UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA Y TECNOLOGÍAS

CARRERA: INGENIERIA AMBIENTAL

TRABAJO DE TITULACIÓN

MODALIDAD: ARTICULO ACADEMICO

TEMA:

EVALUACION DE LOS SERVICIOS ECOSTISTÉMATICOS Y EL VALOR DE LOS ÁRBOLES URBANOS EN EL PARQUE DE LA MADRE, MANTA, ECUADOR

AUTOR:

BAILON ZAMBRANO GRACIELA ANAHI

TUTOR (A):

BLGO. RICARDO JAVIER CASTILLO RUPERTI

MANTA - MANABÍ – ECUADOR

2025

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ciencias de la vida y tecnología de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante Bailon Zambrano Graciela Anahi, legalmente matriculado/a en la carrera de Ingenieria Ambiental período académico 2024-2025, cumpliendo el total de 192 horas, cuyo tema del es "Evaluación de los Servicios Ecosistémicos y el Valor de los Árboles Urbanos en el Parque de la Madre, Manta, Ecuador".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 07 de agosto del 2025.

Lo certifico,

Blgo. Castillo Ruperti Ricardo Javier
Docente Tutor(a)
Área:

DECLARACIÓN DE AUDITORIA

Yo, Bailon Zambrano Graciela Anahi con CC: 131368034-8, doy constancia de ser el autor del Trabajo de Titulación con modalidad articulo académico con el tema **"EVALUACION DE LOS SERVICIOS ECOSTISTÉMATICOS Y EL VALOR DE LOS ÁRBOLES URBANOS EN EL PARQUE DE LA MADRE, MANTA, ECUADOR"**, el cual fue dirigido por el tutor, Blgo. Castillo Ruperti Ricardo Javier.

Quiero resaltar la originalidad de este trabajo, que se fundamenta en la contribución de varios autores que enriquecieron la investigación, así como en la recopilación de datos e información provenientes de fuentes bibliográficas, visitas de campo, entre otros recursos.

En la ciudad de Manta, a los 12 días del mes de septiembre de dos mil veinte y cinco.

Bailon Zambrano Graciela Anahi
C.C. 131368034-8
Autor

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, quienes, con su amor incondicional, esfuerzo y sacrificio han sido la mayor inspiración en mi vida. A ustedes les debo cada logro y cada paso alcanzado en este camino.

A mi familia, quienes con su apoyo, comprensión y palabras de aliento me recordaron siempre que los sueños se cumplen con esfuerzo y dedicación.

A mis amigos, compañeros, docentes y tutores, quienes con su guía y conocimiento me ayudaron a crecer académica y profesionalmente.

Este triunfo también es suyo, porque sin su apoyo y confianza nada de esto habría sido posible.

Y a todos aquellos que creen en la importancia de conservar y valorar nuestro entorno natural, les ofrezco este esfuerzo como una contribución a la sostenibilidad de nuestra ciudad.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios por brindarme la fortaleza, paciencia y claridad para culminar esta investigación. A mi familia, en especial a mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles de este proceso.

Mi más sincero reconocimiento a mis docentes y tutores, quienes guiaron este proceso con profesionalismo, paciencia y exigencia académica. Su orientación fue clave para que este trabajo se sostenga en bases metodológicas y científicas sólidas.

Gracias a todas las personas que, directa o indirectamente, participaron en el levantamiento de información y recolección de datos.

A mis compañeros y amigos que me acompañaron en jornadas de campo, revisión y análisis, gracias por su apoyo, compañerismo y compromiso.

