,715	3284,85
Agosto	0,559	2569,3
Septiembre	0,209	962,58
Octubre	0,371	1703,5
Noviembre	0,424	1950,86
Diciembre	-0,048	-218,82
Anual	4,515	20752,19

Fuente: Elaboración propia en base a modelación hecha por el software i-Tree Eco.

En general, los valores se encuentran dentro de los estándares del modelo, considerando la extensión de parque (8,59 ha).

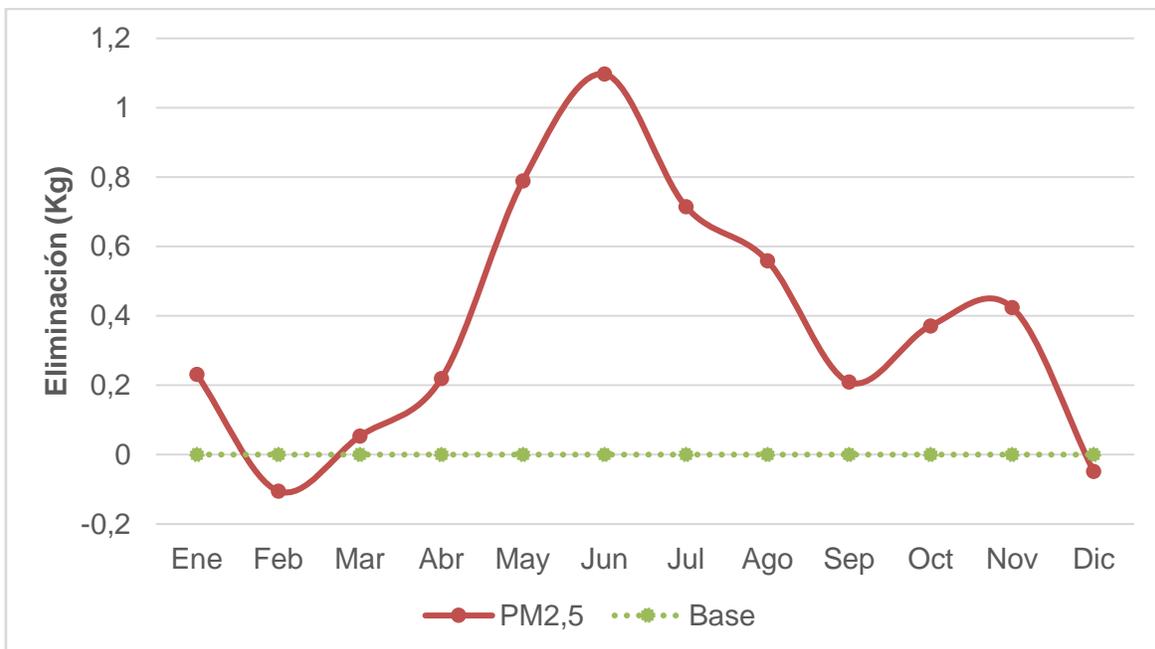
En relación con los valores de eliminación de MP2,5, la presencia de valores negativos según Nowak et al., (2013) es debido a que, como los árboles eliminan MP2.5 cuando se deposita en la superficie de las hojas, este material depositado es posible que pueda ser re suspendido hacia la atmósfera o eliminarse durante la lluvia y disolverse o transferirse al suelo. La combinación de eventos puede conducir a una eliminación y valor de la contaminación positiva o negativa, dependiendo de varios factores atmosféricos. Por lo general, la eliminación de MP2.5 es positiva, con beneficios positivos para la salud y las

áreas urbanas, sin embargo, existen casos donde la eliminación neta es negativa o las partículas vuelven a suspender conduciendo a mayores concentraciones de contaminación y valores negativos. Durante algunos meses (p. ej., sin lluvia), los árboles vuelven a suspender más partículas de las que eliminan.

Esta re-suspensión de partículas puede conducir a un aumento general de las concentraciones de MP2.5 si las condiciones de la capa límite son menores durante los períodos de re-suspensión neta, que durante los períodos de eliminación neta. Debido a que los valores de eliminación de la contaminación se basan en el cambio en la concentración de la contaminación, es posible contar con situaciones donde los árboles eliminan MP2.5 pero aumentan las concentraciones y por ello tienen valores negativos durante períodos positivos de eliminación general. Estos eventos no son comunes, pero pueden suceder.

Lo anterior se observa claramente en el gráfico 13, donde, teniendo como valor base 0, durante los meses de febrero y diciembre los valores de eliminación de MP2,5 fueron de carácter negativo, coincidente con períodos de escasa precipitación. Al contrario, los meses de mayo a julio, en los que hubo una mayor eliminación de material particulado, coinciden con los meses de mayor precipitación, con una precipitación acumulada de 485 milímetros durante estos tres meses.

Gráfico 13. Variación mensual de la eliminación (Kg) de material particulado 2,5 (MP2,5), por parte de la estructura arbórea del parque Ecuador, año 2015.



Fuente: Elaboración propia, en base a modelación hecha por el software i-Tree Eco.

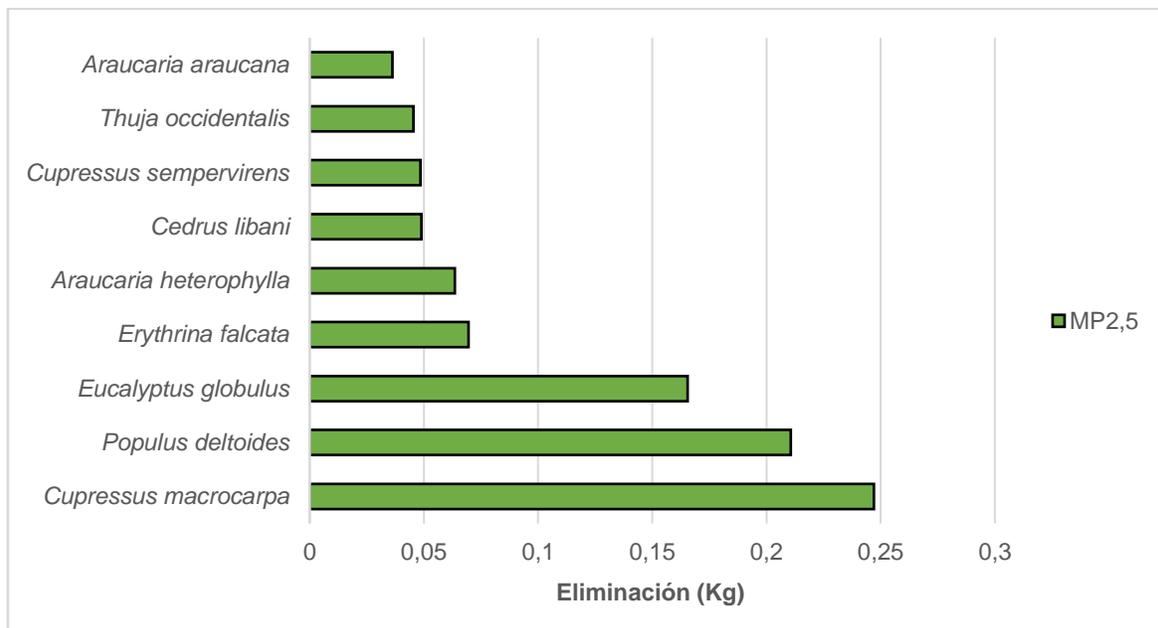
4.4.2. Eliminación de contaminantes por especie del parque Ecuador.

En este apartado se hace referencia a los resultados de eliminación de contaminantes que poseen las especies localizadas al interior del parque, tanto su total como el promedio determinado. Por otra parte, las especies aquí mencionadas son algunas de las que tienen un mejor desempeño frente a la eliminación de contaminantes, para consultar el promedio de todas las especies analizadas ver anexo 5, en tanto que para revisar el total de eliminación que realizan, ver anexo 6. Estos resultados son en base a la metodología propuesta mediante el análisis del software i-Tree Eco (ver 3.3).

4.4.2.1. Especies que en promedio eliminan la mayor cantidad de contaminantes.

Utilizando los datos de calidad del aire del año 2015, el gráfico 14 muestra las especies del parque que tienen en promedio una mayor eliminación de contaminantes atmosféricos, entre los que destacan el *Cupressus macrocarpa* (Ciprés de Monterrey), *Populus deltoides* (Álamo negro) y el *Eucalyptus globulus* (Eucalipto común) (Figura 26).

Gráfico 14. Especies que en promedio anual eliminan la mayor cantidad de MP2,5



. Fuente: Elaboración propia en base a modelación hecha por el software i-Tree Eco.

Los resultados muestran que las especies exóticas tienen una mayor tasa de eliminación de MP2,5 que las especies nativas, respondiendo además a la escasez de especies nativas en el parque. Recién en el noveno lugar aparece la *Araucaria araucana* (Pehuén), especie nativa, con una tasa de eliminación de 0,04 kg anuales. En su mayoría, esto se debe a que las especies exóticas, con un mayor tamaño y follaje, presentan mayores tasas de eliminación promedio que las especies pequeñas, debido a la mayor capacidad de interceptación y captación del material particulado.

La mayoría de los árboles que presentan, en promedio, una mayor tasa de captación y eliminación de contaminantes pertenecen al grupo de las coníferas: *Cupressus macrocarpa* (Ciprés de Monterrey), *Cedrus libani* (Cedro del Líbano), *Cupressus sempervirens* (Ciprés común), *Thuja occidentalis* (Tuya occidental), *Araucaria heterophylla* (*Araucaria excelsa*) y *Araucaria araucana* (Pehuén) (Figura 26). Esto se debe a que estos árboles poseen un gran tamaño, amplia copa y de hoja perenne, que están recubiertas de cera, en su mayoría, y que son ideales para la captación y eliminación de contaminantes atmosféricos (Nowak, 2017).

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.



Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

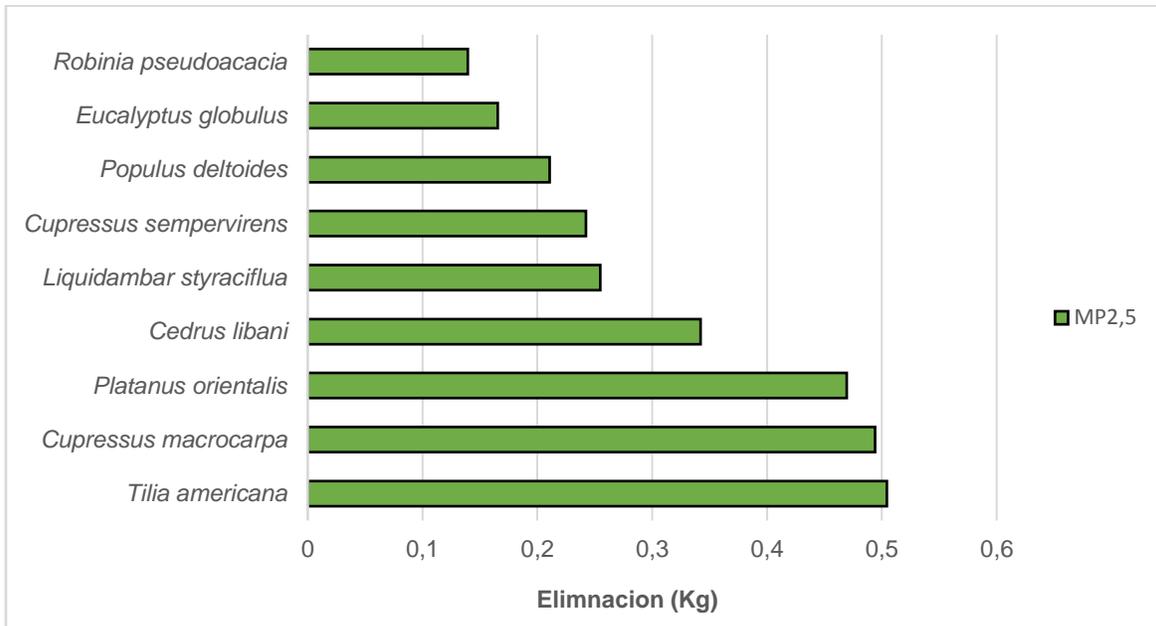


Figura 26. Especies que en promedio, eliminan una mayor cantidad de MP2,5, al interior del parque. a) *Cupressus macrocarpa*, b) *Thuja occidentalis*, c) *Cedrus libani*, d) *Araucaria heterophylla*, e) *Populus deltoides*, f) *Eucalyptus globulus*, g) *Erythrina falcata*, h) *Araucaria araucana*. Fuente: Elaboración propia, en base a modelación hecha por el software i-Tree Eco.

4.4.2.2. Especies que en total eliminan la mayor cantidad de contaminantes.

El Gráfico 15 muestra las especies del parque Ecuador que, en total, eliminan la mayor cantidad de contaminantes. Dentro de ellas destacan la *Tilia americana* (tilo americano), *Cupressus macrocarpa* (Ciprés de Monterrey), *Platanus orientalis* (Plátano oriental) y el *Cedrus libani* (Cedro del Líbano).

Gráfico 15. Especies que en total anual eliminan la mayor parte de MP2,5.



Fuente: Elaboración propia en base a modelación hecha por el software i-Tree Eco.

Tanto la *Tilia americana* (Tilo), *Platanus orientalis* (Plátano oriental), *Liquidambar styraciflua* (Liquidámbar) y *Robinia pseudoacacia* (Falsa acacia) (Figura 27), se encuentran dentro del grupo de especies que realizan la mayor eliminación de contaminantes, debido a la alta presencia de estas especies al interior del parque urbano, que en conjunto suman el 49,3% del total de especies.

Mientras tanto, nuevamente la especie *Cupressus macrocarpa* (Ciprés de Monterrey), se encuentra dentro de las especies que realizan la mayor remoción de contaminantes atmosféricos, pese a contar con solo dos especies al interior del parque. Además, ambos cipreses se encontraban en buenas condiciones fitosanitarias, lo que hace que su desempeño frente a la eliminación de contaminantes sea uno de los más altos.

Por último, las especies de *Cedrus libani* (Cedro del Líbano), *Cupressus sempervirens* (Ciprés común), *Eucalyptus globulus* (Eucalipto común) y el *Populus deltoides* (Álamo negro) siguen figurando dentro de las especies que realizan la mayor eliminación de contaminantes.

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.



Figura 27. Especies que, en total, eliminan una mayor cantidad de MP2,5, al interior del parque. a) *Platanus orientalis*, b) *Liquidambar styraciflua*, c) *Robinia pseudoacacia*, d) *Tilia americana*. Fuente: Elaboración propia, en base a modelación hecha por el software i-Tree Eco.

4.4.3. Almacenamiento y secuestro de carbono por especie.

Los árboles urbanos secuestran carbono atmosférico (del dióxido de carbono) en los tejidos y lo almacenan en su estructura ayudando a mitigar en parte las emisiones de dióxido de carbono. Los árboles secuestran carbono, con el crecimiento nuevo de cada año, esa cantidad se ve aumentada de acuerdo a la salud y al tamaño de los árboles, es decir mientras más sanos y voluminosos sean, mayor será su secuestro y posterior almacenamiento (Nowak & Crane, 2002).

En esta sección se hace referencia a los árboles con un mejor desempeño. Para consultar el total de árboles de acuerdo a su almacenamiento de carbono que realizan ver anexo 7, mientras que para su secuestro ver anexo 8.

4.4.3.1. Almacenamiento de carbono

En general y de acuerdo con el modelamiento realizado por i-Tree Eco, la estructura arbórea del parque cuenta con un almacenamiento total de 350,5 toneladas métricas de carbono, las cuales se distribuyen entre las diferentes especies que componen el parque urbano, esto se traduce en un total de 1.285,3 toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente (CO₂ Eq) (Tabla 15).

Tabla 15. Almacenamiento carbono equivalente a dióxido de carbono (CO₂ Eq), según especie.

