

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA Y SERVICIOS  
ECOSISTÉMICOS DEL ARBOLADO URBANO, EN EL PARQUE MAQUILISHUAT, SAN  
SALVADOR, EL SALVADOR.

**POR:**

**BR. MEDINA MÁRQUEZ, JULIA MARÍA**

**BR. PAREDES CRUZ, WILLIAM DANIEL**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA.**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



**DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA Y SERVICIOS  
ECOSISTÉMICOS DEL ARBOLADO URBANO, EN EL PARQUE MAQUILISHUAT, SAN  
SALVADOR, EL SALVADOR.**

**POR:**

**BR. MEDINA MÁRQUEZ, JULIA MARÍA**

**BR. PAREDES CRUZ, WILLIAM DANIEL**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA.**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE



**DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA Y SERVICIOS  
ECOSISTÉMICOS DEL ARBOLADO URBANO, EN EL PARQUE MAQUILISHUAT, SAN  
SALVADOR, EL SALVADOR.**

**POR:**

**BR. MEDINA MÁRQUEZ, JULIA MARÍA**

**BR. PAREDES CRUZ, WILLIAM DANIEL**

**REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA.**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:**

Ing. Agr. M. Sc. Juan Rosa Quintanilla Quintanilla

**SECRETARIO GENERAL:**

Lic. Pedro Rosalio Escobar Castaneda

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**DECANO:**

Ing. MAECE. Nelson Bernabé Granados Alvarado

**SECRETARIO:**

Ing. Agr. M. Sc. Edgar Geovany Reyes Melara

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**

---

Ing. Agr. M. Sc. José Mauricio Tejada Asensio

**DOCENTES DIRECTORES**

---

Ing. Agr. M. Sc. Luis Fernando Castaneda Romero

---

Lic. M. Sc. Ada Yanira Arias de Linares

---

Ing. M. Sc. Leyla Zelaya Alegría

---

**COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN**

---

Ing. Agr. Juan Gerardo Marroquín Reina

## Resumen

La investigación se desarrolló de noviembre de 2020 a febrero de 2021 en el parque Maquilishuat, ubicado en la avenida los almendros y 87<sup>a</sup> avenida sur, colonia Maquilishuat, municipio de San Salvador. El objetivo general fue determinar la composición, estructura, y servicios ecosistémicos del arbolado urbano del parque.

Por medio de un inventario aleatorio simple, se ubicaron 20 parcelas circulares de 404.71 m<sup>2</sup> cada una, es decir 0.81 ha equivalente al 34 % del área del parque. Se midieron árboles con dap mayor o igual a 2.5 cm, se registraron variables cualitativas y cuantitativas según los requerimientos del programa.

La determinación de servicios ecosistémicos y la valoración económica se realizó con el programa i-Tree Eco v6, del Servicio Forestal de los Estados Unidos (USFS).

La composición florística es de 542 individuos distribuidos en 32 familias, 55 géneros y una riqueza de especies de 65. En el área total del parque, existen aproximadamente 1630 árboles con una densidad de 692 árboles por hectárea. El 86.15% son árboles, 4.61% arbustos y el 9.20% palmeras. Además, el 53.8% son especies nativas y el 46.2% son exóticas.

La familia con el mayor número de individuos fue Myrtaceae con 241 y dentro de ésta, las más dominantes son del género *Eucalyptus* con 166 árboles, y *Syzygium jambos* con 45 árboles, ambas son especies introducidas. Las tres especies más abundantes son *Eucalyptus deglupta* (12.55%), *Eucalyptus spp* (9.04%) y *Ficus benjamina* (9.04%).

El contaminante que más eliminan los árboles es el ozono (151.2 kg) con un valor asociado de \$872.60 dólares/año. Todos los árboles registrados eliminan 199.5 kg por año del resto de los contaminantes (ozono, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, material particulado menor a 2.5 micrones y dióxido de sulfuro) con un valor asociado de \$1,993.11.

El arbolado del parque Maquilishuat tiene un secuestro de carbono de 26.27 toneladas métricas por año, almacena 478 toneladas de carbono y produce 62.6 toneladas métricas de oxígeno al año.

El costo de sustitución del arbolado como activo estructural es de \$1,815,944.88 y por el almacenamiento de carbono es de \$86,614.17.

Los valores asociados desde el punto de vista funcional son: secuestro de carbono de \$4,768.70, escurrimiento evitado de \$85.14 y eliminación de la contaminación de \$1,993.11.

Las especies que mas eliminan contaminantes son *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus spp.* y *Eucalyptus citriodora*, mientras que *Syzygium cumini* es la que menos elimina.

Las especies que están en la categoría de preocupación critica porque representan riesgo para la seguridad pública o usuarios del parque son *Eucalyptus deglupta* con 2 árboles, uno de *Eucalyptus globulus spp Maidenii*, uno de *Cordia alliodora* y 3 de *Eucalyptus spp.*

En general, se estima que el CO<sub>2</sub> fijado en los primeros 20 cm del perfil de suelo es de 673.63 megagramos (Mg) de CO<sub>2</sub> equivalente por hectárea.

**Palabras clave:** cambio climático, carbono orgánico del suelo, TOC, i-Tree Eco®, arboles, contaminación, secuestro, almacenamiento, carbono, valoración económica.

## Abstract

The investigation was carried out from November 2020 to February 2021 in the Maquilishuat park, located on Los Almendros Avenue and 87th South Avenue, Maquilishuat neighborhood, San Salvador municipality. The general objective was to determine the composition, structure, and ecosystem services of the park's urban trees.

Through a simple random inventory, 20 circular plots of 404.71 m<sup>2</sup> each were located, that is, 0.81 ha, equivalent to 34% of the park area. Trees with Dbh greater than or equal to 2.5 cm were measured, qualitative and quantitative variables were recorded according to the program requirements.

The determination of ecosystem services and economic valuation was carried out with the i-Tree Eco v6 program, of the United States Forest Service (USFS).

The floristic composition is 542 individuals distributed in 32 families, 55 genera and a richness of 65 species. In the total area of the park, there are approximately 1630 trees with a density of 692 trees per hectare. 86.15% are trees, 4.61% shrubs and 9.20% palm trees. In addition, 53.8% are native species and 46.2% are exotic.

The family with the largest number of individuals was Myrtaceae with 241 and within this, the most dominant are the genus *Eucalyptus* with 166 trees, and *Syzygium jambos* with 45 trees, both are introduced species. The three most abundant species are *Eucalyptus deglupta* (12.55%), *Eucalyptus spp* (9.04%) and *Ficus benjamina* (9.04%).

The pollutant that trees eliminate the most is ozone (151.2 kg) with an associated value of \$872.60 dollars/year. All registered trees eliminate 199.5 kg per year of the rest of the pollutants (ozone, carbon monoxide, nitrogen dioxide, particulate matter smaller than 2.5 microns and sulfur dioxide) with an associated value of \$1,993.11.

The trees of the Maquilishuat park have a carbon sequestration of 26.27 metric tons per year, store 478 tons of carbon and produce 62.6 metric tons of oxygen per year.

The replacement cost of trees as a structural asset is \$1,815,944.88 and for carbon storage is \$86,614.17.

The associated values from the functional point of view are: carbon sequestration of \$4,768.70, avoided runoff of \$85.14 and pollution removal of \$1,993.11.

The species that remove pollutants the most are *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus spp.* and *Eucalyptus citriodora*, while *Syzygium cumini* is the one that eliminates the least.

The species that are in the category of critical concern because they represent a risk to public safety or park users are *Eucalyptus deglupta* with 2 trees, one *Eucalyptus globulus spp Maidenii*, one *Cordia alliodora* and 3 *Eucalyptus spp.*

In general, the amount of CO<sub>2</sub> fixed in the first 20 cm of the soil profile is estimated at 673.63 megagrams (Mg) of CO<sub>2</sub> equivalent per hectare.

**Keywords:** climate change, soil organic carbon, TOC, i-Tree Eco®, trees, pollution, sequestration, storage, carbon, economic valuation.

## Agradecimiento

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haber guiado y dado fuerzas a lo largo de este camino académico y profesional. Su sabiduría y bendiciones han sido fundamentales para enfrentar los desafíos y superar las dificultades que se presentaron en el desarrollo de la carrera e investigación.

También expreso mi agradecimiento por su compromiso, respaldo e invaluable contribución al Proyecto CityAdapt El Salvador, iniciativa del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), de igual forma, reconocer al coordinador del proyecto Ing. Leyla Zelaya, por su compromiso, dedicación, liderazgo y apoyo constante. A FUNDASAL (Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Ambiental de El Salvador) por su disposición y por la carta de entendimiento que nos permitió llevar a cabo este proyecto de manera eficiente y coordinada. Su colaboración fue esencial para lograr los objetivos compartidos y para la adquisición de equipos necesario para la recolección de datos en campo.

No puedo dejar de mencionar el apoyo invaluable recibido de la Alcaldía de San Salvador y el personal del Parque Maquilishuat por su respaldo institucional. Al mismo tiempo, gratitud al personal del CAM, por su ayuda y cooperación durante el proceso de recolección de datos. Su disposición para brindar información y facilitar el trabajo de campo ha sido excepcional.

Un agradecimiento especial a la Facultad de Ciencias Agronómicas por su apoyo académico y por brindar la oportunidad de llevar a cabo esta investigación. Quiero reconocer especialmente al asesor de tesis, Ing. Fernando Castaneda y a Lic. Yanira de Linares por su orientación y asesoramiento a lo largo de este proceso. También al jefe y personal del laboratorio de Química Agrícola por su colaboración y asistencia en el análisis de muestras. Su experiencia y dedicación han sido fundamentales para obtener resultados confiables.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a Lic. Georgina Mariona por la confianza y apoyo para que esta investigación se hiciera realidad. A mis padres y hermanos, familia Paredes Cruz y a Sara Raquel Flores por su apoyo incondicional a lo largo de la carrera y este proyecto de investigación.

Medina Márquez, Julia Medina.

## **Dedicatoria**

A Dios, por darme sabiduría, salud y permitir la culminación de esta investigación.

A mis queridos padres y hermanos, su amor y sacrificio han sido mi mayor motivación. Gracias por creer en mí y apoyarme en este camino.

A mis amigos, su amistad y colaboración han enriquecido mi experiencia universitaria.

A mis asesores de investigación, su orientación y dedicación han sido fundamentales. Agradezco su apoyo y sabiduría.

A la Universidad de El Salvador, gracias por brindarme esta oportunidad. Estoy orgulloso de ser parte de esta institución.

Les dedico este trabajo como muestra de mi gratitud y reconocimiento. Su presencia ha dejado una huella en mi vida.

Medina Márquez, Julia María.

## **Agradecimiento**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento por su apoyo y guía incondicional:

A Dios, gracias por brindarme fuerza, sabiduría y bendiciones en cada paso de este camino.

Al proyecto CityAdapt y al coordinador del proyecto, Leyla Zelaya, les agradezco por su compromiso e inspiración.

A FUNDASAL, mi gratitud por su generoso apoyo y confianza en esta investigación.

Al Ing. Fernando Castaneda, su orientación y apoyo invaluable han sido fundamentales para el éxito de este proyecto.

A la Lic. Yanira de Linares y compañeros de laboratorio de Química Agrícola gracias por su asesoramiento y valiosos aportes a lo largo del proceso.

A la Alcaldía de San Salvador, a los administradores del Parque Maquilishuat y a los agentes del CAM, les agradezco su colaboración y disposición para facilitar el trabajo.

A Julia Medina, Salomón Saravia y compañeros de la universidad, su apoyo y aliento han sido un regalo invaluable.

Y finalmente, a mis padres y familiares, su amor y apoyo incondicional han sido mi mayor fortaleza y motivación para alcanzar mis metas.

Gracias a cada uno de ustedes por ser parte de mi trayectoria y por contribuir de manera significativa a mi crecimiento personal y profesional.

Con gratitud sincera,

Paredes Cruz, William Daniel.

## **Dedicatoria**

A mis queridos padres, su amor y apoyo constante han sido mi mayor motivación. Su sacrificio y dedicación, que han sido clave en mi formación y en el logro de este objetivo.

A mis hermanos, su apoyo inquebrantable ha sido fundamental en mi vida. Gracias por estar siempre a mi lado.

A todos aquellos que contribuyeron en algún momento y dieron sus aportes para llegar a este meta, especialmente a Julia Medina y Salomón Saravia, les estoy muy agradecido.

No puedo dejar de mencionar a la Universidad de El Salvador por brindarme la oportunidad de estudiar en una institución tan detallada y convertirme en un profesional de las Ciencias Agronómicas.

A cada uno de ustedes, les dedico este trabajo como una muestra de mi gratitud y reconocimiento. Su presencia ha dejado una huella imborrable en mi formación como profesional y como persona.

Paredes Cruz, William Daniel.

# Índice General

<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Revisión bibliográfica .....</b>	<b>3</b>
2.1. Antecedentes .....	3
2.3 Evolución histórica del área metropolitana de San Salvador (AMSS). ....	4
2.4 Cambio climático y sus escenarios en El Salvador .....	4
2.5 Resiliencia climática en el contexto urbano .....	6
2.6 Regulación relacionada al arbolado urbano en El Salvador.....	6
2.7 Importancia de la Adaptación basada en Ecosistemas (AbE).....	7
2.1.1. Beneficios de la Adaptación basada en ecosistemas.....	7
2.8 Importancia del estudio de estructura de un área arbórea. ....	8
2.9 Servicios ambientales de los ecosistemas.....	9
2.10 Relación entre resiliencia climática, AbE y servicios ecosistémicos del arbolado urbano .....	10
2.11 Importancia del valor económico de los servicios ambientales que aportan los arbolados .....	11
2.12 Plataforma i-Tree y su importancia en la determinación de servicios ecosistémicos en zonas urbanas .....	12
<b>3. Materiales y métodos .....</b>	<b>14</b>
3.1 Descripción del área de estudio .....	14
3.2 Metodología de campo .....	15
3.2.1 Delimitación del área de estudio .....	15
3.2.2 Planificación de proyecto.....	15
3.2.3 Levantamiento de datos. ....	16

3.2.4	Diagnóstico de datos categoría “B”, variables cualitativas .....	17
3.2.4.1	Apartado B1: Información de general de parcela .....	17
3.2.4.2	Apartado B2: Información de los árboles .....	17
3.2.4.3	Apartado B3: Información de manejo o mantenimiento .....	18
3.2.5	Diagnóstico de datos Categoría “C” variables cuantitativas .....	18
3.2.5.1	Apartado C1: Información dasométrica:.....	18
3.2.5.2	Apartado C2: Determinación de carbono en el suelo. ....	20
3.3	Procedimiento de laboratorio.....	21
3.3.1	Determinación de densidad aparente del suelo.....	21
3.3.1.1	Cálculos para densidad aparente.....	22
3.3.1.2	Preparación de muestra de suelo para análisis de carbono orgánico. ....	23
3.3.1.3	Cálculos para captura de carbono fijado en suelo .....	24
3.4	Metodología de gabinete .....	26
3.5	Metodología estadística.....	28
<b>4.</b>	<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>29</b>
4.1	Características generales del área de estudio.....	29
4.2	Composición florística.....	32
4.3	Comportamiento de especies arbóreas .....	34
4.4	Comportamiento de especies arbustivas .....	35
4.5	Estructura del bosque .....	35
4.6	Condición de salud de la copa de los árboles.....	44
4.7	Índice de desempeño relativo (IDR).....	46
4.8	Manejo requerido del arbolado .....	47
4.8.1.	Mantenimiento recomendado .....	48
4.8.2.	Tarea prioritaria .....	51
<b>4.8.4</b>	<b>Conflictos o interferencia con líneas eléctricas.</b> .....	<b>53</b>
4.9.	Servicios ecosistémicos y valor económico del arbolado .....	54

4.9.1.	Eliminación de contaminantes .....	54
4.9.2.	Eliminación de contaminantes por especie .....	56
4.9.3.	Secuestro de carbono .....	58
4.9.4.	Almacenamiento de carbono .....	59
4.9.5.	Producción de oxígeno.....	60
4.9.6.	Escurrimiento evitado.....	61
<b>4.10.</b>	<b>Valores estructurales (sustitución) y funcionales .....</b>	<b>63</b>
<b>4.11.</b>	<b>Carbono almacenado en el suelo.....</b>	<b>63</b>
4.11.1.	Análisis del Carbono Orgánico en Suelo .....	63
4.11.2.	Análisis comparativo por Parcelas .....	64
4.11.3.	Equivalencia en dióxido de carbono .....	66
<b>5.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>68</b>
<b>6.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>70</b>
<b>7.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>71</b>
<b>8.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>76</b>

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Relación entre resiliencia climática, AbE y servicios ecosistémicos.....	10
Cuadro 2. Resultados de análisis de carbono (%) en TOC. ....	25
Cuadro 3. Resumen de usos de suelo de la colonia Maquilishuat. ....	29
Cuadro 4. Composición florística del área de estudio. ....	32
Cuadro 5. Índice de Valor de Importancia de las especies del parque.....	36
Cuadro 6. Salud de la copa en porcentaje de las especies arbóreas.....	44
Cuadro 7. Índice de desempeño relativo (IDR) de las especies. ....	47
Cuadro 8. Porcentaje de especies que presenta alguna condición de manejo.....	50
Cuadro 9. Tareas prioritarias requeridas en el arbolado.....	51
Cuadro 10. Porcentaje de árboles que presentan conflictos con tendido eléctrico. ....	53
Cuadro 11. Eliminación de contaminantes y valor económico de las principales especies. ....	56
Cuadro 12. Especies con mejor desempeño de remoción de contaminantes.....	57
Cuadro 13. Principales especies productoras de oxígeno en el parque*. ....	61
Cuadro 14. Estimación de carbono almacenado en suelo en porcentaje y miligramos por hectárea (mg/ha-1). ....	63

# Índice de figuras

Figura 1. Mapa de localización del área de estudio, parque Maquilishuat, San Salvador .....	14
Figura 2. Delimitación del área de estudio.....	15
Figura 3. Definición de proyecto y establecimiento de parcelas al azar .....	16
Figura 4. Identificación taxonómica de especies arbóreas. ....	17
Figura 5. Toma de alturas en árboles con altímetro Haga. ....	19
Figura 6. Medición de diámetro a 1.30 m con cinta diamétrica.....	19
Figura 7. Toma de muestras para determinar captura de carbono en suelo.....	20
Figura 8. Equipo y material utilizado para muestras de suelo en campo. ....	21
Figura 9. Equipos utilizados en laboratorio.....	22
Figura 10. Preparación de muestras de suelo para análisis de carbono orgánico.....	23
Figura 11. Preparación de muestras de suelo para análisis de carbono en el equipo TOC. ..	24
Figura 12. Análisis de captura de carbono en suelo. ....	24
Figura 13. Análisis e incorporación de datos al software i-Tree Eco V <sup>6</sup> .....	27
Figura 14. Revisión, análisis e integración de resultados. ....	27
Figura 15. Usos de suelo de la colonia Maquilishuat. ....	30
Figura 16. Estructura organizacional del parque Maquilishuat .....	31
Figura 17. Densidad arbórea por familia en el parque Maquilishuat.....	38
Figura 18. Valor de Importancia de 10 especies más representativas .....	40
Figura 19. Porcentaje de árboles por rangos de altura en metros.....	41

Figura 20. Distribución de las especies por clases diamétricas.....	42
Figura 21. Distribución de la cobertura y espacio para plantar en porcentaje.....	43
Figura 22. Clases de cobertura del suelo en porcentaje .....	44
Figura 23. Condición de salud de la copa del arbolado. ....	45
Figura 24. Porcentaje de especies que requieren mantenimiento.....	48
Figura 25. Manejo requerido según condición del árbol.....	49
Figura 26. Tareas prioritarias de las especies arbóreas .....	52
Figura 27. Desplazamiento en infraestructura gris .....	52
Figura 28. Especies que interfieren con el tendido eléctrico.....	53
Figura 29 Eliminación de contaminantes en kg por año. .....	54
Figura 30 Eliminación de contaminantes por mes en parque Maquilishuat.....	55
Figura 31 Eliminación de contaminantes en gramos por año según especie. .....	57
Figura 32 Secuestro bruto anual de carbono de las 10 especies más representativas .....	58
Figura 33 Almacenamiento de carbono de las diez especies más representativas.....	59
Figura 34. Especies que más contribuyen a evitar el escurrimiento.....	62
Figura 35. Carbono almacenado ( $mg/ha^{-1}$ ) en las parcelas delimitadas dentro del área de estudio.....	65

## Índice de anexos

A- 1. Procesamiento y creación de base de datos en Microsoft Excel .....	76
A- 2. Revisión de especies arbóreas con la base de datos de especies registradas en el software .....	76
A- 3. Configuración de proyecto.....	77
A- 4. Procesamiento de datos al software iTree EcoV <sup>6</sup> .....	77
A- 5. Envío de proyecto.....	78
A- 6. Análisis de información y resultados .....	788
A- 7. Resultados de porcentaje de carbono de laboratorio de Quimica Agrícola .....	79
A- 8. Distribución espacial de árboles inventariados en Parque Maquilishuat .....	80
A- 9. Arbolado urbano en el parque Maquilishuat, San Salvador .....	81
A- 10. Resultados de Carbono fijado en suelo en mg/ha .....	82

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, más del 55% de la población mundial vive en zonas urbanas, y se estima que esta proporción aumentará en un 13% adicional. Las proyecciones de crecimiento demográfico mundial para el año 2050 señalan que cerca de 2,500 millones de personas adicionales habitarán en ciudades, lo que representará aproximadamente el 68% de la población mundial (ONU, 2018).

Las ciudades constituyen sistemas tanto sociales como físicos, cuyo crecimiento y desarrollo generan importantes transformaciones en el ambiente en el que se insertan. En este sentido, se consideran como los ecosistemas más artificiales creados y sostenidos por el ser humano (Velasco et al., 2018). En este contexto, el arbolado urbano ha adquirido una creciente relevancia debido a su importancia ecológica y social, especialmente en momentos en que la calidad ambiental de las zonas urbanas se deteriora, junto con los niveles de bienestar de sus habitantes (Áreas verdes y arbolado urbano, México, 2012).

Según la Fundación Mi Parque de Chile (2012), la Organización de las Naciones Unidas recomienda que las ciudades dispongan de al menos 16 metros cuadrados de áreas verdes por persona. Por su parte, la Organización Mundial de la Salud (OMS) propone como mínimo 9 metros cuadrados por persona. No obstante, algunas ciudades han superado ampliamente estas recomendaciones. Es el caso de Curitiba (Brasil), que ofrece 52 m<sup>2</sup> de áreas verdes por habitante, posicionándose no solo como la capital ecológica de Brasil, sino también como una de las ciudades con mayor cobertura verde por persona a nivel mundial.

En contraste, en Santiago de Chile, casi el 50% de las áreas verdes se concentran en solo nueve comunas, donde habita apenas el 20% de la población. Esta desigualdad territorial pone de manifiesto la urgente necesidad de reforestar las comunas restantes, donde vive la mayoría de los habitantes, y donde la infraestructura verde es deficiente.

En este contexto, el arbolado urbano puede desempeñar un papel fundamental en la mitigación de los impactos negativos de la urbanización. Su presencia no solo mejora la calidad del aire, regula el microclima urbano, y aporta a la biodiversidad, sino que también contribuye a reducir las desigualdades sociales y ambientales, generar entornos urbanos más saludables, inclusivos y resilientes, fortalecer la infraestructura ecológica de las ciudades ante el cambio climático.

El conocimiento sobre estos beneficios ha impulsado el desarrollo de estrategias de gestión del arbolado urbano, orientadas a seleccionar especies adecuadas al contexto urbano, planificar la distribución espacial de los árboles, implementar programas de mantenimiento y monitoreo del arbolado.

Desde esta perspectiva, la investigación propuesta representa una contribución clave para la ciudad de San Salvador y para El Salvador en su conjunto. Conocer y cuantificar los servicios ecosistémicos del arbolado urbano, particularmente en parques, permite comprender y maximizar los beneficios que los árboles brindan en contextos urbanos, respaldar la toma de decisiones sobre planificación urbana sostenible, concientizar a la ciudadanía sobre la necesidad de conservar y expandir los espacios verdes y contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y de las metas climáticas nacionales.

Además, este estudio será una de las primeras experiencias metodológicas aplicadas al arbolado urbano en el país, lo que permitirá sentar las bases para futuros trabajos técnicos y científicos en la materia.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Antecedentes

Según Censo de población 2007, la República de El Salvador ocupa una superficie de 21,041 km<sup>2</sup>, y está organizada administrativamente en 14 departamentos, éstos a su vez en 262 municipios. El país cuenta con una población aproximada de 6,522,419 millones de habitantes, siendo el país de mayor densidad poblacional (310 habitantes por km<sup>2</sup>) de Centroamérica. El 62.4 % de la población total residen en el área urbana y el 37.7 % en la rural. Los departamentos de mayor población son: San Salvador, La Libertad, Sonsonate y San Miguel. (OPS, 2015).

San Salvador es la capital y la ciudad más poblada de El Salvador, es el centro político, cultural, educativo y financiero del país, comprende la propia capital y 14 municipios en total. La mayor densidad poblacional se concentra en el AMSS con el 27.5 % del total de la población del país, es decir, tiene una población de 1,773,557 y una densidad poblacional de 2,903 habitantes/km<sup>2</sup> que viven en 504,126 hogares, habitando 474,223 viviendas aproximadamente que se encuentran en el Gran San Salvador o AMSS (Área Metropolitana de San Salvador). El AMSS cuenta con 747.49 ha de parques metropolitanos distribuidos en 11 de sus 14 municipios y 3.11 m<sup>2</sup> de zona protegida por cada uno de sus habitantes. Para el año 2018, el AMSS presentaba un promedio de 45.82 m<sup>2</sup> de área verde por habitante. (OPAMSS, 2016)

Entre las zonas de recreo familiar, la ciudad cuenta con el Parque Cuscatlán, el Zoológico Nacional, Parque Saburo Hirao, Parque Metropolitano El Talapo y el Parque del Bicentenario (Cortés, S, García, y Pacas, R., 2010).