Este trabajo es también el reflejo del esfuerzo colectivo de quienes apuestan por una ciudad más verde, sostenible y consciente del valor que tienen sus árboles.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA ..... *I*
AGRADECIMIENTO ..... *II*
RESUMEN ..... *V*
ABSTRACT ..... *V*
1. INTRODUCCIÓN *1*
2. METODOLOGÍA *3*
2.1. Tipo de investigación *3*
2.2. Área de estudio *3*
2.3. Definiciones del modelo i-Tree Eco *4*
2.4. Recolección de datos *4*
2.5. Estructura del arbolado urbano *6*
2.6. Estimación y Valoración Económica de Servicios Ecosistémicos *7*
2.7. Análisis de datos *9*
3. RESULTADOS *10*
3.1. Composición y estructura del arbolado *10*
3.1.1. Distribución de la estructura del arbolado *10*
4.1.2. Distribución del arbolado por clases de DAP *12*
4.1.3. Valor de importancia de las especies *13*
4.1.4. Condición del arbolado por especie *15*
4.1.5. Recomendaciones de mantenimiento del arbolado *16*
4.1.6. Tarea prioritaria de mantenimiento *17*
4.1.7. Interacción física del arbolado con la infraestructura: desplazamiento de aceras *18*
4.1.8. Conflictos del arbolado con infraestructura de servicios *18*
4.1.9. Incidencia de plagas en el arbolado urbano *19*
4.2. Costos y beneficios *19*
4.2.1. Resumen de beneficios ecosistémicos del arbolado urbano *19*
4.2.2. Almacenamiento de carbono por especie *21*

4.2.3. Secuestro anual de carbono por especie 23
4.2.4. Efectos hidrológicos del arbolado urbano 24
4.2.5. Eliminación de contaminantes atmosféricos 24
4.2.6. Emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) 26
4.2.7. Índice de alergia del arbolado urbano 27
4.2.8. Costos de manejo del arbolado urbano 27
4.2.9. Beneficios netos e índice costo-beneficio 28
4. DISCUSIÓN 29
4.1. Discusión composición y estructura 29
4.2. Discusión Costos y beneficios 30
5. CONCLUSIONES 31
6. RECOMENDACIONES 31
7. BIBLIOGRAFIA 32
8. ANEXOS 35
Anexo 1. Ficha técnica: Inventario de árboles urbanos 35
Anexo 2: Trabajo en terreno durante el inventario de árboles urbanos. 36
Anexo 3: Trabajo en terreno durante el inventario de árboles urbanos. 36
Anexo 4: Imágenes del software i-Tree Eco y especificaciones del proyecto 37
Anexo 5. Tabla de Datos de inventario 38

RESUMEN

Este estudio evaluó la estructura del arbolado urbano y los servicios ecosistémicos que proveen los árboles en el Parque de la Madre, ubicado en la ciudad de Manta, Ecuador. Se utilizó la herramienta i-Tree Eco para cuantificar aspectos como almacenamiento y secuestro de carbono, regulación hidrológica, remoción de contaminantes, emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), y el valor económico asociado. Se censaron 129 árboles pertenecientes a 15 especies. Las especies más representativas fueron el Olivo negro (*Bucida buceras*) y el Mata palo (*Ficus benjamina*), que juntas constituyen más del 40 % del total. El arbolado contribuye con la captura de 74.4 toneladas métricas de carbono y evita aproximadamente 21 m³ de escurrimiento superficial al año. Sin embargo, los beneficios económicos estimados (662.28 USD/año) resultan significativamente menores frente a los costos de mantenimiento (10.300 USD/año), con un índice costo-beneficio de 0.06; el estudio evidencia que, aunque los beneficios monetarios directos del arbolado son bajos, su valor ecológico y funcional es clave para la sostenibilidad urbana. Se recomienda fortalecer la gestión forestal urbana mediante la diversificación de especies y la ampliación de la cobertura vegetal, con énfasis en la selección de árboles de alto desempeño ecosistémico.

Palabras claves

Arbolado urbano, servicios ecosistémicos, i-Tree Eco, Carbono, Valoración económica

ABSTRACT

This study evaluated the structure of the urban tree population and the ecosystem services provided by the trees in Parque de la Madre, located in the city of Manta, Ecuador. The i-Tree Eco tool was used to quantify aspects such as carbon storage and sequestration, hydrological regulation, pollutant removal, emissions of volatile organic compounds (VOCs), and the associated economic value. A total of 129 trees belonging to 15 species were surveyed. The most representative species were Black Olive (*Bucida buceras*) and Weeping Fig (*Ficus benjamina*), which together accounted for over 40% of the total tree population. The urban forest contributes to the capture of 74.4 metric tons of carbon and helps avoid approximately 21 m³ of surface runoff per year. However, the estimated economic benefits (USD 662.28/year) are significantly lower than the annual maintenance costs (USD 10.300/year), resulting in a cost-benefit ratio of 0.06.

