



## **NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN:**

Determinación de la composición, estructura y servicios ecosistémicos del arbolado urbano en el parque Maquilishuat, San Salvador, El Salvador

**AUTORES:** Medina-Márquez JM.<sup>1</sup>, Paredes-Cruz WD.<sup>1</sup>, Castaneda- Romero LF.<sup>2</sup>, Arias-de Linares YA.<sup>3</sup>, Tejada-Asencio JM.<sup>4</sup>, Zelaya-Alegría L.<sup>5</sup>.

## **RESUMEN.**

El presente estudio tuvo como objetivo analizar la composición, estructura y servicios ecosistémicos del arbolado urbano en el parque Maquilishuat, ubicado en San Salvador, mediante un diseño de muestreo aleatorio simple aplicado en 20 parcelas.

Utilizando el programa i-Tree Eco v6, se realizaron evaluaciones cuantitativas y cualitativas para determinar las características del arbolado en términos de captura de carbono, eliminación de contaminantes atmosféricos y otros beneficios ecológicos. Los resultados revelaron una alta diversidad florística, con 542 individuos registrados, distribuidos en 65 especies de árboles, arbustos y palmeras. La familia más representada fue Myrtaceae, destacando especies como *Eucalyptus spp.* y *Syzygium jambos*.

En relación con la captura aérea de carbono, se estimó una absorción de aproximadamente 26.27 toneladas métricas de carbono por año, mientras que el almacenamiento total acumulado alcanzó las 478 toneladas métricas de carbono. Estos valores evidencian el papel fundamental del arbolado en la mitigación del cambio climático y la mejora de la calidad ambiental urbana.

Complementariamente, se incorporó un análisis del carbono orgánico en el suelo, mediante el estudio fisicoquímico de muestras tomadas en las mismas parcelas. A partir de 20 muestras superficiales (0–20 cm), se determinó un contenido promedio de carbono en suelo de 183.08 Mg/ha, lo que equivale a 673.63 Mg de CO<sub>2</sub> equivalente por hectárea. Esta reserva subterránea representa una importante fuente de carbono almacenado que refuerza la capacidad del parque para contribuir a la resiliencia climática y la estabilidad ecológica del entorno urbano.

La integración de ambos componentes arbolado y suelo permite una visión integral y complementaria del valor del parque Maquilishuat como infraestructura verde urbana, resaltando su rol en la captura de carbono, la conservación de la biodiversidad, la regulación climática y la promoción de entornos saludables.

**Palabras clave:** carbono orgánico en suelo, captura de carbono, infraestructura verde, resiliencia climática, i-Tree Eco.

---

1 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Estudiante Tesista.

2 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Asesor de Tesis.

3 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Asesor de Tesis.

4 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Química Agrícola, Asesor de Tesis.

5 Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Asesor de Tesis.

**RESEARCH TITLE:**

Determination of the Composition, Structure, and Ecosystem Services of Urban Trees in Maquilishuat Park, San Salvador, El Salvador

**AUTHORS:** Medina-Márquez JM.<sup>1</sup>, Paredes-Cruz WD.<sup>1</sup>, Castaneda-Romero LF.<sup>2</sup>, Arias-de Linares YA.<sup>3</sup>, Tejada-Asencio JM.<sup>4</sup>, Zelaya-Alegría L.<sup>5</sup>

**ABSTRACT**

The objective of this study was to analyze the composition, structure and ecosystem services of urban trees in the Maquilishuat park, located in San Salvador, through a simple random sampling design applied in 20 plots.

Using the i-Tree Eco v6 program, quantitative and qualitative assessments were conducted to determine the characteristics of the trees in terms of carbon sequestration, removal of air pollutants, and other ecological benefits. The results revealed a high floristic diversity, with 542 individuals recorded, distributed in 65 species of trees, shrubs and palms. The most represented family was Myrtaceae, highlighting species such as *Eucalyptus spp.* and *Syzygium jambos*.

In relation to aerial carbon capture, an absorption of approximately 26.27 metric tons of carbon per year was estimated, while total accumulated storage reached 478 metric tons of carbon. These values show the fundamental role of trees in mitigating climate change and improving urban environmental quality.

In addition, an analysis of organic carbon in the soil was incorporated, through the physicochemical study of samples taken in the same plots. From 20 surface samples (0–20 cm), an average soil carbon content of 183.08 Mg/ha was determined, which is equivalent to 673.63 Mg CO<sub>2</sub> equivalent per hectare. This underground reservoir represents an important source of stored carbon that strengthens the park's ability to contribute to climate resilience and the ecological stability of the urban environment.

The integration of both components of trees and soil allows for a comprehensive and complementary vision of the value of Maquilishuat Park as an urban green infrastructure, highlighting its role in carbon sequestration, biodiversity conservation, climate regulation and the promotion of healthy environments.

**Keywords:** organic carbon in soil, carbon sequestration, green infrastructure, climate resilience, i-Tree Eco.

## 1. INTRODUCCIÓN.

En el contexto actual, más del 55 % de la población mundial reside en zonas urbanas, y se proyecta que esta proporción alcanzará el 68 % para el año 2050, lo que representa un aumento significativo de la presión sobre los recursos naturales y la infraestructura urbana (ONU, 2018). Este crecimiento poblacional conlleva una reducción progresiva de las áreas verdes urbanas, un aumento en la contaminación ambiental y una mayor vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático.