Especie	Almacenamiento de Carbono (tonelada métrica)	CO₂ Equivalente (tonelada métrica)
<i>Platanus orientalis</i>	101,5	372,3
<i>Tilia americana</i>	58,8	215,8
<i>Robinia pseudoacacia</i>	17,4	63,7
<i>Acer pseudoplatanus</i>	16	58,7
<i>Quercus ilex ballota</i>	13,7	50,4
<i>Cupressus macrocarpa</i>	11,4	41,8
<i>Salix babylonica</i>	11	40,4
<i>Acacia melanoxylon</i>	9,5	34,7
3juikOtros	111	407,5
Total	350,3	1285,3

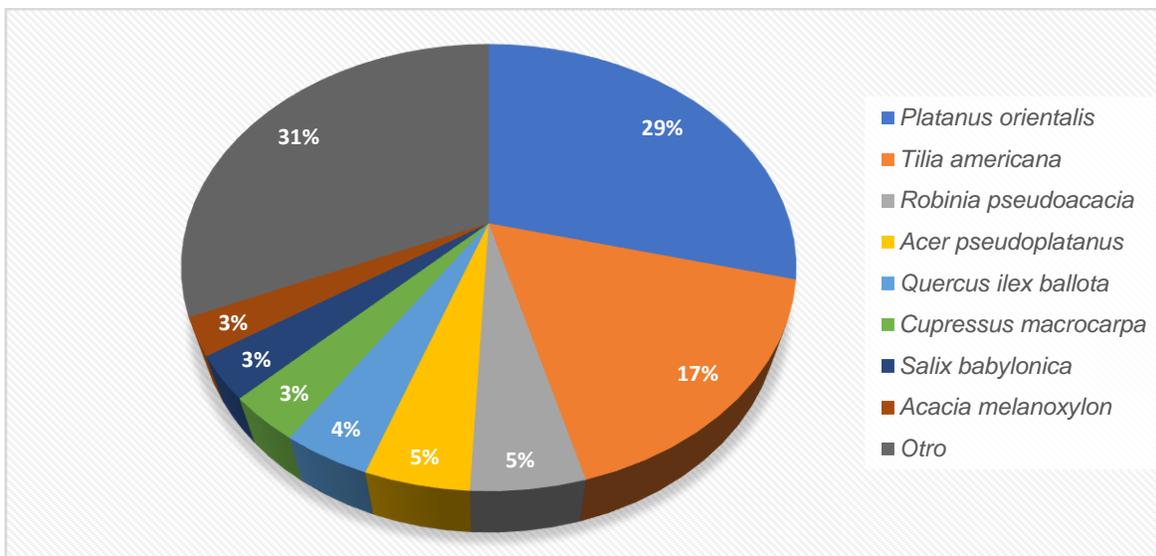
Fuente: Elaboración propia, en base a modelación hecha por el software i-Tree Eco.

Según el gráfico 16, las especies que más ayudan al proceso de almacenamiento de carbono son: *Platanus orientalis* (Plátano oriental) (29%), *Tilia americana* (Tilo) (17%), *Robinia pseudoacacia* (Falsa acacia) (5%) y *Acer pseudoplatanus* (Arce blanco) (5%), esto se debe, principalmente, a la alta presencia que existe de estas especies al interior del parque, además de su prominente tamaño.

Por otra parte, teniendo en cuenta que el modelo utiliza datos como el DAP y la condición fitosanitaria del árbol para calcular el almacenamiento de carbono, las especies de *Cupressus macrocarpa* (Ciprés de Monterrey) y *Acacia melanoxylon* (Acacia negra), también se encuentran dentro de los árboles que más almacenan carbono al interior del parque.

Por último, hay que señalar que la categoría otro, que representa el 31% del almacenamiento de carbono total, se encuentra distribuido entre las otras 44 especies identificadas en el parque.

Gráfico 16. Porcentaje de almacenamiento de carbono por especie al interior del parque Ecuador.

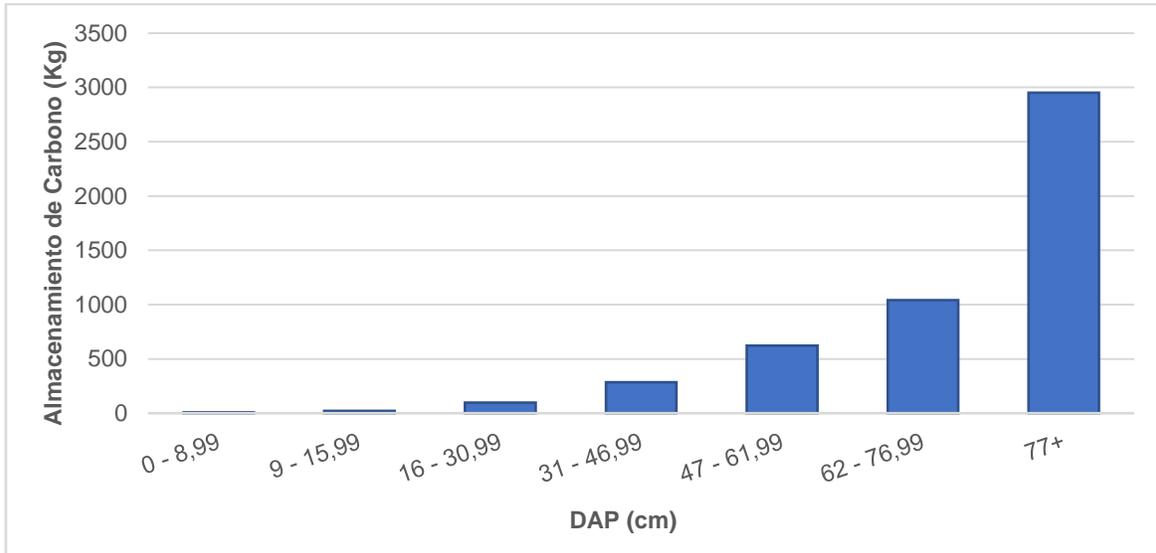


Fuente: Elaboración propia en base a modelación hecha por el software i-Tree Eco.

El promedio de almacenamiento de carbono fue de 6,57 Kg para árboles menores a 8 cm de DAP, mientras que de 2925,1 Kg para árboles mayores a 77 cm de DAP (Gráfico 17). En consecuencia, además del tipo de especie, los árboles con un mayor DAP tienen una mayor capacidad de almacenamiento de carbono (Nowak et al., 1994).

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

Gráfico 17. Promedio anual de almacenamiento de Carbono por árbol individual por DAP (Kg/año).



Fuente: Elaboración propia en base a modelación hecha por el software i-Tree Eco.

4.4.3.2. Secuestro de carbono

Los árboles reducen la cantidad de carbono en la atmósfera, al secuestrarlo en su crecimiento nuevo cada año. Es decir, la cantidad de carbono secuestrada anualmente aumenta con el tamaño y la salud de los árboles. Los árboles, al secuestrar el carbono atmosférico en sus tejidos, ayudan a alterar las emisiones de dióxido de carbono de las fuentes de combustibles fósiles (Abdollahi et al., 2000).

En consecuencia, la capacidad de secuestro bruto anual de carbono que posee la estructura arbórea del parque corresponde a 3,22 toneladas métricas, la cual equivale a 11,89 toneladas métricas de CO₂ (Tabla 16).

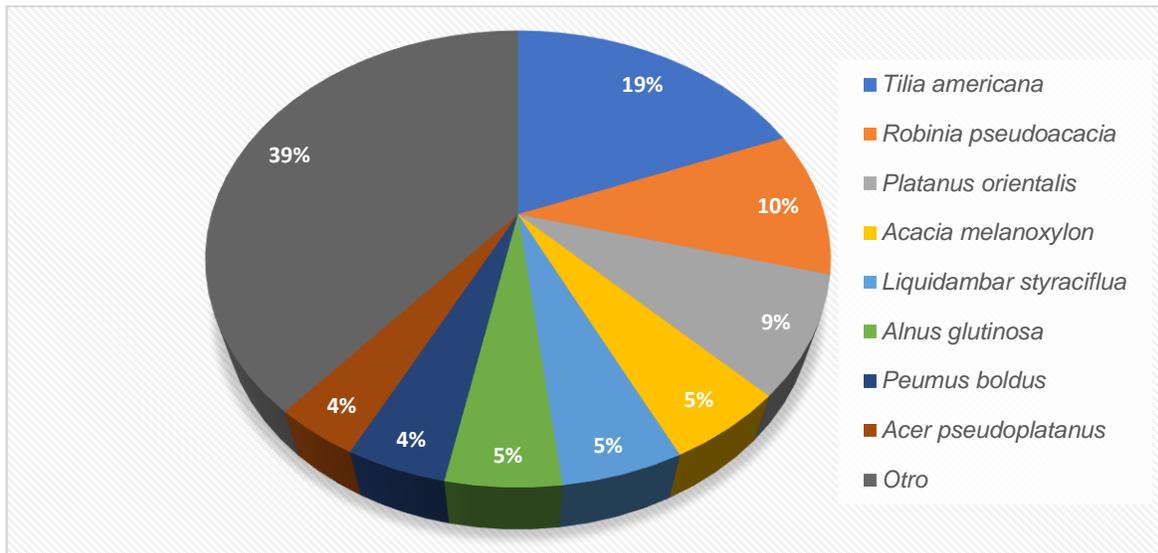
Tabla 16. Secuestro de carbono anual equivalente a dióxido de carbono (CO₂ Eq), según especie.

Especies	Almacenamiento de Carbono (tonelada métrica)	CO₂ Equivalente (tonelada métrica/año)
<i>Tilia americana</i>	0,61	2,23
<i>Robinia pseudoacacia</i>	0,33	1,2
<i>Platanus orientalis</i>	0,27	0,99
<i>Liquidambar styraciflua</i>	0,17	0,64
<i>Acacia melanoxylon</i>	0,17	0,63
<i>Alnus glutinosa</i>	0,16	0,6
<i>Peumus boldus</i>	0,14	0,5
<i>Acer pseudoplatanus</i>	0,12	0,46
Otro	1,25	4,64
Total	3,22	11,89

Fuente: Elaboración propia, en base a modelación hecha por el software i-Tree Eco.

El Gráfico 18 muestra las especies que más aportan al proceso de secuestro de carbono al interior del parque Ecuador son: *Tilia americana* (Tilo) (19%), *Robinia pseudoacacia* (Falsa acacia) (10%) y *Platanus orientalis* (Platano oriental) (9%), al igual que el almacenamiento, estas especies son las que generan un mayor secuestro a nivel de parque, debido a su alta frecuencia y que tienen un DAP mayor que el de las otras especies, esto último entendiendo que el secuestro anual de carbono depende del incremento anual del radio de las especies (Nowak, 1994).

Gráfico 18. Porcentaje de secuestro de carbono por especie al interior del parque Ecuador.



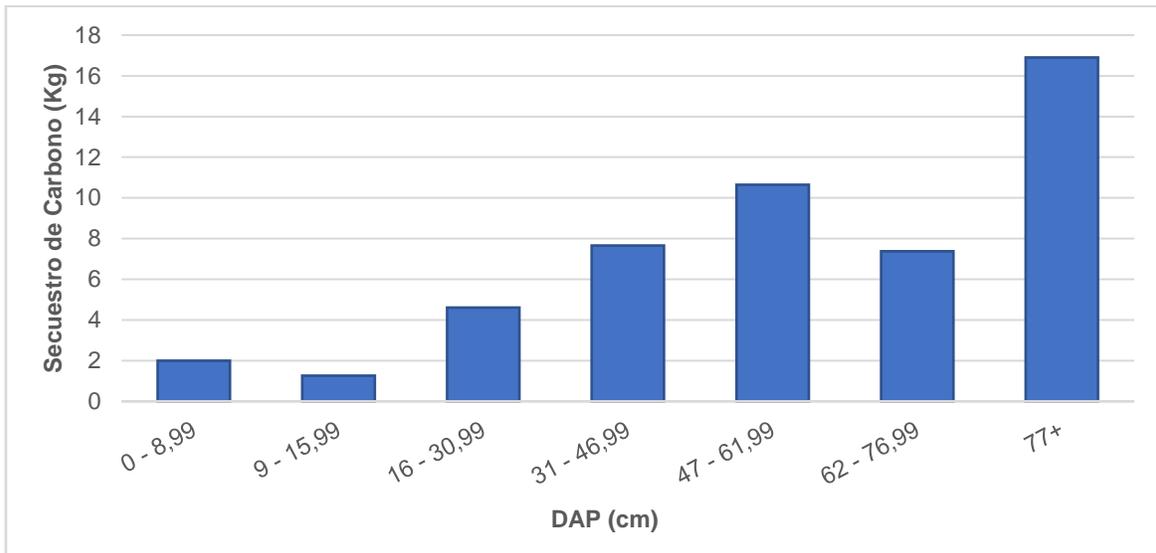
Fuente: Elaboración propia en base a modelación hecha por el software i-Tree Eco.

Para el caso del secuestro de carbono, los árboles con un DAP mayor a 77 cm son los que poseen un mejor desempeño frente a los árboles pequeños (Gráfico 19), estos tienen un secuestro anual de 16 kg, lo que equivale por ejemplo, a la cantidad de carbono emitida por un auto que recorre 250 km, mientras que los árboles menores a 8,99 cm tienen un secuestro anual de 2 kg por árbol, lo que equivale a conducir un automóvil por 20 km (EPA, 2018).

Además, existen variaciones entre los árboles con un rango de DAP entre 9-15,9 cm y 62-76,9 cm, ya que ambos intervalos presentan registros menores que sus antecesores (0-8,9 cm y 47-61,9 cm respectivamente), esto ocurre debido a que, cuando el modelo realiza el cálculo de secuestro de carbono, además de utilizar el valor del DAP también ocupa los datos de la copa y el estado fitosanitario actual del individuo, por ende a veces ocurren este tipo de variaciones en árboles que pese a contar con un mayor DAP, tienen en promedio un secuestro de carbono más bajo que árboles con un intervalo de DAP mucho menor.

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

Gráfico 19. Promedio anual de Secuestro de Carbono por árbol individual por DAP (Kg/año).



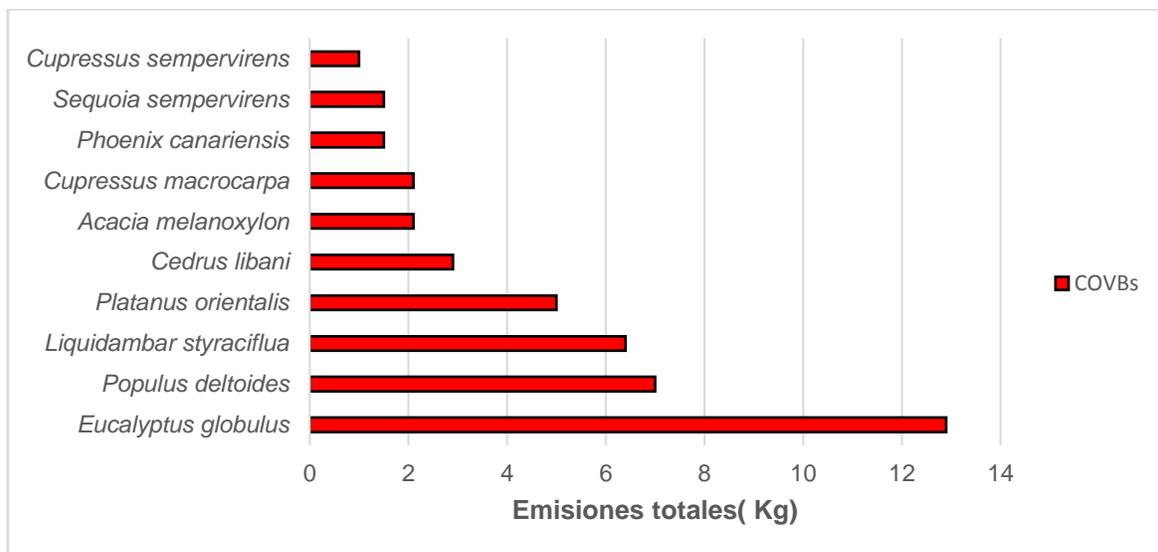
Fuente: Elaboración propia en base a modelación hecha por el software i-Tree Eco.

4.4.4. Emisiones de COVBs por especies.

Las emisiones de COVBs, a nivel general muestran que la estructura arbórea urbana del parque Ecuador emitió aproximadamente 50,48 Kg de COVBs durante el año 2015 (32,01 Kg de isopreno y 18,47 Kg de monoterpenos). Dentro de ellas, las especies del parque que contribuyeron a una mayor producción de COVBs, fueron *Eucalyptus globulus* y *Populus deltoides*, las que representan un 39% de las emisiones totales. El Gráfico 20 muestra las especies con mayor contribución a la generación de COVBs en el parque.

Cabe mencionar que los valores de emisión de isoprenos (C_5H_8) son más elevados que los de monoterpenos ($C_{10}H_{16}$) debido a que existe una mayor facilidad de síntesis del isopreno, por ende, se producen en mayor cantidad (Corada, 2012). Esto sucede principalmente, debido a que el isopreno al ser la unidad básica dentro de los COVBs, es mucho más fácil de generar que los monoterpenos, ya que para este último se necesitan dos unidades de isoprenos (Carvajal, 2011).

Gráfico 20. Especies que más contribuyen a la emisión de COVBs anual dentro del parque Ecuador.