The study highlights that although the direct monetary benefits of urban trees are limited, their ecological and functional value is essential for urban sustainability. It is recommended to strengthen urban forest management through species diversification and the expansion of vegetative cover, with emphasis on selecting high-performing species in terms of ecosystem services.

1. INTRODUCCIÓN

Los árboles urbanos son parte esencial de la infraestructura verde de las ciudades (*Pons 2016).* Estos han adquirido un papel fundamental como proveedores de servicio; funcionando como sumideros de carbono, filtros naturales de contaminantes atmosféricos y reguladores micro climáticos en zonas densamente pobladas *(Bolund y Hunhammar 1999).* Contribuyendo no solo al ambiente, sino también a la salud pública y al bienestar social mediante espacios estéticos y recreativos *(De Frutos y Esteban 2009).*

Diversos estudios han demostrado que el aumento de cobertura arbórea en ciudades está asociado con menores tasas de enfermedades respiratorias, mejora de la salud mental y reducción de estrés, especialmente en grupos vulnerables como niños y adultos mayores *(WHO 2016).*

A nivel global, la infraestructura verde urbana es reconocida como una estrategia efectiva de adaptación al cambio climático *(Kadić et al. 2025).* La captura de carbono, la regulación hídrica y la amortiguación térmica son funciones clave que contribuyen al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 11 y ODS 13). En este contexto, evaluar cuantitativamente el aporte del arbolado urbano en ciudades intermedias como Manta permite dimensionar su papel en la resiliencia urbana frente a eventos extremos

En las últimas décadas, el acelerado proceso de urbanización ha provocado una pérdida considerable de espacios naturales dentro de las ciudades, lo que ha tenido un impacto negativo en la provisión de servicios ecosistémicos esenciales para la calidad de vida de la población *(Mieles-Giler et al. 2024).* La transformación acelerada del paisaje urbano ha reducido la capacidad de la infraestructura verde para regular el clima local, mejorar la calidad del aire, almacenar carbono, reducir el ruido o escorrentías y favorecer la biodiversidad urbana *(Sorensen 1998).*

Esta situación se vuelve aún más preocupante en países en desarrollo, donde la planificación urbana a menudo deja de lado la conservación del arbolado. En Ecuador, la ciudad de Manta refleja este patrón: Como ciudad costera de rápido crecimiento, con clima árido cálido y alta exposición a eventos climáticos extremos, Manta enfrenta desafíos urgentes en la conservación de su infraestructura verde (*Del Agua y Sustentable 2013)*.

La cobertura vegetal urbana juega un papel crucial en la regulación térmica y la mitigación de islas de calor. Estudios realizados en zonas costeras del norte de Perú y sur de Ecuador han demostrado que la presencia de árboles reduce en hasta 3 °C la temperatura superficial de áreas pavimentadas (*Sharmin et al. 2023).*

El crecimiento urbano acelerado ha reducido notablemente la cobertura vegetal, y los espacios verdes son escasos y desigualmente distribuidos *(Zambrano y Mero 2022)*.

En este contexto, el Parque de la Madre se convierte en un área de especial relevancia, sin embargo, no existen estudios técnicos actualizados que cuantifiquen los beneficios ambientales, sociales y económicos que este parque provee a la comunidad.

Frente a esta carencia, herramientas como i-Tree Eco, desarrollada por el Servicio Forestal de los Estados Unidos (USDA Forest Service), permiten cuantificar estos beneficios de manera estandarizada y basada en datos científicos (*Hernández-Castán et al. 2023)*. Estimar la remoción de contaminantes atmosféricos, la captura y almacenamiento de carbono, el ahorro en consumo energético, la regulación de escorrentía pluvial y otros servicios ecosistémicos clave, además de asignar un valor económico aproximado a cada uno de estos beneficios (*Soto 2010).*

Estudios recientes sobre servicios ecosistémicos urbanos en Latinoamérica destacan que la mayoría de la literatura proviene de países como Brasil, Colombia o Chile, y que existe una brecha significativa en la accesibilidad y valoración local de espacios verdes en ciudades medianas (*Muñoz-Pacheco y Villaseñor 2022).*

Estudios han estimado que el bosque urbano de la ciudad de Nueva York posee un valor estructural compensatorio de aproximadamente USD 5.2 mil millones, al tiempo que almacena 1.35 millones de toneladas de carbono valoradas en USD 24.9 millones, remueve 42 300 toneladas de carbono por año (USD 779 000) y elimina 2202 toneladas de contaminantes (USD 10.6 millones/año), lo que demuestra el potencial económico y ambiental del arbolado urbano (*Nowak 2007*).