Frente a este panorama, el arbolado urbano se posiciona como un recurso estratégico para promover la sostenibilidad de las ciudades. Los árboles urbanos y espacios verdes aportan una serie de beneficios ecosistémicos esenciales, tales como la mejora de la calidad del aire, la regulación térmica, la conservación de la biodiversidad, la disminución del escurrimiento superficial, y el secuestro de carbono (Velasco et al., 2018). Estos beneficios contribuyen directamente a la resiliencia climática urbana, ayudando a las comunidades a adaptarse y a mitigar los efectos del cambio climático.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece un estándar mínimo de 9 m<sup>2</sup> de áreas verdes por habitante, mientras que las Naciones Unidas recomiendan al menos 16 m<sup>2</sup>. No obstante, muchas ciudades de América Latina no alcanzan estos niveles, lo cual limita la calidad de vida de sus residentes y evidencia una desigualdad territorial en el acceso a infraestructura verde. En El Salvador, San Salvador presenta altos niveles de densificación urbana y enfrenta múltiples retos ambientales derivados de su crecimiento desordenado y transformación del uso del suelo.

En este contexto, el parque Maquilishuat, ubicado en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), representa un caso de estudio relevante por su potencial en la provisión de servicios ecosistémicos. Este espacio verde, compuesto por una mezcla de especies nativas y exóticas, cumple una función clave en la captura de carbono, la eliminación de contaminantes atmosféricos y el mantenimiento del equilibrio ecológico local. Además, se destaca por su aporte al almacenamiento de carbono en el suelo, un componente menos visible pero fundamental en la lucha contra el cambio climático.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la composición florística, la estructura del arbolado y los servicios ecosistémicos del parque Maquilishuat, incluyendo por primera vez en el país el análisis combinado de carbono aéreo y carbono orgánico en suelo. Para ello, se aplicó el modelo i-Tree Eco v6, desarrollado por el Servicio Forestal de los Estados Unidos, junto con técnicas de muestreo aleatorio y análisis de laboratorio de suelo. Esta aproximación integral permite cuantificar de manera precisa los beneficios que brinda el arbolado urbano, aportando información clave para la toma de decisiones en gestión ambiental y planificación urbana sostenible.

Asimismo, este estudio constituye una de las primeras experiencias metodológicas de su tipo en El Salvador, estableciendo un precedente técnico-científico que puede servir como base para futuras investigaciones y políticas públicas orientadas a fortalecer la infraestructura ecológica urbana y contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y las metas nacionales de adaptación climática.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS.

### 2.1. Descripción del área de estudio

La investigación se desarrolló entre noviembre de 2020 y febrero de 2021 en el parque Maquilishuat, ubicado en San Salvador, El Salvador, sobre la Avenida El Almendro y la 87ª Avenida Sur. El parque limita al norte con la quebrada La Mascota y al este con la colonia Maquilishuat. Se localiza a una altitud de 825 msnm, dentro de las coordenadas geográficas 13°42'1.09"N y 89°14'34.48"O (fig. 1).

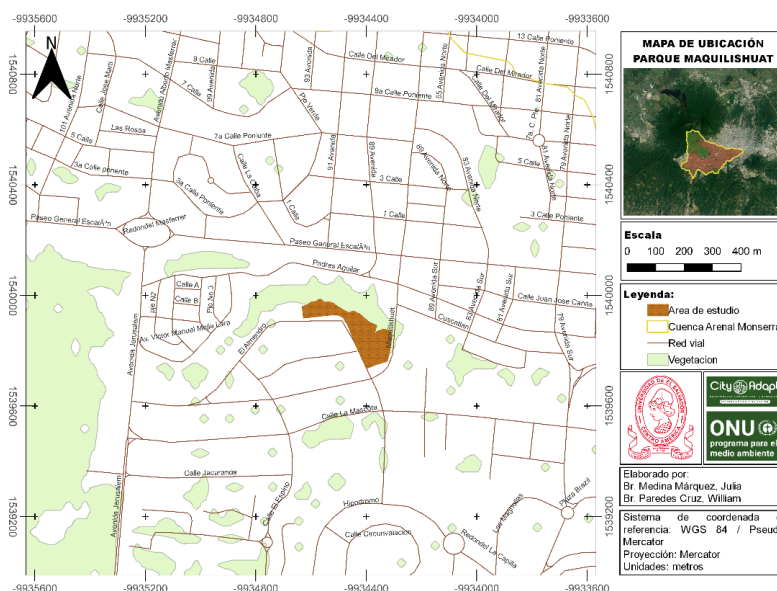


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio, parque Maquilishuat, San Salvador.

La zona presenta un clima tropical con temperatura promedio entre 20 y 22 °C, una humedad relativa del 60 %, y una precipitación media anual de 1,863 mm. De acuerdo con la clasificación de Köppen, Sapper y Laurer, se trata de una zona de "Sabana Tropical Calurosa", mientras que el sistema de Holdridge la categoriza como "Bosque húmedo subtropical, en transición a tropical". El terreno es ondulado, con suelos francos y arcillosos, rodeado por áreas urbanizadas (MARN, 2018).