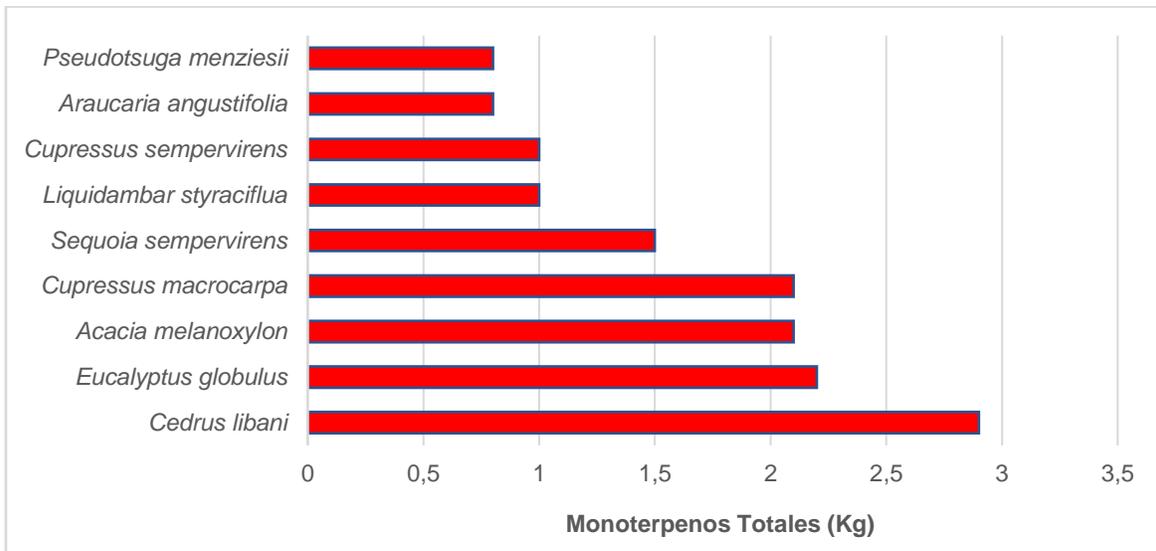


Fuente: Elaboración propia en base a modelación hecha por el software i-Tree Eco.

Dentro de las especies que generan una mayor emisión de monoterpenos, se encuentran el *Cedrus libani* (2,9 Kg), *Eucalyptus globulus* (2,2 Kg), *Acacia melanoxylon* (2,1 Kg) y *Cupressus macrocarpa* (2,1 Kg) (Gráfico 21). Por otro lado, en el gráfico 22 se muestran las especies que tienen una mayor emisión de isoprenos, que son: *Eucalyptus globulus* (10,7 Kg), *Populus deltoides* (6,9 Kg), *Liquidambar styraciflua* (5,4 Kg) y *Platanus orientalis* (4,9 Kg).

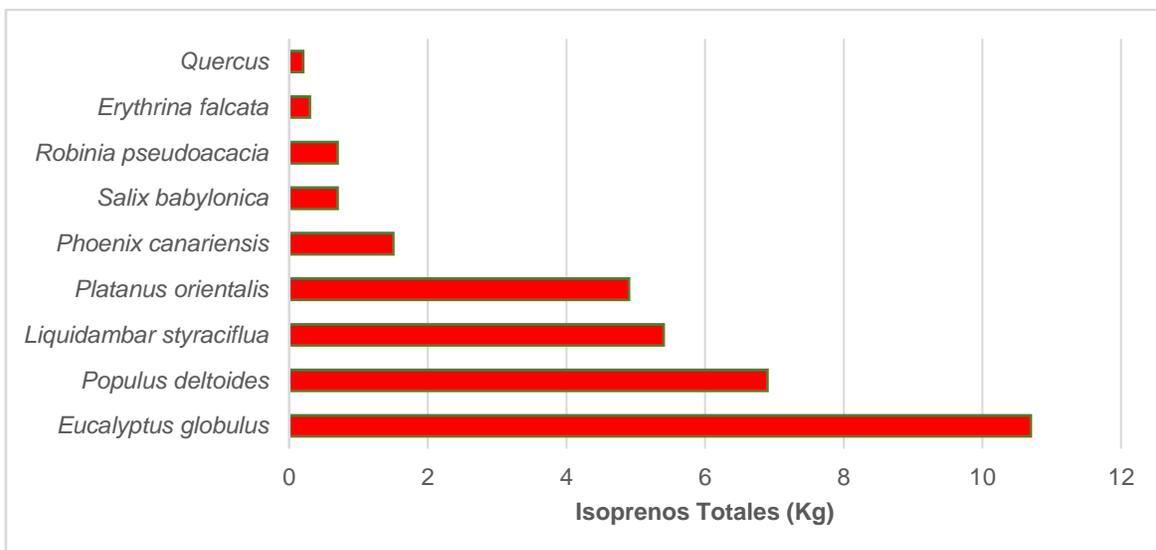
La alta presencia de especies exóticas al interior del parque, justificaría el hecho de que existe una emisión importante de COVBs por parte de los árboles urbanos, según Corada (2012), estas especies tienen un mayor grado de emisión de estos compuestos, debido a que tienen que adaptarse a las condiciones del medio, variables meteorológicas, de suelo, entre otras.

Gráfico 21. Especies que más contribuyen a la emisión de monoterpenos anuales dentro del parque Ecuador.



Fuente: Elaboración propia en base a modelación hecha por el software i-Tree Eco.

Gráfico 22. Especies que más contribuyen a la emisión de isoprenos anuales dentro del parque Ecuador.



Fuente: Elaboración propia en base a modelación hecha por el software i-Tree Eco.

5. CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.

5.1. Discusión General.

La ciudad de Concepción, a partir del análisis de contaminación de MP2,5 se caracteriza por tener un comportamiento anual marcado por altas concentraciones del contaminante durante los meses de otoño-invierno, esto ocurre dado el uso de la calefacción mediante la combustión a leña, siendo esta la principal práctica que provoca episodios críticos de contaminación al interior de la ciudad (Rojas et al., 2017).

Lo anterior se corresponde además con el aumento de las concentraciones entre las 18:00 y 00:00 horas, periodo en el cual la utilización de leña para la calefacción de los hogares es esencial, en este sentido, de acuerdo al anteproyecto del PPDA (2017), existen a lo menos cuatro factores que han hecho que la combustión residencial mediante la utilización de leña sea una de las principales fuentes de contaminación al interior de la ciudad de Concepción, las cuales son:

- La alta demanda de leña para mantener la temperatura confort, debido a una precaria aislación térmica que poseen las viviendas existentes.
- La leña es utilizada mayoritariamente en artefactos que cuentan con escasa tecnología para mantener una reacción de combustión con bajas emisiones.
- La comercialización y uso de leña que no cuenta con los estándares de calidad mínimos, para generar una combustión óptima, por lo general el uso de leña húmeda y con poco poder de combustión.
- Consumidores con malas prácticas en el uso de la leña, tales como: mal mantenimiento de los artefactos de combustión, uso de leña húmeda y mantención de viviendas, en ciertos periodos con temperaturas elevadas por sobre la de confort, por consiguiente, un uso excesivo de la leña (Rojas et al., 2017).

En ese sentido, la evaluación del arbolado urbano del parque Ecuador como elemento para mitigar los episodios de contaminación atmosférica por MP2,5 que ocurren al interior de la ciudad de Concepción no deja de llamar la atención, si bien guardando las proporciones si se compara, por ejemplo, con el parque inglés de Múnich en Alemania, el cual tuvo una tasa de eliminación total de MP2,5 de 0,25 gm⁻² de cobertura arbórea por año (Pace et al., 2018), el parque Ecuador tuvo una tasa de 0,13 gm⁻² al año (Ver Anexo 9), por otro lado si se extrapola a nivel de ciudades, el parque Ecuador tendría una tasa de eliminación de contaminación similar a la que la tiene la ciudad de Los Ángeles, CA (0,13 gm⁻²) o Filadelfia, PA (0,17 gm⁻²), pero inferior al promedio de algunas ciudades de Estados Unidos (0,26 g m⁻²) (Nowak, et al., 2013).

El Anexo 9, al mostrar el comportamiento por día de la tasa de eliminación por metro cuadrado de cobertura arbórea del parque en relación con los períodos de precipitación, se aprecia una tendencia levemente creciente (Línea de tendencia polinómica) durante los meses entre mayo-agosto, y decreciente hacia los meses de primavera y verano, debido a que los periodos de precipitación, ayudan a disminuir la concentración de contaminantes

en la atmosfera y limpian la cubierta de las hojas de los árboles urbanos (Nowak et al., 2013). En este sentido, considerando por ejemplo que durante el año 2015 en Concepción precipitó por al menos 143 días, la tasa de eliminación neta que posee la cobertura arbórea fue calculada de acuerdo a estas condiciones.

En tanto, los periodos de re-suspensión de partículas contaminantes, hacen que la tasa no sea mayor, debido que disminuyen la captación de contaminantes por parte de la cobertura arbórea (Nowak et al., 2006).

Por otra parte si comparamos los datos de tasa de eliminación por día con los valores de concentración de MP2,5 (Ver Anexo 10), existe una leve correlación con respecto a los periodos de contaminación y el flujo acumulado, es posible apreciar que en los periodos de mayor concentración de MP2,5 existe un ligero aumento en la tasa de eliminación, simplemente debido a que existe una mayor concentración del contaminante durante estos periodos. Así mismo, en los periodos en que la norma diaria de concentración de MP2,5 fue superada (mayor a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), no existe un claro comportamiento de la tasa de eliminación, si bien esta tuvo un balance positivo y mayor al de otros periodos, esto no alcanza para ser concluyente con respecto a su comportamiento.

Sin embargo, de acuerdo con la escala de trabajo, no deja de llamar la atención que pese a su tamaño (8,59 Ha) el parque Ecuador, presenta números interesantes con respecto a otros lugares en donde se ha aplicado el modelo.

Si bien con esto queda claro que el parque Ecuador tiene algún grado de participación en la eliminación de MP2,5 a nivel local al interior de la ciudad, el uso del arbolado urbano para mitigar la contaminación atmosférica tiene que ser abordado con mucha responsabilidad, de manera de no ser contraproducente con el mismo espacio y las comunidades que coexisten en él. Se deberían considerar los posibles efectos en múltiples escalas temporales, políticas, sociales, económicas, ecológicas y espaciales, para obtener óptimos resultados (Escobedo et al., 2011).

De generar planes de manejo para la descontaminación mediante la estructura arbórea, tienen que ser elaborados de manera integral y entendiendo la heterogeneidad de los diferentes espacios locales, además tomando en cuenta otras opciones complementarias a este proceso y teniendo en cuenta la escala apropiada de manejo y gestión.

Por ejemplo, si se quiere mitigar la contaminación mediante árboles ornamentales individuales plantados en calles altamente urbanizadas, hay que tener en cuenta que estos requieren más recursos y en general a la larga, proporcionan menos servicios de mitigación de la contaminación que los árboles que crecen en un área protegida y naturalmente boscosa en los núcleos urbanos, es por esto que cuantos menos insumos de recursos requiera un bosque urbano para proporcionar el mismo nivel de funciones ecosistémicas, mayor será la eficacia de sus servicios ecosistémicos para mitigar la contaminación y mejorar la calidad de vida (Escobedo et al., 2011).

De esta manera, la presencia de redes que conecten los elementos de la infraestructura verde identificados al interior de Concepción es una tarea fundamental en el desarrollo de

la urbe, considerando el alto grado de fragmentación que poseen estas actualmente, y que hacen que el parque Ecuador pese a su tamaño, sea uno de los espacios verdes más importantes en la ciudad. Si bien se están habilitando nuevos y remodelando antiguos espacios verdes al interior de la ciudad (Parque laguna Lo Galindo y Laguna Redonda), se hace necesario habilitar aún más espacios naturales, mejorar su conectividad y además promover una mayor arborización en estas zonas y con una alta presencia de especies nativas, para así contribuir a eliminar el déficit de este tipo de especies al interior de la ciudad en general.

En este sentido, la escasa presencia de especies nativas se condice con la realidad nacional, ya que durante las últimas décadas los parques urbanos se han caracterizado por tener una alta presencia de especies exóticas. A modo de ejemplo, un estudio realizado el año 2014 demuestra que en los parques urbanos del Área Metropolitana de Santiago (AMS), de los árboles existentes, un 71% corresponde a especies exóticas (Correa & De la Barrera, 2014).

Se debe hacer mención también que la arborización de patios interiores, jardines comunitarios, techos y paredes verdes, entre otros elementos de infraestructura verde se relacionan positivamente con factores de mitigación de la contaminación atmosférica, además de ofrecer otro tipo de beneficios adicionales, disminución del efecto de las islas de calor y por ejemplo en el caso de techos y muros verdes, la disminución en el uso del aire acondicionado y en su defecto el uso de energía a nivel general (Anguluri & Narayanan, 2017).

5.1.1. Sobre el almacenamiento y secuestro de carbono.

Los valores de almacenamiento y secuestro de carbono por parte del arbolado urbano del parque Ecuador, se encuentran dentro de los rangos establecidos por el tipo de composición de las especies que se encuentran en el parque.

Por una parte mientras los árboles de larga data mantienen un gran porcentaje del almacenamiento total del parque, el secuestro de carbono se encuentra ligado a árboles jóvenes y de crecimiento anual rápido. Características como: el tamaño de los árboles, la salud de los árboles y las tasas de crecimiento asociadas con las especies y las condiciones del sitio, hacen que el secuestro anual neto de carbono sea positivo para los bosques en crecimiento, sin embargo las tasas de secuestro disminuyen con el tiempo a medida que el bosque madura.

En ese sentido, el secuestro de carbono se convertirá en negativo durante los períodos de deterioro y/o pérdida del bosque, es decir cuando las emisiones de carbono de los árboles muertos (por ejemplo, la descomposición, el fuego) superen la captación de carbono por los árboles vivos (Nowak et al., 2012).

5.1.2. Sobre los COVBs.

Las emisiones de COVBs, se encuentran dadas en su mayoría por la presencia de especies exóticas al interior del parque, esto según Carvajal (2011), genera un mayor potencial formador de ozono, haciendo, por ende, que este tipo de especies sean menos eficientes para eliminar la contaminación atmosférica que las especies nativas.

De esta manera, considerando que en el presente estudio el 95,73% de los árboles inventariados pertenecen a especies exóticas, se hace necesario replantear los planes de arborización al interior del parque, y de esta manera mitigar las emanaciones de COVBs de forma de ser más eficientes frente a la eliminación de contaminantes atmosféricos. Así mismo una buena mantención del arbolado urbano del parque, ayudaría a frenar las emanaciones de COVBs por parte de las especies.

5.1.3. Gestión de datos y factores metodológicos.

La necesidad de una base de datos óptima y actualizada para el desarrollo de este tipo de modelos es fundamental. Si bien para el uso específico de i-Tree Eco sólo fue necesario ocupar datos meteorológicos, de contaminación y de campo, la ausencia o pérdida de datos es una tendencia, principalmente en aquellos meteorológicos y de contaminación, y la utilización de métodos de imputación estadística para recuperar datos perdidos parece ser una necesidad.

En este caso, la utilización del método de imputación SDEM ayudó a completar la base de datos de contaminación MP2,5 del año 2015, sin embargo, queda pendiente el caso de los contaminantes CO, O₃, NO₂, SO₂, los cuales presentan altos grados de pérdida de datos, en las estaciones analizadas.

Otra de las incertidumbres asociadas es que este tipo de información fue recogida de estaciones localizadas fuera del parque, y que pueden no reflejar las condiciones ambientales de los árboles al interior de este. Sin embargo, dado que estos aspectos no alteran la contribución relativa a los servicios ecosistémicos de las diferentes especies de árboles, no representa un mayor problema para el análisis (Pace et al., 2018).

Por otro lado, la ausencia de un inventario de árboles urbanos al interior de la ciudad de Concepción es un factor relevante si se quieren generar nuevos estudios asociados a este fenómeno, debido a que la elaboración y producción de datos de estructura arbórea, es un trabajo que toma un tiempo considerable. Se hizo la consulta a través del portal de transparencia de la municipalidad de Concepción, y la información entregada fue solo de los planes de plantación arbórea que se habían hecho entre los años 2014-2018, el tipo de especie plantada y las calles en las que se habían ejecutado dichos programas (Ver Anexo 11), no existía mayor información de los árboles plantados en parques o plazas anteriores a ese año, además de otros datos asociados a su estructura como; altura, tamaño copa, DAP, entre otros.

Además, como todo modelo al presentar una visión simplificada de la realidad, existen ciertos parámetros o atributos que no son abordados completamente, en este caso el software i-Tree Eco presenta algunas limitaciones, que, si bien no afectan al resultado obtenido, sí dejan entrever que el modelo tiene que ser interpretado como una primera aproximación a este tipo de estudios.

En primer lugar, el análisis de estructura arbórea propuesto por modelo es uno de los más precisos, dado que la mayoría de las estimaciones derivan directamente de las mediciones hechas en terreno, por ende, dependiendo de la calidad de los datos levantados, es que serán precisas las estimaciones de estructura arbórea. En este caso el número de árboles, especies, DAP, sirve para evaluar algunas funciones ecosistémicas del arbolado urbano, además que la incorporación de ecuaciones de regresión que estiman el área foliar de la hoja y la biomasa del árbol están dadas por el tipo de especie, las medidas de la corona y la condición del árbol, estas ecuaciones se encuentran dentro de las mejores para la estimación del área de las hojas de los árboles de crecimiento abierto, además de su facilidad de aplicación (Nowak et al., 2008).