La Alcaldía Municipal de San Salvador (2010), estableció las disposiciones urbanísticas, constructivas y regulatorias necesarias para orientar y ordenar los usos de suelo que se desarrolle, así como algunos elementos y aspectos del ambiente natural y construido en la zona Maquilishuat; todas ellas complementarias a las de carácter general para todo el municipio y que en su conjunto contribuyan a contrarrestar el deterioro físico y social de dicha zona, principalmente por cambios de uso del suelo, densificaciones y sobrecargas de infraestructura.

En el 2016, se realizó un estudio del bosque urbano en el Parque Cuscatlán; muestra una evaluación de la estructura, función y valor de la vegetación, determina el valor de servicios ecosistémicos y refleja el aumento de la calidad de vida en las zonas urbanas. Se obtuvieron datos de 20 parcelas y se analizaron utilizando el modelo i-Tree Eco desarrollado por el Servicio Forestal de los Estados Unidos, Northern Research Station. De acuerdo con este estudio, el parque Cuscatlán tiene un porcentaje de cobertura arbórea de área 49.7, la densidad de árboles se estimó en 97 árboles/hectárea y proporciona un área de hoja de 0.562 km<sup>2</sup>. La cobertura del suelo está dominada por suelo desnudo y pasto con 49.1% y 42.1%, respectivamente. Los servicios ecosistémicos proporcionados por los árboles en el Parque Cuscatlán incluyen la eliminación de 0.441 ton/año de contaminación del aire, reducción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a través del secuestro de carbono (38.28 ton/año) y almacenamiento de carbono (696.7 ton), reducción de escorrentía en una tasa de 340.94 m<sup>3</sup>/año, el costo monetario asociado a los últimos servicios del ecosistema y el valor de los árboles como activo estructural aumentan a \$ 221,330.67. (Biosistemas, 2017)

### **2.3 Evolución histórica del área metropolitana de San Salvador (AMSS).**

En el período de 1990 – 2000, se desarrolló el Plan de Desarrollo Urbano del Área Metropolitana de San Salvador, denominado “METROPLAN 2000”, comprende un plano general de zonificación del suelo, un plan vial y la Ordenanza del Control de la Construcción y Desarrollo Urbano (IAIP, sf.).

Actualmente existe la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS) que tiene a su cargo la investigación y análisis de los problemas de desarrollo urbano, así como prestar asesoría al consejo de alcaldes del Área Metropolitana de San Salvador, por medio de programas y proyectos estratégicos. Estos tienen un esquema director, planes sectoriales, planes parciales para el desarrollo urbano y rural de sectores específicos y planes especiales para la conservación de los recursos naturales o del patrimonio cultural (COAMSS, sf.).

### **2.4 Cambio climático y sus escenarios en El Salvador**

Si bien es cierto que como parte de su evolución, la tierra ha experimentado cambios climáticos importantes, el aumento de la temperatura que hoy vivimos como consecuencia de las actividades humanas tiene implicaciones importantes (Herrán, 2012); por ello, la Convención

Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992) define cambio climático como una modificación en el estado del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante períodos de tiempo comparables.

Según la organización internacional Oxfam (2010), el cambio climático comienza a ser visto como un problema de seguridad global por dos razones principalmente: Un incremento de la temperatura por encima de dos grados puede llevar a un territorio climático desconocido, con riesgo de producir una modificación del clima de efectos potencialmente irreversibles. Una alteración climática por encima del umbral mencionado podría producir una fuerte desestabilización social, económica, ambiental y política en amplias regiones del mundo, que acabaría incidiendo en los siempre difíciles equilibrios de la paz y seguridad internacionales (Herrán, 2012).

Las predicciones hechas por modelos indican que el cambio climático afectará de manera significativa a El Salvador. Los escenarios climáticos proyectados para El Salvador en el marco de la tercera comunicación nacional de cambio climático señalan que la temperatura seguirá aumentando hasta 2 o 3 °C en las siguientes seis décadas. Así, el incremento de temperatura también conllevaría a un aumento del nivel del mar de casi 8 centímetros, lo que supone que los impactos por el cambio climático serán particularmente graves en la zona costero-marina y en el sector agropecuario. Desde 2001, El Salvador registra pérdidas por desastres generados por eventos extremos de hasta un 60 % del valor de la inversión pública de cada año, lo que evidencia el alto grado de vulnerabilidad que existe en el país. Las inundaciones afectan al 10 % del territorio nacional; los deslizamientos de tierra, a aproximadamente el 20 %; y el impacto de las sequías, a un 50 %. Además, el riesgo de terremotos afecta al 75 % de la población. El 88,7 % del territorio nacional se considera zona de riesgo debido a su ubicación geográfica y condiciones geológicas (alta tendencia a movimientos sísmicos, movimientos de ladera, inundaciones y actividad volcánica). Sobre esa superficie se asienta el 95,4 % de la población. Además, el 41 % de los habitantes reside en municipios de alto riesgo donde se ha concentrado el 74 % de personas fallecidas por algún tipo de desastre (MARN, 2018)

Ante esta realidad, la resiliencia climática se vuelve un eje central en la gestión urbana. Se entiende como la capacidad de las comunidades y ecosistemas urbanos para anticipar, absorber, adaptarse y transformarse frente a eventos climáticos extremos, manteniendo sus

funciones esenciales y reduciendo riesgos sociales, ambientales y económicos. En ciudades densamente pobladas como San Salvador, los árboles urbanos son aliados clave para la resiliencia climática, al mitigar islas de calor, almacenar carbono y reducir riesgos de inundación (Gill et al., 2007).

## **2.5 Resiliencia climática en el contexto urbano**

La resiliencia climática se define como la capacidad de los sistemas naturales y sociales para anticipar, resistir, adaptarse y transformarse frente a los impactos del cambio climático, manteniendo su funcionalidad y reduciendo las vulnerabilidades (Folke et al., 2010; IPCC, 2014).

En las ciudades, la resiliencia climática está estrechamente vinculada al arbolado urbano, ya que los árboles:

- Reducen el efecto de las islas de calor urbanas, mejorando la salud pública.
- Mitigan inundaciones al favorecer la infiltración de agua y reducir la escorrentía superficial.
- Contribuyen al almacenamiento de carbono, clave para los compromisos climáticos internacionales.
- Funcionan como barreras naturales frente a tormentas y deslizamientos en zonas de pendiente.
- Aportan beneficios culturales que fortalecen la cohesión social y el sentido de pertenencia (Nowak & Crane, 2002; Kabisch & Haase, 2014).

## **2.6 Regulación relacionada al arbolado urbano en El Salvador.**

La estructura físico-espacial de las ciudades está compuesta por las edificaciones, los espacios descubiertos, el sistema de vías de circulación; dentro de dicha estructura, las zonas verdes se localizan en el grupo de espacios descubiertos. Estas zonas las entenderemos como “lugares arbolados y con vegetación, para el esparcimiento y recreo, pertenecientes al municipio y de uso público que ayudan a respirar aire fresco y limpio, considerados espacios propicios para las relaciones sociales entre las personas, y que contribuyen a mitigar el deterioro urbanístico de las ciudades haciéndolas más habitables” (Cartajena, 2004). Las Naciones Unidas (2016), sostiene que las zonas verdes son imprescindibles, por los beneficios

que aportan al bienestar físico y emocional de la humanidad, pues el contacto con dichas zonas es la máxima aproximación de muchos ciudadanos a la naturaleza, contribuyendo así este contacto a la disminución de tensiones, al acercamiento de grupos de personas y al desarrollo de actividades físicas y deportivas. Esta organización recomienda que las urbes dispongan como mínimo de entre 10 y 15 metros cuadrados por habitante, distribuidos equitativamente con relación a la densidad de población y por tanto de edificación.

La función primordial de las zonas verdes es la de servir como pulmón de la urbanización, esto es absorbiendo el dióxido de carbono producido principalmente por la contaminación vehicular, transformándolo en oxígeno, elemento esencial para la vida humana y el resto de los seres vivos. La Zona Verde Total está conformada por dos tipos de área: una en función de la actividad recreativa, la otra en función ecológica. El Área Verde Recreativa tendrá una extensión mínima de 500 m<sup>2</sup>, con capacidad para atender a una población de 200 habitantes asentada en 40 lotes; concentrándose y centralizándose en relación a su área de influencia, además de estar comunicada por vías vehiculares y peatonales. Para su ubicación no son apropiados suelos marginales del terreno a urbanizar tales como: quebradas, accidentes naturales, o franjas de terreno que resultan de sobrantes en la distribución de lotes, ni culatas laterales de lotes hacia el Área Verde Recreativa (Cartajena, 2004).

El déficit de áreas verdes no es solamente un problema del crecimiento acelerado de la población, sino también de la falta de interés por parte de las instituciones a las que compete el cuidado de estos espacios. La política de espacios públicos considera que, dentro de las municipalidades, las asignaciones presupuestarias son deficientes para el mantenimiento de los espacios verdes. Además, no hay asignación para la creación y el mantenimiento de los espacios públicos.

## **2.7 Importancia de la Adaptación basada en Ecosistemas (AbE).**

La AbE es una estrategia que utiliza la biodiversidad y los servicios ecosistémicos para ayudar a las comunidades a adaptarse al cambio climático. En áreas urbanas, esto implica conservar y restaurar arbolados, parques, corredores biológicos y cuerpos de agua, integrando soluciones naturales en la planificación territorial (ONU-Hábitat, 2021).

### **2.1.1. Beneficios de la Adaptación basada en ecosistemas**

Las actividades de AbE si son planificadas y diseñadas apropiadamente, pueden proporcionar

- Resiliencia climática urbana: los árboles urbanos reducen la temperatura, almacenan carbono y disminuyen riesgos de inundaciones.
- Seguridad alimentaria y medios de vida: la cobertura arbórea mejora la calidad de los suelos y regula los ciclos hídricos.
- Reducción del riesgo de desastres: barreras vegetales estabilizan suelos, reducen erosión y actúan como amortiguadores ante tormentas.
- Beneficios culturales y sociales: las áreas verdes fortalecen la cohesión social y promueven la salud mental y física de los habitantes.

A continuación, se presenta ejemplos de beneficios de las medidas AbE: Reducción del riesgo de desastres, mantenimiento de los medios de vida y la seguridad alimentaria, conservación de la biodiversidad, secuestro de carbono, manejo integrado del recurso hídrico (IUCN, 2012).

## **2.8 Importancia del estudio de estructura de un área arbórea.**

El análisis de la composición y estructura del arbolado permite comprender su diversidad, distribución espacial, estado de salud y potencial para brindar servicios ecosistémicos. Estos indicadores son esenciales para diseñar planes de manejo sostenible y asegurar la resiliencia del ecosistema urbano (Nowak, D. J., & Dwyer, J. F., 2007).

La estructura hace referencia a la distribución de las principales características arbóreas en el espacio, teniendo especial importancia la distribución de las diferentes especies y la distribución de estas por clases de dimensión.

El número de especies es la medida más frecuentemente utilizada para demostrar la riqueza biológica de una zona, por varias razones:

- La riqueza de especies refleja distintos aspectos de la biodiversidad.
- A pesar de que existen muchas aproximaciones para definir el concepto de especie, su significado es ampliamente entendido.
- Al menos para ciertos grupos, las especies son fácilmente detectables y cuantificables.
- Aunque el conocimiento taxonómico no es completo.

## 2.9 Servicios ambientales de los ecosistemas

La biodiversidad y los recursos naturales son fundamentales para el mantenimiento del bienestar humano, para el desarrollo económico/social. Consecuentemente, existe un reconocimiento general de que la biodiversidad es un bien de valor inestimable para la supervivencia de las generaciones presentes y futuras. Al mismo tiempo, se constata la amenaza que pesa sobre las especies o los ecosistemas, representada por la continua pérdida de especies a un ritmo preocupante (FAO, 2019).

Los servicios de los ecosistemas es lo que las personas recibimos de los ecosistemas directa o indirectamente para mantener nuestra calidad de vida. Estos servicios tienen consecuencias en la prosperidad de la sociedad humana, no solo en su economía, sino también en la salud, las relaciones sociales, libertades o la seguridad (Arenas, 2017).

Ecomilenio (2013), señala lo siguiente: los servicios ecosistémicos se agrupan en 4 tipos:

- Servicios de provisión o abastecimiento: son los beneficios materiales que las personas obtienen de los ecosistemas. Los principales servicios ambientales de abastecimiento se muestran a continuación: comida, agua dulce (de consumo y uso agrícola), materias primas bióticas (algodón, cáñamo, lana, seda, madera, mimbre, esparto, resinas), materiales geóticos (sal), combustibles renovables (madera, cáscaras de almendra, huesos de aceituna), recursos genéticos para agricultura, ganadería y biotecnología, recursos ornamentales, compuestos bioquímicos, entre otros.
- Servicios de regulación: son los beneficios obtenidos de la regulación de los procesos ecosistémicos. Los principales servicios ambientales de regulación son: mejoras en la calidad del aire (clima local y calidad del aire), secuestro y almacenamiento de carbono, regulación en el ciclo del agua, regulación de ruido, control de la erosión, mantenimiento de la fertilidad del suelo, reciclado de desechos y purificación de aguas residuales, control biológico de enfermedades y plagas, polinización, moderación de fenómenos extremos (reducción de daños ante catástrofes naturales).
- Servicios de apoyo o de soporte: son necesarios para la producción de todos los demás servicios ecosistémicos. Los principales servicios ambientales de apoyo se muestran a continuación: hábitat para especies, conservación de la diversidad genética.
- Servicios culturales: son los beneficios inmateriales que las personas obtienen de los ecosistemas. Los principales servicios ambientales culturales se muestran a

continuación: actividades de recreo y salud mental y física, turismo, apreciación estética e inspiración para la cultura, el arte y el diseño, experiencia espiritual y sentimiento de pertenencia (i-Tree®, 2006).

## **2.10 Relación entre resiliencia climática, AbE y servicios ecosistémicos del arbolado urbano**

La resiliencia climática constituye el objetivo fundamental, orientado a lograr ciudades menos vulnerables y mejor preparadas frente a los impactos del cambio climático. La Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) representa la estrategia clave, al aprovechar la naturaleza y el arbolado urbano como soluciones sostenibles para enfrentar dichos desafíos. Por su parte, los servicios ecosistémicos son los beneficios tangibles, la evidencia concreta de que el arbolado urbano aporta funciones ambientales, sociales y económicas esenciales para la calidad de vida urbana.

En otras palabras, el arbolado urbano provee servicios ecosistémicos que fortalecen la AbE, y estos, a su vez, incrementan la resiliencia climática de las ciudades, consolidando al bosque urbano como un pilar estratégico de la sostenibilidad urbana.

En el cuadro 1, se describe como la resiliencia climática está vinculada, en este caso, el arbolado urbano ayuda a mantener la funcionalidad de la ciudad frente a fenómenos climáticos, la AbE aparece como el puente que conecta la resiliencia climática con el uso de la biodiversidad como solución práctica y sostenible y, los servicios ecosistémicos son la expresión tangible de cómo el arbolado urbano aporta a la resiliencia y a la AbE, pues constituyen los beneficios concretos que recibe la población.

Cuadro 1. Relación entre resiliencia climática, AbE y servicios ecosistémicos

Concepto	Definición	Enfoque en ciudades	Rol del arbolado urbano	Ejemplo en Parque urbano
<b>Resiliencia climática</b>	Capacidad de los sistemas naturales y sociales para anticipar, resistir y recuperarse frente a impactos climáticos, manteniendo su funcionalidad.	Reducir riesgos ante olas de calor, inundaciones, sequías y deslizamientos.	Mitigación de islas de calor, control de escorrentías, captura de carbono.	Árboles que proveen sombra, reducen temperatura local y evitan erosión de suelos.
<b>Adaptación basada en Ecosistemas (AbE)</b>	Estrategia que utiliza la biodiversidad y los servicios ecosistémicos para enfrentar los efectos del cambio climático de forma sostenible.	Implementación de soluciones basadas en naturaleza dentro de la planificación urbana.	Corredores verdes, parques y áreas arboladas que funcionan como infraestructura natural.	Manejo del arbolado como medida de adaptación para mejorar microclima urbano.
<b>Servicios ecosistémicos del arbolado</b>	Beneficios que las personas obtienen directa o indirectamente de los ecosistemas (provisión, regulación, soporte, culturales).	Mejora de calidad de vida urbana, reducción de vulnerabilidades sociales y ambientales.	Purificación del aire, almacenamiento de carbono, recreación y cohesión social.	Secuestro de carbono, regulación hídrica y espacios de recreación comunitaria.

## 2.11 Importancia del valor económico de los servicios ambientales que aportan los arbolados

Expresar el valor de los servicios de los ecosistemas en términos económicos y de importancia social, constituye una potente herramienta para: 1) visibilizar aquellos servicios de los ecosistemas sin valor en el mercado, como la mayoría de los servicios de regulación y un gran número de servicios culturales tradicionales para buscar políticas ambientales que no fomenten desequilibrios en el flujo de servicios suministrados; 2) apoyar la toma de decisiones ambientales y territoriales ya que la mayoría de decisiones de planificación del territorio toman en cuenta datos económicos, por tanto, una mejor información en dichos términos monetarios

es crucial para alcanzar decisiones más acertadas; y por último, 3) constituye una potente herramienta de comunicación a la sociedad.

Un paradigma de ‘valor’, conocido como el concepto utilitario (antropocéntrico), se basa en el principio de satisfacción de las preferencias de los seres humanos (bienestar). En este caso, los ecosistemas y los servicios que éstos proveen tienen valor para las sociedades humanas, puesto que las personas obtienen un beneficio de su uso, sea éste directo o indirecto (valores utilitarios o “de uso”). En este concepto utilitario del valor, las personas también otorgan un valor a los servicios de los ecosistemas que no están utilizando actualmente (valores no utilitarios). Los valores no utilitarios, generalmente conocidos como valores por existencia, incluyen el caso en que los seres humanos asignan valor al hecho de saber que un recurso existe, incluso si nunca utilizan ese recurso de manera directa. Estos generalmente incluyen valores históricos, nacionales, éticos, religiosos y espirituales profundamente arraigados que las personas asignan a los ecosistemas: los valores que la ecomilenio reconoce como servicios culturales de los ecosistemas.

## **2.12 Plataforma i-Tree y su importancia en la determinación de servicios ecosistémicos en zonas urbanas**

De la Concha (2017) señala lo siguiente: i-Tree Eco está diseñado para utilizar datos de campo estandarizados de parcelas localizadas aleatoriamente, contaminación local por hora, datos meteorológicos para cuantificar la estructura forestal urbana y sus numerosos efectos, incluyendo:

- Estructura forestal urbana (por ejemplo, composición de especies, salud de los árboles, área foliar, etc.).
- Cantidad de contaminación eliminada cada hora por el bosque urbano, su porcentaje asociado de mejora de la calidad del aire durante un año.
- El carbono total almacenado, el carbono neto anualmente secuestrado por el bosque urbano.
- Efectos de los árboles sobre el uso energético de construcción y los consecuentes efectos sobre las emisiones de dióxido de carbono de fuentes de poder.
- Valor estructural del bosque, así como el valor de la eliminación de la contaminación atmosférica, del almacenamiento o secuestro de carbono.
- Impacto potencial de las infestaciones por plagas.

El software i-Tree es revisado por expertos del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, proporciona herramientas de análisis de evaluación de la silvicultura urbana y comunitaria y de beneficio a los instrumentos de evaluación. Las herramientas i-Tree ayudan a fortalecer los esfuerzos de manejo forestal, de la defensa urbana mediante la cuantificación de los servicios ambientales que brindan los árboles y la evaluación de la estructura del bosque urbano.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción del área de estudio

La investigación se realizó de noviembre 2020 a febrero 2021, en el parque Maquilishuat, localizado sobre Avenida El Almendro y 87<sup>a</sup> Avenida Sur, San Salvador, al norte limita con quebrada La Mascota y al este con colonia Maquilishuat. Las temperaturas promedio de la zona, disminuyen con la altura de 22 a 20°C en las planicies altas, de 21 a 19 °C en las faldas de las montañas, con una humedad relativa promedio de 60%, precipitación promedio de 1,863 milímetros. Ubicado a una altura de 825 msnm, con coordenadas geográficas 13°42'1.09"N - 89°14'34.48"O (fig. 1).

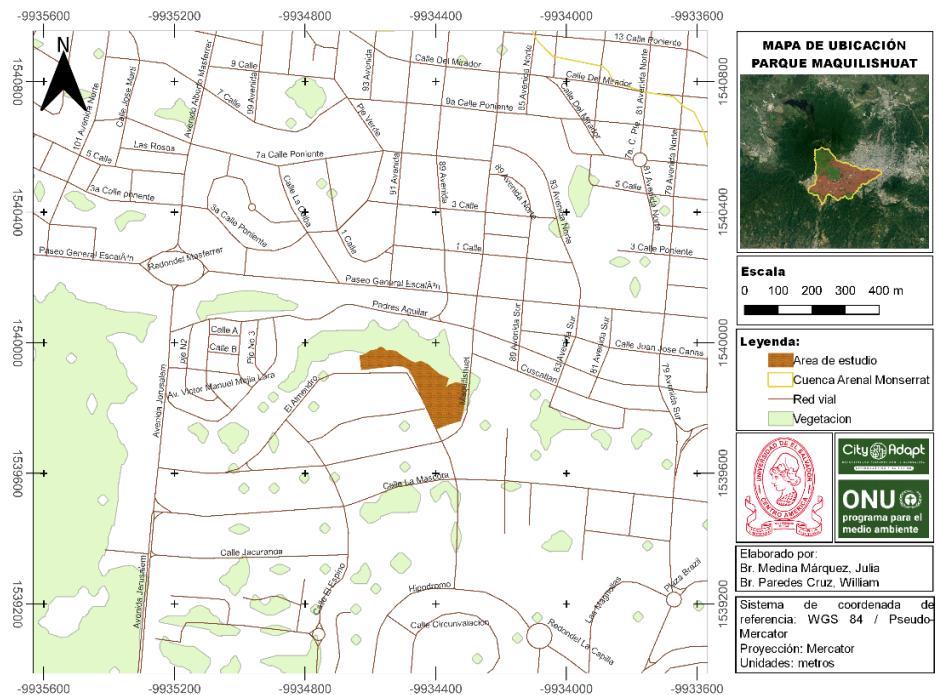


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio, parque Maquilishuat, San Salvador.

Se encuentra en terrenos ondulado accidentado, los suelos son arcillosos y frances, con zonas urbanas en los alrededores. La región climática según Koppen, Sapper y Laurer es Sabana Tropical Calurosa o Tierra Templada (800 – 1200 msnm); mientras que, según Holdridge, la zona de interés se clasifica como “Bosque húmedo subtropical, transición a tropical” (MARN, 2018).

### 3.2 Metodología de campo

#### 3.2.1 Delimitación del área de estudio

Para fines de la investigación, el área de estudio se delimitó al norte, a dos metros del sendero próximo a la quebrada La Mascota; al sur, este y oeste por la malla perimetral del parque, siendo de 2.35 ha (23,500 m<sup>2</sup>). Se estima que el área total del parque es de 3.74 ha.

El perímetro del parque se determinó a través del recorrido y establecimiento de puntos de coordenadas con ayuda de GPS Garmin® Modelo 64s, posteriormente con la herramienta QGIS 3.22.11 se procesaron los datos para generar el mapa del área de estudio.

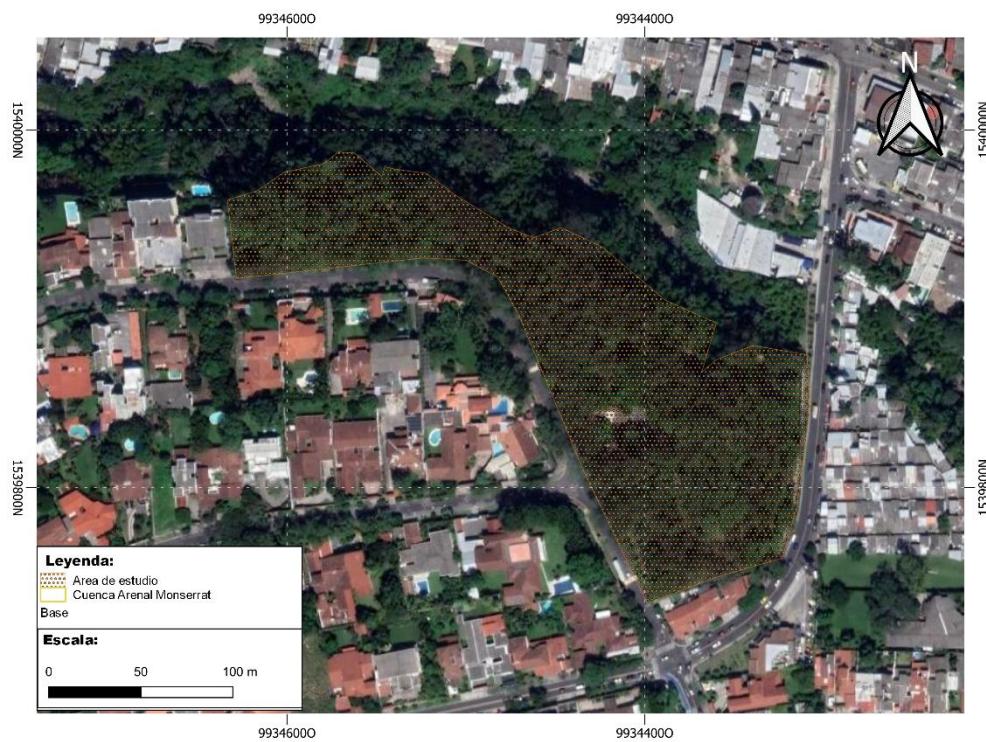


Figura 2. Delimitación del área de estudio.