### 2.2. Delimitación del área de estudio

El área total del parque es de 3.74 ha; sin embargo, el área específica utilizada para el estudio fue de 2.35 ha. Esta se delimitó con la ayuda de un GPS Garmin® Modelo 64s, definiendo los límites de muestreo al norte (a dos metros del sendero contiguo a la quebrada), y al sur, este y oeste por la malla perimetral del parque. Los datos recolectados se procesaron en QGIS 3.22.11 para generar la cartografía del área.

### 2.3. Diseño muestral y planificación del estudio

Se empleó un muestreo aleatorio simple con parcelas circulares de 404.71 m<sup>2</sup>. Se seleccionaron y analizaron 20 parcelas, lo cual representa aproximadamente el 34 % del área delimitada. Cada parcela fue georreferenciada mediante el sistema i-Tree Eco V6, que asignó un código y coordenadas específicas para su posterior levantamiento de datos (fig. 2).

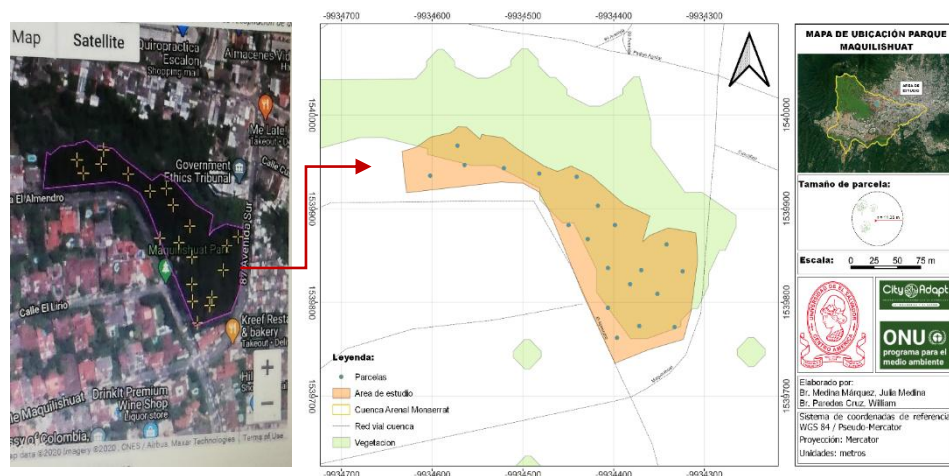


Figura 2. Definición de proyecto y establecimiento de parcelas al azar.

## 2.4. Recolección de datos de campo

### 2.4.1. Categoría A: Caracterización administrativa del parque

Se realizó una entrevista estructurada al encargado del parque para conocer aspectos de gestión y mantenimiento general (ver A-1).

### 2.4.2. Categoría B: Variables cualitativas

B1. Información general de la parcela: Se registraron datos como cobertura arbórea, cobertura arbustiva, espacios potenciales para plantación y objetos de referencia.

B2. Información de los árboles: Se identificaron las especies (nombre común, científico y familia), origen (plantado, natural o desconocido), condición de salud (porcentaje de ramas muertas), exposición lumínica de la copa, tipo de cobertura del suelo, coordenadas geográficas y fotografía individual de cada ejemplar.

B3. Manejo y mantenimiento: Se evaluó la necesidad de mantenimiento rutinario o urgente, tipo de intervención requerida (poda, reubicación, tratamiento sanitario, etc.), presencia de plagas y conflictos con aceras o servicios públicos.

### 2.4.3. Categoría C: Variables cuantitativas

C1. Información dasométrica: Se midieron altura total del árbol, altura viva, altura a la base de la copa (con altímetro Haga), diámetro a la altura del pecho (DAP, con cinta diamétrica), y ancho de copa (con cinta métrica en dirección norte-sur y este-oeste).

C2. Captura de carbono en suelo: Se tomaron 5 submuestras por parcela para formar una muestra compuesta de 500 g. Se excavó hasta 20 cm de profundidad usando pala dúplex, y se almacenaron las muestras en bolsas con cierre hermético para su envío al laboratorio de Química Agrícola de la Universidad de El Salvador.

## 2.5. Metodología de Laboratorio

### 2.5.1. Densidad aparente

Preparación: Se limpiaron y secaron cajas de aluminio a 60 °C durante 30 minutos.

Secado: Las muestras se colocaron en estufa a 110 °C por 24 horas para eliminar la humedad.

Cálculo: Se utilizaron las fórmulas estándar para determinar la densidad aparente y porcentaje de humedad.

La densidad aparente se calculó con la fórmula:

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

Donde:

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

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

También se calculó la humedad de la muestra con la fórmula:

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

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 determinó el peso seco de la muestra total extraída del agujero, que sirvió para calcular el valor de la densidad aparente.

El volumen del cilindro de muestreo se calculó con la fórmula:

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

Donde:

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

π = Valor de Pi (3,1416).

r = Radio del cilindro.

h = Altura del cilindro.

### **2.5.2. Análisis de carbono orgánico**

Preparación de muestra: Las muestras se secaron a 40 °C, se trituraron con mortero de ágata, se tamizaron a 100 mesh y se almacenaron en viales herméticos.