Aun así, existe algún grado de incertidumbre, principalmente con la identificación de algunas especies en terreno y que no se encontraban incluidas en el modelo, por lo tanto, se ingresaron al modelo datos de especies equivalentes, o en su defecto el género al cual pertenecían.

En el caso del cálculo de almacenamiento y secuestro de carbono, la utilización de ecuaciones alométricas extraídas de la bibliografía especializada, pueden tener ciertos grados de incertidumbre debido a que tales ecuaciones generalmente se derivan de árboles forestales y, aunque se han ajustado para las condiciones urbanas, es posible que no reflejen exactamente las formas reales de los árboles y la densidad de su madera (Pace et al., 2018).

Por otra parte el cálculo de eliminación de la contaminación se encuentra dado tanto por LAI (índice de área foliar) y las velocidades de depósito que tienen los contaminantes en las diferentes especies analizadas, sin embargo, los procesos de captación pueden necesitar diferenciarse en términos de absorción por estomas y depósito en la superficie de las hojas, ambas relacionadas con otras condiciones ambientales, está demostrado por ejemplo que el cierre estomático de las hojas reduce considerablemente el proceso de absorción de contaminantes en períodos secos o de estrés hídrico. Esta es una característica que el modelo i-Tree Eco no toma en cuenta en sus análisis, además la deposición de contaminantes varía con la estructura del dosel y la posición del árbol porque estos factores determinan el flujo de aire dentro y alrededor de los árboles. Sin embargo, la relación entre los rasgos del árbol (por ejemplo, la geometría de la corona y la distribución del follaje), el "cañón urbano de la calle" y las condiciones climáticas son complejas y no pueden evaluarse con i-Tree Eco (Pace et al., 2018).

Así mismo, el análisis de los COVBs, se fundamenta principalmente en los protocolos desarrollados dentro del Sistema de Inventario de Emisiones Biogénicas de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de EE.UU (BEIS en inglés). De esta forma

el modelo produce resultados que están dentro del rango de los estudios biogénicos de emisión de COVBs mediante la utilización de datos de la especie, la biomasa de la hoja de árbol urbano local y los datos del clima presentes (Nowak et al., 2008). Sin embargo según Baró et al., (2014) existe una alta incertidumbre debido a la producción de O₃ y CO derivado de las emisiones COVBs, y que en este caso no fueron consideradas para el estudio, por lo tanto los valores son solo de carácter indicativo (qué especies generan una mayor producción de COVBs), y no necesariamente representan los valores locales específicos de COVBs que existen y son emitidos hacia la atmósfera.

Por último, según Nowak et al., (2013) el modelo al ser utilizado para una unidad local, en este caso un parque urbano, las concentraciones de MP2.5 por ejemplo, pueden incrementarse si los árboles:

- Atrapan las partículas debajo de sus copas o cerca de las fuentes de emisión (por ejemplo, a lo largo de caminos).
- Limitan la dispersión de los contaminantes, reduciendo las velocidades del viento.
- Se reduce la altura de la capa límite reduciendo así las velocidades del viento.

6. CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES.

El proceso de descontaminación atmosférica mediante la estructura arbórea del parque Ecuador a través de las estimaciones proporcionadas por el software i-Tree Eco sirven como una primera aproximación a este tipo de estudios, siendo el objetivo principal, cuantificar el valor de captura que poseen las diferentes especies arbóreas plantadas en el parque.

Si bien los valores obtenidos dan una señal de acuerdo con las especies que ofrecen tanto una menor como una mayor contribución a la eliminación de MP2,5, almacenamiento/secuestro de carbono y la emisión de COVs, aún queda pendiente a través del modelo el desarrollo de otras fuentes de contaminación como el CO, NO₂, SO₂ y O₃, y que, por la ausencia de datos, no fue posible trabajar.

Así mismo, este tipo de estudios de primer orden que se relaciona únicamente con el área de superficie y utiliza parámetros de velocidad agrupados para contaminantes que, no obstante, son específicos de la especie, ofrecen nuevas alternativas para entender el manejo y la gestión de la arborización en las zonas urbanas (Pace et al., 2018).

Aun así, el proceso de descontaminación atmosférica urbana mediante la estructura arbórea aún es tema de debate científico, si bien se han hecho estudios en diferentes áreas alrededor del mundo que comprueban cómo el efecto del arbolado urbano es positivo para mejorar la calidad del aire al interior de las ciudades, aún no existe un consenso unánime con respecto a este proceso (Baró et al., 2014).

Aunque el nivel de reducción de las concentraciones de contaminación atmosférica al interior de la ciudad es mínimo por parte del arbolado urbano, los árboles eliminan cantidades sustanciales de contaminantes atmosféricos y pueden generar importantes beneficios para la salud a nivel general. Dependiendo además del tipo de especies, la composición de su hoja, el porcentaje de cobertura arbórea y su distribución en lugares de episodios de contaminación críticos, es que se pueden generar efectos mayores en la captación de contaminantes atmosféricos al interior de las ciudades y así mejorar la calidad de vida de sus habitantes (Nowak et al., 2014; Hirabayashi & Nowak, 2016).

En este sentido, el potencial del arbolado urbano para disminuir la contaminación atmosférica al interior de las ciudades no puede ser descartado, entendiendo que los planes de descontaminación tienen que poseer un carácter integral, en donde además de la restricción del uso de combustibles fósiles, se necesitan medidas complementarias que ayuden a lograr cambios significativos en la reducción de gases contaminantes, dentro de las cuales la presencia de árboles y bosques urbanos, ojala de carácter nativo, es una necesidad fundamental en el desarrollo de urbes más resilientes y capaces de hacer frente a los efectos del cambio climático.

7. CAPÍTULO VII BIBLIOGRAFÍA.

Abdollahi, K.K.; Ning, Z.H.; Appeaning, A. (2000). Global climate change and the urban forest. Baton Rouge, LA; Franklin Press, Inc, 77p.

Alberto, J. A. (2009). Geografía y Crecimiento Urbano. Paisajes y Problemas Ambientales. Departamento e Instituto de Geografía. Facultad de Humanidades. UNNE. Resistencia. Chaco. Argentina. [En Línea] <<http://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/Geo11/contenidos/paisa1.htm>> consulta: 18 de octubre, 2017.

Álvarez, Y., Álvarez, E., Cano, J. & Suescún, D. (2012). Modelo matemático para estimar área foliar en árboles del bosque tropical seco en el caribe colombiano. Rev. Intropica ISSN 1794-161X. 7 69 – 79.

Anguluri, R. & Narayanan, P. (2017). Role of green space in urban planning: Outlook towards smart cities. Urban Forestry & Urban Greening. Volume 25. 58-65. ISSN 1618-8667.

Baeriswyl, S. (2008). Crecimiento urbano del gran Concepción, patrones y tendencias de una metropolización. Serie GEOlibros N° 12 colección EURE-libros: 241-255

Baró, F., Chaparro, L., Gómez-Baggethun, E., Langemeyer, J., Nowak, D.J., & Terradas, J. (2014). Contribution of ecosystem services to air quality and climate change mitigation policies. The case of urban forests in Barcelona, Spain. Ambio. Volume 43, 466-479.

Bascuñán, F., Walker, P & Mastrantonio, J. (2007). Modelo de cálculo de áreas verdes en planificación urbana desde la densidad habitacional. Revista URBANO 15. Págs. 97-101. Concepción, Chile.

Benedict & McMahon. (2005) citado en Vásquez, A. (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. Revista de Geografía Norte Grande, 63: 63-86.

Carvajal, V. (2011). Contribución al inventario de emisiones de compuestos orgánicos volátiles biogénicos del arbolado urbano de la Región Metropolitana. Tesis para optar al grado de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental. Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza. 95p. [En Línea] <<http://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Carvajal%20Virginia.pdf>> consulta: 15 de septiembre, 2018.

Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). (2013). Informe Final: “Desarrollo y prueba piloto de un modelo de pronóstico de calidad del aire MP10 y MP2.5, para el Concepción Metropolitano, Chillán-Chillán Viejo y Los Ángeles”. Resumen Ejecutivo. [En Línea] <http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2017/proyectos/Estudios_del_PDA_CM__doc_final.pdf> consulta: 15 de septiembre, 2018.

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

Ciccolella, P. (2012). Revisitando la metrópolis latinoamericana más allá de la globalización. Revista Iberoamericana de Urbanismo N°8: 9-21.

Cvejić et al., (2015) en Anguluri, R. & Narayanan, P. (2017). Role of green space in urban planning: Outlook towards smart cities. Urban Forestry & Urban Greening. Volume 25. 58-65. ISSN 1618-8667.

Comisión Europea. (2014). Construir una infraestructura verde para Europa. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de la Unión Europea. ISBN 978-92-79-39996-1.

Comité de Defensa del Humedal Paicaví. (2018). [En Línea] <<https://humedalpaicavi.wordpress.com/>> consulta: 25 de septiembre, 2018.

Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. (1992). FCCC/INFORMAL/84* GE.05-62301 (S) 220705 220705. [En Línea] <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>> consulta: 18 de octubre, 2017.

Corada Pérez, K. (2012). Estudio de compuestos orgánicos volátiles biogénicos de especies arbóreas: crecimiento e incidencia en la química troposférica. Memoria para optar al título profesional de Químico. Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. 82p. [En Línea] <<http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/111275>> consulta : 15 de julio, 2018.

Correa, P. & De la Barrera, F. (2014). Análisis de la estructura y la composición del arbolado en parques del área metropolitana de Santiago. Chloris Chilensis. Año 17: N° 1.

Decreto Supremo N°12 (2011). Establece norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino respirable MP2,5. Diario Oficial N° 39.955 de 09 de mayo, 2011. Ministerio del Medio Ambiente, República de Chile. [En Línea] <<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1025202&idParte=&idVersion=2012-01-01>> consulta: 12 de septiembre, 2018.

Decreto Supremo N°15 (2015). Declara zona saturada por material particulado fino respirable MP2,5 como concentración diaria, a las comunas de Lota, Coronel, San Pedro de la Paz, Hualqui, Chiguayante, Concepción, Penco, Tomé, Hualpén y Talcahuano. Diario Oficial N° 41.207 de 14 de julio de 2015. Ministerio del Medio Ambiente, República de Chile. [En Línea] <<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1079432&idParte=&idVersion=2015-07-14>> consulta: 15 de noviembre, 2018.

Decreto Supremo N°41 (2006). Declara zona latente por material particulado respirable MP10, la zona geográfica comprendida por las comunas de Lota, Coronel, San Pedro de la Paz, Hualqui, Chiguayante, Concepción, Penco, Tome, Hualpén y Talcahuano. Diario Oficial N°38.522 de 25 de julio de 2006. Ministerio Secretaria General de la Presidencia; Subsecretaría del medio ambiente, República de Chile. [En Línea] <<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=251586&idParte=&idVersion=2006-07-25>> consulta: 15 de noviembre, 2018.

Diario Concepción. (2016). La desconocida historia de cómo la Alameda se convirtió en Parque Ecuador. 13 de agosto 2016. [En Línea] <<https://www.diarioconcepcion.cl/ciudad/2016/08/13/la-desconocida-historia-de-como-la-alameda-se-convirtio-en-parque-ecuador-2.html>> consulta: 20 de noviembre, 2018.

Erell, E., Pearlmutter, D., & Williamson, T. (2011). Urban Microclimate: Designing the spaces between buildings. Primera Edición. Nueva York, Estados Unidos. Editorial: Routledge. ISBN 978-1-84407-467-9.

Escobedo, F. J., Kroeger, T., & Wagner, J. E. (2011). Urban forests and pollution mitigation: Analyzing eco system services and disservices. Environmental Pollution. Volume 159. Pages 2078-2087. ISSN 0269-7491.

European Commission. (2010). Green Infrastructure Conference. Brussels, Belgium. <http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/green_infrastructure.htm> consulta: 12 de agosto, 2018.

European Commission. (2014). Construir una infraestructura verde para Europa. Oficina de Publicaciones Oficiales de la Unión Europea. Luxemburgo. 24p.

European Environment Agency (EEA). (2011). Green infrastructure and territorial cohesion: The concept of green infrastructure and its integration into policies using monitoring systems. EEA Technical report, N°18, ISSN 1725-2237. Copenhagen, Denmark.

European Environment Agency (EEA). (2015). Infraestructura verde: una vida mejor mediante soluciones naturales. Copenhagen, Denmark.

Hernandez, H. & Villaseñor, N. (2018). Twelve-year change in tree diversity and spatial segregation in the Mediterranean city of Santiago, Chile. Urban Forestry & Urban Greening. 29, 10-18.

Hirabayashi, S., & Nowak, D. (2016). Comprehensive national database of tree effects on air quality and human health in the United States. Environmental Pollution. Volume 215. 48-57. ISSN 0269-7491.

Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2017). Censo Población 2017. [En Línea] <http://www.inebiobio.cl/archivos/files/pdf/Censo2017Poblacion/1_1_Presentaci%C3%B3n_censo2017_Comuna_Concepci%C3%B3n.pdf> consulta: 12 de agosto, 2018.

IPCC. (2013). Cambio climático 2013: Bases físicas. Resúmenes para responsables de políticas, resumen técnico y preguntas frecuentes. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América. [En Línea] <<https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment->

report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf> consulta: 04 de noviembre, 2018.

IPCC. (2014): Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resúmenes, preguntas frecuentes y recuadros multicapítulos. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra (Suiza), 200 págs. (en árabe, chino, español, francés, inglés y ruso). [En Línea] <https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-IntegrationBrochure_es.pdf> consultado: 04 de noviembre, 2018.

Landscape Institute. (2009). Green infrastructure: connected and multifunctional landscapes. London, UK. [En Línea] <<http://www.landscapeinstitute.org/PDF/Contribute/GreenInfrastructurepositionstatement13May09.pdf>>. consulta: 12 de agosto, 2018.

i-Tree Eco. (2017). Manual de campo para la toma de datos V6.0. [En Línea] <https://www.itreetools.org/resources/lang/es/EcoV6_UsersManual.es.pdf> consulta: 07 de octubre, 2017.

Masseran, N., Razali, A. M., Ibrahim, K., Zaharimand, A. & Sopian, K. (2013). Application of the Single Imputation Method to Estimate Missing Wind Speed Data in Malaysia. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 6(10): 1780-1784p.

Millenium Ecosystem Assessment (MEA). (2005) citado en Vásquez, A. (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. Revista de Geografía Norte Grande, 63: 63-86.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2011). Informe del Estado del Medio Ambiente: Resumen Ejecutivo. Santiago, Chile. [En Línea] <http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016_resumen_ejecutivo2011.pdf> consulta: 16 de octubre, 2017.

Municipalidad de Concepción. (s/f). Parque Ecuador inclusivo. [En Línea] <<https://www.concepcion.cl/parque-ecuador-inclusivo/>> consulta: 04 de noviembre, 2018.

Nature Conservancy. (2016). Planting Healthy Air: A global analysis of the role of urban trees in addressing particulate matter pollution and extreme heat.

Nowak, D. J., McPherson, G., & Rowntree, A. (1994). Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project. Gen. Tech. Rep. NE-186. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station: 201p.

Nowak, D. J., & Crane, D. E. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. Environmental Pollution. Volume 116. 381–389. ISSN 0269-7491.

Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*. Volume 4. 115-123. ISSN 1618-8667.

Nowak, D. J., Crane, D. E., Stevens, J. C., Hoehn, R., Walton, J., & Bond, J. (2008). A Ground-Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services. *Arboriculture & Urban Forestry*. Volume 34(6). 347–358.

Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodline, A., & Hoehn, R. (2013). Modeled MP2.5 removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects. *Environmental Pollution*. Volume 178. 395-402. ISSN 0269-7491.

Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*. Volume 193. 119-129. ISSN 0269-7491

Nowak, D. J. (2017). El sorprendente valor de los árboles para combatir la contaminación en el aire de las ciudades. *BBC Mundo*. [En Línea] <<https://www.bbc.com/mundo/noticias-39195220>> consultado: 08 de agosto, 2018.

Observatorio de Ciudades UC (OCUC). (2018). [En Línea] <<https://www.ocuc.cl/verde#intro>> consulta: 04 de octubre, 2018.