#### 3.2.2 Planificación de proyecto

Al conocer el área de estudio se definió el tipo de inventario a implementar. Para este caso, se seleccionó un inventario aleatorio simple basado en parcelas (circulares) de 404.71 m<sup>2</sup> cada una. Se analizaron 20 parcelas equivalentes al 34 % del área de estudio (fig. 3)

A cada parcela, la herramienta i-Tree Eco V<sup>6</sup> asignó un número de referencia con sus respectivas coordenadas geográficas para su posterior levantamiento.

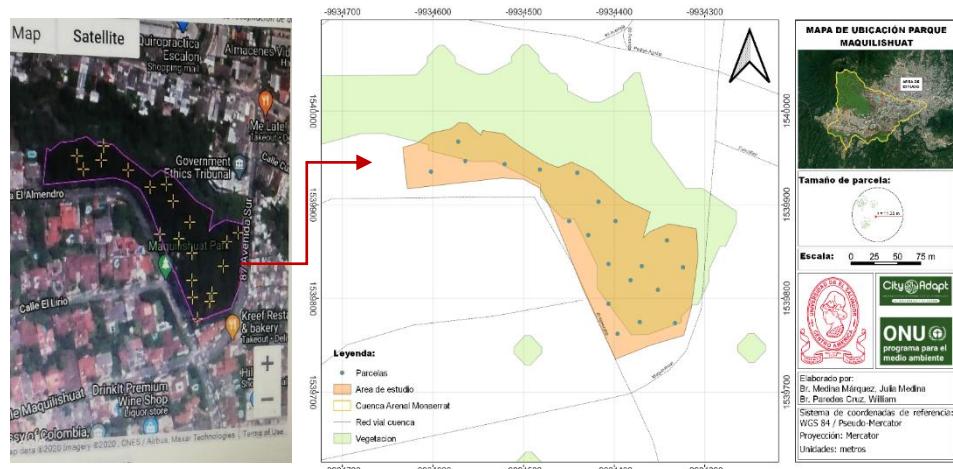


Figura 3. Definición de proyecto y establecimiento de parcelas al azar

### 3.2.3 Levantamiento de datos.

En la fase de campo se consideraron 3 tipos de variables, la categoría “A” con 1 apartado que describe las características generales del manejo del parque y su administración. Esta sección se realizó a través de una entrevista al administrador del parque (ver A-1). Para la categoría B y apartado C1 se registraron árboles con grosor del tronco mayor o igual a 2.5 cm de diámetro a la altura del pecho.

La categoría “B” detalla las variables cualitativas en 3 apartados (información general, información de los árboles y del manejo o mantenimiento) y la categoría “C” representa las variables cuantitativas en dos apartados (información de datos dasométricos y el muestreo de suelo para determinar la captura de carbono). Los apartados B2, B3 y C1 corresponde al formulario 2 para toma de datos en árboles proporcionada por la herramienta i-Tree Eco V<sup>6</sup> (ver A-2).

### 3.2.4 Diagnóstico de datos categoría “B”, variables cualitativas.

#### 3.2.4.1 Apartado B1: Información de general de parcela

Se detalló código de parcela, cobertura arbórea, arbustiva, espacio a plantar y objetos de referencia. Para formulario de registro de árboles solo se especificó la fecha de registro de la toma de datos por parcela.

#### 3.2.4.2 Apartado B2: Información de los árboles

- Identificación de la especie arbórea: Cada árbol se identificó por nombre común, nombre científico y familia. Las especies no identificadas en el sitio fueron verificadas con material bibliográfico y el asesor de investigación (fig. 4).



Figura 4. Identificación taxonómica de especies arbóreas.

- Situación del árbol: se registró si el árbol dentro del parque fue plantado (P), dispersión natural (I) o desconocido(U). Esta información se obtuvo con ayuda de los encargados del parque.
- Condición: se indicó si los árboles presentaron muerte regresiva en porcentaje (las ramas muertas).
- Exposición de luz de la corona: se identificó si el árbol recibe luz plena o en alguno de sus lados. Esta condición debe presentar al menos 30% de luz solar por cada lado.

- e. Cobertura de suelo: se estimó el porcentaje de cada tipo de cobertura del suelo (1% a 5%), considerando edificio o infraestructura, cemento, roca, suelo desnudo, material orgánico, pasto con/sin mantenimiento.
- f. Coordenadas geográficas: se registró longitud y latitud de la ubicación de cada árbol inventariado, con GPS marca Garmin® Modelo 64s.
- g. Archivo fotográfico: fotografía de cada árbol inventariado.

#### 3.2.4.3 Aparta B3: Información de manejo o mantenimiento

- a. Mantenimiento recomendado: se registró la necesidad de mantenimiento rutinario o inmediato para cada árbol según su tamaño y condición.
- b. Tarea de mantenimiento: se registró si el arbolado necesitaba tareas específicas como poda de copa fuerte; poda de copa de formación; poda de raíz; reubicación; tratamiento de plaga; remoción completa por riesgo o muerte; estacado de apoyo.
- c. Plagas: se identificó si el árbol presenta algún daño o enfermedad a causa de plaga o enfermedad.
- d. Conflicto de acera: se determinó si los árboles causan daño (rotura o levantamiento) a las aceras. Esta variable se midió en 3 condiciones de daño con relación al nivel del suelo (0 a 3/4 pulgadas; ¾ a 1 ½ pulgadas; 1 ½ pulgadas).
- e. Conflicto de utilidad: se estimó si el árbol o parte de su estructura genera conflictos en la distribución de líneas de servicio de energía eléctrica (1: no hay líneas; 2: líneas, pero sin conflicto; 3: líneas con conflicto; 4: conflicto con otro servicio)

#### 3.2.5 Diagnóstico de datos Categoría “C” variables cuantitativas

##### 3.2.5.1 Apartado C1: Información dasométrica:

- a. Altura total del árbol: se tomó la altura desde el suelo hasta la parte superior del árbol (vivo o muerto).
- b. Altura de la parte superior viva del árbol: esta altura fue la misma de altura total, a menos que el árbol presentara parte superior de la copa muerta.
- c. Altura a la base de la corona: Altura desde el suelo hasta la base de la copa viva (punto del tronco principal perpendicular a la parte más baja del follaje vivo que conforma la copa). La medición de altura se estimó con el altímetro Haga, comúnmente llamado pistola Haga. Su funcionamiento es un puntero giratorio controlado por gravedad con una serie de

escalas (15, 20, 25 y 30), cadenas (20 metros) y escala de porcentaje. Las escalas de línea base son asignadas por el usuario, y la longitud de la línea base es seleccionada girando una rueda de ajuste hasta la escala deseada (fig. 5).



Figura 5. Toma de alturas en árboles con altímetro Haga.

- d. Diámetro a la Altura del Pecho (DAP): la medición se realizó a una altura de 1.30 m a partir de la base del tronco del árbol. El equipo utilizado fue cinta diamétrica.



Figura 6. Medición de diámetro a 1.30 m con cinta diamétrica.

- e. Ancho de la copa: La medición de la copa se estableció en dos direcciones: norte-sur y este-oeste, utilizando cinta métrica de 30 m.

### 3.2.5.2 Apartado C2: Determinación de carbono en el suelo.

Para el carbono almacenado en el suelo, se tomaron 5 submuestras por parcela y de éstas se obtuvo una muestra de aproximadamente 500 gramos, que se envió al laboratorio. Se aplicó la metodología utilizada en el Inventario Nacional de Bosques de El Salvador, la cual requiere dos tipos de datos:

- Porcentaje de carbono orgánico obtenido a partir de las muestras de suelo: se tomó una muestra compuesta de suelo por parcela, obtenida con pala dúplex de un hoyo de 20 cm de profundidad del cual se extrajo una porción de aproximadamente una pulgada de espesor. Cada muestra se colocó en bolsa plástica de zipper con su respectiva identificación, y luego se trasladó al Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador (fig. 7).



Figura 7. Toma de muestras para determinar captura de carbono en suelo.

- Densidad aparente: Para el cálculo de densidad aparente se utilizó el método de cilindro de volumen conocido. El peso de suelo seco se obtiene en el laboratorio, secando el suelo en el horno y luego pesándolo en la balanza analítica o semianalítica.



Figura 8. Equipo y material utilizado para muestras de suelo en campo.

### 3.3 Procedimiento de laboratorio

#### 3.3.1 Determinación de densidad aparente del suelo

Para ello se procedió a una preparación previa en el laboratorio, que consistió en las siguientes operaciones:

- Lavado y secado de cajas de aluminio: las cajas de aluminio se lavaron con abundante agua de chorro y finalmente con agua destilada. Luego se secaron en una estufa a una temperatura de 60 °C por 30 minutos. Luego se retiró de la estufa, se dejó enfriar y se pesó en la balanza semi analítica.
- Pesado de la muestra: en las cajas previamente secadas y pesadas, se colocaron todas las muestras de suelo y se pesaron en balanza semi analítica, obteniendo el peso de suelo húmedo.
- Secado: las cajas con muestras de suelo se colocaron en una estufa a una temperatura de 110 °C, por un período de 24 horas. La muestra de suelo secado al horno no considera el peso de piedras, fragmentos de plantas y animales, así, el volumen de suelo muestreado se corrigió por el volumen ocupado por piedras y los fragmentos en mención.
- Pesado de muestras secas: una vez seca la muestra, las cajas se pesaron en balanza semi analítica con muestras de suelo previamente enfriadas.

Equipo y materiales utilizados fueron: estufa. balanza semi analítica/analítica. cajas de aluminio (fig. 9).



Figura 9. Equipos utilizados en laboratorio.

### 3.3.1.1 Cálculos para densidad aparente

Con los pesos obtenidos se hicieron los cálculos respectivos para calcular la densidad de cada una de las muestras de suelo. Para determinar la densidad aparente se utilizó la siguiente formula:

$$Da \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{Mss \text{ (g)}}{\text{Volumen del cilindro (cm}^3\text{)}}$$

Donde:

Da (g/cm<sup>3</sup>) = Densidad aparente en gramos por centímetro cúbico.

Mss (g) = Muestra de suelo seco en gramo.

También se puede calcular la humedad de la muestra con la siguiente fórmula:

$$H \% = \frac{Msh \text{ (g)} - Mss \text{ (g)}}{Mss \text{ (g)}} * 100$$

Donde:

H % = Porcentaje de humedad.

Msh = Peso de la muestra de suelo húmedo.

Mss = Peso de la muestra de suelo seco.

Con ese valor de humedad se calcula el peso seco de la muestra total extraída del agujero, que servirá para calcular el valor de la densidad aparente.

El volumen del cilindro se determinó con la siguiente formula:

$$\text{Vol. (cm}^3\text{)} = \pi r^2 * h$$

Donde:

Vol. (cm<sup>3</sup>) = Volumen en centímetro cúbico.

$\pi$  = Valor de Pi (3,1416).

r = Radio del cilindro.

h = Altura del cilindro.

### 3.3.1.2 Preparación de muestra de suelo para análisis de carbono orgánico.

El procedimiento fue el siguiente (fig. 10):

- Secado: la muestra se depositó sobre una bandeja de aluminio, y se dejó secar en estufa con corriente forzada de aire caliente, a una temperatura de 40 °C, por 24 horas.
- Morterizado, tamizado y almacenamiento de la muestra: se separaron grava, piedras u otros materiales ajenos a suelo. Las muestras de suelo se trituraron en un mortero de ágata para homogenizar y pulverizar la muestra a partículas más pequeñas.

La muestra triturada se pasa por tamiz de 100 mesh, hasta hacer pasar la muestra y se almaceno una porción de suelo en viales plásticos con tapas (centrífuga), se etiquetaron y guardaron en un desecador, hasta el momento del análisis de carbono.



Figura 10. Preparación de muestras de suelo para análisis de carbono orgánico.

- Análisis de carbono: Para realizar el análisis se extrajo 15 mg de suelo colocados en depósito de porcelana. La determinación de carbono orgánico se hace por combustión seca, en un analizador automático de carbono AnalytiK Jena HT1300, conocido como TOC (fig. 11).



Figura 11. Preparación de muestras de suelo para análisis de carbono en el equipo TOC.

Una vez encendido el analizador, se prepara para alcanzar temperaturas de 1800 °C, previa calibración y realizar la lectura correspondiente. Al realizar los cálculos de carbono por unidad de superficie, se obtuvieron los datos en porcentaje de carbono (%).



Figura 12. Análisis de captura de carbono en suelo.

### 3.3.1.3 Cálculos para captura de carbono fijado en suelo

El laboratorio preparó y proporcionó un certificado del análisis de carbono, como un respaldo oficial de dicho análisis (fig. 13).

Al realizar los cálculos de carbono orgánico en suelo por unidad de superficie, se obtuvieron los siguientes resultados (cuadro 2):

Cuadro 2. Resultados de análisis de carbono (%) en TOC.

Determinación	*Resultados		Metodología de Análisis	
	Muestra			
	Suelo	Unidades		
Carbono Orgánico	<b>PM01</b>	<b>PM02</b>	%	
	9.28	9.17		
Carbono Orgánico	<b>PM03</b>	<b>PM04</b>	%	
	9.28	9.17		
Carbono Orgánico	<b>PM05</b>	<b>PM06</b>	%	
	9.28	9.17		
Carbono Orgánico	<b>PM07</b>	<b>PM08</b>	%	
	9.28	9.17		
Carbono Orgánico	<b>PM09</b>	<b>PM10</b>	%	
	9.28	9.17		
Carbono Orgánico	<b>PM11</b>	<b>PM12</b>	%	
	9.28	9.17		
Carbono Orgánico	<b>PM13</b>	<b>PM14</b>	%	
	9.28	9.17		
Carbono Orgánico	<b>PM15</b>	<b>PM16</b>	%	
	9.28	9.17		
Carbono Orgánico	<b>PM17</b>	<b>PM18</b>	%	
	9.28	9.17		
Carbono Orgánico	<b>PM19</b>	<b>PM20</b>	%	
	9.28	9.17		

\*Resultados expresados en base seca. Se conservó código de muestras dado por el usuario

Con los porcentajes obtenidos se determinó el valor promedio de carbono fijado en el suelo.

Se utilizó la siguiente formula:

Donde:  $SOC (t C / ha) = 10000 \cdot Da \cdot P \cdot (\%C / 100) \cdot (1 - CF)$

10,000 = Área de 1 hectárea (ha) en metros cuadrados ( $m^2$ ).

Da = Densidad aparente ( $g/cm^3$ ).

P = Profundidad definida para la toma de la muestra de suelo (m)

%C = Carbono orgánico total en base seca (%) (TOC)

100 = Es el denominador para convertir de porcentaje a fracción decimal.

CF = Fracción volumétrica de fragmentos

Finalmente se determinó el CO<sub>2</sub>e (dióxido de carbono equivalente), tomando en cuenta que los análisis de laboratorio reportan carbono (C) en el suelo, sin embargo, las políticas climáticas (IPCC, Acuerdo de París, bonos de carbono) se reportan en CO<sub>2</sub>e.

Para convertir, se utilizó la siguiente formula:

$$\text{CO}_2\text{e} = \text{C} * 44/12$$

La molécula de CO<sub>2</sub> pesa 44 unidades (12 de C + 32 de O).

### **3.4 Metodología de gabinete**

#### **3.4.1 Elaboración de base de datos**

La información obtenida en la fase de campo se registró en una base de datos de Excel, para su posterior procesamiento y análisis. También se utilizó el programa QGIS para complementar el procesamiento de la información y generación de mapas de la investigación.

#### **3.4.2 Procesamiento de datos en software i-Tree**

Después de tener el inventario en las hojas de campo y la base de datos en Excel, se ingresó de forma manual al programa i-Tree Eco V6, corroborado e identificado el código de cada especie según la base de datos de la herramienta, se procesaron y enviaron los datos al Servicio Forestal de los Estados Unidos para su análisis respectivo. El reporte de composición, estructura y valoración económica de los servicios ecosistémicos del parque se recibe durante las primeras 2 a 3 horas de enviar la información.

Los datos climáticos y de contaminación utilizados para el procesamiento de la información en i-Tree, fueron tomados de la estación de Tuxtla Gutiérrez, México, por presentar condiciones climáticas bastante similares a la zona de estudio, tomando en cuenta que, a la fecha, el país no cuenta con una base de datos climáticos y de contaminación con el detalle requerido por el software.

El equipo utilizado para el procesamiento de la información fue computadora e internet. Esta fase se realizó en coordinación con el asesor de investigación, en las instalaciones de la Escuela de Posgrado y Educación Continua de la Facultad de Ciencias Agronómicas.



Figura 13. Análisis e incorporación de datos al software i-Tree Eco V<sup>6</sup>

### 3.4.3 Análisis e integración de resultados.

Al recuperar los resultados del servidor i-Tree, se analizaron y procesaron los datos para definir qué información se debe presentar en el documento. El análisis se complementó con el resto de información obtenida a través de la caracterización de los árboles y análisis de resultados de las muestras de suelo, presentándola de forma tabular y gráfica con el respectivo análisis, conclusiones y recomendaciones para los tomadores de decisión sobre el manejo del parque, así como cualquier persona interesada en el tema.

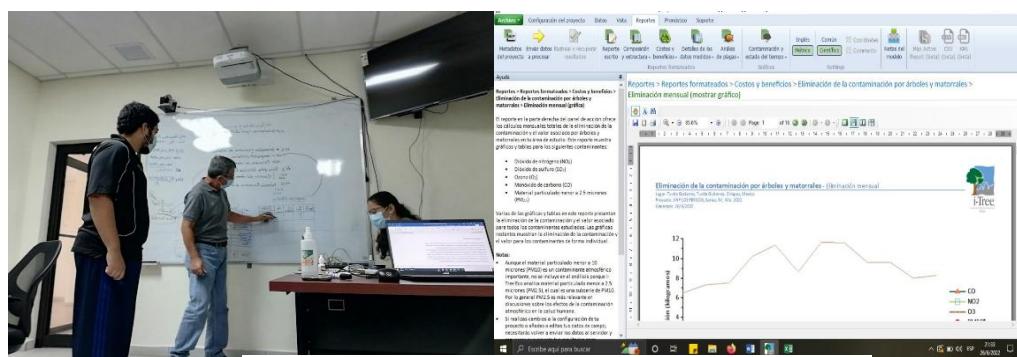


Figura 14. Revisión, análisis e integración de resultados.

### 3.5 Metodología estadística

La metodología de I-Tree Eco combina modelos forestales, estadísticos y técnicas de valoración para proporcionar una evaluación integral de los beneficios y servicios proporcionados por los árboles en un entorno urbano.

Algunos de los tópicos estadísticos utilizados en I-Tree Eco:

- Muestreo de parcelas: utiliza un diseño de detección sistemática para seleccionar parcelas de estudio al azar representativas dentro del área analizada. Estas pueden ubicarse según características específicas, como el uso del suelo o la densidad arbórea.
- Inventarios forestales: Se realiza un inventario detallado de los árboles en las parcelas seleccionadas, que incluye información como la especie, el tamaño, la edad, la altura y el estado de salud de cada árbol. Estos datos se utilizan para caracterizar la composición y estructura del bosque urbano.
- Modelos de biomasa: utiliza estadísticos para estimar la biomasa y el carbono almacenado en los árboles. Estos se basan en ecuaciones alométricas que vinculan las características medibles de los árboles, como el diámetro del tronco y la altura, con la cantidad de biomasa y carbono presente. Modelos de servicios ecosistémicos: utiliza modelos estadísticos para estimar los servicios ecosistémicos proporcionados por los árboles, como la captura de carbono, la reducción de la contaminación del aire, la retención de agua y la reducción de la escorrentía. Estos modelos se basan en ecuaciones que consideran factores como la estructura del bosque, las características del suelo y las condiciones climáticas locales.
- Valoración económica: incorpora técnicas estadísticas para valorar económicamente los beneficios proporcionados por los árboles. Estos enfoques pueden incluir métodos de valoración contingente, análisis de coste-beneficio y análisis de valoración de precios hedónicos para estimar el valor monetario de los servicios ecosistémicos.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Características generales del área de estudio

El área de estudio se ubica en la colonia Maquilishuat, en el sector nor-poniente del Municipio de San Salvador, distrito 3. En los últimos años, esta colonia ha experimentado transformaciones urbanas significativas incentivadas por condiciones ventajosas que la zona ofrece, como son: su localización estratégica y accesible, alta plusvalía, las dimensiones promedio de los terrenos, sus posibilidades de densificación, la aparente calidad actual de su infraestructura de servicios urbanos, junto con el atractivo de su calidad ambiental.

De acuerdo con datos de la Unidad de acceso a la información de la Alcaldía municipal de San Salvador, el área con menor concentración poblacional es el distrito 3 con una población de 30,837 habitantes y densidad poblacional de 1,637.65 habitantes por kilómetro cuadrado.

En el cuadro 1 y figura 15 se observan los usos de suelo de la colonia, constituidos por actividades de tipo residencial (viviendas unifamiliares de uno a tres niveles, 86.4%; condominios habitacionales de dos hasta once niveles, 3.4% con 237 apartamentos; comercios y servicios (6.7%); oficinas gremiales, un centro escolar, un Parque recreativo y terrenos baldíos (2.9%).

Cuadro 3. Resumen de usos de suelo de la colonia Maquilishuat.

Aspecto de uso	Totales
Condominios	13 (3.4%):1 condominio horizontal de 26 viviendas y 12 condominios verticales con 237 apartamentos
Viviendas unifamiliares	332 (86.4%)
Comercios	26 (6.7%)
Instituciones	1 (0.3%)
Terrenos baldíos	11 (2.9%)
Centro educativo	1 (0.3%)
Total, de propiedades	384 (100%)

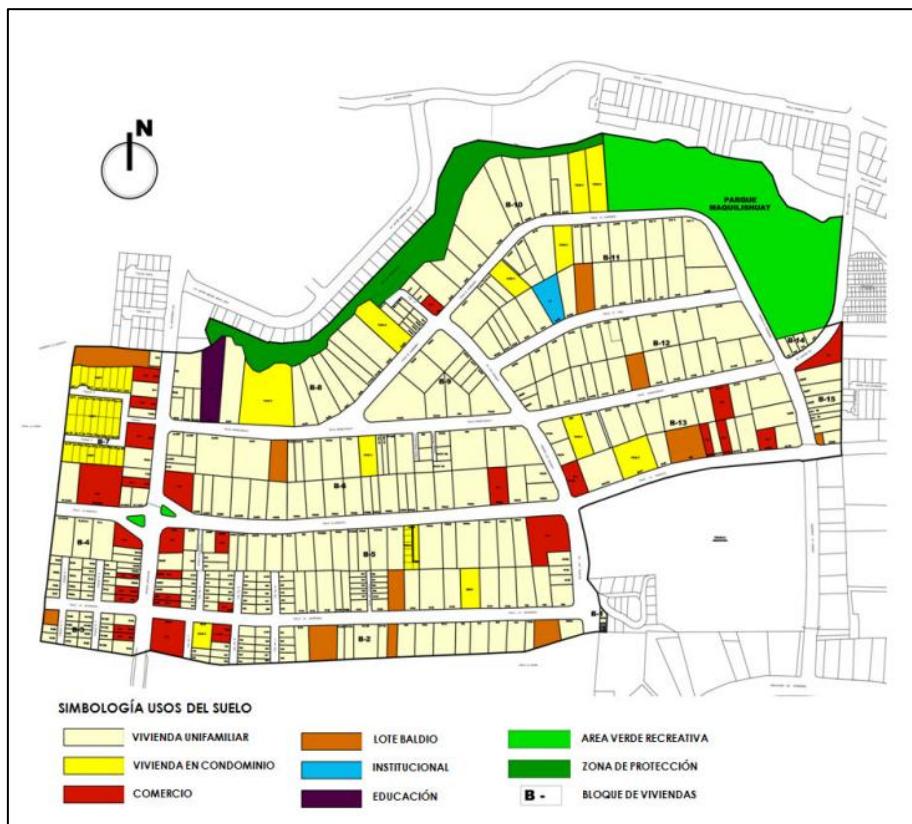


Figura 15. Usos de suelo de la colonia Maquilishuat.

Dentro de esta zonificación de usos del suelo, se incluye como parque urbano el Parque Maquilishuat, área destinada a la recreación y al equilibrio ecológico de la zona, así como de la ciudad. Está ubicado en 87 avenida sur y avenida los almendros, colonia Maquilishuat, a 820 msnm y una temperatura que oscila de 18.3 °C a 30.8 °C. El área total del parque es de 37,415 m<sup>2</sup> (3.74 ha).

El manejo, mantenimiento del parque y de otras áreas verdes, está bajo tutela y supervisión municipal a través del Coordinador de parques y zonas verdes del distrito 3 en conjunto con el vivero municipal.

A la fecha no cuentan con un inventario y densidad arbórea, la proyección de trabajo es a través de un diagnóstico realizado por el encargado de vivero y de acuerdo con las condiciones existentes.

El parque cuenta con una afluencia aproximada de 3,000 personas por mes. Permiten desarrollar actividades recreacionales (reuniones, cumpleaños, sesiones fotográficas, otros) siempre que se tomen en cuenta los lineamientos y normativas.

El personal encargado del parque se divide en 18 empleados públicos y 1 empleado privado, contratado por la directiva de la colonia para el cuido y limpieza de servicios sanitarios, su pago es la colaboración económica de los visitantes. La figura 16 muestra la estructura organizacional.