Determinación de carbono: Se utilizó el analizador automático TOC (Analytik Jena HT1300), mediante combustión seca a 1800 °C. Los resultados se expresaron en % de carbono en base seca (ver A-2)

### **2.5.3. Cálculo de carbono y CO<sub>2</sub> equivalente**

El cálculo del carbono orgánico por hectárea se realizó con la fórmula:

$$\text{SOC (t C / ha)} = 10000 \cdot Da \cdot P \cdot (\%C / 100) \cdot (1 - CF)$$

Donde:

10,000 = Área de 1 hectárea (ha) en metros cuadrados (m<sup>2</sup>).

Da = Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>).

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

El resultado en carbono (C) se transformó a dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) con el factor de conversión 3.67 (basado en la masa molecular de CO<sub>2</sub> = 44 y C = 12):

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

## **2.6. Metodología de gabinete**

### **2.6.1. Base de datos y procesamiento**

Los datos de campo fueron sistematizados en Excel y posteriormente ingresados manualmente al software i-Tree Eco V6, verificando las especies conforme a la base de datos del sistema.

### **2.6.2. Análisis en i-Tree Eco**

El sistema utilizó datos climáticos y de contaminación atmosférica de la estación de Tuxtla Gutiérrez, México, debido a la similitud con las condiciones del sitio de estudio. Tras el envío, el Servicio Forestal de los Estados Unidos procesó los datos en un periodo de 2 a 3 horas y devolvió el reporte con los resultados estructurales y de servicios ecosistémicos.

### **2.6.3. Análisis final de resultados**

Los resultados se interpretaron en coordinación con el asesor técnico del proyecto, integrando los datos de campo, laboratorio y reportes generados. La información fue organizada de manera tabular y gráfica, sirviendo de base para la elaboración de recomendaciones técnicas.

## **2.7. Metodología Estadística**

El software i-Tree Eco integra modelos estadísticos y forestales, incluyendo:

- Muestreo aleatorio de parcelas
- Modelos alométricos para estimar biomasa y carbono
- Modelos de servicios ecosistémicos (captura de contaminantes, escorrentía, sombra)
- Valoración económica, usando métodos como precios hedónicos, análisis costo-beneficio y valoración contingente

Estos enfoques permitieron una evaluación cuantitativa robusta del aporte ecológico y económico del arbolado urbano del parque Maquilishuat.

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1. Caracterización general del área de estudio**

El parque Maquilishuat, ubicado en la colonia del mismo nombre en San Salvador, fue delimitado para efectos de la investigación en un área de 2.35 hectáreas, equivalente a 23,500 m<sup>2</sup>. Esta

zona representó el 62.8 % del área total del parque (3.74 ha). El sitio presentaba un relieve ondulado a accidentado, con suelos de tipo arcilloso y franco, rodeado de zonas urbanas.

### 3.2. Composición florística

El inventario permitió identificar un total de 542 individuos, distribuidos en 65 especies, 55 géneros y 32 familias. Del total de especies, el 53.8 % fueron nativas y el 46.2 % exóticas. Sin embargo, en número de individuos, predominaron las especies exóticas, destacando especialmente los géneros *Eucalyptus* y *Syzygium* (ver A-3).

En cuanto al tipo de vegetación, los árboles representaron el 86.15 %, seguidos por las palmas (9.20 %) y los arbustos (4.61 %). La familia con mayor número de individuos fue Myrtaceae, principalmente por la abundancia de *Eucalyptus deglupta* y *Syzygium jambos* (ver A-4).

### 3.3. Estructura del arbolado

*Eucalyptus deglupta* fue la especie más representativa en el parque, al concentrar el 12.55 % del total de individuos, dominar en el área basal con 38.3 % y alcanzar el mayor Índice de Valor de Importancia (IVI) con 56.64 (ver A-5).

En cuanto a la estructura por clases diamétricas, se observó que el 72.2 % de los árboles se ubicaban entre 2.5 y 30.5 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP), lo que reflejaba un arbolado joven, posiblemente en competencia por luz y espacio.

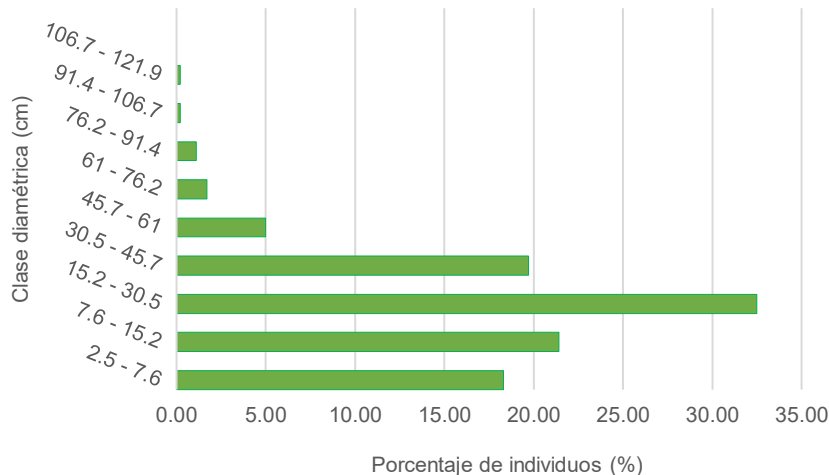


Figura 3. Distribución de las especies por clases diamétricas.