Observatorio Metropolitano del Gran Concepción. (2014). Segundo Informe de Calidad de Vida Urbana Gran Concepción: Periodo 2013-2014. Concepción, Chile. [En Línea] <<http://www.observatoriomropolitano.cl/wp-content/uploads/2015/12/SEGUNDO-INFORME-CALIDAD-DE-VIDA-URBANA-GRAN-CONCEPCIO%CC%81N-2013-%E2%80%932014.pdf>> consulta: 15 de agosto, 2018.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2010). Urbanización y Salud. *Boletín*. Volumen 88. 241-320. [En Línea] <<https://www.who.int/bulletin/volumes/88/4/10-010410/es/>> consulta: 15 de agosto, 2018.

Ortiz, M. (2017). 600 personas mueren al año por contaminación del aire en la región del Bío Bío. [En Línea] *Radio Bío Bío en internet*. 09 de junio, 2017. <<https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-del-bio-bio/2017/06/09/600-personas-mueren-al-ano-por-contaminacion-del-aire-en-la-region-del-bio-bio.shtml>> consulta: 05 de noviembre, 2018.

Pace, R.; Biber, P.; Pretzsch, H.; Grote, R. (2018). Modeling Ecosystem Services for Park Trees: Sensitivity of i-Tree Eco Simulations to Light Exposure and Tree Species Classification. *Forests*, 9, 89.

Paoletti, E. (2009) citado en Escobedo, F. J., Kroeger, T., & Wagner, J. E. (2011). Urban forests and pollution mitigation: Analyzing eco system services and disservices. *Environmental Pollution*. Volume 159. Pages 2078-2087. ISSN 0269-7491.

Pauchard, A., Aguayo, M., Peña, E., Urrutia, R. (2006). Multiple effects of urbanization on the biodiversity of developing countries: the case of a fast-growing metropolitan area (Concepción, Chile). *Biol. Conserv.* 127, 272 –281.

Peralta, H. (2009). Contribución a las estrategias de descontaminación atmosférica, considerando el aporte de Compuestos Orgánicos Volátiles Biogénicos emitidos por especies arbóreas nativas en la Región Metropolitana. Tesis para optar al grado de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental. Universidad de Chile, Santiago.

Pérez, L. & Salinas, E. (2007). Crecimiento urbano y globalización: transformaciones del Área Metropolitana de Concepción, Chile, 1992-2002. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias sociales*. Barcelona: Universidad de Barcelona, vol. XI, núm. 251. [ISSN: 1138-9788]. [En Línea] <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-251.htm> consulta: 18 de octubre, 2017.

Plaia, A. & A.L. Bondi. (2006). Single imputation method of missing data in environmental pollution data sets. *Atmos. Environ.*, 40: 7316-7330.

Pope, C.A., Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K., Thurston, G.D. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *J. Am. Med. Assoc.* 287 (9), 1132-1141.

Pope, C. A. & Dockery, D. W. (2006) Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56:6, 709-742, DOI: 10.1080/10473289.2006.10464485.

Potschin-Young, M. & Haines-Young, R. (2011). Ecosystem services: Exploring a geographical perspective. *Progress in Physical Geography*. 35(5) 575–594.

Potschin-Young, M., Haines-Young, R., Görg, C., Heink, U., Jax, K., & Schleyer, C. (2017). Understanding the role of conceptual frameworks: Reading the ecosystem service cascade. *Ecosystem Services*. ISSN 2212-0416.

Resolución Exenta N°242 (2017). Anteproyecto del plan de prevención y descontaminación atmosférica para las comunas de Concepción Metropolitano. Diario Oficial N°41.733 de 12 de abril de 2017. Ministerio del Medio Ambiente, República de Chile. [En Línea] <<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1101794&idParte=&idVersion=2017-04-12>> consulta: 15 de noviembre,2018

Resolución Exenta N°476 (2007). Da inicio a proceso de elaboración del plan de prevención atmosférico para las comunas del Concepción Metropolitano. Diario Oficial N°38.734 de 10 de abril de 2007. Ministerio Secretaria General de la Presidencia; Subsecretaría del medio ambiente, República de Chile. [En Línea] <<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1101794&idParte=&idVersion=2017-04-12>> consulta: 15 de noviembre, 2018.

Resolución Exenta N°822 (2015). Da inicio a proceso de elaboración del plan de descontaminación atmosférica por material particulado fino respirable MP2,5, como concentración diaria, para las comunas de Lota, Coronel, San Pedro de la Paz, Hualqui, Chiguayante, Concepción, Penco, Tomé, Hualpén y Talcahuano. Diario Oficial N° 41.244 de 28 de agosto de 2015. Ministerio del Medio Ambiente, República de Chile. [En Línea] <<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1080915&idParte=&idVersion=2015-08-28>> consulta: 15 de noviembre, 2018.

Rioseco, G., Mardones, C., & Jiménez, J. (2015). Efecto directo e indirecto de la dispersión de las emisiones industriales sobre la regulación ambiental. *Revista de Análisis Económico*, Vol. 30, N°2:79-96.

Rojas, H., Schulz, P., & Briceño, S. (2017). Análisis general del impacto económico y social del plan de prevención y descontaminación para las comunas de Lota, Coronel, San Pedro de la Paz, Hualqui, Chiguayante, Concepción, Penco, Tomé, Hualpén y Talcahuano. Ministerio del Medio Ambiente, Departamento de Economía Ambiental. [En Línea] <<http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2017/proyectos/AGIES.pdf>> consulta: 07 de noviembre, 2018.

Romero, H., Salgado, M., & Smith, P. (2010). Cambios climáticos y climas urbanos: Relaciones entre zonas termales y condiciones socioeconómicas de la población de Santiago de Chile. *Revista INVI*, 25(70).

Saavedra, A. (2015). Análisis de regulaciones ambientales para material particulado fino en fuentes industriales y residenciales del concepción metropolitano. Tesis para optar al grado de Magister en Ingeniería Industrial. Concepción, Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial. 62p.

Smith, P. & Romero, H. (2009). Efectos del crecimiento urbano del Área Metropolitana de Concepción sobre los humedales de Rocuant-Andalién, Los Batros y Lengua. *Revista de Geografía Norte Grande*, 43:81-93. (ISI).

Ugalde, J. (2014). El Arbolado Urbano y su Estructura Funcional. La Estructura Arbórea y la Generación de Servicios Ecosistémicos en el Paisaje Urbano de la Zona Centro de San Luis Potosí, México. Tesis para optar al grado de Magíster en Arquitectura del Paisaje. Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2018). Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle. Office of Transportation and Air Quality. EPA-420-F-18-008 <<https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle>> consulta: 17 de agosto, 2018).

Valdés, P., & Foulkes, M. D. (2016). La infraestructura verde y su papel en el desarrollo regional aplicación a los ejes recreativos y culturales de resistencia y su área metropolitana. *Cuaderno urbano*, 20(20).

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

Vásquez, A. (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 63: 63-86.

Vásquez, A. E., Romero, H., Fuentes, C., López, C. & Sandoval, G. (2008). Evaluación y simulación de los efectos ambientales del crecimiento urbano observado y propuesto en Santiago de Chile. *Actas del Congreso Nacional de Desarrollo Rural*. Santiago de Chile.

Velasco, E., Roth, M., Norford, L., & Molina, L. T. (2016). Does urban vegetation enhance carbon sequestration?. *Landscape and Urban Planning*. Volume 148. Pages 99-107, ISSN 0169-2046.

Vos, Peter E. J., Maiheu, B., Vankerkom, J., & Janssen, S. (2013). Improving local air quality in cities: To tree or not to tree?. *Environmental Pollution*. Volume 183. Pages 113-122. ISSN 0269-7491.

Wei X, Lyu S, Yu Y, Wang Z, Liu H, Pan D., & Chen J. (2017). Phylloremediation of Air Pollutants: Exploiting the Potential of Plant Leaves and Leaf-Associated Microbes. *Front. Plant Sci.* 8:1318. doi: 10.3389/fpls.2017.01318.

WWF. (2016). Informe Planeta Vivo 2016.: Riesgo y resiliencia en el Antropoceno. WWF International, Gland, Suiza.

Anexo 2. Valores específicos por semana, día y hora, a partir del modelo de imputación de datos SDEM.

Valor específico por semana, para cada estación.

	$\left(\sum_{s=1}^S \bar{x}_{sw} / S\right)$	$\bar{x}_{sw} - \left(\sum_{s=1}^S \bar{x}_{sw} / S\right)$		
Semana	Promedio marginal	Kingston College	Nueva Libertad	Punteras
1	15,34	-15,34	0,00	-15,34
2	21,25	-21,25	0,00	-21,25
3	15,93	-15,93	0,00	-15,93
4	18,17	-18,17	0,00	-18,17
5	22,74	-22,74	0,00	-22,74
6	22,88	-22,88	0,00	-22,88
7	41,33	-41,33	0,00	-41,33
8	22,77	-22,77	0,00	-22,77
9	3,32	-3,32	0,00	-3,32
10	4,63	-4,63	0,00	-4,63
11	3,90	-3,90	0,00	-3,90
12	12,48	7,60	-7,60	-12,48
13	10,61	6,68	-6,68	-10,61
14	6,55	3,75	-3,75	-6,55
15	11,27	6,68	-6,68	-11,27
16	10,73	5,95	-5,95	-10,73
17	26,41	20,00	-20,00	-26,41
18	21,15	14,16	-14,16	-21,15
19	25,34	6,89	-6,89	-25,34
20	24,47	1,55	-1,55	-24,47
21	39,51	-4,39	4,39	-39,51
22	26,96	-2,85	2,85	-26,96
23	25,39	0,46	-0,46	-25,39
24	37,51	-4,25	4,25	-37,51
25	28,19	-0,29	0,29	-28,19
26	29,38	7,27	-7,27	-29,38
27	29,83	-0,04	0,04	-29,83
28	33,09	-3,08	3,08	-33,09
29	23,31	0,51	-0,51	-23,31
30	13,82	2,05	-2,05	-13,82
31	16,96	0,87	-0,87	-16,96
32	24,73	-3,52	3,52	-24,73
33	19,45	6,96	5,76	-12,72

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

34	21,86	-1,57	-2,75	4,31
35	18,83	-0,14	-4,44	4,58
36	19,43	0,96	-1,99	1,03
37	17,13	-0,53	-1,09	1,62
38	19,40	-2,19	-0,39	2,58
39	12,44	-1,68	-3,66	5,34
40	14,20	-2,63	-3,37	5,99
41	14,87	0,39	-1,39	1,00
42	14,45	-1,87	-0,17	2,04
43	11,35	-2,36	0,74	1,62
44	10,37	5,08	5,18	-10,26
45	12,02	3,31	1,73	-5,04
46	10,42	-2,54	4,39	-1,85
47	8,55	0,31	4,26	-4,57
48	14,30	3,84	1,93	-5,77
49	13,72	1,39	5,40	-6,79
50	10,22	1,10	4,39	-5,50
51	11,50	5,57	0,43	-6,00
52	13,02	5,15	2,80	-7,95
53	9,74	-9,74	5,37	-5,37

Fuente: Elaboración propia, en base a datos Red SINCA.

Valor específico por día, para cada estación.

	$\left(\sum_{s=1}^S \bar{x}_{sd} / S\right)$	$\bar{x}_{sd} - \left(\sum_{s=1}^S \bar{x}_{sd} / S\right)$		
Día	Promedio Marginal	Kingston College	Nueva Libertad	Punteras
1	18,19	3,82	0,32	-4,13
2	17,91	2,87	1,51	-4,39
3	15,62	3,34	-0,35	-3,00
4	14,52	2,63	-1,09	-1,55
5	17,13	4,52	0,12	-4,63
6	17,60	4,78	1,86	-6,65
7	18,36	3,95	0,54	-4,49

Fuente: Elaboración propia, en base a datos Red SINCA.

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

Valor específico por hora, para cada estación.

	$\left(\sum_{s=1}^S \bar{x}_{sh} / S\right)$	$\bar{x}_{sh} - \left(\sum_{s=1}^S \bar{x}_{sh} / S\right)$		
Hora	Promedio Marginal	Kingston College	Nueva Libertad	Punteras
0	26,23	5,78	-3,38	-2,39
1	21,92	4,82	-2,09	-2,74
2	17,97	3,61	-1,16	-2,44
3	15,23	3,47	-1,07	-2,41
4	13,20	3,36	-1,65	-1,70
5	11,71	3,25	-1,66	-1,58
6	10,98	3,96	-1,84	-2,11
7	11,17	4,77	-1,51	-3,26
8	11,39	5,16	0,29	-5,45
9	12,88	2,85	4,76	-7,60
10	13,36	1,12	7,58	-8,71
11	13,17	-0,34	8,83	-8,50
12	12,42	-1,14	9,12	-7,97
13	11,32	-1,12	7,26	-6,15
14	11,63	-0,53	6,19	-5,65
15	12,54	-0,89	4,69	-3,80
16	13,17	0,23	3,76	-4,00
17	14,91	1,00	2,72	-3,73
18	17,24	4,88	-0,68	-4,21
19	20,61	8,77	-4,32	-4,45
20	25,32	10,63	-8,96	-1,68
21	29,46	9,58	-7,17	-2,40
22	31,51	8,02	-4,79	-3,22
23	29,35	7,21	-4,58	-2,64

Fuente: Elaboración propia, en base a datos Red SINCA.

Anexo 3. Porcentaje total de las especies al interior del parque Ecuador, según el tamaño de su DAP (Diámetro a la altura del pecho) al momento de ser inventariadas.

Especies	Tamaño del DAP (cm)						
	0-8,99	9-15,99	16-30,99	31-46,99	47-61,99	62-76,99	77+
<i>Abies procera</i>	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
<i>Acacia melanoxylon</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	50,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	0,0	0,0	0,0	25,0	25,0	25,0	25,0
<i>Alnus glutinosa</i>	0,0	0,0	38,5	38,5	23,1	0,0	0,0
<i>Araucaria angustifolia</i>	0,0	0,0	66,7	0,0	0,0	0,0	33,3
<i>Tilia americana</i>	1,3	3,9	23,4	20,8	18,2	7,8	24,7
<i>Araucaria araucana</i>	0,0	0,0	0,0	50,0	0,0	0,0	50,0
<i>Araucaria heterophylla</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
<i>Betula péndula</i>	0,0	0,0	33,3	33,3	33,3	0,0	0,0
<i>Camelia japónica</i>	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Catalpa bignonioides</i>	0,0	0,0	50,0	0,0	0,0	50,0	0,0
<i>Cedrus deodara</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
<i>Cedrus libani</i>	0,0	0,0	0,0	14,3	57,1	14,3	14,3
<i>Cercis siliquastrum</i>	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
<i>Chorisia speciosa</i>	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Cryptocarya alba</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	50,0	0,0
<i>Cupressus macrocarpa</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
<i>Cupressus sempervirens</i>	0,0	0,0	20,0	40,0	20,0	0,0	20,0
<i>Embothrium coccineum</i>	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Eriobotrya japonica</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

<i>Erythrina cristagalli</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
<i>Erythrina falcata</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
<i>Erythrina umbrosa</i>	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
<i>Eucalyptus globulus</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
<i>Ilex aquifolium</i>	0,0	0,0	0,0	50,0	50,0	0,0	0,0
<i>Juniperus communis</i>	0,0	0,0	0,0	50,0	0,0	50,0	0,0
<i>Lagerstroemia indica</i>	0,0	0,0	0,0	50,0	50,0	0,0	0,0
<i>Ligustrum lucidum</i>	0,0	66,7	33,3	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Liquidambar styraciflua</i>	0,0	0,0	6,7	13,3	40,0	33,3	6,7
<i>Magnoliopsida</i>	0,0	0,0	50,0	0,0	50,0	0,0	0,0
<i>Maytenus boaria</i>	0,0	0,0	85,7	0,0	14,3	0,0	0,0
<i>Melia azedarach</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
<i>Myoporum laetum</i>	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Paulownia tomentosa</i>	0,0	25,0	75,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Peumus boldus</i>	0,0	0,0	0,0	25,0	50,0	0,0	25,0
<i>Phoenix canariensis</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,6	36,4
<i>Pinopsida</i>	0,0	0,0	25,0	25,0	25,0	25,0	0,0
<i>Platanus orientalis</i>	0,0	0,0	6,1	0,0	20,4	34,7	38,8
<i>Populus deltoides</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
<i>Prunus cerasifera</i>	0,0	25,0	41,7	33,3	0,0	0,0	0,0
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0,0	0,0	0,0	50,0	0,0	25,0	25,0
<i>Quercus</i>	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Quercus ilex ballota</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	20,0	60,0
<i>Quercus robur</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	50,0	0,0

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

<i>Robinia pseudoacacia</i>	6,3	12,5	0,0	37,5	37,5	3,1	3,1
<i>Salix babylonica</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	75,0
<i>Schinus molle</i>	0,0	0,0	0,0	33,3	33,3	0,0	33,3
<i>Sequoia sempervirens</i>	0,0	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	75,0
<i>Thuja occidentalis</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
<i>Trachycarpus fortunei</i>	0,0	75,0	16,7	0,0	0,0	0,0	8,3
<i>Ulmus americana</i>	0,0	0,0	10,0	30,0	20,0	20,0	20,0

Fuente: Elaboración propia, en base a datos recolectados en terreno (2018).