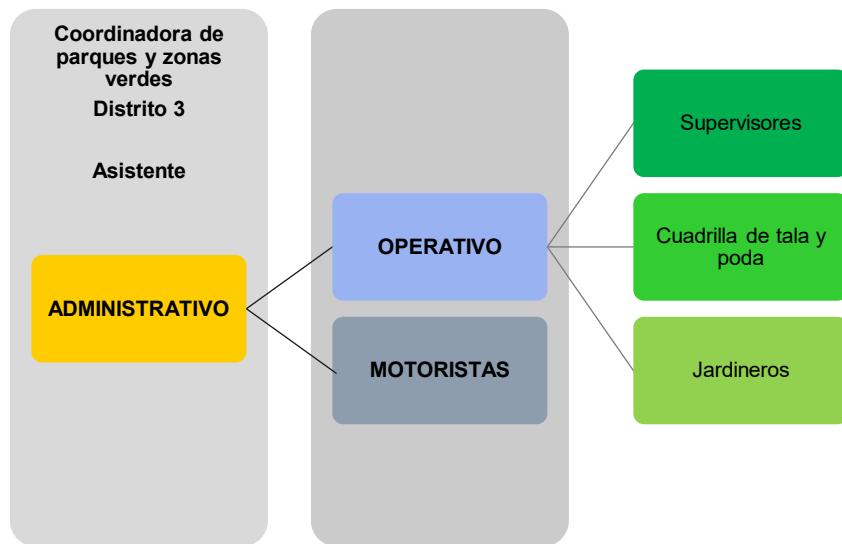


Figura 16. Estructura organizacional del parque Maquilishuat

Las actividades que desempeñan el cargo operativo se describen a continuación:

**Supervisores** encargados de monitoreo y desarrollo de actividades. Esta actividad la desempeñan dos personas con 1 cuadrilla asignada.

**Cuadrilla de tala y poda** desarrollan actividades de levantamiento de sombra, podas preventivas, podas de crecimiento y tala de árboles. La cuadrilla de tala y poda es de 5 personas, se conforma por 1 supervisor de tala, 2 taladores y 2 jardineros.

**Jardineros** responsables del riego, siembra de plantas y grama, chapoda mecánica, deshierbe, poda de setos y formación, limpieza.

La programación de riego se divide en época seca (diciembre a abril) y época lluviosa (mayo a noviembre). Las inspecciones fitosanitarias están a cargo de vivero municipal. Las reparaciones de infraestructura están a cargo de la unidad de Renovación urbana distrito 3.

#### 4.2 Composición florística

Como resultado del estudio de la composición florística dentro del parque Maquilishuat, de acuerdo con el marco de muestreo (0.81 ha), se reportan 542 individuos distribuidos en 32 familias, 55 géneros y 65 especies (Cuadro 2). Se estima que, en el área total delimitada, 2.35 ha, existen aproximadamente 1630 árboles con una densidad de 692 árboles por hectárea. (Anexo 7)

Cuadro 4. Composición florística del área de estudio.

Nombre común	Nombre científico	Familia	Nº individuos	Hábito	Origen
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	7	Árbol	Exótico
Mano de león	<i>Dendropanax arboreus</i>	Araliaceae	2	Árbol	Native
Araucaria	<i>Araucaria heterophylla</i>	Araucariaceae	16	Árbol	Exótico
Palmera miami	<i>Adonidia merrillii</i>	Arecaceae	6	Palmera	Exótico
Pacaya	<i>Chamaedorea tepejilote</i>		1	Palmera	Native
Palmera egipcia	<i>Chrysalidocarpus lutescens</i>		8	Palmera	Exótico
Coco	<i>Cocos nucifera</i>		4	Palmera	Exótico
Palmera de sombrero	<i>Erythea salvadorensis</i>		17	Palmera	Exótico
Palmera dátil	<i>Phoenix dactylifera</i>		13	Palmera	Exótico
Izote de jardín	<i>Dracaena marginata</i>	Asparagaceae	1	Arbusto	Exótico
Raja bien	<i>Eremosis triflosculosa</i>	Asteraceae	1	Árbol	Native
Llama del bosque	<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae	4	Árbol	Exótico
Cortés amarillo	<i>Tabebuia chrysantha</i>		1	Árbol	Native
Maquilishuat	<i>Tabebuia rosea</i>		11	Árbol	Native
San andrés	<i>Tecoma stans</i>		11	Árbol	Native
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	Boraginaceae	28	Árbol	Native
Mirra	<i>Jacquinia aurantiaca</i>	Theophrastaceae	6	Arbusto	Exótico
Sunza	<i>Licania platypus</i>	Chrysobalanaceae	2	Árbol	Native

Ciprés	<i>Cupressus lusitanica</i>	Cupressaceae	4	Árbol	Native
Chaya	<i>Cnidoscolus aconitifolius</i>	Euphorbiaceae	1	Arbusto	Exótico
Tempate	<i>Jatropha curcas</i>		1	Árbol	Native
Acacia	<i>Acacia mangium</i>	Fabaceae	4	Árbol	Exótico
Conacaste	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>		1	Árbol	Native
Paterno	<i>Inga paterno</i>		1	Árbol	Native
Pepeto de río	<i>Inga vera</i>		1	Árbol	Native
Chipiltre	<i>Albizia adinocephala</i>		1	Árbol	Native
Almendro de río	<i>Andira inermis</i>		3	Árbol	Native
Mangollano	<i>Pithecellobium oblongum</i>		1	Árbol	Native
Roble	<i>Quercus sp</i>	Fagaceae	2	Árbol	Exótico
Nogal	<i>Juglans nigra</i>	Juglandaceae	4	Árbol	Native
Aguacate	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	9	Árbol	Native
Júpiter de java	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	Lythraceae	1	Árbol	Exótico
Falsa magnolia	<i>Michelia champaca</i>	Magnoliaceae	8	Árbol	Exótico
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>	Malvaceae	1	Árbol	Native
Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		4	Árbol	Native
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Meliaceae	1	Árbol	Native
Pimientillo	<i>Guarea glabra</i>		2	Árbol	Native
Laurel de la india	<i>Ficus benjamina</i>	Moraceae	49	Árbol	Exótico
Chilamate	<i>Ficus glabrata</i>		1	Árbol	Native
Calistemo	<i>Callistemon viminalis</i>	Myrtaceae	10	Árbol	Exótico
Eucalipto	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>		4	Árbol	Exótico
Eucalipto	<i>Eucalyptus citriodora</i>		42	Árbol	Exótico
Eucalipto	<i>Eucalyptus deglupta</i>		68	Árbol	Exótico
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus labill</i>		3	Árbol	Exótico
Eucalipto	<i>Eucalyptus sp</i>		49	Árbol	Exótico
Arrayán	<i>Psidium friedrichsthalianum</i>		6	Árbol	Native
Guayabo	<i>Psidium guajava</i>		3	Árbol	Native
Cerezo de Belice	<i>Syzygium cumini</i>		9	Árbol	Exótico
Manzana rosa	<i>Syzygium jambos</i>		45	Árbol	Exótico
Manzana de agua	<i>Syzygium sp</i>		2	Árbol	Exótico

Pino	<i>Pinus caribaea</i>	Pinaceae	31	Árbol	Native
Cola de ratón	<i>Piper tuberculatum</i>	Piperaceae	3	Árbol	Native
Papaturro	<i>Coccoloba caracasana</i>	Polygonaceae	1	Árbol	Native
Mulato	<i>Triplaris melaenodendron</i>		3	Árbol	Native
Gravileo	<i>Grevillea robusta</i>	Proteaceae	9	Árbol	Exótico
Níspero japonés	<i>Eriobotrya japonica</i>	Rosaceae	1	Árbol	Exótico
Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>	Rutaceae	2	Árbol	Exótico
Limón	<i>Limonia aurantifolia</i>		1	Árbol	Exótico
Mirto	<i>Murraya paniculata</i>		1	Árbol	Exótico
Mamón	<i>Melicoccus bijugatus</i>	Sapindaceae	1	Árbol	Native
Níspero	<i>Manilkara zapota</i>	Sapotaceae	1	Árbol	Native
Zapote	<i>Pouteria sapota</i>		2	Árbol	Native
Tempisque	<i>Sideroxylon capiri</i>		1	Árbol	Native
Aceituno	<i>Simarouba glauca</i>	Simaroubaceae	4	Árbol	Native
Chilpepon	<i>Solanum sp</i>	Solanaceae	1	Árbol	Native

De acuerdo con los resultados, el 86.15% son árboles, el 4.61% son arbustos y el 9.20% son palmeras. Además, el 53.8% son especies nativas y el 46.2% son especies exóticas.

Generalmente, en los parques urbanos existe una mezcla de especies nativas y exóticas, y en la mayoría de los casos predominan las últimas. En el caso del parque en estudio, las especies nativas están un poco arriba en porcentaje, sin embargo, en cuanto al número de individuos si existe una predominancia de las exóticas, ya que del género *Eucalyptus* hay 166 y de *Syzygium* 45, haciendo un total de 211 árboles, que representan el 39 % del total.

#### 4.3 Comportamiento de especies arbóreas

La familia con el mayor número de individuos fue Myrtaceae con 241 árboles y dentro de ésta, las especies más dominantes son del género *Eucalyptus* con 166 árboles, y *Syzygium jambos* con 45 árboles, ambas son especies introducidas y que tiene crecimiento rápido. Es de destacar que los Eucaliptos que se encuentran son árboles muy maduros y que la mayor parte de ellos tienen muerte regresiva, principalmente la especie *deglupta*, que los vuelve muy susceptibles a ser derribados por el viento y por lo tanto generan un riesgo para los usuarios del parque.

Las familias que le siguen son la Moraceae con 50 individuos y la Arecaceae con 49. La primera está dominada por *Ficus benjamina* con 49 individuos, que son muy comunes en los parques. En el caso de las Arecaceas, que son las palmeras, las 3 especies más dominantes son *Erythea salvadorensis* con 17 individuos, *Phoenix dactylifera* con 13 y *Chrysalidocarpus lutescens* con 8 individuos.

Las familias que le siguen en cuanto a número de individuos son Pinaceae y Boraginaceae, con 31 y 28 individuos, respectivamente. El 53.8% de las especies de estas familias son consideradas nativas, destacándose entre ellas *Pinus caribaea* (pino), *Cordia alliodora* (laurel) y *Ficus glabrata* (chilamate).

Es de destacar que algunas especies nativas que son muy importantes por su estado de conservación como *Cedrela odorata* (cedro), *Dendropanax arboreus* (mano de león), *Sideroxylon capiri* (tempisque), entre otras, se encuentran muy pocos árboles, lo que indica que no son muy preferidas para los parques urbanos y los que existen son probablemente remanentes de la vegetación que originalmente existía en donde se estableció el parque.

#### **4.4 Comportamiento de especies arbustivas**

Las especies arbustivas no tienen mayor predominancia dentro de la vegetación encontrada en el parque, únicamente se encontraron 3 especies: *Jacquina aurantiaca*, *Dracaena marginata* y *Cnidoscolus aconitifolius*, con 6 y 1 individuos, respectivamente.

Probablemente en los primeros años de establecido el parque, pudieron haber existido más especies con estas características, las cuales pueden haber ido desapareciendo a medida que las especies arbóreas fueron creciendo y formando un dosel que no permitió el desarrollo pleno de ellas.

#### **4.5 Estructura del bosque**

Las tres especies más abundantes son *Eucalyptus deglupta* (12.55%), *Eucalyptus spp* (9.04%) y *Ficus benjamina* (9.04%).

Las especies más dominantes en términos de área de área basal son *Eucalyptus deglupta* (38.3%), *Eucalyptus spp* (12.63%) y *Eucalyptus citriodora* (9.69%).

La estructura del bosque en términos del Índice de Valor de Importancia (IVI) se aprecia en el cuadro 3. Se presenta la densidad absoluta (D) y relativa (Dr), frecuencia absoluta (F) y relativa (Fr), área basal absoluta (AB) y relativa (Abr) y el Índice de Valor de Importancia (IVI), que es la suma de las tres variables relativas.

Cuadro 5. Índice de Valor de Importancia de las especies del parque.

Especie	D	Dr	F	Fr	AB	ABr	IVI
<i>Eucalyptus deglupta</i>	68	12.55	12.00	5.80	16.019	38.30	56.64
<i>Eucalyptus spp</i>	49	9.04	10.00	4.83	5.281	12.63	26.50
<i>Eucalyptus citriodora</i>	42	7.75	10.00	4.83	4.052	9.69	22.27
<i>Syzygium jambos</i>	45	8.30	11.00	5.31	1.695	4.05	17.67
<i>Ficus benjamina</i>	49	9.04	8.00	3.86	0.917	2.19	15.10
<i>Cordia alliodora</i>	28	5.17	7.00	3.38	1.420	3.39	11.94
<i>Pinus caribaea</i>	31	5.72	7.00	3.38	0.891	2.13	11.23
<i>Tecoma stans</i>	11	2.03	9.00	4.35	1.240	2.96	9.34
<i>Araucaria heterophylla</i>	16	2.95	9.00	4.35	0.081	0.19	7.49
<i>Erythea salvadorensis</i>	17	3.14	5.00	2.42	0.787	1.88	7.43
<i>Phoenix dactylifera</i>	13	2.40	7.00	3.38	0.325	0.78	6.56
<i>Tabebuia rosea</i>	11	2.03	7.00	3.38	0.336	0.80	6.21
<i>Persea americana</i>	9	1.66	6.00	2.90	0.298	0.71	5.27
<i>Mangifera indica</i>	7	1.29	6.00	2.90	0.293	0.70	4.89
<i>Triplaris melaenodendron</i>	3	0.55	3.00	1.45	1.027	2.46	4.46
<i>Callistemon viminalis</i>	10	1.85	5.00	2.42	0.079	0.19	4.45
<i>Spathodea campanulata</i>	4	0.74	4.00	1.93	0.702	1.68	4.35
<i>Syzygium cumini</i>	9	1.66	4.00	1.93	0.276	0.66	4.25
<i>Chrysalidocarpus lutescens</i>	8	1.48	4.00	1.93	0.142	0.34	3.75
<i>Simarouba glauca</i>	4	0.74	4.00	1.93	0.376	0.90	3.57
<i>Psidium friedrichsthalianum</i>	6	1.11	4.00	1.93	0.076	0.18	3.22
<i>Michelia champaca</i>	8	1.48	2.00	0.97	0.290	0.69	3.14
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	4	0.74	3.00	1.45	0.357	0.85	3.04
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.906	2.17	2.83
<i>Adonidia merrillii</i>	6	1.11	3.00	1.45	0.082	0.20	2.75
<i>Grevillea robusta</i>	9	1.66	2.00	0.97	0.020	0.05	2.67
<i>Theobroma cacao</i>	4	0.74	3.00	1.45	0.148	0.35	2.54

<i>Commiphora myrrha</i>	6	1.11	2.00	0.97	0.149	0.36	2.43
<i>Acacia mangium</i>	4	0.74	3.00	1.45	0.055	0.13	2.32
<i>Eucalyptus globulus labill</i>	3	0.55	1.00	0.48	0.503	1.20	2.24
<i>Juglans nigra</i>	4	0.74	2.00	0.97	0.197	0.47	2.18
<i>Andira inermis</i>	3	0.55	2.00	0.97	0.246	0.59	2.11
<i>Psidium guajava</i>	3	0.55	3.00	1.45	0.042	0.10	2.10
<i>Cocos nucifera</i>	4	0.74	2.00	0.97	0.163	0.39	2.09
<i>Citrus reticulata</i>	2	0.37	2.00	0.97	0.194	0.46	1.80
<i>Cupressus lusitanica</i>	4	0.74	2.00	0.97	0.030	0.07	1.78
<i>Melicoccus bijugatus</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.456	1.09	1.76
<i>Dendropanax arboreus</i>	2	0.37	2.00	0.97	0.066	0.16	1.49
<i>Pouteria sapota</i>	2	0.37	2.00	0.97	0.029	0.07	1.40
<i>Quercus sp</i>	2	0.37	2.00	0.97	0.005	0.01	1.35
<i>Guarea glabra</i>	2	0.37	1.00	0.48	0.174	0.42	1.27
<i>Piper tuberculatum</i>	3	0.55	1.00	0.48	0.032	0.08	1.11
<i>Ficus glabrata</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.167	0.40	1.07
<i>Inga vera</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.159	0.38	1.05
<i>Tabebuia chrysantha</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.139	0.33	1.00
<i>Murraya paniculata</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.133	0.32	0.99
<i>Ceiba pentandra</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.132	0.32	0.98
<i>Syzygium sp</i>	2	0.37	1.00	0.48	0.023	0.05	0.91
<i>Coccoloba caracasana</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.098	0.23	0.90
<i>Jatropha curcas</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.097	0.23	0.90
<i>Licania platypus</i>	2	0.37	1.00	0.48	0.009	0.02	0.87
<i>Manilkara zapota</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.078	0.19	0.85
<i>Eremosis triflosculosa</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.073	0.17	0.84
<i>Cedrela odorata</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.060	0.14	0.81
<i>Inga paterno</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.057	0.14	0.80
<i>Pithecellobium oblongum</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.044	0.11	0.77
<i>Eriobotrya japonica</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.039	0.09	0.76
<i>Dracaena marginata</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.024	0.06	0.72
<i>Solanum sp</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.012	0.03	0.70
<i>Sideroxylon capiri</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.011	0.03	0.69
<i>Cnidoscolus aconitifolius</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.007	0.02	0.68

<i>Albizia adinocephala</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.002	0.00	0.67
<i>Chamaedorea tepejilote</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.002	0.00	0.67
<i>Lagerstroemia speciosa</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.003	0.01	0.67
<i>Limonia aurantifolia</i>	1	0.18	1.00	0.48	0.001	0.00	0.67
<b>Total</b>	<b>542</b>	<b>100</b>	<b>207</b>	<b>100</b>	<b>41.827</b>	<b>100</b>	<b>300</b>

La **densidad** indica el número de individuos por unidad de área encontrados en la unidad de análisis que fue de 0.81 ha, de las cuales *Eucalyptus deglupta* fue la más abundante con 68 individuos equivalente al 12.55%; le siguen *Eucalyptus spp* y *Ficus benjamina* con 49 individuos cada uno, equivalente al 9.04%, *Syzygium jambos* con 45 individuos y 8.30% y *Eucalyptus citriodora* con 42 individuos y 7.75%. La densidad relativa está referida a los totales en términos de porcentaje (Fig. 17).

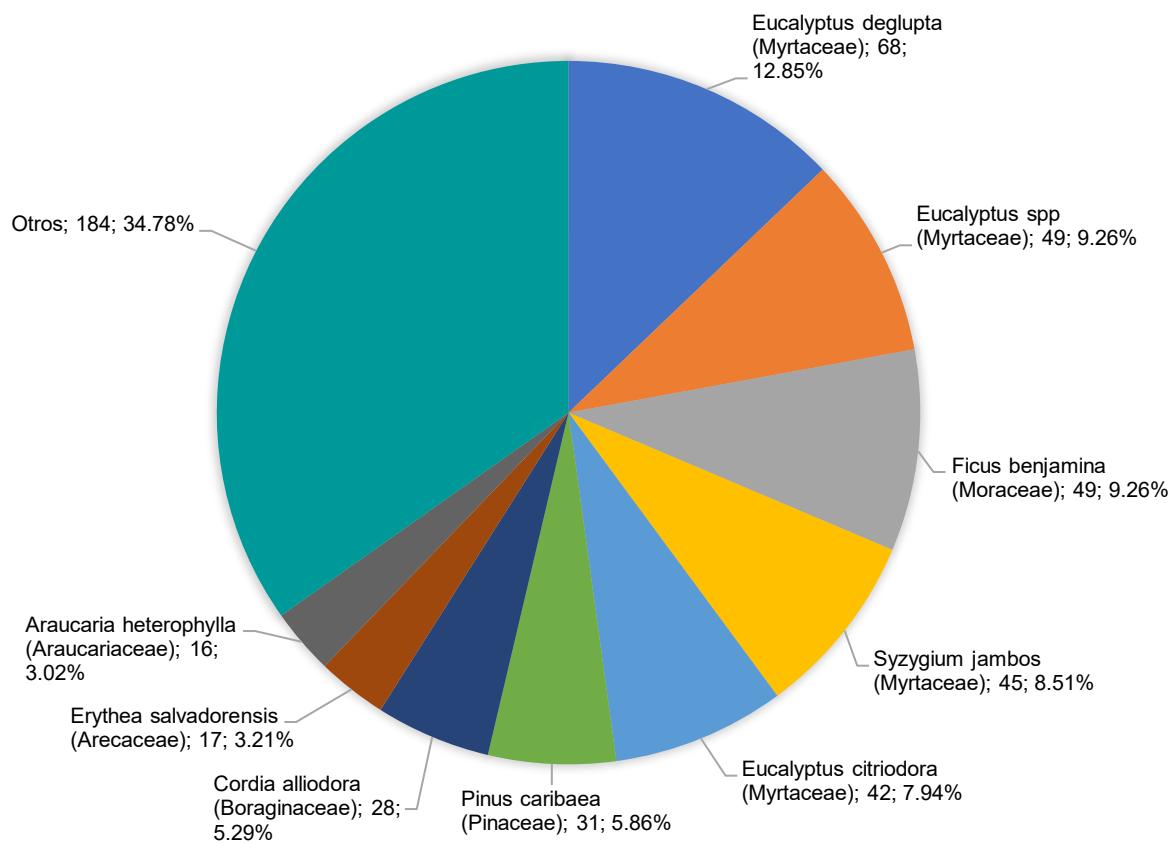


Figura 17. Densidad arbórea por familia en el parque Maquilishuat

La **frecuencia** indica la ocurrencia de las especies en las 20 unidades de muestreo. Así, por ejemplo, *Eucalyptus deglupta* se encontró en 12 unidades, *Syzygium jambos* en 11, *Eucalyptus citriodora* y *Eucalyptus spp* en 10, *Araucaria heterophylla* y *Tecoma stans* en 9. Esto significa que están distribuidas en gran parte del parque, lo cual se correlaciona también con el número de individuos de cada una.

Del total de especies, 16 de ellas equivalente al 12.58%, se encontraron solamente en una o dos muestras, lo que indica que son muy escasas y probablemente no han tenido las condiciones adecuadas para su reproducción. Dentro de estas se encuentran, *Cedrela odorata* que se encuentran en la categoría de amenazadas. También se encuentran especies calificadas en peligro como *Pinus caribaea*.

La frecuencia relativa está referida a los totales en términos de porcentaje.

El **área basal** representa la dominancia en términos de área basal ( $m^2$ ), que es la sección del árbol a 1.30 m de altura (dap), y se refiere al grosor del árbol, que es un valor de mucha relevancia en términos de biomasa al considerar también su altura. De todas las especies encontradas, *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus spp* y *Eucalyptus citriodora*, son las que presentan los valores más altos, lo que indica que tienen mayor dominancia de área basal ya sea por su grosor o mayor número de individuos en el bosque. El área basal relativa está referida a los totales en términos de porcentaje.

El **Índice de Valor de Importancia (IVI)** representa un parámetro de síntesis de la frecuencia, abundancia y área basal relativa, e indica la importancia relativa o el peso ecológico de las especies en el bosque, porque reúne las 3 variables fisionómicas de los árboles.

Es de aclarar, que el valor de importancia alto no significa que esas especies y los árboles deben procurarse necesariamente a futuro; sino que dichas especies dominan actualmente la estructura del parque. Así, por ejemplo, *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus spp* y *Eucalyptus citriodora*, a pesar de tener valores altos de IVI, 56.86, 26.57 y 22.32 respectivamente (fig. 18), no significa que son de las más importantes y que deben mantenerse siempre en el parque. Por el contrario, por el hecho de ser especies bastante maduras fisiológicamente, pueden representar un riesgo para la población usuaria del parque, porque pueden ser susceptibles a ser tumbadas por el viento, como es el caso de *E. deglupta* que, por su edad, presenta muerte

regresiva y algunos árboles puede caerse en cualquier momento, generando problemas no solo a los visitantes sino también a la infraestructura y viviendas aledañas.

De igual manera, los valores de IVI muy bajos para una especie, no significa que no tengan mayor relevancia en el bosque urbano, por el contrario, son especies que hay que ponerles atención porque son muy extrañas o poco dominantes, lo que significa que hay que hacer una evaluación de las causas que están provocando esa condición en el parque y tomar las medidas respectivas según los objetivos y propósitos del parque.

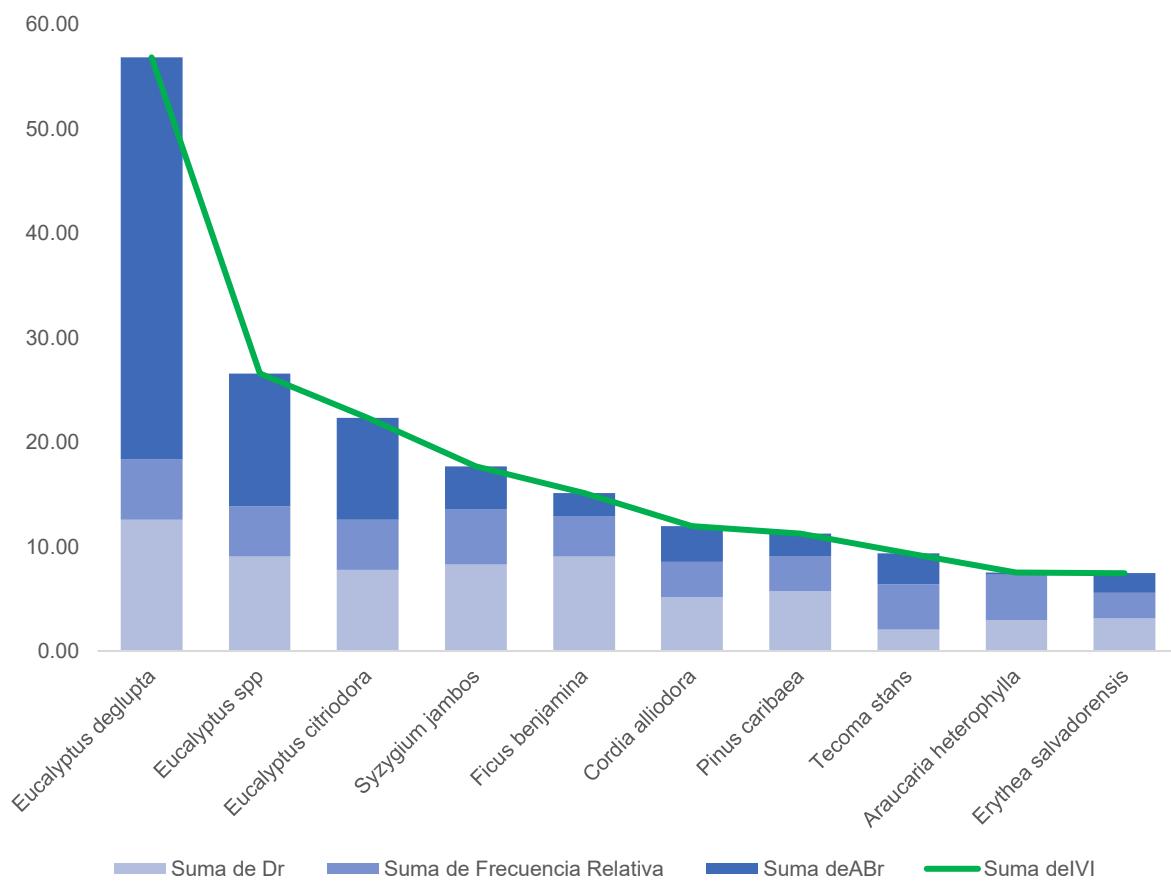


Figura 18. Valor de Importancia de 10 especies más representativas

Dentro de la dinámica del parque como ecosistema, se consideró el comportamiento de la altura del arbolado (estructura vertical), se puede observar en la figura 19, que de 542 individuos, el 47% se concentra en un rango de altura de 1 a 10 metros distribuido en 27 familias, las más predominantes son Myrtaceae con 59 individuos, Moraceae con 47 y

Arecaceae con 45, mientras que la predominancia de árboles con altura mayor a 50 metros fue del 0.18%, solamente 1 individuo perteneciente a la familia Myrtaceae.