### 3.4. Estado de salud del arbolado

El diagnóstico de salud indicó que el 59.4 % de los árboles se encontraban en condición “excelente”, el 28.8 % en “buena”, mientras que una minoría presentaba condiciones críticas o de muerte regresiva, concentradas principalmente en *E. deglupta*, *Pinus caribaea* y *Cordia alliodora*.

### 3.5. Índice de Desempeño Relativo (IDR)

El análisis del IDR permitió identificar especies con mejor adaptación y desempeño en condiciones urbanas. Las especies con mejor IDR fueron:

*Ficus benjamina* (1.08)

*Araucaria heterophylla* (1.03)

*Syzygium jambos* (1.01)

Estas especies mostraron buena salud, adecuado crecimiento y mayor tolerancia al entorno urbano.

### 3.6. Manejo y mantenimiento del arbolado

Se determinó que el 85.42 % del arbolado no requería intervención inmediata, mientras que el 2.95 % necesitaba manejo urgente, y el 1.29 % presentaba riesgo crítico.

Entre las tareas recomendadas destacaron:

Poda ligera o fuerte: 9.6 %

Tratamiento por plagas: 3.5 %

Remoción completa: 1.8 %

Conflictos con aceras: 0.6 %

Conflictos con servicios eléctricos: 0.4 %

### 3.7. Servicios ecosistémicos del arbolado

#### 3.7.1. Eliminación de contaminantes atmosféricos

Los árboles del parque eliminaron 199.5 kg/año de contaminantes atmosféricos, siendo el ozono ( $O_3$ ) el principal contaminante eliminado (151.2 kg/año), seguido del dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) y partículas en suspensión ( $PM_{10}$ ). El valor económico estimado fue de \$1,993.11 USD/año (fig. 4).

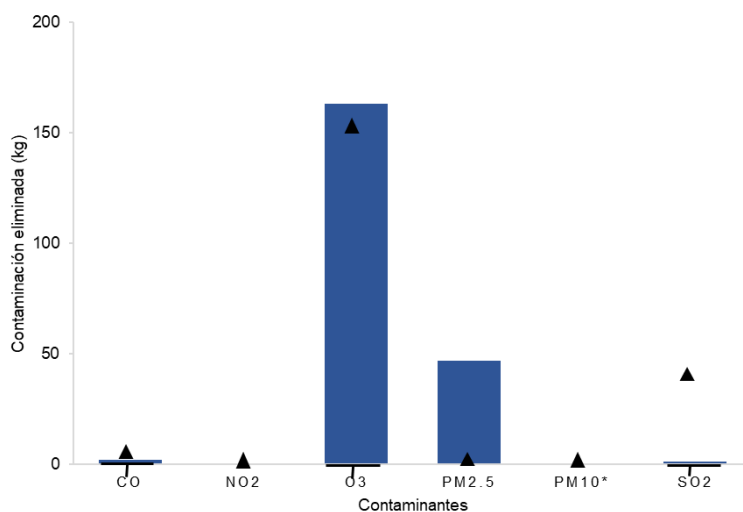


Figura 4. Eliminación de contaminantes en kg por año.

#### 3.7.2. Captura y almacenamiento de carbono

almacenamiento de

El arbolado capturó anualmente 26.27 toneladas métricas de carbono, mientras que el almacenamiento total alcanzó 478 toneladas métricas. Estos servicios fueron valorados en \$4,768.70 USD/año (captura) y \$86,614.17 USD (almacenamiento). *E. deglupta* contribuyó con el 33.9 % del carbono almacenado.

### **3.7.3. Producción de oxígeno**

Se estimó que el arbolado del parque producía 62.6 toneladas métricas de oxígeno al año, siendo *E. deglupta* y *E. citriodora* los mayores contribuyentes.

### **3.7.4. Reducción de escorrentía**

Los árboles evitaron la escorrentía de 38.4 m<sup>3</sup> de agua por año, lo que representó un ahorro de \$85.14 USD/año.

## **3.8. Valor económico del bosque urbano**

El valor estructural del arbolado se estimó en \$1,815,944.88 USD, sumado a un valor total anual por servicios ecosistémicos de aproximadamente \$6,846.95 USD. Este análisis demostró el alto valor ecológico y económico del arbolado urbano en contextos metropolitanos.

## **3.9. Carbono orgánico en el suelo**

### **3.9.1. Resultados de laboratorio**

Se analizaron 20 muestras de suelo superficial (0–20 cm), obteniendo valores de carbono orgánico entre 8.65 % y 10.10 %, con un promedio de 9.45 %, determinado mediante análisis TOC (Total Organic Carbon).

### **3.9.2. Cálculo de carbono en suelo y CO<sub>2</sub> equivalente**

El contenido promedio de carbono en suelo fue de 183.08 Mg/ha, que al convertirlo en dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) correspondió a 673.63 Mg/ha. Estos valores situaron al suelo del parque como un sumidero de carbono altamente significativo, con potencial para integrarse en proyectos de bonos de carbono y estrategias de mitigación climática.