Anexo 4. Listado total de las especies al interior del parque Ecuador, según su condición al momento de ser inventariadas.

Especies	Condición promedio (%)
<i>Sequoia sempervirens</i>	98,25
<i>Phoenix canariensis</i>	96,14
<i>Peumus boldus</i>	94,50
<i>Cedrus deodara</i>	94,50
<i>Cryptocarya alba</i>	94,50
<i>Cupressus macrocarpa</i>	94,50
<i>Thuja occidentalis</i>	94,50
<i>Abies procera</i>	94,50
<i>Araucaria heterophylla</i>	94,50
<i>Cercis siliquastrum</i>	94,50
<i>Erythrina crista-galli</i>	94,50
<i>Erythrina falcata</i>	94,50
<i>Eriobotrya japonica</i>	94,50
<i>Populus deltoides</i>	94,50
<i>Paulownia tomentosa</i>	94,00
<i>Araucaria angustifolia</i>	92,17
<i>Cedrus libani</i>	91,36
<i>Schinus molle</i>	90,50
<i>Cupressus sempervirens</i>	89,70
<i>Araucaria araucana</i>	88,50
<i>Lagerstroemia indica</i>	88,50
<i>Camellia japonica</i>	85,70
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	83,50
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	82,50
<i>Chorisia speciosa</i>	82,50
<i>Eucalyptus globulus</i>	82,50
<i>Quercus</i>	82,50
<i>Trachycarpus fortunei</i>	79,42
<i>Maytenus boaria</i>	72,64
<i>Ilex aquifolium</i>	72,50
<i>Acacia melanoxylon</i>	72,38
<i>Liquidambar styraciflua</i>	63,87
<i>Ligustrum lucidum</i>	63,33
<i>Alnus glutinosa</i>	62,58
<i>Juniperus communis</i>	60,00
<i>Magnoliopsida</i>	53,75
<i>Pinopsida</i>	47,75

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

<i>Robinia pseudoacacia</i>	41,98
<i>Tilia americana</i>	41,59
<i>Acer pseudoplatanus</i>	33,79
<i>Salix babylonica</i>	25,25
<i>Prunus cerasifera</i>	21,67
<i>Platanus orientalis</i>	18,64
<i>Ulmus americana</i>	15,15
<i>Erythrina umbrosa</i>	13,00
<i>Melia azedarach</i>	13,00
<i>Quercus ilex ballota</i>	10,40
<i>Catalpa bignonioides</i>	6,50
<i>Betula pendula</i>	0,00
<i>Myoporum laetum</i>	0,00
<i>Quercus robur</i>	0,00
<i>Embothrium coccineum</i>	0,00
Área de estudio (Prom)	49,71

Fuente: Elaboración propia, en base a datos recolectados en terreno (2018).

Anexo 5. Listado total de las especies al interior del parque Ecuador, según la eliminación promedio de MP2,5.

Especies	MP2,5 (Contaminación eliminada promedio Kg/año)
<i>Cupressus macrocarpa</i>	0,2471
<i>Populus deltoides</i>	0,2107
<i>Eucalyptus globulus</i>	0,1655
<i>Erythrina falcata</i>	0,0695
<i>Araucaria heterophylla</i>	0,0635
<i>Cedrus libani</i>	0,0489
<i>Cupressus sempervirens</i>	0,0485
<i>Thuja occidentalis</i>	0,0455
<i>Araucaria araucana</i>	0,0363
<i>Araucaria angustifolia</i>	0,0322
<i>Acacia melanoxylon</i>	0,0320
<i>Cedrus deodara</i>	0,0318
<i>Erythrina crista-galli</i>	0,0316
<i>Schinus molle</i>	0,0266
<i>Sequoia sempervirens</i>	0,0241
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0,0238
<i>Eriobotrya japonica</i>	0,0208
<i>Cryptocarya alba</i>	0,0207
<i>Peumus boldus</i>	0,0186
<i>Pinopsida</i>	0,0170
<i>Liquidambar styraciflua</i>	0,0170
<i>Juniperus communis</i>	0,0148
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	0,0121
<i>Acer pseudoplatanus</i>	0,0114
<i>Lagerstroemia indica</i>	0,0113
<i>Abies procera</i>	0,0098
<i>Platanus orientalis</i>	0,0096
<i>Salix babylonica</i>	0,0083
<i>Phoenix canariensis</i>	0,0081
<i>Ilex aquifolium</i>	0,0078
<i>Alnus glutinosa</i>	0,0074
<i>Tilia americana</i>	0,0065
<i>Ligustrum lucidum</i>	0,0048
<i>Maytenus boaria</i>	0,0047
<i>Robinia pseudoacacia</i>	0,0044
<i>Ulmus americana</i>	0,0040
<i>Paulownia tomentosa</i>	0,0037

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

<i>Quercus</i>	0,0035
<i>Camellia japonica</i>	0,0029
<i>Cercis siliquastrum</i>	0,0028
<i>Magnoliopsida</i>	0,0027
<i>Chorisia speciosa</i>	0,0016
<i>Trachycarpus fortunei</i>	0,0009
<i>Prunus cerasifera</i>	0,0009
<i>Quercus ilex ballota</i>	0,0004
<i>Melia azedarach</i>	0,0003
<i>Erythrina umbrosa</i>	0,0002
<i>Catalpa bignonioides</i>	0,0001
<i>Betula pendula</i>	0
<i>Embothrium coccineum</i>	0
<i>Myoporum laetum</i>	0
<i>Quercus robur</i>	0
Área de estudio (Prom)	0,44

Fuente: Elaboración propia, en base a datos modelados por el software i-Tree Eco (2018).

Anexo 6. Listado total de las especies al interior del parque Ecuador, según la eliminación total que realizan de MP2,5.

Nombre de la especie	MP2,5 (Contaminación eliminada total Kg/año)
<i>Tilia americana</i>	0,5043
<i>Cupressus macrocarpa</i>	0,4941
<i>Platanus orientalis</i>	0,4695
<i>Cedrus libani</i>	0,3422
<i>Liquidambar styraciflua</i>	0,2548
<i>Cupressus sempervirens</i>	0,2423
<i>Populus deltoides</i>	0,2107
<i>Eucalyptus globulus</i>	0,1655
<i>Robinia pseudoacacia</i>	0,1393
<i>Acer pseudoplatanus</i>	0,1364
<i>Acacia melanoxylon</i>	0,128
<i>Araucaria angustifolia</i>	0,0966
<i>Sequoia sempervirens</i>	0,0965
<i>Alnus glutinosa</i>	0,0964
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0,0952
<i>Thuja occidentalis</i>	0,0909
<i>Phoenix canariensis</i>	0,0892
<i>Schinus molle</i>	0,0797
<i>Peumus boldus</i>	0,0742
<i>Araucaria araucana</i>	0,0725
<i>Erythrina falcata</i>	0,0695
<i>Pinopsida</i>	0,068
<i>Cedrus deodara</i>	0,0636
<i>Araucaria heterophylla</i>	0,0635
<i>Cryptocarya alba</i>	0,0413
<i>Ulmus americana</i>	0,0402
<i>Salix babylonica</i>	0,0331
<i>Maytenus boaria</i>	0,0328
<i>Erythrina crista-galli</i>	0,0316
<i>Juniperus communis</i>	0,0296
<i>Lagerstroemia indica</i>	0,0226
<i>Eriobotrya japonica</i>	0,0208
<i>Ilex aquifolium</i>	0,0155
<i>Paulownia tomentosa</i>	0,0148
<i>Camellia japonica</i>	0,0146
<i>Ligustrum lucidum</i>	0,0145
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	0,0121

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

<i>Trachycarpus fortunei</i>	0,0112
<i>Prunus cerasifera</i>	0,0113
<i>Abies procera</i>	0,0098
<i>Magnoliopsida</i>	0,0053
<i>Quercus</i>	0,0035
<i>Cercis siliquastrum</i>	0,0028
<i>Quercus ilex ballota</i>	0,0019
<i>Chorisia speciosa</i>	0,0016
<i>Melia azedarach</i>	0,0003
<i>Erythrina umbrosa</i>	0,0002
<i>Catalpa bignonioides</i>	0,0001
<i>Betula pendula</i>	0
<i>Embothrium coccineum</i>	0
<i>Myoporum laetum</i>	0
<i>Quercus robur</i>	0
Total área de estudio	4,5144

Fuente: Elaboración propia, en base a datos modelados por el software i-Tree Eco (2018).

Anexo 7. Listado total de las especies al interior del parque Ecuador, según su almacenamiento de carbono y su equivalente en CO₂.

Especies	Almacenamiento de carbono (tonelada métrica/año)	Almacenamiento de carbono (%)	Equivalente CO₂ (tonelada métrica)
<i>Platanus orientalis</i>	101,5	29,0%	372,3
<i>Tilia americana</i>	58,8	16,8%	215,8
<i>Robinia pseudoacacia</i>	17,4	5,0%	63,7
<i>Acer pseudoplatanus</i>	16,0	4,6%	58,7
<i>Quercus ilex ballota</i>	13,7	3,9%	50,4
<i>Cupressus macrocarpa</i>	11,4	3,3%	41,8
<i>Salix babylonica</i>	11,0	3,1%	40,4
<i>Acacia melanoxylon</i>	9,5	2,7%	34,7
<i>Ulmus americana</i>	8,6	2,4%	31,4
<i>Cedrus libani</i>	7,1	2,0%	26,2
<i>Cupressus sempervirens</i>	6,5	1,9%	23,8
<i>Schinus molle</i>	6,5	1,9%	24,0
<i>Sequoia sempervirens</i>	6,8	1,9%	25,1
<i>Camellia japonica</i>	5,9	1,7%	21,7
<i>Erythrina falcata</i>	5,9	1,7%	21,8
<i>Eucalyptus globulus</i>	6,1	1,7%	22,4
<i>Liquidambar styraciflua</i>	5,9	1,7%	21,6
<i>Populus deltoides</i>	6,0	1,7%	22,0
<i>Alnus glutinosa</i>	5,0	1,4%	18,3
<i>Peumus boldus</i>	4,6	1,3%	16,9
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	4,6	1,3%	16,9
<i>Erythrina crista-galli</i>	3,8	1,1%	14,0
<i>Quercus robur</i>	2,8	0,8%	10,2
<i>Araucaria heterophylla</i>	2,6	0,7%	9,5
<i>Prunus cerasifera</i>	2,5	0,7%	9,3
<i>Cryptocarya alba</i>	2,1	0,6%	7,8
<i>Araucaria angustifolia</i>	1,9	0,5%	6,8
<i>Betula pendula</i>	1,7	0,5%	6,1
<i>Catalpa bignonioides</i>	1,4	0,4%	5,2
<i>Maytenus boaria</i>	1,3	0,4%	4,7
<i>Thuja occidentalis</i>	1,5	0,4%	5,5
<i>Araucaria araucana</i>	1,2	0,3%	4,3
<i>Ilex aquifolium</i>	0,9	0,3%	3,3
<i>Pinopsida</i>	1,2	0,3%	4,3
<i>Cedrus deodara</i>	0,7	0,2%	2,4

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

<i>Eriobotrya japonica</i>	0,8	0,2%	3,0
<i>Juniperus communis</i>	0,6	0,2%	2,3
<i>Lagerstroemia indica</i>	0,8	0,2%	3,0
<i>Magnoliopsida</i>	0,6	0,2%	2,3
<i>Melia azedarach</i>	0,8	0,2%	2,9
<i>Abies procera</i>	0,2	0,1%	0,7
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	0,2	0,1%	0,8
<i>Erythrina umbrosa</i>	0,3	0,1%	1,1
<i>Myoporum laetum</i>	0,2	0,1%	0,9
<i>Paulownia tomentosa</i>	0,3	0,1%	1,1
<i>Phoenix canariensis</i>	0,5	0,1%	1,7
<i>Cercis siliquastrum</i>	0,1	0,0%	0,5
<i>Chorisia speciosa</i>	0,1	0,0%	0,2
<i>Embothrium coccineum</i>	0,1	0,0%	0,3
<i>Ligustrum lucidum</i>	0,1	0,0%	0,5
<i>Quercus</i>	0,1	0,0%	0,5
<i>Trachycarpus fortunei</i>	0,1	0,0%	0,2
Total	350,5	100%	1285,3

Fuente: Elaboración propia, en base a datos modelados por el software i-Tree Eco (2018).

Anexo 8. Listado total de las especies al interior del parque Ecuador, según su secuestro de carbono y su equivalente en CO₂.

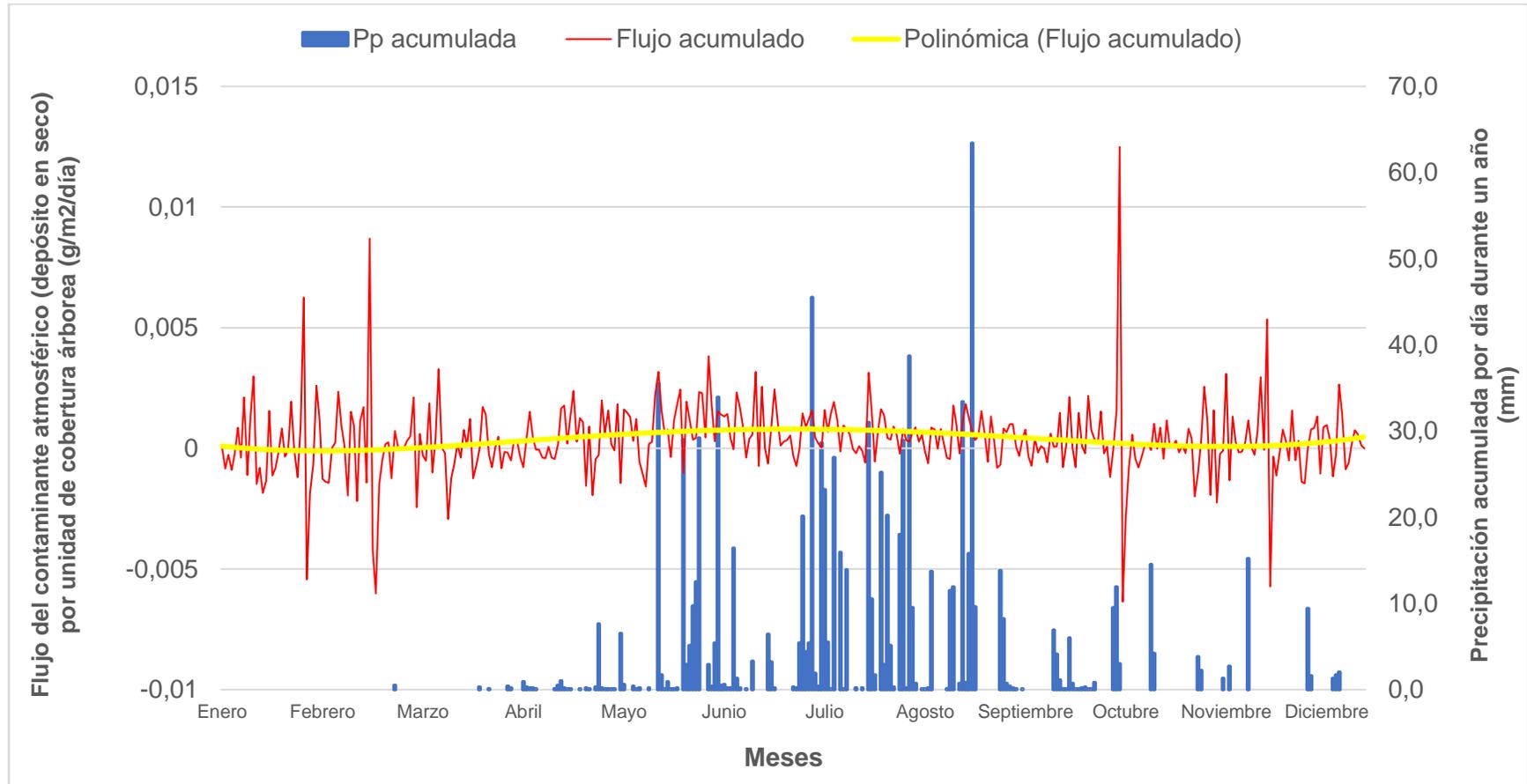
Especie	Secuestro bruto de carbono (tonelada métrica/año)	Secuestro de carbono (%)	Equivalente CO₂ (tonelada métrica /año)
<i>Tilia americana</i>	0,61	18,9%	2,23
<i>Robinia pseudoacacia</i>	0,33	10,2%	1,2
<i>Platanus orientalis</i>	0,27	8,4%	0,99
<i>Acacia melanoxylon</i>	0,17	5,3%	0,63
<i>Liquidambar styraciflua</i>	0,17	5,3%	0,64
<i>Alnus glutinosa</i>	0,16	5,0%	0,6
<i>Peumus boldus</i>	0,14	4,3%	0,5
<i>Acer pseudoplatanus</i>	0,12	3,7%	0,46
<i>Cedrus libani</i>	0,12	3,7%	0,43
<i>Sequoia sempervirens</i>	0,12	3,7%	0,44
<i>Cryptocarya alba</i>	0,07	2,2%	0,26
<i>Salix babylonica</i>	0,07	2,2%	0,25
<i>Erythrina crista-galli</i>	0,06	1,9%	0,2
<i>Maytenus boaria</i>	0,06	1,9%	0,22
<i>Schinus molle</i>	0,06	1,9%	0,24
<i>Camellia japonica</i>	0,05	1,6%	0,19
<i>Cupressus sempervirens</i>	0,05	1,6%	0,17
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0,05	1,6%	0,2
<i>Araucaria angustifolia</i>	0,04	1,2%	0,13
<i>Araucaria araucana</i>	0,04	1,2%	0,16
<i>Araucaria heterophylla</i>	0,04	1,2%	0,16
<i>Cupressus macrocarpa</i>	0,04	1,2%	0,14
<i>Prunus cerasifera</i>	0,04	1,2%	0,14
<i>Ulmus americana</i>	0,04	1,2%	0,15
<i>Eriobotrya japonica</i>	0,03	0,9%	0,11
<i>Lagerstroemia indica</i>	0,03	0,9%	0,12
<i>Cedrus deodara</i>	0,02	0,6%	0,09
<i>Cercis siliquastrum</i>	0,02	0,6%	0,07
<i>Ilex aquifolium</i>	0,02	0,6%	0,09
<i>Paulownia tomentosa</i>	0,02	0,6%	0,09
<i>Pinopsida</i>	0,02	0,6%	0,07
<i>Thuja occidentalis</i>	0,02	0,6%	0,09
<i>Abies procera</i>	0,01	0,3%	0,03
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	0,01	0,3%	0,05
<i>Chorisia speciosa</i>	0,01	0,3%	0,02