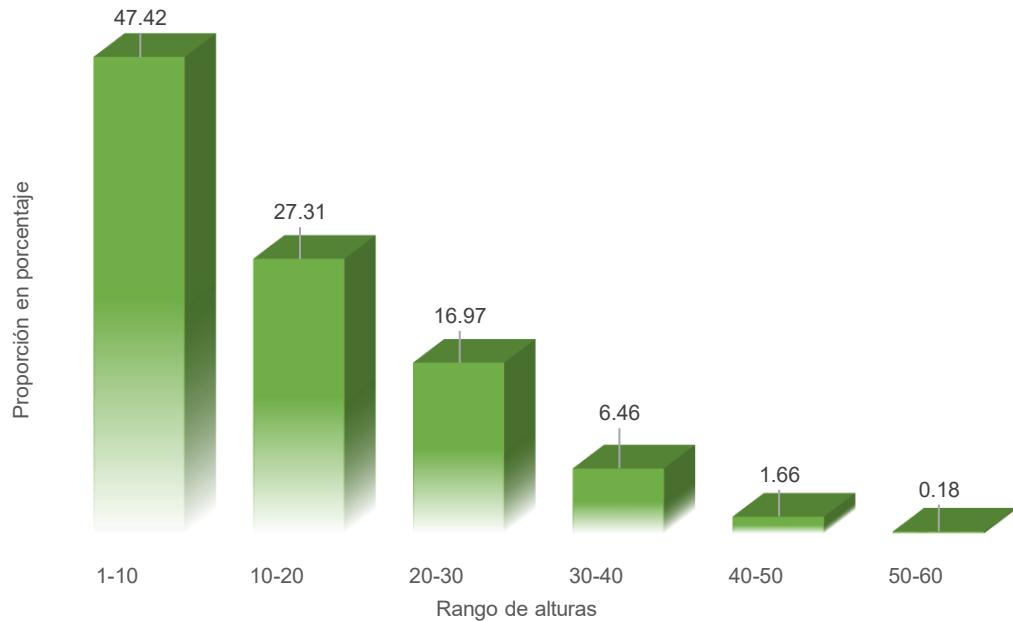


Figura 19. Porcentaje de árboles por rangos de altura en metros.

La composición diamétrica del arbolado, también se puede visualizar en la figura 20, en términos de la distribución de las especies por **clases diamétricas**. Se puede observar que el mayor número de individuos, aproximadamente el 72.2%, se encuentran en las primeras tres clases diamétricas, de 2.5 hasta 30.5 cm de dap, lo que significa que la mayoría de los individuos son delgados, probablemente se deba a que la densidad es muy alta y hay una fuerte competencia por luz.

Sin embargo, existe un 27.8% de los árboles (150 aproximadamente) que tienen dap mayores a 30 cm, entre los cuales se encuentran las especies de Eucaliptos, que algunos de ellos presentan muerte regresiva y que ya han cumplido su vida útil, tal es el caso de *E. deglupta*, y que pueden ser eliminados para evitar el riesgo para los usuarios.

También existen algunos árboles con diámetros muy altos, que son considerados como remanentes de la vegetación original existente en donde se estableció el parque, como el caso

de *Enterolobium cyclocarpum*, *Eucalyptus deglupta* y *Eucalyptus sp*, que tienen DAP de 107.4 cm, 78.2 cm y 69.5, respectivamente.

Por otra parte, el comportamiento del crecimiento del arbolado se observa en la figura 20, indica que la proporción más alta de árboles está en la clase diamétrica de 15.2 a 30.5 cm, dominada por especies exóticas de rápido crecimiento entre los cuales están los Eucaliptos. Las tres clases diamétricas que están a ambos lados de ésta, 2 a la izquierda y una a la derecha, representan una alta proporción de árboles, quedando muy pocos árboles remanentes con diámetros altos, en el extremo derecho de la gráfica. Es de aclarar que el diámetro mínimo considerado para el estudio fue de 2.5 cm, por ello la curva no parte de cero.

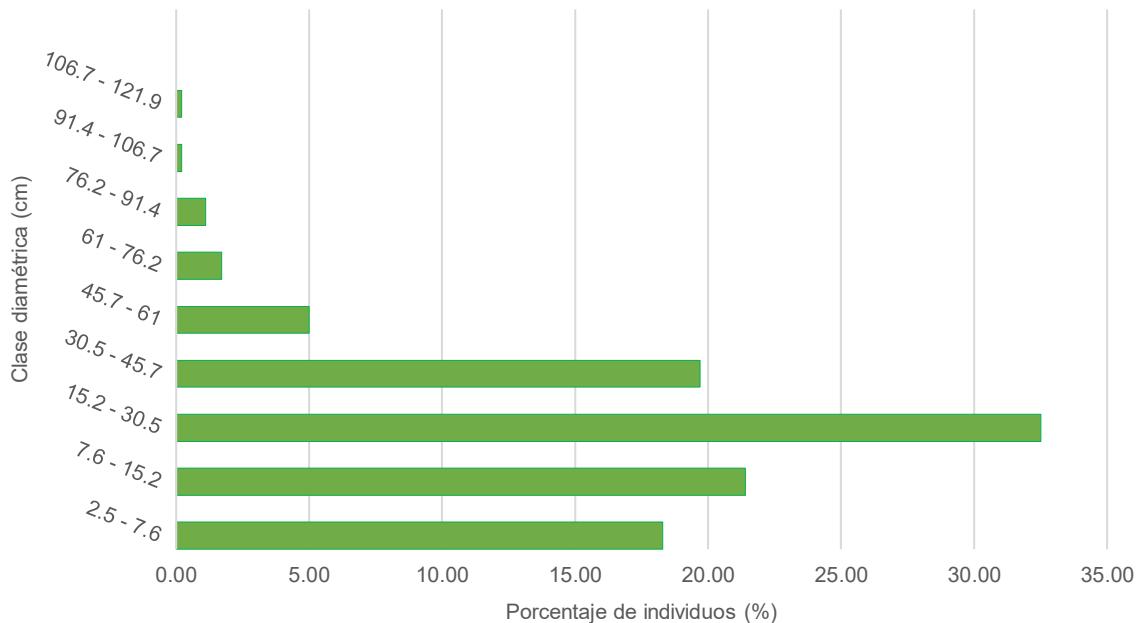


Figura 20. Distribución de las especies por clases diamétricas.

La **diversidad biológica** representada por la riqueza de especies en el parque es muy alta, con un valor de 65, a pesar de encontrarse en una zona urbana y altamente desarrollada. Esto indica que los parques urbanos son muy importantes desde el punto de vista de la conservación de especies, lo cual en muchos casos no es valorado, desde el punto de vista ecológico.

La **cobertura del bosque urbano y área foliar** generan muchos beneficios que corresponden directamente con la cantidad de área superficial saludable de las hojas de las plantas.

Se puede visualizar en la figura 21, que los árboles cubren aproximadamente el 91% del parque Maquilishuat y proporcionan 28.85 ha del área de las hojas, es decir que el área foliar al distribuirse en un área cubre 288,500 m<sup>2</sup>. Las especies más dominantes en términos de área de las hojas son *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus spp* y *Eucalyptus citriodora*.

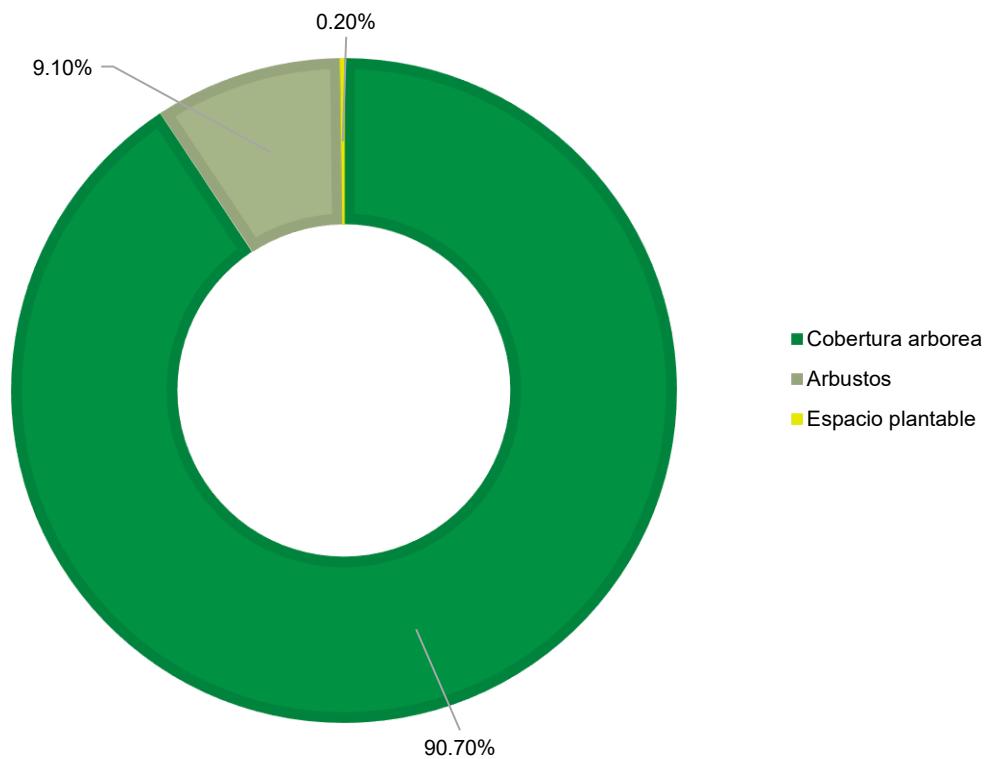


Figura 21. Distribución de la cobertura y espacio para plantar en porcentaje.

Los otros tipos de cobertura del suelo en el parque fueron la grama (34.9%) y hierba/hiedra (25.2 %). (figura 22)

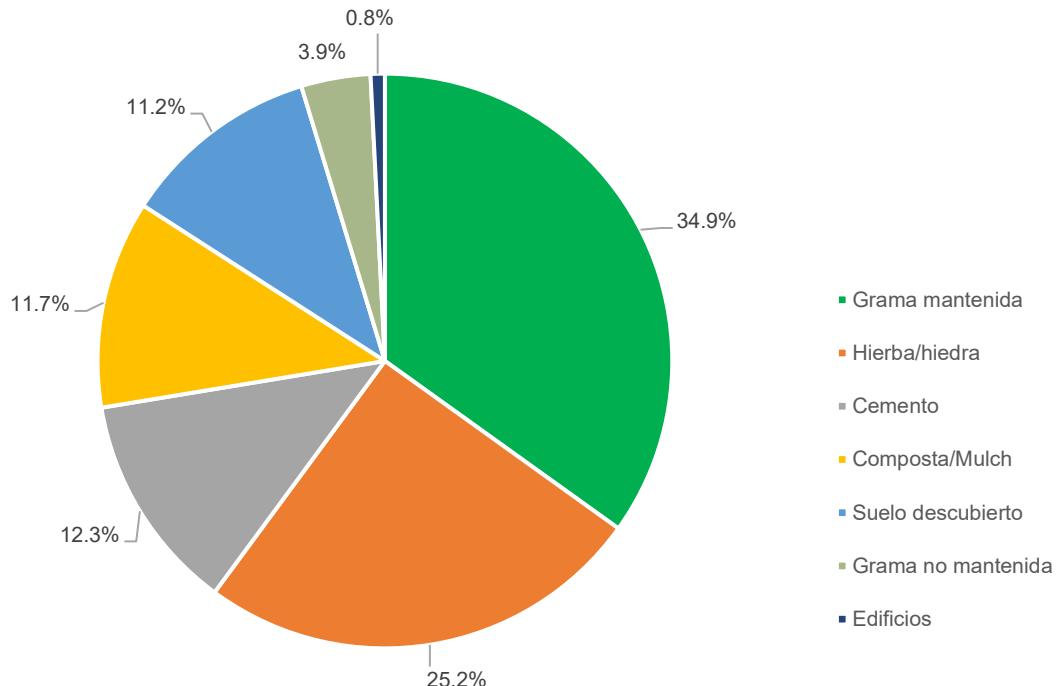


Figura 22. Clases de cobertura del suelo en porcentaje

#### 4.6 Condición de salud de la copa de los árboles

La condición de copa es una de las variables que le dan mayor precisión al modelo, ya que afinan los resultados de las ecuaciones que calculan los servicios ambientales de los árboles. Lo anterior se debe a que son las hojas donde se realiza la fotosíntesis que fija el CO<sub>2</sub> y donde se almacenan las partículas de contaminantes. Esta variable es agrupada en 7 categorías, las cuales se muestran en el cuadro 6 y figura 23.

Cuadro 6. Salud de la copa en porcentaje de las especies arbóreas.

Excelente	Buena	Aceptable	Mala	Crítica	Muriendo	Muerto
59.40	28.8	7	2.2	0.70	0.20	1.70

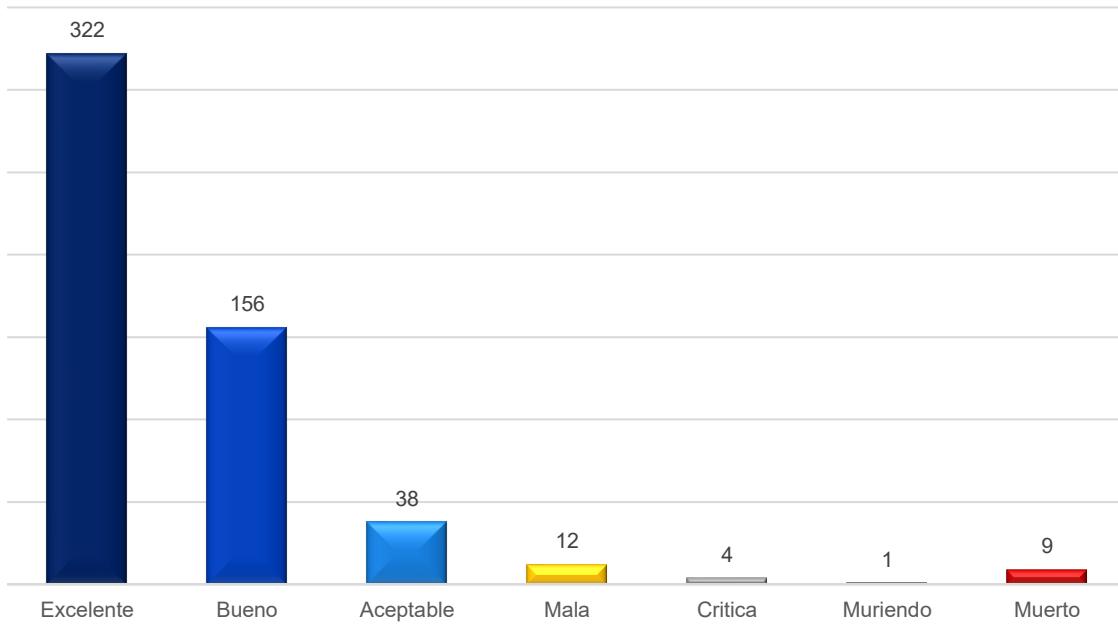


Figura 23. Condición de salud de la copa del arbolado.

La categoría excelente es aquella en la cual los árboles no presentan ningún signo de muerte regresiva (0%) y es la que presentó el mayor registro con 322 individuos, equivalente a 59.4 %, esta condición se representa en 57 especies de 65 inventariadas, algunas de las especies que se encuentran dentro de esta categoría son *Ficus benjamina*, *Syzygium jambos*, *Eucalyptus deglupta*, *Cordia alliodora* y *Eucalyptus spp* con 49, 31, 27, 18 y 17 individuos, respectivamente.

La categoría buena corresponde a árboles que presenten solo el 5 % de muerte regresiva en su copa, 156 individuos (28.8 %) en 32 especies de 65 inventariadas, algunas de las especies que se encuentran en esta categoría son *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus spp*, *Pinus caribaea* y *Syzygium jambos* con 30, 28, 20, 11 y 11 individuos, respectivamente.

La categoría aceptable pertenece a árboles con signos de muerte regresiva de 15 % a 30 % de su copa, 38 individuos (7 %) en 11 especies de 65 inventariadas, algunas de las especies de esta categoría son *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus spp*, *Pinus caribaea* y *Tecoma stans* con 8, 7, 6, 4 y 4 individuos respectivamente.

Categoría mala está en arboles con muerte regresiva con un rango de 35 % a 50 % de su copa, se registró en 12 individuos, equivalente a 2.20 %, en 9 especies de 65, algunas de las especies de esta categoría son *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus spp*, *Pinus caribaea*, *Cnidoscolus aconitifolius* y *Juglans nigra*.

Categoría critica está en árboles con muerte regresiva con un rango de 55 % a 70 % de su copa, se registró en 4 individuos y 4 especies, equivalente al 0.70 %. Las especies identificadas fueron *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus spp*, *Michelia* y *Syzygium jambos*.

Se puede ver que las categorías, muriendo y muerta, representan 10 individuos equivalente a 1.90 %, 1 especie para la primera y 5 para la segunda, ambas categorías nos indican que estos individuos ya cumplieron su vida útil o han sido afectadas por plagas o enfermedades y por lo tanto requieren una intervención inmediata. Las especies identificadas fueron *Syzygium jambos*, *Pinus caribaea*, *Cordia alliodora*, *Eucalyptus spp*, *Eucalyptus deglupta* y *Eucalyptus globulus*.

#### **4.7 Índice de desempeño relativo (IDR)**

Esta variable nos permite conocer el desempeño de las especies dentro del área de estudio, el Índice de Desempeño Relativo (IDR o RPI), se basa en la condición de copa de la especie en relación con las demás. Como todo índice no tiene unidades, es relativo al comportamiento de las demás especies en el inventario. Este indica cuales especies tienen mayor cantidad de individuos en mejores condiciones de copa. Entre mayor el índice más individuos tiene las especies en las categorías superiores de condición de copa, es decir copas aceptables, buenas y excelentes.

El IDR se expresa como un valor relativo, generalmente en forma de porcentaje, donde se compara el desempeño de una especie en particular con respecto al estándar establecido. Un IDR del 100% indicaría que la especie de árbol en cuestión ha alcanzado o superado el estándar de desempeño establecido, mientras que un IDR inferior al 100% indicaría un desempeño inferior en comparación con el estándar. El cuadro 5 muestra las 10 principales especies con mayor IDR. Como se observa la especie *Ficus benjamina*, *Araucaria heterophylla* y *Syzygium jambos*, tienen los mejores índices y esto se debe a que presentan mejor condición de su follaje.

Cuadro 7. Índice de desempeño relativo (IDR) de las especies.

Especie	IDR
<i>Ficus benjamina</i>	1.08
<i>Araucaria heterophylla</i>	1.03
<i>Syzygium jambos</i>	1.01
<i>Eucalyptus deglupta</i>	0.98
<i>Cordia alliodora</i>	0.97
<i>Eucalyptus citriodora</i>	0.97
<i>Acacia mangium</i>	0.93
<i>Eucalyptus spp</i>	0.93
<i>Tecoma stans</i>	0.91
<i>Pinus caribaea</i>	0.88

#### 4.8 Manejo requerido del arbolado

Los árboles son seres vivos altamente eficientes, que logran establecer por sí solos una estructura fuerte y estable. La forma que alcanza un árbol adulto es el resultado de su carga genética y un largo proceso de adecuación al hábitat que ocupa. Para lograr un manejo adecuado de los árboles urbanos, es necesario identificar y ejecutar las labores de manejo dentro de un proceso de planificación integral, articulada y sistémica que permitan garantizar las condiciones necesarias para que el arbolado urbano continúe prestando los servicios ambientales.

#### 4.8.1. Mantenimiento recomendado

Esta variable hace referencia a 6 tipos de mantenimientos, las cuales se muestran en la fig. 24.



Figura 24. Porcentaje de especies que requieren mantenimiento

Se reconocen como árboles de porte pequeño, los que presentan una altura menor a 9.5 m y de porte grande, con altura mayor o igual a 9.5 m. Se observa que el 85.42% del arbolado no presenta recomendación de manejo. Solamente el 2.95% requiere manejo inmediato (árbol grande) y el 1.29% representa una preocupación critica por la seguridad pública.

La figura 25 y cuadro 6 registra el comportamiento de las especies que presentaron alguna condición de manejo.

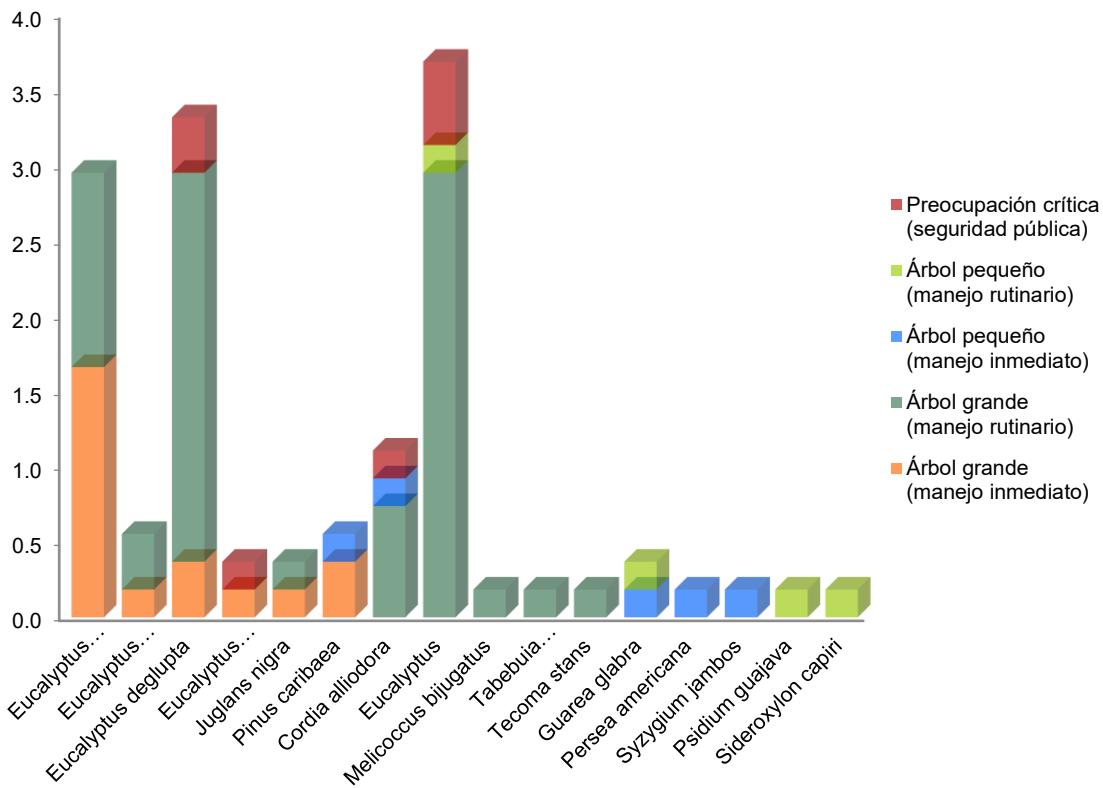


Figura 25. Manejo requerido según condición del árbol

De las 65 especies registradas en el área de estudio, solo 16 de ellas reportan recomendación de manejo. Solo 7 árboles presentan **preocupación crítica** para la seguridad pública o usuarios del parque, 2 de *Eucalyptus deglupta*, uno de *Eucalyptus globulus* spp *Maidenii*, 1 de *Cordia alliodora* y 3 de *Eucalyptus* sp; mientras que 16 árboles presentan la recomendación de **manejo inmediato** para árbol grande, 9 de *Eucalyptus citriodora*, 1 de *Eucalyptus camaldulensis*, 2 de *Eucalyptus deglupta*, 1 de *Eucalyptus globulus* spp., *Maidenii*, 1 de *Juglans nigra* y 2 de *Pinus caribaea*. En el caso de árboles pequeños, solo 5 individuos, 1 de las siguientes especies *Cordia alliodora*, *Guarea glabra*, *Persea americana*, *Pinus caribaea* y *Syzygium jambos*. Finalmente, la recomendación de manejo rutinario para árbol grande, son 47 árboles y 9 especies descritas a continuación: 4 de *Cordia alliodora*, 7 de *Eucalyptus citriodora*, 16 de *Eucalyptus* sp, 2 de *Eucalyptus camaldulensis*, 14 de *Eucalyptus deglupta*, y

uno de *Juglans nigra*, *Melicoccus bijugatus*, *Tabebuia chrysantha* y *Tecoma stans*. Para arboles pequeños, se registraron 4: *Eucalyptus*, *Guarea glabra*, *Psidium guajava* y *Sideroxylon capiri*.