Pese a su amplio reconocimiento internacional, el uso de esta herramienta en Ecuador ha sido escaso y, hasta donde se ha podido revisar, inexistente en ciudades costeras como Manta. Esta falta de información dificulta la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades locales, lo que puede derivar en un manejo inadecuado, la pérdida de biodiversidad y la disminución de los beneficios ecosistémicos (*Paruelo 2010).*

El presente trabajo tiene como objetivo general evaluar los servicios ecosistémicos que brinda el arbolado urbano del Parque de la Madre, en la ciudad de Manta, Ecuador. Para ello, se emplea la herramienta i-Tree Eco, la cual permite cuantificar beneficios clave como la captura y el almacenamiento de carbono, la remoción de contaminantes atmosféricos, la reducción de escorrentía pluvial, así como la estimación del valor económico de estos servicios, entre otros aportes fundamentales para el equilibrio ambiental urbano.

En este marco, se presenta a continuación una evaluación técnica del arbolado del parque, centrada en su composición estructural, desempeño funcional y los beneficios ecosistémicos cuantificables que aporta a la ciudad.

2. METODOLOGÍA

2.1.Tipo de investigación

Este estudio es de tipo cuantitativo, con un enfoque descriptivo y explicativo. Se realiza un análisis del arbolado urbano del Parque de la Madre en Manta mediante el uso del software i-Tree Eco v6.0.35, para cuantificar y valorar económicamente los servicios ecosistémicos que prestan los árboles urbanos.

2.2.Área de estudio

La ciudad de Manta, ubicada en la provincia de Manabí, Ecuador, se localiza en las coordenadas 0º 55' S, 80º 43' O *(Núñez et al., 2010).* Tiene una superficie de 60,49 km² y una población de 271.145 habitantes *(Manzaba 2024).*

El presente estudio se llevó a cabo en el Parque de la Madre, ubicado en la zona céntrica de la ciudad de Manta, *(Figura 1)*. Este espacio verde urbano, es considerado uno de los más antiguos de la ciudad *(Cabrera y Basurto 2019).*

Se sitúa a una altitud de 6 m s. n. m., y posee una superficie total de 8.113 m². El clima predominante en la zona es árido cálido *(Padilla 2023)*. En su interior, el parque cuenta con áreas verdes, juegos infantiles y áreas de monumentos para la recreación de sus usuarios. Este parque fue seleccionado por su importancia ecológica, cultural y urbana, al ser uno de los espacios verdes más representativos de la ciudad.