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

<i>Erythrina falcata</i>	0,01	0,3%	0,05
<i>Eucalyptus globulus</i>	0,01	0,3%	0,04
<i>Juniperus communis</i>	0,01	0,3%	0,05
<i>Ligustrum lucidum</i>	0,01	0,3%	0,04
<i>Magnoliopsida</i>	0,01	0,3%	0,04
<i>Phoenix canariensis</i>	0,01	0,3%	0,03
<i>Populus deltoides</i>	0,01	0,3%	0,04
<i>Quercus</i>	0,01	0,3%	0,03
<i>Quercus ilex ballota</i>	0,01	0,3%	0,02
<i>Betula pendula</i>	0	0,0%	0
<i>Catalpa bignonioides</i>	0	0,0%	0
<i>Embothrium coccineum</i>	0	0,0%	0
<i>Erythrina umbrosa</i>	0	0,0%	0
<i>Melia azedarach</i>	0	0,0%	0
<i>Myoporum laetum</i>	0	0,0%	0
<i>Quercus robur</i>	0	0,0%	0
<i>Trachycarpus fortunei</i>	0	0,0%	0
Total	3,22	100%	11,89

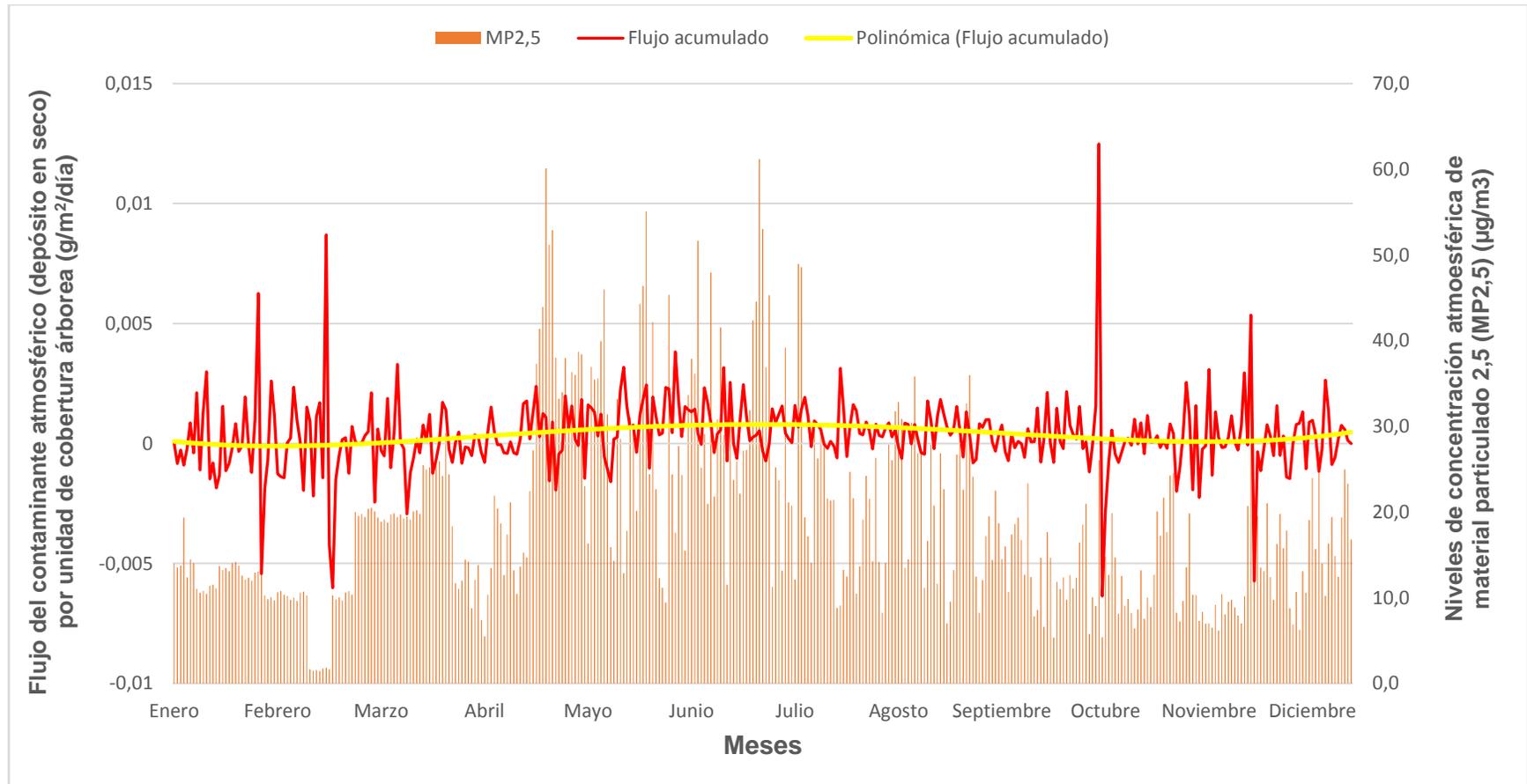
Fuente: Elaboración propia, en base a datos modelados por el software i-Tree Eco (2018).

Anexo 9. Niveles de flujo acumulado de MP2,5 por metro cuadrado de cobertura arbórea por día. Los valores crecientes indican una eliminación por día, mientras que los decrecientes, períodos de resuspensión neta de partículas contaminantes. Los períodos de precipitación podrían eliminar partículas de las hojas y transportarlas al suelo. Este fenómeno fue calculado como una extracción neta de los árboles urbanos (Nowak et al., 2013).



Fuente: Elaboración propia, en base a modelación realizada por el software i-Tree Eco.

Anexo 10. Niveles de flujo acumulado de MP2,5 por metro cuadrado de cobertura arbórea por día, en relación a las concentraciones de MP2,5. Los valores crecientes indican una eliminación por día, mientras que los decrecientes, períodos de resuspensión neta de partículas contaminantes.



Fuente: Elaboración propia, en base a modelación realizada por el software i-Tree Eco.

Anexo 11. Programas de plantación de árboles urbanos de la ciudad de Concepción entre años 2014-2018.

N° Orden	Folio	Fecha	Calle	N°	Entre calles	Plazo	Tipo Intervención	N° arbol	Situación
125	32	23-01-14	Padre Alberto Hurtado	68	0	31-01-14	Plantación Tulíperos	1	E
194	43	04-02-14	Brasil	1515	y esquina Lautaro	05-02-14	Plantación	2	E
1092	41	15-07-14	Serrano	0	Las Heras / Cochrane	15-08-14	Plantación Cir.Flor	7	E
1095	41	15-07-14	Salas	0	San Martin / Las Heras	15-08-14	Plantación Man.Flor	1	E
1096	41	15-07-14	Salas	0	San Martin / Las Heras	15-08-14	Plantación Dur.Flor	10	E
1097	41	15-07-14	Salas	0	San Martin / Las Heras	15-08-14	Plantación Cer.Flor	4	E
1098	41	15-07-14	Angol	0	Los Carrera / V. Lamas	15-08-14	Plantación Cer.Flor	4	E
1099	41	15-07-14	Angol	0	Los Carrera / V. Lamas	15-08-14	Plantación Man.Flor	12	E
1100	41	15-07-14	Angol	0	Los Carrera / V. Lamas	15-08-14	Plantación Crespon	1	E
1101	41	15-07-14	Lincoyan	0	V. Lamas / Maipu	15-08-14	Plantación Man.Flor	13	E
1102	41	15-07-14	Lincoyan	0	V. Lamas / Maipu	15-08-14	Plantación A. Neg	1	E
1103	41	15-07-14	Lincoyan	0	V. Lamas / Maipu	15-08-14	Plantación Liquidam	2	E
1104	42	15-07-14	Rengo	0	Las Heras / Chacabuco	15-08-14	Plantación Man.Flor	2	E
1105	42	15-07-14	Rengo	0	Las Heras / Chacabuco	15-08-14	Plantación Dur.Flor	3	E
1106	42	15-07-14	Caupolican	0	Cochrane / Las Heras	15-08-14	Plantación Cir.Flor	3	E
1107	42	15-07-14	Caupolican	0	Cochrane / Las Heras	15-08-14	Plantación Dur.Flor	1	E
1108	42	15-07-14	Caupolican	0	Cochrane / Las Heras	15-08-14	Plantación Cer.Flor	1	E
1109	42	15-07-14	Anibal Pinto	0	Las Heras / V. Lamas	15-08-14	Planta. Oliv. Bohem	2	E
1110	42	15-07-14	Anibal Pinto	0	Las Heras / V. Lamas	15-08-14	Plantación Man.Flor	3	E
1111	42	15-07-14	Anibal Pinto	0	Las Heras / V. Lamas	15-08-14	Plantación Liquidam	2	E
1112	42	15-07-14	Colo Colo	0	V. Lamas / Maipu	15-08-14	Plantación Liquidam	4	E
1113	42	15-07-14	Colo Colo	0	V. Lamas / Maipu	15-08-14	Plantación Cir.Flor	1	E
1114	43	15-07-14	Castellon	0	Las Heras / San Martin	15-08-14	Plantación Cir.Flor	3	E
1115	43	15-07-14	Castellon	0	Las Heras / San Martin	15-08-14	Plantación Liquidam	1	E
1116	43	15-07-14	Tucapel	0	Chacabuco / Los Carrera	15-08-14	Plantación Cir.Flor	5	E

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

1117	43	15-07-14	Orompello	0	Las Heras / V. Lamas	15-08-14	Plantación A. Bola	1	E
1118	43	15-07-14	Orompello	0	Las Heras / V. Lamas	15-08-14	Plantación Cir.Flor	14	E
1119	43	15-07-14	Ongolmo	0	V. Lamas / Las Heras	15-08-14	Plantación Cir.Flor	5	E
1120	43	15-07-14	Ongolmo	0	V. Lamas / Las Heras	15-08-14	Plantación A. Bola	1	E
1135	47	18-07-14	Lago Llanquihue	720	Sector Villarrica	22-07-14	Plantación Cir.Flor	1	E
1136	48	18-07-14	Cochrane	0	Orompello/Serrano	18-08-14	Plantación Cir.Flor	15	E
1137	48	18-07-14	San Martin	0	Caupolican/Orompello	18-08-14	Plantación Cir.Flor	6	E
1138	48	18-07-14	O'Higgins	0	Paicavi/Ongolmo	18-08-14	Plantación Liquidam	1	E
1139	48	18-07-14	Barros Arana	0	Ongolmo/Paicavi	18-08-14	Plantación Cir.Flor	1	E
1140	48	18-07-14	Freire	0	Orompello/Prat	18-08-14	Plantación Cir.Flor	13	E
1141	48	18-07-14	Freire	0	Orompello/Prat	18-08-14	Plantación Liquidam	1	E
1142	48	18-07-14	Maipu	0	Prat/Rengo	18-08-14	Plantación Cer.Flor	14	E
1411	17	09-10-14	Ainavillo	584	572-527-545	11-10-14	Plantación Oliv. de Boh	5	E
1416	18	13-10-14	Campos Bellavista	395	Lomas de Bellavista V Etapa.	17-10-14	Plantación Dur.Flor	1	E
1676	22	26-11-14	Manuel Rodriguez	918	0	26-11-14	Plantación Cir.Flor	1	E
1738	37	12-12-14	Prieto	0	c/ Castellon	12-12-14	Plantación Cir.Flor	1	E
491	4	15-04-15	Colo colo	1745	0	21-04-15	Plantación A. Bola	1	E
895	36	10-06-15	Arancibia	399	Esquina Costanera	17-06-15	Plantación Man.Flor	1	E
1201	2	03-08-15	Janequeo	0	Los Carreras/Las Heras, lado impar	04-08-15	Plantación Man. Flor	5	E
1202	2	03-08-15	Janequeo	0	Rozas/Bulnes, lado par	04-08-15	Plantación Man. Flor	4	E
1347	33	01-09-15	Lincoyan	0	Prieto / Rodriguez (lado impar)	07-09-15	Plantación Cer.Flor	10	E
1364	38	02-09-15	Sotomayor	55	0	05-09-15	Plantación F Mana	1	E
1367	39	03-09-15	Ongolmo	1760	0	07-09-15	Plantación F Mana	1	E
1372	41	05-09-15	Anibal Pinto	2915	0	08-09-15	Plantación F Mana	1	E
1413	1	23-09-15	PatricioLinch	2354	Chillancito	25-09-15	Plantación Cer.Flor	1	E
166	37	08-03-16	Serrano	760	0	08-03-16	Plantación Cir.Flor	1	E
219	1	18-03-16	Calle 111	1859	Las Princesas	19-03-16	Plantación Cer.Flor	1	E

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

547	9	21-04-16	Tucapel	173	0	22-04-16	Plantación Cir.Flor	1	E
868	18	10-06-16	Serrano	0	Victor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Cer.Flor	24	E
869	18	10-06-16	Salas	0	Victor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Cer.Flor	20	E
870	18	10-06-16	Angol	0	Victor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Man.Flor	17	E
871	18	10-06-16	Lincoyan	0	Victor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Man.Flor	24	E
872	18	10-06-16	Rengo	0	Victor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Man.Flor	0	E
873	18	10-06-16	Caupolican	0	Victor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Man.Flor	1	E
874	18	10-06-16	Aníbal Pinto	0	Victor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Man.Flor	6	E
875	18	10-06-16	Colo Colo	0	Victor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Man.Flor	1	E
876	18	10-06-16	Castellon	0	Victor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Man.Flor	0	E
877	18	10-06-16	Tucapel	0	Victor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Man.Flor	0	E
878	18	10-06-16	Orompello	0	Victor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Man.Flor	0	E
879	18	10-06-16	Ongolmo	0	Victor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Man.Flor	0	E
880	18	10-06-16	Paicaví	0	Victor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación F Mana	6	E
893	21	14-06-16	Cochrane	0	Padre Hurtado/Paicavi	15-08-16	Plantación Man.Flor	21	E
894	21	14-06-16	San Martin	0	Padre Hurtado/Paicaví	15-08-16	Plantación Man.Flor	4	E
898	21	14-06-16	Barros Arana	0	Tucapel/Paicavi	15-08-16	Plantación Man.Flor	5	E
899	21	14-06-16	Freire	0	Padre Hurtado/Paicaví	15-08-16	Plantación Man.Flor	19	E
900	21	14-06-16	Maipu	0	Padre Hurtado/Paicaví	15-08-16	Plantación Cer.Flor	20	E
981	37	17-06-16	Rengo	1569	0	23-06-16	Plantación Acer Japon	1	E
991	38	17-06-16	Ainavillo	572	584, 545, 513, 486, 464, 452, 485 y junto al 540	15-08-16	Planta. Oliv. Bohem	9	E
1036	47	28-06-16	Aníbal Pinto	0	Freire / Maipu	30-06-16	Plantación F Mana	2	E
1534	23	17-08-16	Tucapel	1558	0	25-08-16	Plantación F Mana	1	E
1535	23	17-08-16	Cosme Churruca	365	0	25-08-16	Plantación Man. Flor	1	E
1536	23	17-08-16	Nonguen	180	Lo Pequen	25-08-16	Plantación Man. Flor	1	E
1537	23	17-08-16	Pasaje 23	2019	0	25-08-16	Plantación Man. Flor	1	E