Cuadro 8. Porcentaje de especies que presenta alguna condición de manejo.

Especie	Árbol grande (manejo inmediato)	Árbol grande (manejo rutinario)	Árbol pequeño (manejo inmediato)	Árbol pequeño (manejo rutinario)	Preocupación crítica (seguridad pública)	Total
<i>Eucalyptus citriodora</i>	1.7	1.3				<b>3.0</b>
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	0.2	0.4				<b>0.6</b>
<i>Eucalyptus deglupta</i>	0.4	2.6			0.4	<b>3.3</b>
<i>Eucalyptus globulus ssp. <i>maidenii</i></i>	0.2				0.2	<b>0.4</b>
<i>Juglans nigra</i>	0.2	0.2				<b>0.4</b>
<i>Pinus caribaea</i>	0.4		0.2			<b>0.6</b>
<i>Cordia alliodora</i>		0.7	0.2		0.2	<b>1.1</b>
<i>Eucalyptus sp</i>		3.0		0.2	0.6	<b>3.7</b>
<i>Melicoccus bijugatus</i>		0.2				<b>0.2</b>
<i>Tabebuia chrysantha</i>		0.2				<b>0.2</b>
<i>Tecoma stans</i>		0.2				<b>0.2</b>
<i>Guarea glabra</i>			0.2	0.2		<b>0.4</b>
<i>Persea americana</i>			0.2			<b>0.2</b>
<i>Syzygium jambos</i>			0.2			<b>0.2</b>
<i>Psidium guajava</i>				0.2		<b>0.2</b>
<i>Sideroxylon capiri</i>				0.2		<b>0.2</b>
<b>Total</b>	<b>3.0</b>	<b>8.7</b>	<b>0.9</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>	<b>14.6</b>

#### 4.8.2. Tarea prioritaria

Se establecieron 5 categorías que se recomiendan realizar en los árboles para que estos se desarrollen en un espacio urbano (cuadro 9). El 84.90% del arbolado no requiere ninguna tarea de mantenimiento. El 9.60% necesita limpieza o clareo de copa para disminuir la carga, eliminando aquellas ramas enfermas, dañadas, deformadas o las que impiden la ventilación y la entrada de luz a la copa; por otro lado, el 3.50% requiere labores sanitarias, el 1.80% implica la remoción del individuo, generalmente esta tarea se presenta en árboles con muerte regresiva del 100% (árboles muertos) y finalmente el 0.20 % del arbolado necesita reducir su copa con el objetivo de eliminar de forma selectiva las ramas de mayor altura.

Cuadro 9. Tareas prioritarias requeridas en el arbolado.

Tarea prioritaria	% de árboles
Ninguno	84.90
Limpieza o clareo de copa	9.60
Plaga/enfermedad	3.50
Remover el árbol	1.80
Reducir copa	0.20

Las especies que requieren limpieza o clareo de copa son 12, distribuidas en 7 familias y 52 individuos, las 3 con mayor número de individuos son *Eucalyptus sp*, *Eucalyptus deglupta* y *Eucalyptus citriodora* con 17, 14 y 7, respectivamente, todas pertenecientes a la familia Myrtaceae; la siguiente tarea son labores sanitarias para el control de plagas o enfermedades esta condición se distribuye en 8 especies, 4 familias y 17 individuos, las 2 especies con mayor número de individuos son *Eucalyptus citriodora* y *Eucalyptus deglupta* con 9 y 2 individuos; las especies que presentan muerte regresiva, preocupación crítica que conlleva a la remoción y sustitución de los individuos, se registró en 5 especies distribuidos en 3 familias y 9 árboles distribuidos en *Eucalyptus sp*, *Pinus caribaea*, *Eucalyptus globulus labill*, *Eucalyptus deglupta* y *Cordia alliodora* con 3 individuos las primeras 2 especies y 1 individuos, respectivamente. Finalmente, la especie *Eucalyptus deglupta* con 1 individuo requiere reducir el tamaño de su copa.

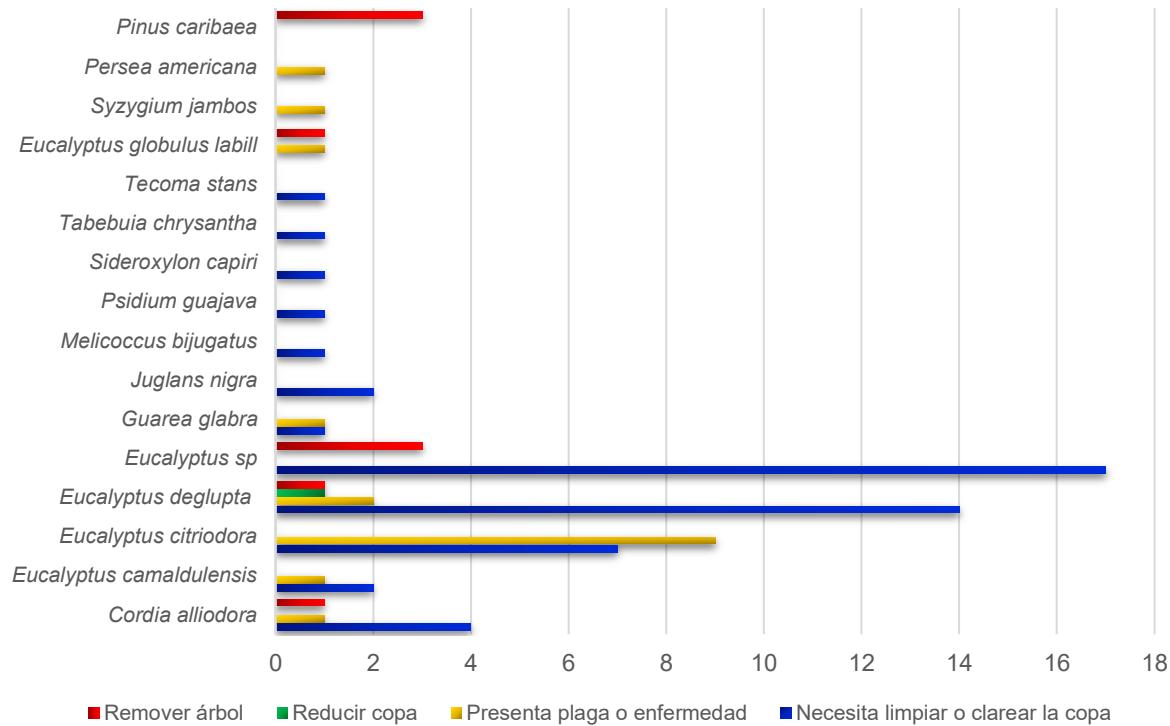


Figura 26. Tareas prioritarias de las especies arbóreas

#### 4.8.3 Desplazamiento de infraestructura gris

El comportamiento de conflictos del arbolado con aceras se muestra en la figura 27, el 99.40% del arbolado no genera daño en la infraestructura gris (senderos), sin embargo, el 0.60% de individuos muestran un daño no mayor a 1.90 cm de fractura o elevación del sendero.

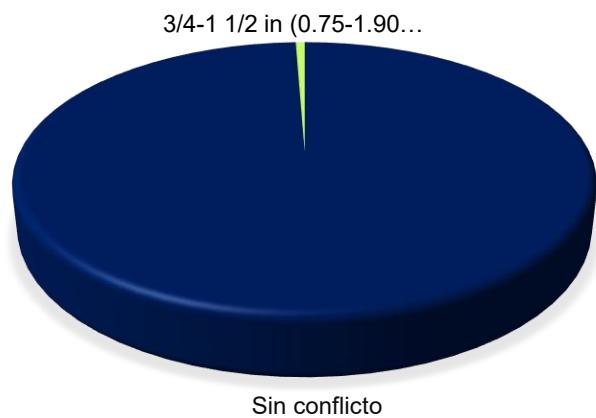


Figura 27. Desplazamiento en infraestructura gris

Las especies que provocaron dicho daño son *Eucalyptus citriodora* y *Eucalyptus deglupta* con 2 y 1 individuo, respectivamente, ambas especies pertenecen a la familia Myrtaceae.

#### 4.8.4 Conflictos o interferencia con líneas eléctricas.

Por otro lado, los conflictos con el tendido eléctrico dentro del área de estudio se describen en el cuadro 9.

Cuadro 10. Porcentaje de árboles que presentan conflictos con tendido eléctrico.

Conflictos	% árboles
No hay líneas de alumbrado eléctrico	97.80
Hay líneas, pero no presentan un conflicto potencial	1.80
Hay líneas y presentan conflicto	0.40

Las especies *Eucalyptus sp* y *Eucalyptus globulus labill* representan el 0.40% del arbolado que genera conflicto con el tendido eléctrico, mientras que el 1.80% restante se distribuye en 6 especies y su estructura (tronco o ramas del árbol) no presenta interferencias con cables del alumbrado eléctrico (figura 28).

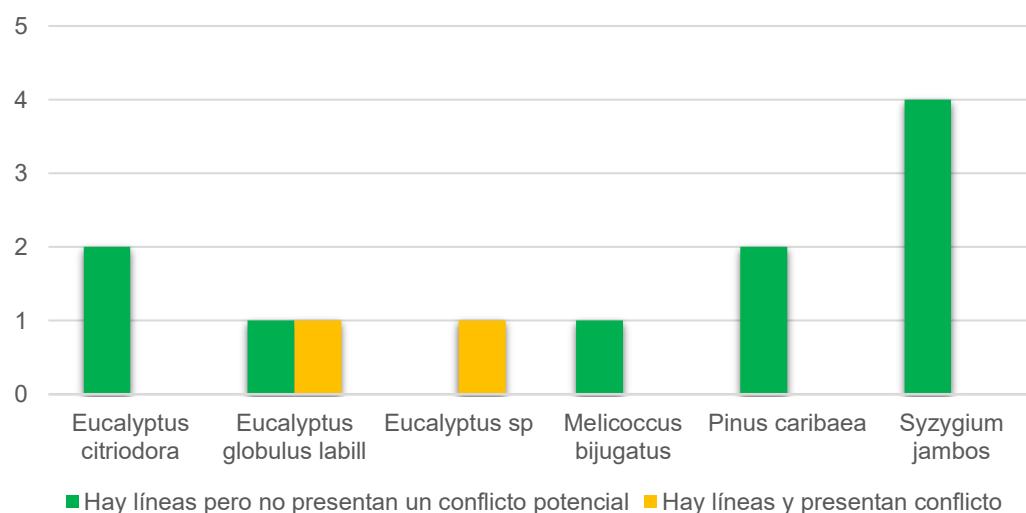


Figura 28. Especies que interfieren con el tendido eléctrico

## 4.9. Servicios ecosistémicos y valor económico del arbolado

### 4.9.1. Eliminación de contaminantes

Para este análisis, el valor de la eliminación de la contaminación se calculó con base a los precios de México y convertidos a dólares. El valor por tonelada métrica para monóxido de carbono es de \$1,609.85, de ozono \$5,779, para dióxido de sulfuro \$314.20 y \$200,675.80 de material particulado menor a 2.5 micrones, para contaminantes de dióxido de nitrógeno y material particulado menor a 10 micrones y mayor a 2.5 micrones no presenta valor.

La eliminación de la contaminación fue mayor para **ozono** (151.2 kg) con un valor asociado de \$873.78 dólares/año, se estima que todos los árboles registrados eliminaron 199.5 kg de la contaminación del aire (ozono ( $O_3$ ), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), material particulado menor a 2.5 micrones ( $PM_{2.5}$ ), material particulado menor a 10 micrones y mayor a 2.5 micrones ( $PM_{10}$ ), y dióxido de sulfuro ( $SO_2$ )) por año con un valor asociado de \$1,993.11 (fig. 29).

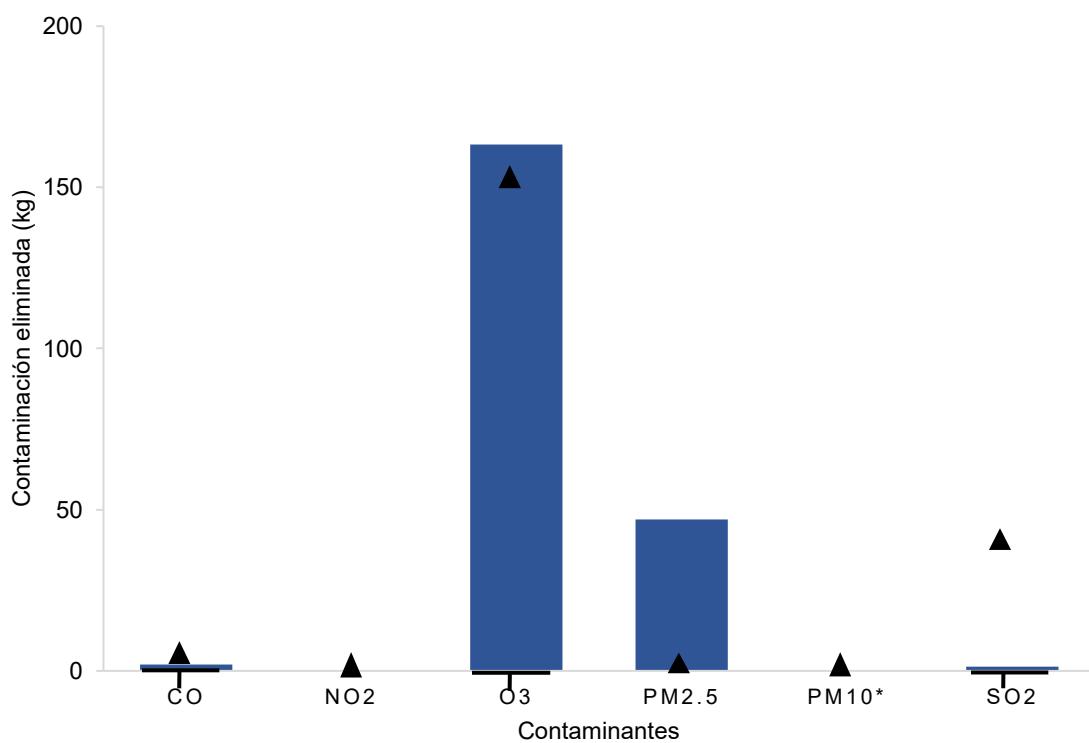


Figura 29 Eliminación de contaminantes en kg por año.

La eliminación de contaminación por mes se presenta en la figura 30. Los contaminantes CO y SO<sub>2</sub>, se mantienen más o menos constante durante todo el año, con valores entre 1 a 3.5 kg. El contaminante PM<sub>2.5</sub> presenta valores negativos de -0.5 a 1 kg, estas fluctuaciones son a causa de la combinación de diferentes factores atmosféricos. Los contaminantes NO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub> no reportan valores por no estar registrados por la estación climática.

Por otro lado, el O<sub>3</sub> es el contaminante más eliminado en el año, presentando los valores más altos de 15.7 kg en julio, probablemente porque hay mayor humedad y los árboles tienen una tasa mayor de fotosíntesis. Luego decrece hasta llegar a valores de 9.7 kg, aproximadamente.

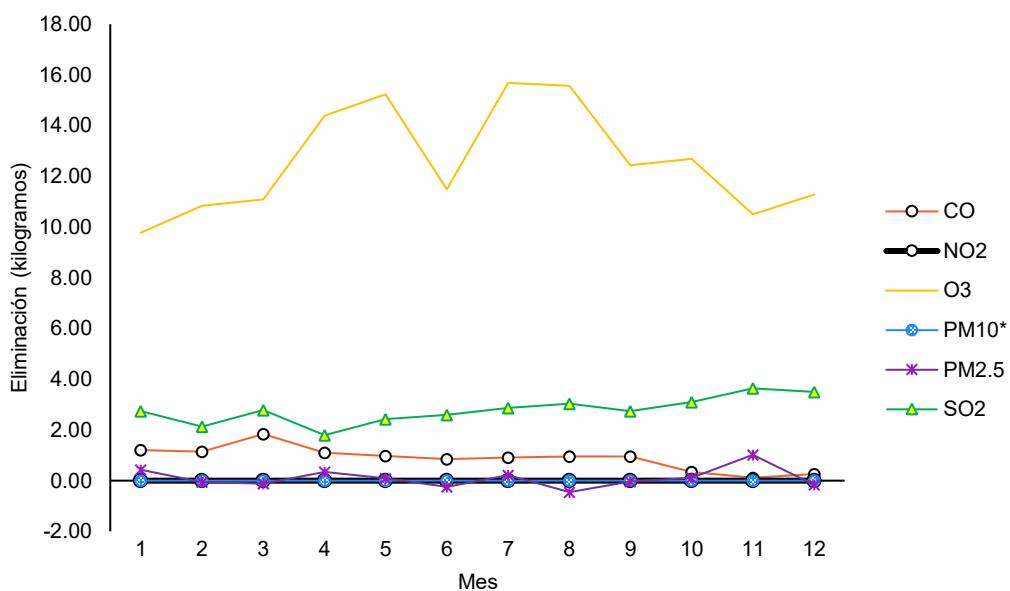


Figura 30 Eliminación de contaminantes por mes en parque Maquilishuat.

Los árboles también emiten compuestos orgánicos volátiles que pueden contribuir a la formación de ozono. Sin embargo, los estudios integrados han dado a conocer que el aumento en la cobertura de los árboles conduce a una menor formación de ozono (Nowak y Dwyer 2000). En 2020, los árboles en Parque Maquilishuat emitieron aproximadamente 1.078 toneladas métricas de los compuestos orgánicos volátiles (0.5159 toneladas métricas de isopreno y 0.5621 toneladas métricas de monoterpenos). Las emisiones varían entre las especies con base en las características y la cantidad de biomasa de las hojas. Ochenta por ciento de las emisiones de COV del bosque urbano fueron de *Eucalyptus deglupta* y *Eucalyptus spp.*

#### 4.9.2. Eliminación de contaminantes por especie

La eliminación de contaminantes y su valor económico por parte de las principales especies, se presenta en el cuadro 11.

Cuadro 11. Eliminación de contaminantes y valor económico de las principales especies.

Nombre de la especie	Contaminación eliminada (g/año)				Valor de la eliminación (\$/año)				Valor de eliminación (\$/año)
	CO	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>	
<i>Eucalyptus deglupta</i>	1260.00	17850.60	3938.70	130.90	2.03	103.16	1.24	26.31	<b>132.74</b>
<i>Eucalyptus spp.</i>	494.50	7001.30	1544.90	51.40	0.80	40.46	0.49	10.32	<b>52.07</b>
<i>Eucalyptus citriodora</i>	440.90	6247.50	1378.60	46.00	0.71	36.11	0.43	9.21	<b>46.46</b>
<i>Syzygium jambos</i>	188.90	2675.00	590.20	19.10	0.30	15.46	0.18	3.94	<b>19.88</b>
<i>Triplaris meleanodendrom</i>	150.80	2136.10	471.20	15.70	0.24	12.34	0.15	3.15	<b>15.88</b>
<i>Cordia alliodora</i>	128.10	1812.60	400.20	13.40	0.21	10.48	0.13	2.67	<b>13.49</b>
<i>Pinus caribaea</i>	88.70	1258.80	277.60	9.10	0.14	7.27	0.09	1.86	<b>9.36</b>
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	71.00	1005.00	221.70	7.40	0.11	5.81	0.07	1.48	<b>7.47</b>
<i>Spathodea campanulata</i>	51.00	720.60	159.00	5.40	0.08	4.17	0.05	1.06	<b>5.36</b>
<i>Syzygium cumini</i>	50.80	719.00	158.80	5.30	0.08	4.16	0.05	1.06	<b>5.35</b>

El cuadro 11 y figura 31 indica las 10 principales especies que presentaron mayor capacidad de remoción de contaminantes del aire. *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus* y *Eucalyptus citriodora* presentan valores mayores de eliminación por año, mientras que *Syzygium cumini* (cerezo de belice) el menor rendimiento. Estos valores varían de acuerdo con el número de individuos de cada especie, siendo estos 68, 49, 42 y 9, respectivamente.

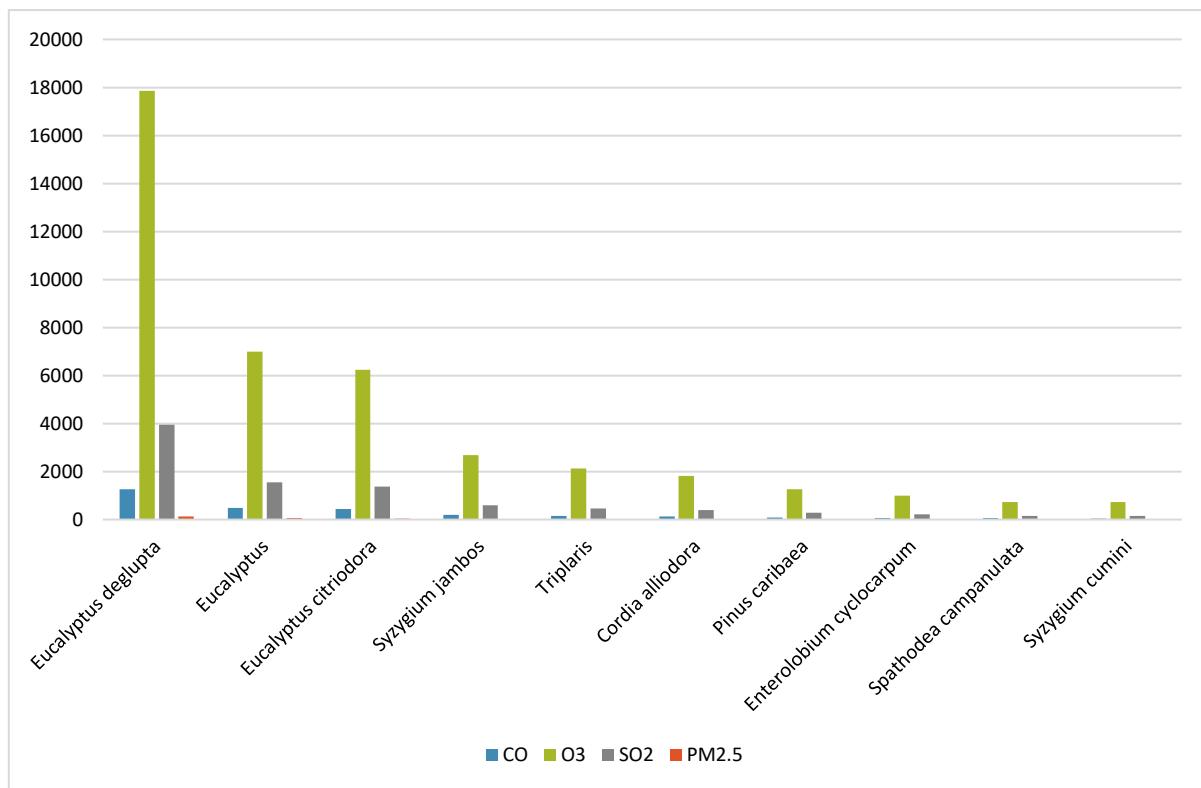


Figura 31 Eliminación de contaminantes en gramos por año según especie.

Por otro lado, se consideraron las diferentes características de cada especie y se encontró que la remoción difiere entre ellas; al evaluar el rendimiento de un individuo de cada especie se encontró que *Triplaris meleanodendron*, *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus spp*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Eucalyptus citriodora*, son las 5 especies con mejor desempeño en la remoción de los cuatro contaminantes (cuadro 12).

Cuadro 12. Especies con mejor desempeño de remoción de contaminantes.

Nombre de la especie	CO	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>
<i>Triplaris meleanodendron</i>	96.00	1360.20	0.00	300.10	10.00
<i>Eucalyptus deglupta</i>	89.50	1268.00	0.00	279.80	9.30
<i>Eucalyptus spp</i>	74.10	1049.30	0.00	231.50	7.70
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	71.00	1005.00	0.00	221.70	7.40
<i>Eucalyptus citriodora</i>	36.80	521.30	0.00	115.00	3.80

#### 4.9.3. Secuestro de carbono

Los árboles reducen la cantidad de carbono en la atmósfera al secuestrar el carbono en el crecimiento nuevo cada año. La cantidad de carbono secuestrada anualmente aumenta con el tamaño y la salud de los árboles. El secuestro bruto en el parque Maquilishuat es de 26.27 toneladas métricas de carbono por año con un valor asociado de \$4,768.70. El secuestro neto de carbono es aproximadamente 23.48 tonelada métricas.