### **3.9.3. Parcelas destacadas en almacenamiento de carbono**

Las parcelas con mayor contenido de carbono fueron:

PM05: 217.97 Mg/ha

PM06: 209.37 Mg/ha

PM04: 202.63 Mg/ha

La parcela PM09 mostró el valor más bajo (26.53 Mg/ha), probablemente debido a degradación o baja cobertura vegetal.

## **4. CONCLUSIONES**

Los resultados obtenidos en esta investigación permitieron valorar integralmente la composición, estructura y servicios ecosistémicos del arbolado urbano en el parque Maquilishuat, así como su contribución al secuestro de carbono atmosférico y subterráneo. Las principales conclusiones fueron:

El parque presenta una alta diversidad florística, compuesta por 65 especies distribuidas en 55 géneros y 32 familias, con una predominancia de especies arbóreas (86.15 %). El 53.8 % de las especies son nativas y el 46.2 % exóticas, lo que indica un balance representativo, pero con oportunidades de restauración ecológica.

La familia más abundante fue Myrtaceae, con 241 individuos, destacándose *Eucalyptus deglupta* y *Syzygium jambos* como especies dominantes. Sin embargo, la dominancia de especies exóticas como los eucaliptos debe evaluarse críticamente, especialmente por los riesgos fisiológicos y estructurales que presentan algunos individuos.

El 47 % del arbolado se encuentra en el rango de 1 a 10 m de altura, y el 72.2 % en las primeras tres clases diamétricas, indicando una estructura poblacional joven o en regeneración. No obstante, se identificaron árboles con diámetros superiores a 70 cm, como *Enterolobium cyclocarpum*, que evidencian remanentes de antiguos ecosistemas.

Siete árboles fueron clasificados en condición crítica de riesgo, principalmente especies de *Eucalyptus*, lo cual representa una amenaza para la seguridad de los visitantes.

En cuanto a servicios ecosistémicos, el arbolado urbano del parque:

- Elimina 199.5 kg/año de contaminantes atmosféricos, especialmente ozono (151.2 kg).
- Captura 26.27 toneladas métricas de carbono/año y almacena 478 toneladas métricas de carbono en biomasa aérea.
- Produce 62.6 toneladas métricas de oxígeno/año.
- Tiene un valor estructural estimado de \$1,815,944.88 y un valor funcional de \$6,846.95/año.

El análisis del suelo reveló una alta concentración de carbono orgánico en los primeros 20 cm, con un promedio de 183.08 Mg/ha, equivalente a 673.63 Mg CO<sub>2</sub>e/ha, consolidando al parque como un importante sumidero urbano de carbono.

## 5. RECOMENDACIONES

A partir del diagnóstico realizado, se proponen las siguientes acciones para optimizar el manejo del parque:

- Realizar evaluaciones técnicas periódicas, especialmente de los eucaliptos y especies de gran porte, para reducir riesgos por caída de árboles, especialmente en zonas de tránsito peatonal y perímetros urbanos cercanos.
- Implementar un plan de mantenimiento permanente para mejorar la salud y cobertura del arbolado, potenciando así los servicios de captura de carbono y eliminación de contaminantes.
- Reforestar con especies nativas, especialmente aquellas en peligro de desaparecer en entornos urbanos, como *Cedrela odorata* y *Sideroxylon capiri*, para conservar la biodiversidad local.
- Mejorar la distribución de áreas verdes en la ciudad, tomando como referencia los resultados de este estudio, con el fin de asegurar equidad ambiental y social en la provisión de servicios ecosistémicos.
- Incentivar la instalación de estaciones meteorológicas y de monitoreo ambiental en zonas urbanas por parte de instituciones públicas, para facilitar el uso de herramientas como i-Tree Eco con datos locales más precisos.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía Municipal de San Salvador. 2010. Microplan de ordenamiento urbano para la zona Maquilishuat (en línea). El Salvador. Consultado 10 de enero de 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)

De la Concha, H. 2016. i-Tree ECO: manual de toma de datos, versión en español (en línea). Consultado 25 de julio de 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. 2019. Servicios ecosistémicos y biodiversidad (en línea). Consultado 25 de julio de 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>

Fundación Mi Parque. 2012. La gran diferencia de metros cuadrados de áreas verdes por persona en Latinoamérica (en línea). Consultado 20 de julio de 2019. Disponible en: <https://www.miparque.cl/la-gran-diferencia-de-m2-de-areas-verde-por-persona-en-latinoamerica/>

IPCC. 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge University Press (en línea). Consultado 10 de septiembre de 2019. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>

i-Tree®. 2006. Guía Eco de proyectos internacionales (en línea). Consultado 20 de enero de 2021. Disponible en: <https://www.itreetools.org/eco/resources/international-projects>

MARN; CMNUCC. 2018. Tercera Comunicación de Cambio Climático de El Salvador (en línea). Consultado 10 de septiembre de 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)