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

1543	25	22-08-16	Cochrane	270	0	23-08-16	Plantación Man. Flor	1	E
1544	25	22-08-16	Arancibia	368	Pedro del Rio	23-08-16	Plantación Man. Flor	1	E
1603	41	02-09-16	Ejercito	814	Colo Colo/Castellon	08-09-16	Plantación Man. Flor	1	E
1605	42	02-09-16	José María Castro	336	0	09-09-16	Plantación Man. Flor	1	E
1936	9	06-12-16	Lautaro	410		10-12-16	Plantación Man. Flor	1	E
1951	12	07-12-16	San Martin	584	0	10-12-16	Plantación Man. Flor	1	E
733	35	07-06-17	Maipú	0	Padre Hurtado /Av. A. Prat	15-08-16	Plantación Man.Flor	22,0	E
734	36	07-06-17	Padre Alberto Hurtado	0	Víctor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Tulíperos	22,0	E
735	36	07-06-17	Avenida Arturo Prat	0	Víctor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación F Mana	15,0	E
736	36	07-06-17	Serrano	0	Víctor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Cer.Flor	20,0	E
737	36	07-06-17	Salas	0	Víctor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Dur.Flor	9,0	E
738	36	07-06-17	Angol	0	Víctor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Man.Flor	4,0	E
739	36	07-06-17	Lincoyan	0	Víctor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Man.Flor	12,0	E
740	36	07-06-17	Rengo	0	Víctor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Cer.Flor	1,0	E
741	36	07-06-17	Caupolicán	0	Víctor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Man.Flor	2,0	E
742	36	07-06-17	Aníbal Pinto	0	Víctor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Man.Flor	2,0	E
743	36	07-06-17	Colo Colo	0	Víctor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Man.Flor	1,0	E
744	36	07-06-17	Castellón	0	Víctor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Man.Flor	1,0	E
745	36	07-06-17	Tucapel	0	Víctor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Man.Flor	18,0	E
746	36	07-06-17	Orompello	0	Víctor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Dur.Flor	10,0	E
747	36	07-06-17	Ongolmo	0	Víctor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación Man.Flor	19,0	E
748	36	07-06-17	Paicavi	0	Víctor Lamas / Carrera	15-08-16	Plantación F Mana	7,0	E
895	13	29-06-17	Aníbal Pinto	627	0	29-06-17	Plantación G. biloba	1,0	E
957	27	12-07-17	Angol	0	Ejercito/Argentina	31-07-17	Plantación Melia azed	2,0	E

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

958	27	12-07-17	Angol	0	Argentina/Mackenna, lado par	31-07-17	Plantación Melia azed	8,0	E
959	27	12-07-17	Angol	1593	0	31-07-17	Plantación Melia azed	1,0	E
960	27	12-07-17	Argentina	0	Angol/Lincoyan, lado impar	31-07-17	Plantación Acer Pseud	3,0	E
961	27	12-07-17	Argentina	0	Angol/Lincoyan, lado par	31-07-17	Plantación Acer Pseud	2,0	E
962	27	12-07-17	Argentina	0	Lincoyan/Rengo, lado impar	31-07-17	Plantación Acer Pseud	2,0	E
963	27	12-07-17	Argentina	0	Lincoyan/Rengo, lado par	31-07-17	Plantación Acer Pseud	4,0	E
967	28	12-07-17	Los Copihues	1146	La Pampa	14-07-17	Plantación Cir.Flor	1,0	E
972	30	14-07-17	Avenida Vicuña Mackenna	1255	0	15-07-17	Plantación Cer.Flor	2,0	E
1020	39	25-07-17	Patricio Linch	2366	0	07-08-17	Plantación Cir.Flor	1,0	E
1021	39	25-07-17	Patricio Linch	2372	0	07-08-17	Plantación Cir.Flor	1,0	E
1079	5	11-08-17	Patricio Linch	2354	Chillancito	19-08-17	Plantación Cir.Flor	1,0	E
1308	45	10-10-17	Chepical	431	y 441	14-10-17	Plantación Dur.Flor	2,0	E
1309	45	10-10-17	Chorrillos	0	Victoria / Chepical	14-10-17	Plantación Cer.Flor	6,0	E
1313	46	12-10-17	Rengo	0	Chacabuco / V. Lamas	12-10-17	Plantación A. Neg	1,0	E
1314	46	12-10-17	Angol	0	Freire / Los Carrera	12-10-17	Plantación Cer.Flor	3,0	E
1356	7	26-10-17	Anibal Pinto	2225	Esquina Pasaje 8	04-10-17	Plantación	1,0	E
1428	22	18-11-17	Tegualda	0	Gral. Bonilla / Av. Collao	22-11-17	Plantación pelú	11,0	E
397	42	28-03-18	Lincoyan	130	133, 155 y esq. Chacabuco	28-03-18	Plantación de árbol	4	E
522	18	19-04-18	Cantabria	1614	0	30-06-18	Plantación Man. Flor	1	E
589	32	30-04-18	Avenida Torreones Oeste	0	Acera Enfrente al N° 1750	30-04-18	Plantación Tulíperos	1	E
788	18	07-06-18	San Martin	0	Padre Hurtado/Prat	20-07-18	Plantación Man. Flor	11	E
789	18	07-06-18	San Martin	0	Prat/Paicavi	20-07-18	Plantación Man. Flor	8	E
790	18	07-06-18	Avenida Bernardo O'Higgins	0	Lincoyan/Padre Hurtado	20-07-18	Plantación Man. Flor	3	E

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

791	19	07-06-18	Barros Arana	0	Ongolmo/Janequeo	20-07-18	Plantación Man. Flor	5	E
792	19	07-06-18	Freire	0	Padre Hurtado/Prat	20-07-18	Plantación Man. Flor	5	E
793	19	07-06-18	Freire	0	Paicavi/Lincoyan	20-07-18	Plantación Cer.Flor	6	E
794	19	07-06-18	Freire	0	Angol/Prat	20-07-18	Plantación Man. Flor	9	E
795	19	07-06-18	Avenida los Carreras	0	Serrano/Fresia	20-07-18	Plantación F Mana	11	E
796	19	07-06-18	Las Heras	0	Padre Hurtado/Prat	20-07-18	Plantación Man. Flor	12	E
803	20	07-06-18	Angol	0	Carreras/Cochrane	20-07-18	Plantación Man. Flor	7	E
804	20	07-06-18	Lincoyan	0	San Martin/Maipú	20-07-18	Plantación Man. Flor	5	E
807	21	07-06-18	Colo colo	0	Maipú/Carreras	20-07-18	Plantación Man. Flor	1	E
808	21	07-06-18	Castellón	0	Carreras/Maipú	20-07-18	Plantación Man. Flor	2	E
809	21	07-06-18	Tucapel	0	Maipú/Carreras	20-07-18	Plantación Man. Flor	1	E
810	21	07-06-18	Orompello	0	Carreras/Cochrane	20-07-18	Plantación Man. Flor	3	E
811	21	07-06-18	Ongolmo	0	Víctor Lamas/Barros Arana	20-07-18	Plantación Man. Flor	2	E
1119	37	02-08-18	Tehualda	0	Av. Gral. Bonilla / Av. Collao	06-08-18	Plantación Cer.Flor	20	E
1122	39	04-08-18	San Martin	1277	0	06-08-18	Plantación Man. Flor	1	E
1123	39	04-08-18	Patricio Linch	2354	Chillancito	06-08-18	Plantación Man. Flor	1	E

Fuente: Departamento de Aseo y Ornato, municipalidad de Concepción. Portal de Transparencia.

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

Anexo 12. Trabajo en terreno durante el inventario de árboles urbanos.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Anexo 13. Trabajo en terreno durante el inventario de árboles urbanos.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

Anexo 14. Imágenes del software i-Tree Eco.

Configuración del proyecto > Definición del proyecto

Ingresar la información general del proyecto y haz clic en OK para guardarla o en Cancelar para salir de este proceso. OK Cancelar

Configuraciones del proyecto Lugar Opciones de recopilación de datos

Por favor selecciona un lugar a usar para tu proyecto:
 Pista: Usa la tecla de Eliminar para borrar una selección.

No todas las ciudades para los lugares internacionales están disponibles debido a las limitaciones de la información proporcionada por los colaboradores. En este caso, selecciona un lugar cercano representativo.

País: Chile
 Region: Bio Bio
 Province: Provincia de Concepcion
 City: Concepcion

¿El área de estudio es urbana?
 Población: 220746

Por favor especifica los siguientes años para tu proyecto:
 Año del tiempo y contaminación: 2015 (Estado del tiempo y contami)

Por favor selecciona una estación meteorológica a usar para tu proyecto:
 Estación meteorológica: Mostrar mapa

Please check adjacent Counties/Regions/Divisions/etc. for specific locations that may straddle these areas. E.g. Columbus, Ohio, USA is listed under Delaware county, although expected in Franklin county.

Datos > Datos de inventario > Árboles

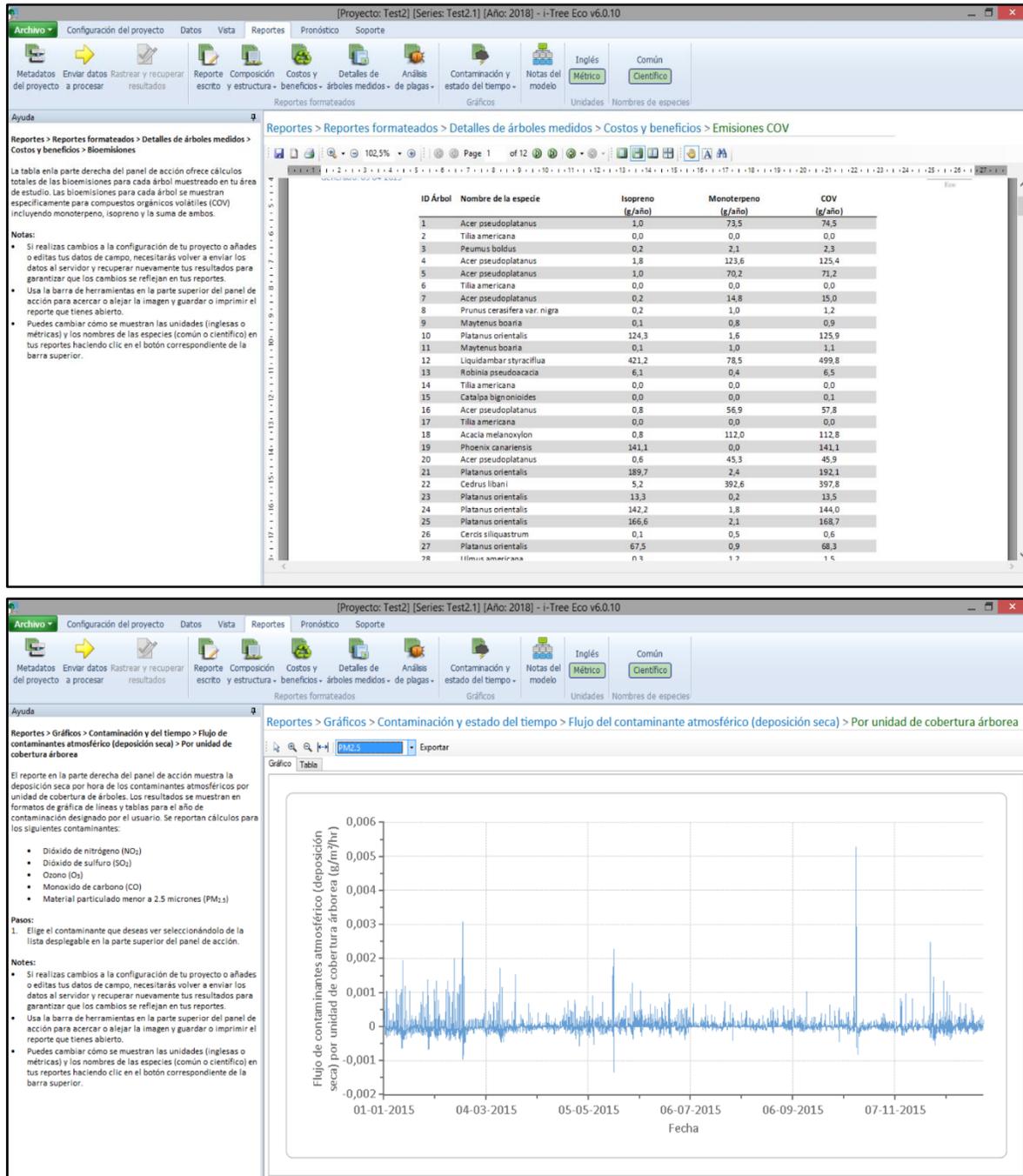
Las entradas requeridas DEBEN llenarse por completo y correctamente. Si no puedes avanzar, puedes borrar una fila y empezar otra vez.

ID	Condición	Especies	Domicilio	Uso de la tierra	Foto ID	DAP 1 (cm)	DAP 1: Altura (m)	DAP 1: ¿Medido?	DAP 2 (cm)	DAP 2: Altura (m)	DAP 2: Medido?
1	Plantado	Sycamore maple (Acer pseudoplatanus)	No Calle	Park		54.7		<input checked="" type="checkbox"/>			
2	Plantado	American basswood (Tilia americana)	No Calle	Park		29.3		<input checked="" type="checkbox"/>			
3	Plantado	Boldo (Peumus boldus)	No Calle	Park		36.6		<input checked="" type="checkbox"/>			
4	Plantado	Sycamore maple (Acer pseudoplatanus)	No Calle	Park		50.9		<input checked="" type="checkbox"/>			
5	Plantado	Sycamore maple (Acer pseudoplatanus)	No Calle	Park		38.8		<input checked="" type="checkbox"/>			
6	Plantado	American basswood (Tilia americana)	No Calle	Park		35.7		<input checked="" type="checkbox"/>			
7	Plantado	Sycamore maple (Acer pseudoplatanus)	No Calle	Park		70.0		<input checked="" type="checkbox"/>			
8	Plantado	Cruelo rojo (Prunus cerasifera var. nigra)	No Calle	Park		19.1		<input checked="" type="checkbox"/>			
9	Plantado	Mayten (Maytenus boaria)	No Calle	Park		18.8		<input checked="" type="checkbox"/>			
10	Plantado	Oriental planetree (Platanus orientalis)	No Calle	Park		67.2		<input checked="" type="checkbox"/>			
11	Plantado	Mayten (Maytenus boaria)	No Calle	Park		25.1		<input checked="" type="checkbox"/>			
12	Plantado	Liquidambar (Liquidambar styraciflua)	No Calle	Park		35.7		<input checked="" type="checkbox"/>			
13	Plantado	Falsa acacia (Robinia pseudoacacia)	No Calle	Park		76.4		<input checked="" type="checkbox"/>			
14	Plantado	American basswood (Tilia americana)	No Calle	Park		36.0		<input checked="" type="checkbox"/>			
15	Plantado	Southern catalpa (Catalpa bignonioides)	No Calle	Park		27.4		<input checked="" type="checkbox"/>			
16	Plantado	Sycamore maple (Acer pseudoplatanus)	No Calle	Park		68.4		<input checked="" type="checkbox"/>			
17	Plantado	American basswood (Tilia americana)	No Calle	Park		57.6		<input checked="" type="checkbox"/>			
18	Plantado	Blackwood (Acacia melanoxylon)	No Calle	Park		66.8		<input checked="" type="checkbox"/>			
19	Plantado	Palma canaria (Phoenix canariensis)	No Calle	Park		69.1		<input checked="" type="checkbox"/>			
20	Plantado	Sycamore maple (Acer pseudoplatanus)	No Calle	Park		84.4		<input checked="" type="checkbox"/>			
21	Plantado	Oriental planetree (Platanus orientalis)	No Calle	Park		57.9		<input checked="" type="checkbox"/>			
22	Plantado	Cedar of lebanon (Cedrus libani)	No Calle	Park		56.0		<input checked="" type="checkbox"/>			
23	Plantado	Oriental planetree (Platanus orientalis)	No Calle	Park		59.8		<input checked="" type="checkbox"/>			
24	Plantado	Oriental planetree (Platanus orientalis)	No Calle	Park		71.6		<input checked="" type="checkbox"/>			

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2,5), mediante el software i-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.

Anexo 15. Imágenes del software i-Tree Eco.



Fuente: Elaboración propia, 2018.