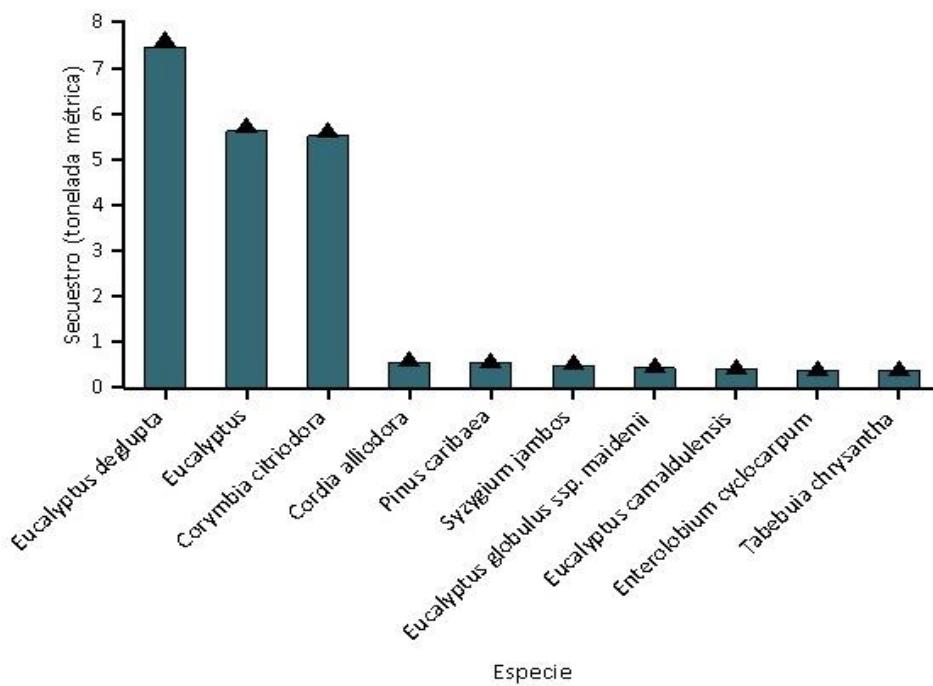


Figura 32 Secuestro bruto anual de carbono de las 10 especies más representativas

Las 3 especies que más secuestran carbono son *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus* spp y *Eucalyptus citriodora*, con 7.59, 5.71 y 5.61 toneladas métricas, respectivamente (figura 32). Esto está directamente relacionado con el mayor número de individuos, aunque son especies exóticas de rápido crecimiento. Sin embargo, hay especies nativas que a pesar de tener muy pocos árboles en el parque secuestran importantes cantidades de carbono de la atmósfera, tal es el caso de *Enterolobium cyclocarpum* y *Tabebuia chrysanthia*, que solo existe un árbol de cada una en el parque, pero están entre las 10 especies que más secuestran carbono, con valores de 0.39 y 0.37 toneladas métricas, respectivamente.

#### 4.9.4. Almacenamiento de carbono

El almacenamiento de carbono es otra manera en la que los árboles pueden influenciar el cambio climático global. Conforme un árbol crece, almacena más carbono en sus tejidos. Cuando el árbol muere y se descompone, nuevamente libera la mayoría del carbono almacenado a la atmósfera. Por lo tanto, el almacenamiento de carbono es una indicación de la cantidad de carbono que se puede liberar si se permite que los árboles mueran y se descompongan. Mantener árboles saludables mantendrá el carbono almacenado en los árboles, pero el mantenimiento de los árboles puede contribuir a las emisiones de carbono (Nowak et al, 2002c). Cuando un árbol muere, usar la madera en productos madereros a largo plazo, para calentar edificios o para producir energía ayudará a reducir las emisiones de carbono de la descomposición de la madera o de centrales eléctricas de combustibles fósiles o madereros.

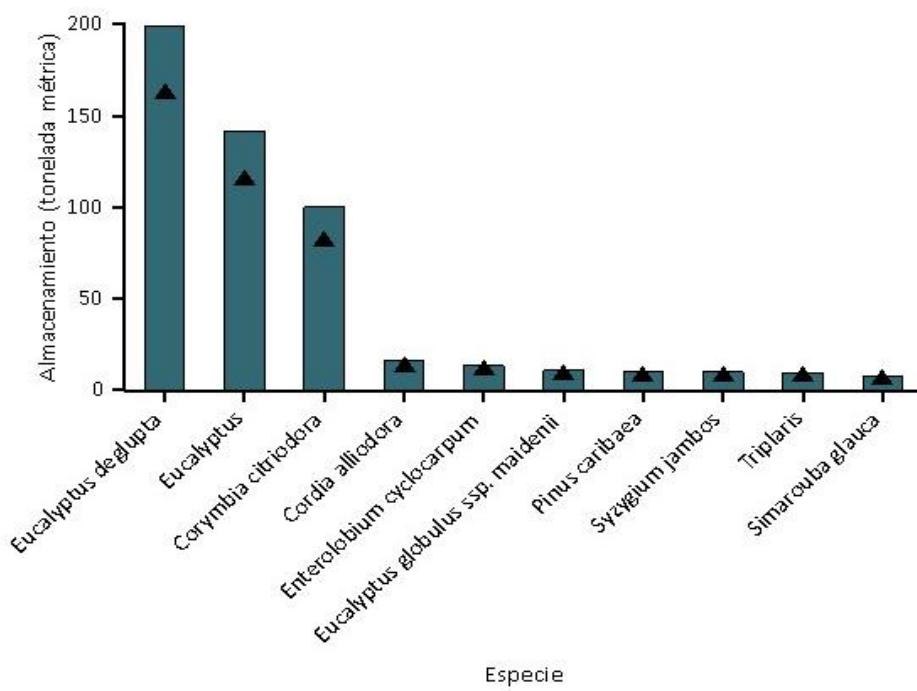


Figura 33 Almacenamiento de carbono de las diez especies más representativas.

Se calcula que los árboles en el parque Maquilishuat almacenan 478 ton de carbono con un valor asociado de \$86,614.17. De las especies reportadas, *Eucalyptus deglupta* almacena y secuestra la mayor cantidad de carbono (aproximadamente 33.9% del total de carbono almacenado y 28.9% de todo el carbono secuestrado) (figura 32). Sin embargo, también las especies que tienen pocos árboles en el parque contribuyen significativamente con el almacenamiento de carbono, tales como *Enterolobium cyclocarpum* y *Triplaris meleanodendrom*, que a pesar de tener pocos arboles (1 y 3, respectivamente), almacenan 11 y 7.70 toneladas métricas, respectivamente.

#### 4.9.5. Producción de oxígeno

La producción de oxígeno es uno de los beneficios de los árboles urbanos más comúnmente citados. El oxígeno neto anual que produce un árbol está directamente relacionado con la cantidad de carbono secuestrado por el árbol, la cual está vinculada con la acumulación de biomasa.

Se calcula que los árboles en el parque Maquilishuat producen 62.6 toneladas métricas de oxígeno al año. Sin embargo, este beneficio de los árboles es relativamente insignificante debido a la gran y relativamente estable cantidad de oxígeno en la atmósfera y extensa producción por los sistemas acuáticos. Nuestra atmósfera tiene una enorme reserva de oxígeno. Si se consumieran todas las reservas de combustibles fósiles, todos los árboles y toda la materia orgánica en el suelo, el oxígeno de la atmósfera sólo se reduciría en un mínimo porcentaje (Broecker ,1970).

Las 19 especies del parque que más producen oxígeno se presentan en el cuadro 11. Se puede observar que los Eucaliptos son los que producen la mayor cantidad de oxígeno, lo cual está relacionado directamente con el número de árboles, la cantidad de área foliar y el secuestro de carbono.

Sin embargo, también las especies que tienen pocos árboles en el parque contribuyen en buena medida con la producción de oxígeno, como por ejemplo *Enterolobium cyclocarpum*, *Tabebuia chrysantha* y *Triplaris meleanodendrom*, que son las que tienen menor cantidad de individuos, pero que están dentro de las más productoras con valores de 0.98 ton, 0.97 ton y 0.78 ton métricas, respectivamente.

Cuadro 13. Principales especies productoras de oxígeno en el parque\*.

Especie	Oxígeno (Ton métrica)	Secuestro neto de carbono (Ton métrica / año)	Número de árboles	Área foliar (ha)
<i>Eucalyptus deglupta</i>	18.38	6.89	204	10.25
<i>Eucalyptus citriodora</i>	14.14	5.30	126	3.59
<i>Eucalyptus spp</i>	12.34	4.63	147	4.02
<i>Syzygium jambos</i>	1.22	0.46	135	1.54
<i>Cordia alliodora</i>	1.16	0.44	84	1.04
<i>Pinus caribaea</i>	1.11	0.41	93	0.72
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	1.10	0.41	9	0.30
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	0.98	0.37	3	0.58
<i>Tabebuia chrysantha</i>	0.97	0.36	3	0.09
<i>Eucalyptus globulus ssp. maidenii</i>	0.93	0.35	9	0.26
<i>Triplaris meleanodendron</i>	0.78	0.29	9	1.23
<i>Simarouba glauca</i>	0.76	0.29	12	0.32
<i>Brahea salvadorensis</i>	0.68	0.26	51	0.07
<i>Syzygium cumini</i>	0.54	0.20	27	0.41
<i>Ficus benjamina</i>	0.50	0.19	144	0.31
<i>Araucaria heterophylla</i>	0.47	0.18	48	0.16
<i>Michelia champaca</i>	0.40	0.15	24	0.13
<i>Tabebuia rosea</i>	0.36	0.13	33	0.20
<i>Spathodea campanulata</i>	0.32	0.12	15	0.42

\*Nota: los datos de este cuadro están referidos a valores estimados para el área total del parque que es de 2.35 ha.

#### 4.9.6. Escurrimiento evitado

El escurrimiento superficial puede ser causa de preocupación en muchas áreas urbanas ya que puede contribuir a la crecida de ríos y arroyos, y generar inundaciones en las partes bajas. Durante los eventos de precipitación, cierta cantidad se ve interceptada por la vegetación (árboles y matorrales) mientras que la otra alcanza el suelo. La cantidad de la precipitación que llega al suelo y no se filtra se vuelve escurrimiento superficial (Hirabayashi 2012). En las áreas urbanas, la gran extensión de superficies impermeables aumenta la cantidad de escurrimiento superficial.

Sin embargo, los árboles y matorrales urbanos son benéficos al reducir el escurrimiento superficial al interceptar la precipitación, mientras que sus sistemas de raíces promueven la infiltración y el almacenamiento en el suelo.

Los árboles del Parque Maquilishuat ayudan a reducir el escurrimiento por 38.4 metros cúbicos al año con un valor asociado de \$85.14. Las diez especies que más contribuyen a ello se muestran en el siguiente gráfico. Como se observa, siempre los géneros *Eucalyptus* y *Syzygium* son las especies que más contribuyen, debido a su mayor número de árboles, mayor tamaño y área foliar.

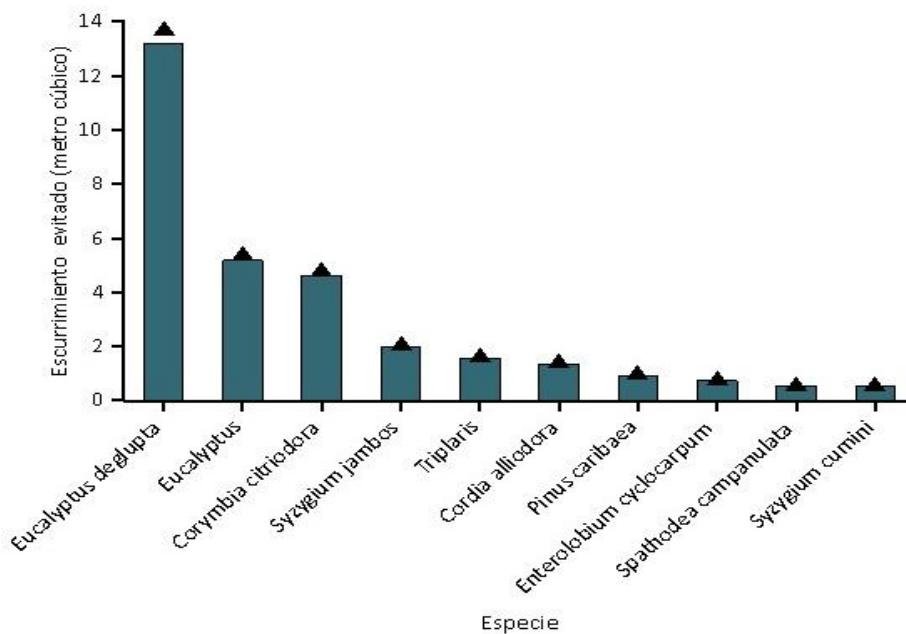


Figura 34. Especies que más contribuyen a evitar el escurrimiento.

Destaca en este caso, *Triplaris meleanodendron* y *Enterolobium cyclocarpum* que, a pesar de ser las especies con menos árboles en el parque, también contribuyen a la reducción de escorrentía, lo que indica que esta condición no depende tanto del número de árboles que existan en un sitio, sino de las características estructurales, principalmente el área foliar y las características de la copa.

#### **4.10. Valores estructurales (sustitución) y funcionales**

Los bosques urbanos tienen un valor de sustitución basado en los mismos árboles (p. ej., el costo de tener que reemplazar un árbol con otro similar); también tienen valores funcionales (ya sea positivos o negativos) basados en las funciones que desempeñan.

El valor de sustitución del bosque urbano tiende a subir cuando aumenta el número y tamaño de los árboles saludables (Nowak et al, 2002a). Los valores funcionales anuales también tienden a aumentar con un mayor número y tamaño de árboles saludables. A través de un manejo adecuado, los valores del bosque urbano pueden aumentarse; sin embargo, los valores y los beneficios también pueden disminuir conforme la cantidad de cobertura de árboles saludables se reduce.

Los árboles urbanos en el parque Maquilishuat tienen los siguientes valores de sustitución:

- Valor de sustitución: \$1,815,944.88
- Almacenamiento de carbono: \$86,614.17

Y presentan los siguientes valores funcionales anuales:

- Secuestro de carbono: \$4,768.70
- Escurrimiento evitado: \$85.14
- Eliminación de la contaminación: \$1,993.11

#### **4.11. Carbono almacenado en el suelo**

##### **4.11.1. Análisis del Carbono Orgánico en Suelo**

En el cuadro 14 presentan los resultados de carbono orgánico almacenado en los primeros 20 cm de suelo, de las 20 parcelas distribuidas en el área de estudio.

Cuadro 14. Estimación de carbono almacenado en suelo en porcentaje y miligramos por hectárea (mg/ha-1).

CÓD. MX	CARBONO (%)	Carbono (mg/ha-1)	CÓD. MX	CARBONO (%)	Carbono (mg/ha-1)
PM01	9.28	201.04	PM11	8.65	134.40
PM02	9.17	184.86	PM12	9.58	144.38
PM03	9.20	165.22	PM13	10	201.35
PM04	9.67	202.63	PM14	9.44	178.85
PM05	9.87	217.97	PM15	9.08	180.41
PM06	9.09	209.37	PM16	9.39	176.09
PM07	9.69	184.80	PM17	10.1	197.13
PM08	8.78	172.64	PM18	9.39	162.54
PM09	10.1	26.53	PM19	9.87	161.72
PM10	9.59	199.85	PM20	9.46	179.34

Durante la evaluación de las muestras de suelo recolectadas, se analizaron 20 puntos de muestreo con el objetivo de determinar el porcentaje de Carbono Orgánico Total (TOC) presente en la capa superficial del suelo, expresado en base seca. Los resultados obtenidos evidencian una alta concentración de carbono, con valores que oscilan entre 8.65 % y 10.10 %.

El valor más bajo, registrado en una de las muestras, fue de 8.65 %, mientras que el más alto alcanzó el 10.10 %, repitiéndose este valor en dos puntos distintos. Esta distribución indica una alta uniformidad y estabilidad en la calidad del suelo, ya que todos los valores se mantienen dentro de un rango estrecho y elevado.

#### 4.11.2. Análisis comparativo por Parcelas

A partir del cálculo del contenido de carbono orgánico expresado en Mg/ha, se observaron variaciones importantes entre parcelas, asociadas principalmente a las condiciones de cobertura vegetal, tipo de suelo y topografía (fig. 35).



Figura 35. Carbono almacenado ( $\text{mg}/\text{ha}^{-1}$ ) en las parcelas delimitadas dentro del área de estudio.

Parcela 5 (PM05) presentó el valor más alto de carbono orgánico con 217.97 Mg/ha. Esta parcela destaca por su cobertura arbórea del 100%, presencia de arbustos, espacio para plantar y 31 árboles distribuidos en el área.

Le siguen la Parcela 6, con 209.37 Mg/ha, y la Parcela 4, con 202.63 Mg/ha, ambas también con alta cobertura arbórea y una importante presencia de árboles (28 y 30 árboles, respectivamente). Estas condiciones estructurales probablemente favorecen la acumulación de materia orgánica en la capa superficial del suelo.

Parcelas como la 1, 13 y 17 registraron valores medios de carbono orgánico, con 201.04, 201.35 y 197.13 Mg/ha, respectivamente.

Estas muestran coberturas arbóreas entre el 70% y el 90%, combinadas con una variedad de coberturas superficiales como grama mantenida, compostada, suelo descubierto, malezas y áreas encementadas.

La Parcela 13, por ejemplo, contiene solo 17 árboles de 7 especies distintas, con alturas entre 3.6 m y 46.8 m, y diámetros de 3.8 cm a 59.7 cm.

En contraste, la Parcela 1 cuenta con 32 árboles de 5 especies, y la Parcela 17 con 28 árboles de 7 especies, mostrando una mayor diversidad estructural arbórea, lo cual puede explicar los valores ligeramente más altos respecto a PM13.

La Parcela 9 mostró el valor más bajo, con apenas 26.53 Mg/ha de carbono orgánico. A pesar de contar con una cobertura arbórea del 100% y 29 árboles, más del 50% de su área está en zona de ladera, lo que limita la acumulación de hojarasca y su retención en el estrato superficial del suelo.

Otra parcela con valores bajos fue la Parcela 11, con 134.40 Mg/ha, la cual presenta un 85% de cobertura arbórea, pero una cobertura superficial fragmentada: 15% de área encementada, 10% de suelo descubierto, 35% de grama mantenida, 5% de compost y 35% de malezas. Esta heterogeneidad y cobertura artificial puede reducir la tasa de incorporación de residuos orgánicos al suelo. La figura 34 se Al analizar las características de las parcelas, se determinó que la parcela 5 (PM05) presenta el valor más alto de carbono orgánico por hectárea con un valor de 217.97 mg/ha-1. Esta tenía una cobertura arbórea del 100% y una proporción significativa de espacio a plantar y cobertura de arbustos, con 31 árboles presentes.

El promedio general de TOC en el conjunto de muestras fue de aproximadamente 9.45 %, equivalente a 183.72 Mg de carbono por hectárea, lo que implica una reserva de carbono orgánico de gran magnitud. Esto convierte al área en:

- Un sumidero de carbono relevante desde el punto de vista climático.
- Una zona de interés para programas de conservación y agricultura sostenible.

En general, los niveles más altos de carbono orgánico en el suelo indican una mayor calidad y salud del suelo, ya que el carbono orgánico desempeña un papel crucial en la fertilidad, la retención de nutrientes, la estructura del suelo y la actividad biológica, lo cual mejora la productividad y la sostenibilidad de un ecosistema.

#### 4.11.3. Equivalencia en dióxido de carbono

Uno de los aspectos más relevantes del análisis del carbono orgánico en suelo es su conversión a dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>-eq), lo cual permite visualizar su impacto en términos de cambio climático. En este caso, los suelos evaluados presentan un valor

promedio de 673.63 megagramos (Mg) de CO<sub>2</sub> equivalente por hectárea, lo que representa una reserva significativa de carbono secuestrado en los primeros 20 cm del perfil del suelo.

Este valor no solo es alto desde el punto de vista agronómico, sino que también posee una implicación climática y ambiental crítica. Si este carbono llegase a liberarse producto de degradación, deforestación, cambios en el uso del suelo o manejo inadecuado, podría convertirse directamente en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), contribuyendo al calentamiento global. Por ello, conservar este carbono en el suelo equivale a evitar la emisión de cientos de toneladas de CO<sub>2</sub> por hectárea, lo que lo convierte en un recurso estratégico en contra el cambio climático.

## 5. CONCLUSIONES

La composición florística del parque Maquilishuat está integrada por 32 familias, 55 géneros y 65 especies. El 86.15% de las especies son árboles, el 4.61% son arbustos y el 9.20% son palmeras. Del total de especies encontradas, el 53.8% son nativas y el 46.2% son exóticas.

La familia con el mayor número de individuos fue Myrtaceae con 241 árboles y dentro de ésta, las más dominantes son del género *Eucalyptus* con 166 árboles, y *Syzygium jambos* con 45.

Las especies nativas como *Cedrela odorata*, *Dendropanax arboreus*, *Sideroxylon capiri*, son muy importantes por su estado de conservación, y se encuentran muy pocos árboles en el parque se consideran remantes de los ecosistemas existentes antes de la urbanización.

Las especies arbustivas no tienen mayor predominancia dentro de la vegetación encontrada en el parque, únicamente se encontraron 3 especies: *Jacquina aurantiaca*, *Dracaena marginata* y *Cnidoscolus aconitifolius*, con 6 y 1 individuos, respectivamente.

Las especies dominantes y con mayor distribución en el parque fueron *Eucalyptus deglupta*, *Syzygium jambos*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus spp*, *Araucaria heterophylla* y *Tecoma stans*.

*Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus spp* y *Eucalyptus citriodora*, a pesar de tener valores altos de IVI, 56.86, 26.57 y 22.32 respectivamente, no significa que son de las más importantes y que deben mantenerse siempre en el bosque. Debe evaluarse su condición fisiológica para tomar la mejor decisión de manejo, en función del riesgo que representen para los usuarios.

El 47% de los árboles del parque, están en el rango de 1 a 10 metros de altura distribuido en 27 familias, predominando Myrtaceae con 59 individuos, Moraceae con 47 individuos y Arecaceae con 45 individuos.

El mayor número de individuos, aproximadamente el 72.2%, se encuentran en las primeras tres clases diamétricas, de 2.5 hasta 30.5 cm de diámetro a la altura del pecho.

Los árboles con diámetros más altos fueron *Enterolobium cyclocarpum*, *Eucalyptus deglupta* y *Eucalyptus sp*, con 107.4 cm, 78.2 cm y 69.5 cm, respectivamente.

El área de estudio tiene una riqueza de especies muy buena a pesar de encontrarse en una zona urbana y altamente desarrollada.

Al momento de realizar el estudio, se encontraron 7 árboles ubicados en la categoría de preocupación critica para la seguridad de los usuarios del parque, debido a su condición fisiológica, 2 de *Eucalyptus deglupta*, 1 de *Eucalyptus globulus ssp Maidenii*, 1 de *Cordia alliodora* y 3 de *Eucalyptus spp.*

El contaminante que más eliminan los árboles es el ozono (151.2 kg) con un valor asociado de \$872.60 dólares/año.

Todos los árboles registrados eliminaron 199.5 kg por año del resto de los contaminantes (ozono, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, material particulado menor a 2.5 micrones y dióxido de sulfuro) con un valor asociado de \$1,993.11.

En 2020, los árboles en Parque Maquilishuat emitieron aproximadamente 1.078 toneladas métricas de los compuestos orgánicos volátiles (0.5159 ton de isopreno y 0.5621 ton de monoterpenos).

Las especies que mas eliminan contaminantes son *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus spp.* y *Eucalyptus citriodora*, mientras que *Syzygium cumini* es la que menos elimina.

El arbolado del parque Maquilishuat tiene un secuestro de carbono de 26.27 toneladas métricas por año, almacena 478 ton de carbono y produce 62.6 toneladas métricas de oxígeno al año.

El costo de sustitución del arbolado como activo estructural es de \$1,815,944.88 y por el almacenamiento de carbono es de \$86,614.17.

Los valores asociados desde el punto de vista funcional son: secuestro de carbono de \$4,768.70, escurrimiento evitado de \$85.14 y eliminación de la contaminación de \$1,993.11.

En general, se estima que el CO<sub>2</sub> fijado en los primeros 20 cm del perfil de suelo es de 673.63 megagramos (Mg) de CO<sub>2</sub> equivalente por hectárea.

## 6. RECOMENDACIONES

Se debe hacer una evaluación técnica de algunos árboles principalmente de los Eucaliptos, ya que, por su altura y condición fisiológica, representan riesgo para los usuarios del parque, porque puede ser derribados por los vientos.

Se recomienda hacer una evaluación de los árboles que se encuentran en la zona perimetral del parque sobre la Avenida El Almendro y 87<sup>a</sup> Avenida Sur, ya que, por su altura y condición fisiológica, pueden ser derribados y causar daños en las viviendas aledañas, vehículos e incluso a las personas que circulan por la zona.

Realizar un mantenimiento permanente para mejorar la cobertura y salud de los árboles con lo que se aumentará también la eliminación de la contaminación.

Las municipalidades deben mejorar e incrementar el arbolado urbano por todos los beneficios ambientales, sociales y económicos que éstos generan para la salud humana y calidad ambiental.