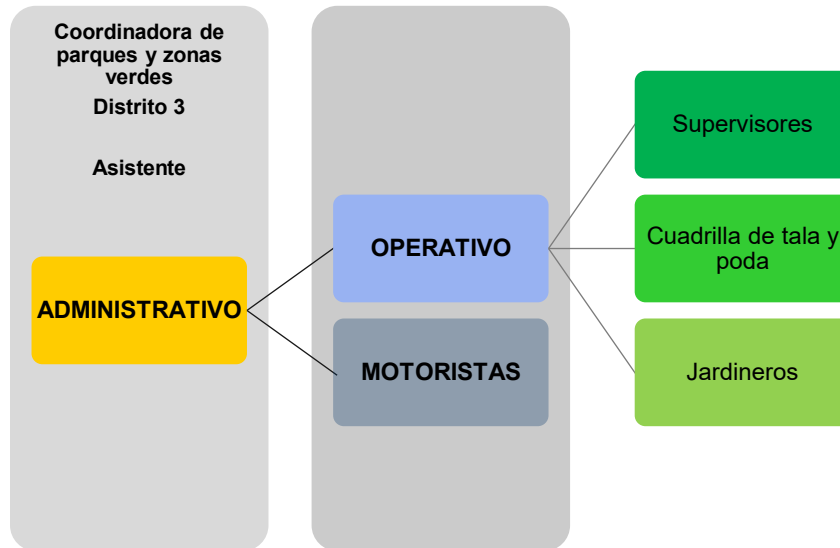
ONU. 2018. Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo (en línea). Nueva York. Consultado 8 de enero de 2020. Disponible en: <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>

ONU-Hábitat. 2016. Guía para el diseño y gestión de espacios verdes urbanos (en línea). Consultado 8 de enero de 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)

Velasco, E., et al. 2018. Diagnóstico y caracterización del arbolado del bosque de San Juan de Aragón (en línea). Revista Mexicana de Ciencias Forestales. Consultado 8 de enero de 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)

## 7. ANEXOS.

A1: Figura de caracterización administrativa del parque Maquilishuat.



A2: Figura de 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)  
 Análisis 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	PM01	PM02	%	TOC
	9.28	9.17		
Carbono Orgánico	PM03	PM04	%	TOC
	9.2	9.67		
Carbono Orgánico	PM05	PM06	%	TOC
	9.87	9.09		
Carbono Orgánico	PM07	PM08	%	TOC
	9.69	8.78		
Carbono Orgánico	PM09	PM10	%	TOC
	10.1	9.59		
Carbono Orgánico	PM11	PM12	%	TOC
	8.65	9.58		
Carbono Orgánico	PM13	PM14	%	TOC
	10	9.44		
Carbono Orgánico	PM15	PM16	%	TOC
	9.08	9.39		
Carbono Orgánico	PM17	PM18	%	TOC
	10.1	9.39		
Carbono Orgánico	PM19	PM20	%	TOC
	9.87	9.46		

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

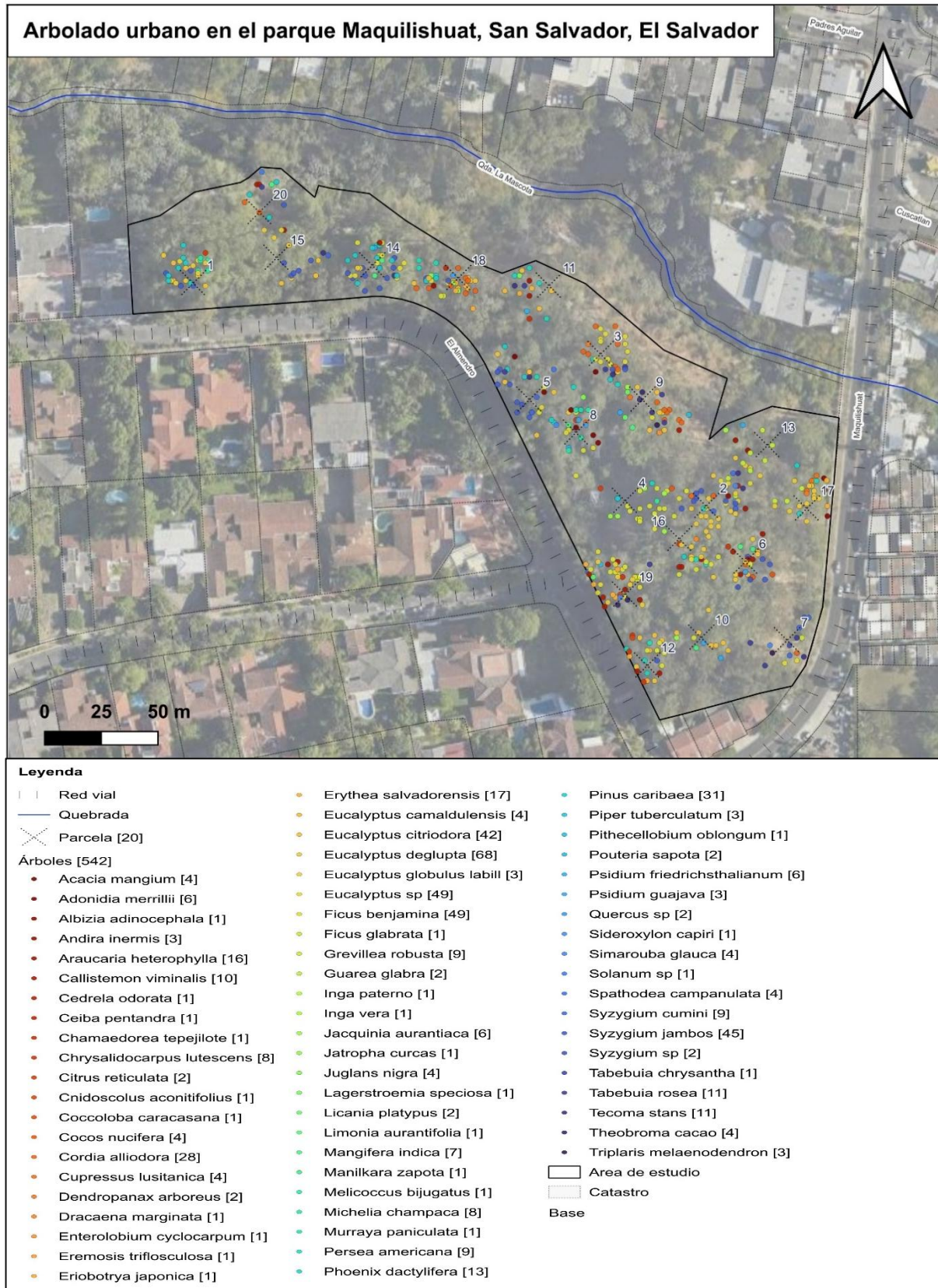
Fecha de elaboración de informe: 12-12-2021

"HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA"

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



A3: Figura de distribución de individuos arbóreos por parcela en parque Maquilishuat.



A4: Cuadro de composición florística detallada del parque Maquilishuat, con información sobre cada especie, familia y cantidad de individuos.

Nombre común	Nombre científico	Familia	N° individuos	Hábito	Origen
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	7	Árbol	Exótico
Mano de león	<i>Dendropanax arboreus</i>	Araliaceae	2	Árbol	Nativo
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	Nativo
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
Raja bien	<i>Eremosis triflosculosa</i>	Asteraceae	1	Árbol	Nativo
Llama del bosque	<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae	4	Árbol	Exótico
Cortés amarillo	<i>Tabebuia chrysantha</i>		1	Árbol	Nativo
Maquilishuat	<i>Tabebuia rosea</i>		11	Árbol	Nativo
San andrés	<i>Tecoma stans</i>		11	Árbol	Nativo
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	Boraginaceae	28	Árbol	Nativo
Mirra	<i>Jacquinia aurantiaca</i>	Theophrastaceae	6	Arbusto	Exótico
Sunza	<i>Licania platypus</i>	Chrysobalanaceae	2	Árbol	Nativo
Ciprés	<i>Cupressus lusitanica</i>	Cupressaceae	4	Árbol	Nativo
Chaya	<i>Cnidoscolus aconitifolius</i>	Euphorbiaceae	1	Arbusto	Exótico
Tempate	<i>Jatropha curcas</i>		1	Árbol	Nativo
Acacia	<i>Acacia mangium</i>	Fabaceae	4	Árbol	Exótico
Conacaste	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>		1	Árbol	Nativo
Paterno	<i>Inga paterno</i>		1	Árbol	Nativo
Pepeto de río	<i>Inga vera</i>		1	Árbol	Nativo
Chipiltre	<i>Albizia adinocephala</i>		1	Árbol	Nativo
Almendra de río	<i>Andira inermis</i>		3	Árbol	Nativo
Mangollano	<i>Pithecellobium oblongum</i>		1	Árbol	Nativo
Roble	<i>Quercus sp</i>	Fagaceae	2	Árbol	Exótico
Nogal	<i>Juglans nigra</i>	Juglandaceae	4	Árbol	Nativo

Aguacate	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	9	Árbol	Nativo
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	Nativo
Cacao	<i>Theobroma cacao</i>		4	Árbol	Nativo
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Meliaceae	1	Árbol	Nativo
Pimientillo	<i>Guarea glabra</i>		2	Árbol	Nativo
Laurel de la india	<i>Ficus benjamina</i>	Moraceae	49	Árbol	Exótico
Chilamate	<i>Ficus glabrata</i>		1	Árbol	Nativo
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	Nativo
Guayabo	<i>Psidium guajava</i>		3	Árbol	Nativo
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
Cola de ratón	<i>Piper tuberculatum</i>	Piperaceae	3	Árbol	Nativo
Papaturro	<i>Coccoloba caracasana</i>	Polygonaceae	1	Árbol	Nativo
Mulato	<i>Triplaris melaenodendron</i>		3	Árbol	Nativo
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	Nativo
Níspero	<i>Manilkara zapota</i>	Sapotaceae	1	Árbol	Nativo
Zapote	<i>Pouteria sapota</i>		2	Árbol	Nativo
Tempisque	<i>Sideroxylon capiri</i>		1	Árbol	Nativo
Aceituno	<i>Simarouba glauca</i>	Simaroubaceae	4	Árbol	Nativo
Chilpepon	<i>Solanum sp</i>	Solanaceae	1	Árbol	Nativo

A5: Cuadro de Índice de Valor de Importancia de las especies del parque.

Espece	D	Dr	F	Fr	ÁB	ÁBr	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>Cnidocolus 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>