Para obtener mejores resultados en cuanto a los servicios ecosistémicos y valores económicos que genera el arbolado urbano en general, se recomienda a las instituciones públicas responsables del monitoreo y registro climático del país, que actualicen las estaciones existentes en las ciudades o cerca de éstas, con mediciones continuas y sistematizadas de las variables de contaminación y clima, y que se faciliten oportunamente y sin costo para la realización de este tipo de investigaciones por parte de la academia.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía Municipal de San Salvador. 2010. Microplan de ordenamiento urbano para la zona Maquilishuat (en línea). El Salvador. Consultado 10 de ene. 2020. Disponible en: [http://www.sansalvador.gob.sv/phocadownload/gestionestrategia/planes\\_municipal/microplan\\_maquilishuat.pdf](http://www.sansalvador.gob.sv/phocadownload/gestionestrategia/planes_municipal/microplan_maquilishuat.pdf)

Áreas verdes y arbolado urbano. 2012. Bosque urbano (en línea). Consultado 8 de ene. 2020. Disponible en: <http://areasverdesyarboladourbano.com.mx/beneficios-antropocentricos/>

Arenas, M. 2017. Qué son los servicios ecosistémicos (en línea). Madrid, España. Consultado 25 de jul. 2019. Disponible en: <https://www.restauraciondeecosistemas.com/que-son-los-servicios-ecosistemicos/>

Biosistemas. 2017. Evaluación ambiental componente de transformación del parque Cuscatlán (en línea). San Salvador, El Salvador. Consultado 10 de enero de 2020. Disponible en: [https://issuu.com/mayuferrufino/docs/ea\\_parque\\_cuscatla\\_n\\_espanol\\_tod?fbclid=IwAR3PdD50dswGwYdG0U\\_oJLkb7IM5MzBoVXDMXJ6Q0wIF63GG0-NrNrczzeo](https://issuu.com/mayuferrufino/docs/ea_parque_cuscatla_n_espanol_tod?fbclid=IwAR3PdD50dswGwYdG0U_oJLkb7IM5MzBoVXDMXJ6Q0wIF63GG0-NrNrczzeo)

Cartagena Reyes MA; Lara Carrillo, ZM y Mejía Moreno, LA. 2004. Consecuencias jurídicas de la deficiente administración de zonas verdes pertenecientes al municipio de San Salvador (en línea). Tesis Lic. Universidad de El Salvador 136p. Consultado 10 de enero de 2020. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/6788/1/CONSECUENCIAS%20JURIDICAS%20DE%20LA%20DEFICIENTE%20ADMINISTRACION%20DE%20ZONAS%20VERDES%20PERTENECIENTE%20A%20LA%20MUNICIPALIDAD%20DE.pdf>

CDB (Convenio sobre la Diversidad Biológica de las Naciones Unidas) (2009). Relación entre la Diversidad Biológica y la Mitigación y Adaptación al Cambio Climático: Mensajes Importantes del Informe del Segundo grupo especial de expertos técnicos sobre diversidad biológica y cambio climático (en línea). Consultado 20 jul. 2019. Disponible en: <https://www.cbd.int/>

COAMSS; OPAMSS (Consejo de alcaldes y Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador) Sf. Estatutos de la oficina de planificación del área Metropolitana de San

Salvador (en línea). Consultado 20 jul. 2019. Disponible en:  
<http://observatorio.vivienda.gob.sv/>

Cortés Sánchez, RB; García, AL y Pacas Ramos, DA., 2010. Diseño de un plan de negocios para la creación de una agencia turística en el municipio de San Salvador con el propósito de ofrecer paquetes personalizados para satisfacer y promover la salud física, mental y emocional de los clientes. (en línea). San Salvador, El Salvador. Consultado 12 ene. 2020. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/273/1/10136381.pdf>

CoST El Salvador. 2017. Perfil del sector construcción y obra civil en El Salvador (en línea). Consultado 10 de enero de 2020. Disponible en: <http://costelsalvador.org.sv/wp-content/uploads/2018/03/Perfil-del-sector-de-la-construccion.pdf>

De la Concha, H. 2016. i-Tree ECO manual de toma de datos, versión en español. (en línea). Consultado 25 de jul. 2019. Disponible en: [https://www.itreetools.org/documents/190/03\\_Manual\\_de\\_campo\\_para\\_toma\\_de\\_datos\\_i-Tree\\_ECO.pdf](https://www.itreetools.org/documents/190/03_Manual_de_campo_para_toma_de_datos_i-Tree_ECO.pdf)

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 2019. Servicios ecosistémicos y biodiversidad (en línea). Consultado 25 de jul. 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>

Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010). Resilience thinking integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*, 15(4), 20 (en línea). Consultado 10 sep. 2019. Disponible en: (PDF) Pensamiento de resiliencia: integración de resiliencia, adaptabilidad y transformabilidad

Fundación mi parque, Chile. 2012. La gran diferencia de metros cuadrados de áreas verde por persona en Latinoamérica. (en línea). Consultado 20 jul. 2019. Disponible en: <https://www.miparque.cl/la-gran-diferencia-de-m2-de-areas-verde-por-persona-en-latinoamerica/>

Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. 2007. Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. *Built Environment*, 33(1), 115–133 (en línea). Consultado 10 sep. 2019. Disponible en: (PDF) Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure

Herrán, C. 2012. El cambio climático y sus consecuencias para América Latina (en línea). Consultado 10 sep. 2019. Disponible en: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/la-energiyclima/09164.pdf>

IAIP (Instituto de Acceso a la Información Pública) Sf. Política de desarrollo urbano y territorial (en línea). Consultado 20 jul. 2019. Disponible en: <https://www.transparencia.gob.sv/search?utf8=%E2%9C%93&ft=politica+de+desarrollo+urbano+y+territorial>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge University Press (en line, sitio web). Consultado 10 sep. 2019. Disponible en: IE5 Cambio Climático 2014: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad — IPCC

i-Tree®. 2006. Guía Eco de proyectos internacionales (en línea). Consultado 20 enero de 2021. Disponible en: InternationalProjects.2021.04.08.pdf

Kabisch, N., & Haase, D. 2014. Green justice or just green? Provision of urban green spaces in Berlin, Germany. *Landscape and Urban Planning*, 122, 129–139 (en línea). Consultado 10 sep. 2019. Disponible en: Sci-Hub || 10.1016/j.landurbplan.2013.11.016

Lungo, M y Baires, S. 1996. San Salvador: crecimiento urbano, riesgos ambientales y desastres (en línea). Consultado 10 de enero de 2020. Disponible en: <https://www.desenredando.org/public/libros/1996/cer/old/html/8cap8.htm>

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2021. Manual de campo: diseño de parcela y medición de variables de sitio y dasométricas. *Inventario Nacional de Bosque* (en línea). Consultado 5 de dic. 2021. Disponible en: <https://cidoc.marn.gob.sv/documentos/manual-de-campo-diseno-de-parcela-y-medicion-de-variables-de-sitio-y-dasometricas-inventario-nacional-de-bosque-de-el-salvador-2017-2018/>

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales), CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático) 2018. Tercera Comunicación de Cambio Climático de El Salvador (en línea). Consultado 10 sep. 2019. Disponible en: [https://www.undp.org/content/dam/el\\_salvador/docs/envenerg/UNDP\\_SV\\_TCNCC\\_2018.pdf](https://www.undp.org/content/dam/el_salvador/docs/envenerg/UNDP_SV_TCNCC_2018.pdf)

Nowak, D. J., & Crane, D. E. 2002. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, 116(3), 381–389 (en line, sitio web). Consultado 10 sep. 2019. Disponible en: (PDF) Nowak DJ y Crane DE, . Almacenamiento y secuestro de carbono por árboles urbanos en los EE. UU. Contaminación ambiental

Nowak, D. J., & Dwyer, J. F. 2007. Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. In Kuser, J. E. (Ed.), *Urban and Community Forestry in the Northeast* (pp. 25-46). Springer. Disponible en: (PDF) Comprender los beneficios y costos de los ecosistemas forestales urbanos

ONU (Organización de las Naciones Unidas) 1992. Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (en línea). Consultado 10 sep. 2019. Disponible en: [https://unfccc.int/files/essential\\_background/background\\_publications\\_htmlpdf/application/pdf/convsp.pdf](https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/convsp.pdf)

ONU (Organización de las Naciones Unidas) 2016. Los espacios verdes: un recurso indispensable para lograr una salud sostenible en las zonas urbanas (en línea). Consultado 10 sep. 2019. Disponible en: <https://www.un.org/es/chronicle/article/los-espacios-verdes-un-recurso-indispensable-para-lograr-una-salud-sostenible-en-las-zonas-urbanas>

ONU (Organización de las Naciones Unidas, Estados Unidos). 2018. Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo (en línea). Nueva York, Estados Unidos de América. Consultado 8 de ene. 2020. Disponible en: <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>

ONU-Hábitat (Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos). 2016. Guía para el diseño y gestión de espacios verdes urbanos (en línea). Nueva York, Estados Unidos de América. Consultado 8 de ene. 2021. Disponible en: [https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/06/guia\\_global\\_ep.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/06/guia_global_ep.pdf)

OPAMSS (Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador). 2016. Indicadores Metropolitanos (en línea). El Salvador. Consultado 10 de enero de 2020. Disponible en: <http://observatoriometropolitano.org.sv/observatorio/>

OPS (Organización Panamericana de la Salud). 2015. El Salvador (en línea). Consultado 10 de enero de 2020. Disponible en: [https://www.paho.org/salud-en-las-americas-2017/?post\\_t\\_es=el-salvador&lang=es](https://www.paho.org/salud-en-las-americas-2017/?post_t_es=el-salvador&lang=es)

OXFAM (Oxford Committee for Famine Relief, International), 2010. Adaptación al cambio climático Capacitar a las personas que viven en la pobreza para que puedan adaptarse (en línea). Consultado 10 sep. 2019. Disponible en: [https://oi-files-d8-prod.s3.eu-west-2.amazonaws.com/s3fs-public/file\\_attachments/cambio-climatico-adaptacion-resumen-abr2010\\_3.pdf](https://oi-files-d8-prod.s3.eu-west-2.amazonaws.com/s3fs-public/file_attachments/cambio-climatico-adaptacion-resumen-abr2010_3.pdf)

IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales), 2012. Adaptación basada en ecosistemas: una respuesta al cambio climático (en línea). Consultado 22 jul. 2019. Disponible en: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2012-004.pdf>

Velasco, E; Cortés, E; González, A; Moreno, F; Benavides, H. 2018. Diagnóstico y caracterización del arbolado del bosque de San Juan de Aragón (en línea). Revista Mexicana de Ciencias Forestales. Consultado 8 de ene. 2020. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322013000500009](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322013000500009)

## 8. ANEXOS

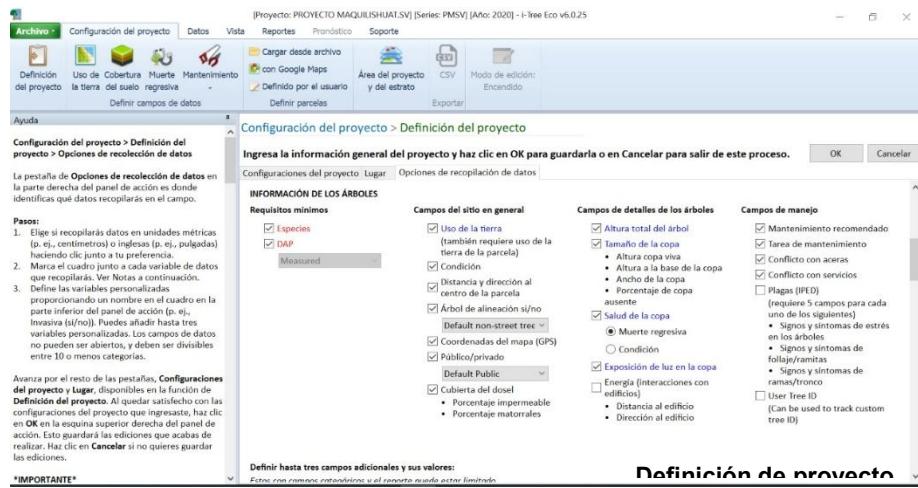
### A- 1. Procesamiento y creación de base de datos en Microsoft Excel.

### A- 2. Revisión de especies arbóreas con la base de datos de especies registradas en el software

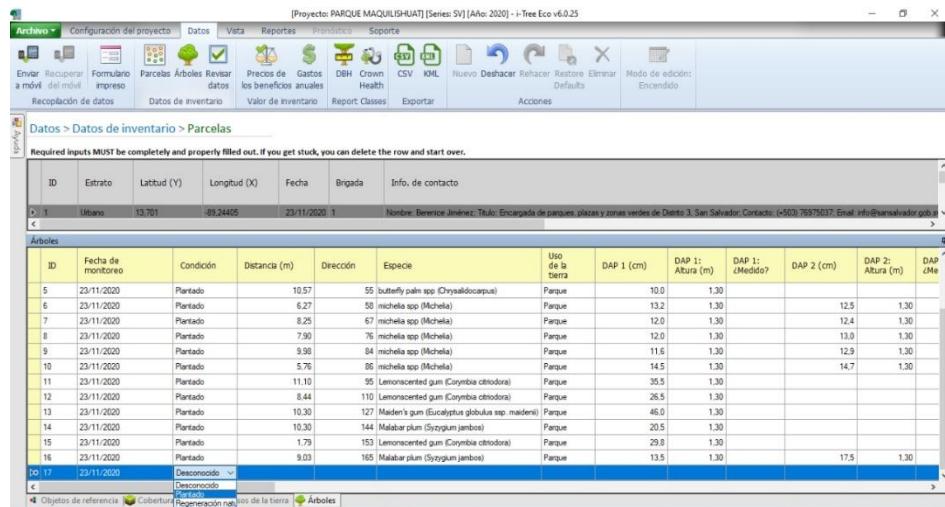
#### Revisión de base de datos iTree

#### Revisión de sinonimias de especies arbóreas en página web tropicos.org

### A- 3. Configuración de proyecto.



### A- 4. Procesamiento de datos al software iTree Eco<sup>V6</sup>.



## A- 5. Envío de proyecto.

**Información de contacto**

Proyecto: (PARQUE MAQUILISHUAT, SV. 2020)

Nombre: Julia Medina Márquez

Domicilio: San Salvador, El Salvador

Tel.: (503) 762-41135 ext. \_\_\_\_\_

Correo-e: med.marquez@outlook.com

Confirmar: med.marquez@outlook.com

Notas:

Proyecto de investigación por estudiantes de Ing. Agronomía de la Universidad de El Salvador. Con el fin preliminar para el proceso de nacionalización de software en el país. El inventamiento de campo fue realizado por Salomon Saravia, William Paredes y Julia Medina. Los datos procesados fue realizado por William Paredes y Julia Medina.

OK Cancelar

Al hacer clic en el botón de **Enviar datos para procesar**, la configuración de tu proyecto y los datos de campo se enviarán al servidor de i-Tree donde se correrá el modelo Eco.

**Pasos:**

1. En la ventana de **Información de contacto**, ingresa tu información personal en los espacios correspondientes.
2. Para confirmar tu correo electrónico, ingresa la misma dirección de correo electrónico en el espacio de "Email" y "Confirmar". Esta información es crucial.
3. Clic en **OK**.

Por favor ten paciencia, el tiempo para procesar el modelo depende del número de proyectos que se han enviado recientemente al servidor así como el tamaño de tu proyecto. Puedes hacer clic en **Localizar y recuperar resultados** para localizar tu estado en la caja.

Al finalizar de procesar tus datos, recibirás un correo electrónico automático a la cuenta que proporcionaste en la sección de **Información de contacto** avisándote que los resultados están listos para descargarse. Este correo proviene de info@itreethools.org, si no recibiste el correo electrónico por favor revisa tus carpetas de basura. Al mismo, se te

## A- 6. Análisis de información y resultados



## A-7. Resultados de porcentaje de carbono de laboratorio de Química Agrícola.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA



### INFORME DE RESULTADOS DE ANALISIS

**Identificación de muestra:** Muestras de suelo Parque Maquilishuat, SS  
**Código Interno:** MXI-PM  
**Nombre del Cliente:** William Daniel Paredes Cruz (Estudiante carnet PC08017)  
**Ánálisis solicitado:** Carbono Orgánico Total (TOC)  
**Fecha de recepción:** 24/11/2021  
**Fecha de análisis:** 29/11/2021

Determinación	*Resultados			Metodología de Análisis	
	Muestra		Unidades		
	Suelo				
Carbono Orgánico	9.28	9.17	%	TOC	
	<b>PM03</b>	<b>PM04</b>			
Carbono Orgánico	9.2	9.67	%	TOC	
	<b>PM05</b>	<b>PM06</b>			
Carbono Orgánico	9.87	9.09	%	TOC	
	<b>PM07</b>	<b>PM08</b>			
Carbono Orgánico	9.69	8.78	%	TOC	
	<b>PM09</b>	<b>PM10</b>			
Carbono Orgánico	10.1	9.59	%	TOC	
	<b>PM11</b>	<b>PM12</b>			
Carbono Orgánico	8.65	9.58	%	TOC	
	<b>PM13</b>	<b>PM14</b>			
Carbono Orgánico	10	9.44	%	TOC	
	<b>PM15</b>	<b>PM16</b>			
Carbono Orgánico	9.08	9.39	%	TOC	
	<b>PM17</b>	<b>PM18</b>			
Carbono Orgánico	10.1	9.39	%	TOC	
	<b>PM19</b>	<b>PM20</b>			
Carbono Orgánico	9.87	9.46	%	TOC	

\*Resultados expresados en base seca. Se conservó código de muestras dado por el usuario

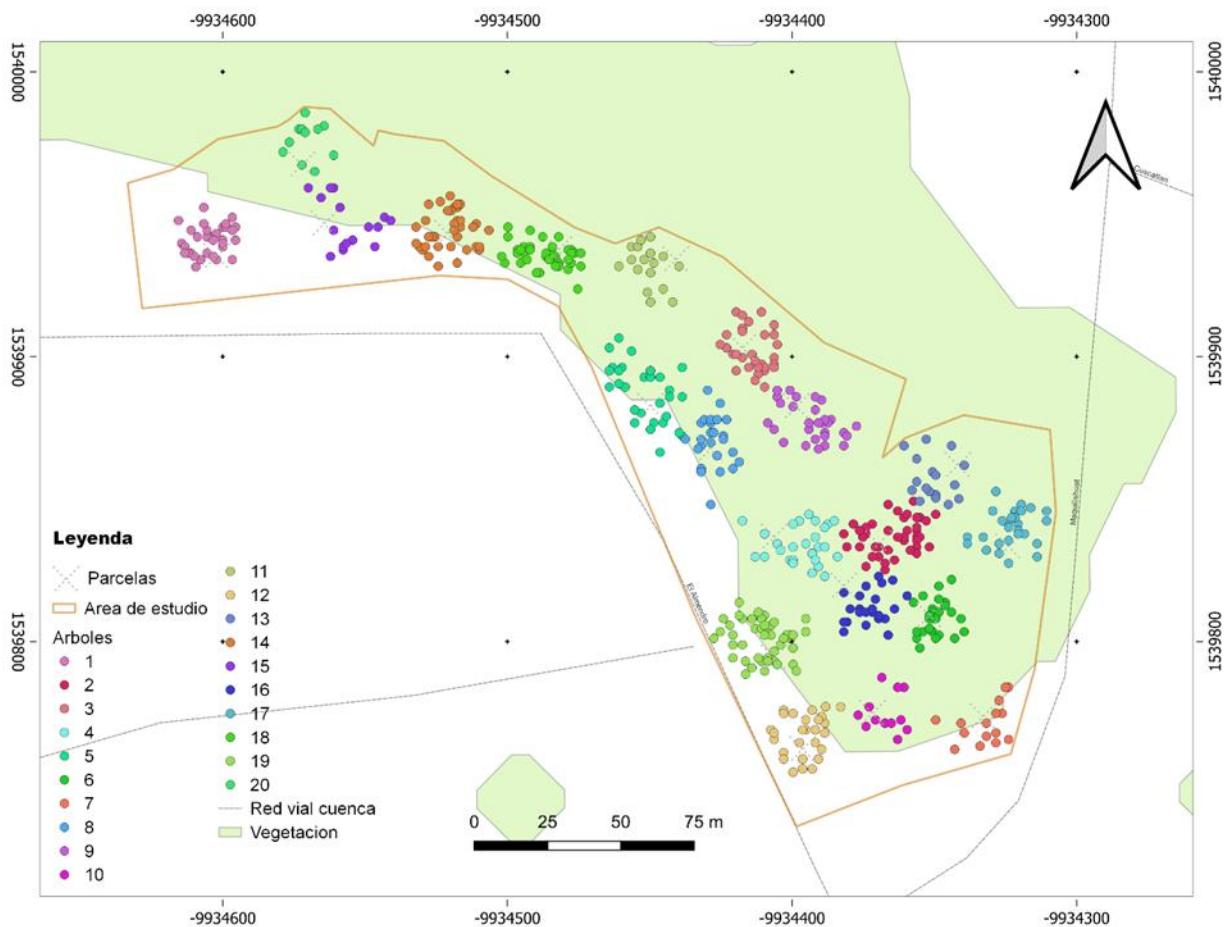
Fecha de elaboración de informe: 12-12-2021

"HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA"

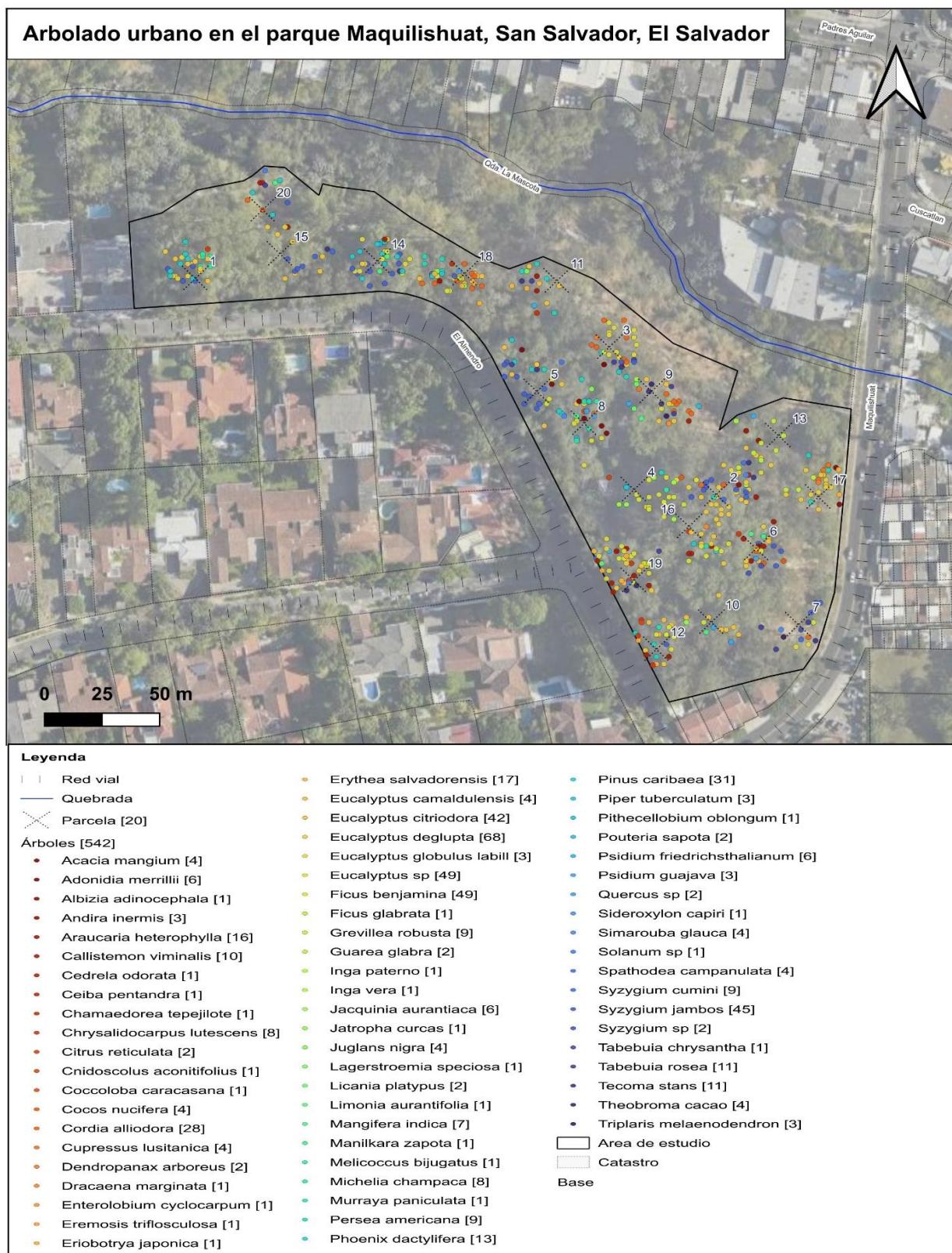
  
Lic. Emerson Gustavo Martínez Hernández  
Jefe del Departamento de Química Agrícola



A-8. Distribución espacial de árboles inventariados en Parque Maquilishuat



A-9. Arbolado urbano en Parque Maquilishuat, San Salvador.



## A-10. Resultados de laboratorio de carbono fijado en suelo.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA MUESTRAS DE SUELO PARQUE MAQUILISHUAT, SAN SALVADOR										
 										
<b>1. OBJETIVO:</b> MXI (Investigación)										
<b>2. INFORMACIÓN GENERAL DE MUESTRAS</b>										
Código	PMxH. (g)	Peso recipiente (g)	Peso total (g)	PMxS./caja (g)	PMxS (g)	Muestras TOC (g)	Carbono(%)	Da (g/cm <sup>3</sup> )	Carbono suelo (mg)	CS (mg/ha)
P1	500	18.18	518.18	422.87	404.69	15.40	9.28	1.08	0.0201	201.04
P2	500	17.64	517.64	461.70	444.06	15.10	9.17	1.01	0.0185	184.86
P3	500	17.70	517.70	490.56	472.86	15.90	9.20	0.90	0.0165	165.23
P4	500	18.00	518.00	410.83	392.83	15.30	9.67	1.05	0.0203	202.64
P5	500	18.02	518.02	435.64	417.62	15.30	9.87	1.10	0.0218	217.98
P6	500	18.14	518.14	405.13	386.99	16.00	9.09	1.15	0.0209	209.38
P7	500	17.83	517.83	462.79	444.96	15.70	9.69	0.95	0.0185	184.80
P8	500	17.82	517.82	486.76	468.94	15.50	8.78	0.98	0.0173	172.64
P9	500	17.82	517.82	450.72	432.90	15.10	10.10	1.02	0.0207	207.00
P10	500	17.52	517.52	452.42	434.90	15.50	9.59	1.04	0.0200	199.86
P11	500	17.81	517.81	439.13	421.32	15.70	8.65	0.78	0.0134	134.40
P12	500	18.07	518.07	430.57	412.50	15.60	9.58	0.75	0.0144	144.38
P13	500	18.02	518.02	424.57	406.55	15.20	10.00	1.01	0.0201	201.36
P14	500	18.05	518.05	368.25	350.20	15.70	9.44	0.95	0.0179	178.85
P15	500	17.75	517.75	451.57	433.82	15.90	9.08	0.99	0.0180	180.42
P16	500	17.96	517.96	411.48	393.52	15.50	9.39	0.94	0.0176	176.10
P17	500	18.01	518.01	459.14	441.13	15.00	10.10	0.98	0.0197	197.13
P18	500	17.57	517.57	479.74	462.17	15.60	9.39	0.87	0.0163	162.54
P19	500	18.20	518.20	465.32	447.12	15.30	9.87	0.82	0.0162	161.72
P20	500	17.75	517.75	450.89	433.14	15.30	9.46	0.95	0.0179	179.34