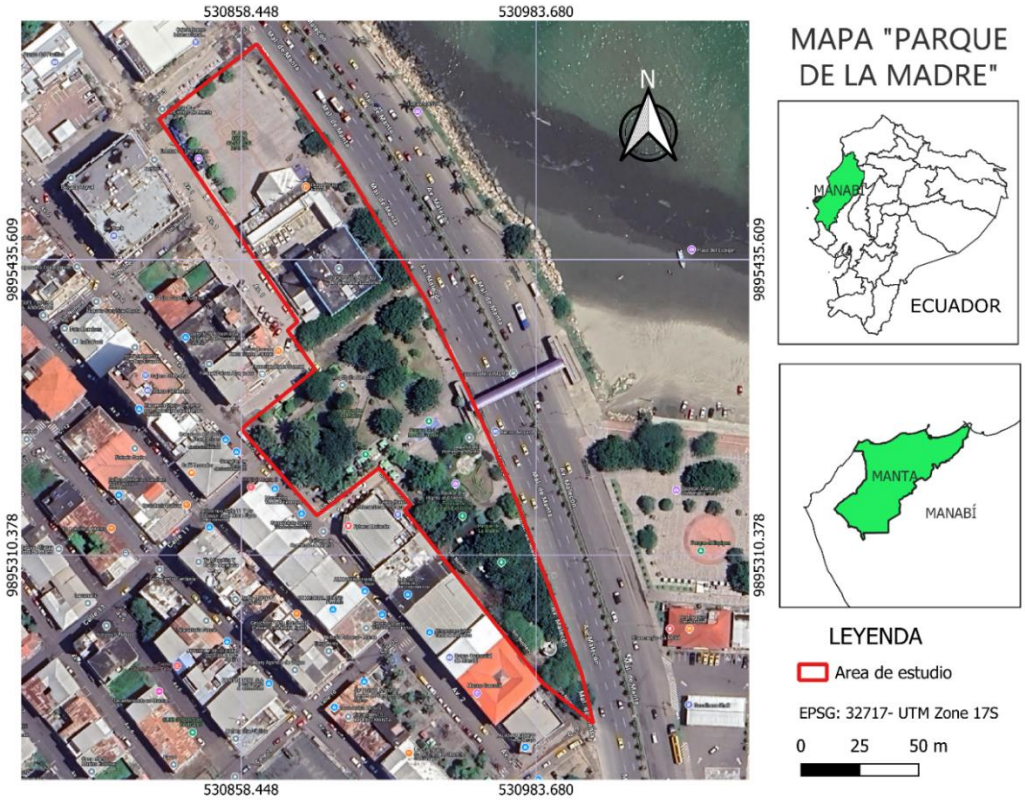


Figura 1. Mapa de ubicación del Parque Urbano "Parque De La Madre", Manta, Manabí, Ecuador. Fuente: Elaboración propia

2.3.Definiciones del modelo i-Tree Eco

En primera instancia, se ingresaron los datos generales del proyecto en el software i-Tree Eco, asignándole un nombre, el año de ejecución (2025) y el tipo de inventario, que en este caso correspondió a un inventario completo.

A continuación, se seleccionó la ubicación geográfica del estudio, correspondiente al País Ecuador, Provincia Manabí, ciudad de Manta, como es dentro de un área urbana se marca la casilla y se ingresó la población estimada de la ciudad (271.145 habitantes).

Para los datos climáticos y de calidad del aire, el sistema utilizó automáticamente información proveniente de la estación meteorológica más cercana al área de estudio, en este caso ELOY ALFARO INTL. (Código USAF: 841170 - Código WBAN: 99999).

Respecto a los datos de calidad del aire, el modelo i-Tree Eco seleccionó automáticamente las estaciones regionales más cercanas con registros disponibles: Bogotá D.C. (estación 0011) y Medellín, Antioquia (estación 0005), ambas ubicadas en Colombia. No obstante, es importante aclarar que estas ciudades presentan climas templados de altitud (Bogotá a 2.640 m s.n.m. y Medellín a 1.495 m s.n.m.), lo cual contrasta significativamente con el clima árido cálido y la baja altitud de Manta (6 m s.n.m.). Esta diferencia podría introducir cierta imprecisión en las estimaciones del modelo, especialmente en la remoción de contaminantes y el secuestro de carbono. Sin embargo, i-Tree Eco realiza un ajuste por interpolación automática para mitigar estas discrepancias.

2.4.Recolección de datos

La recolección de datos se realizó mediante herramientas como cintas métricas, clinómetros, GPS, cámaras digitales y hojas de campo. Se emplearon unidades métricas para todos los parámetros registrados. Para la toma de datos se utilizó una ficha técnica (Anexo 1) adaptada a los requerimientos del proyecto en el software i-Tree Eco para registrar todos los parámetros necesarios. Las coordenadas de cada árbol se registraron en formato GPS para facilitar su ubicación espacial dentro del parque.

De acuerdo con las especificaciones del proyecto para cada árbol se registraron las siguientes variables que luego serán procesadas y evaluadas:

A. **ID Árbol:** Numero único de identificación de cada árbol identificado.
B. **Brigada:** Nombre o código equipo de campo responsable de realizar el inventario
C. **Fecha de monitoreo:** Día en el que se realizó la medición de cada árbol.
D. **Estado/Condición:** Indica si el árbol fue plantado, si creció de forma natural (regeneración) o si su origen es desconocido.
E. **Especie:** Nombre común y científico del árbol, según su clasificación botánica.
F. **Ubicación:** Este criterio determina si el árbol se encuentra en la calle o en otro lugar.

G. **Uso del Suelo:** Clasificación del uso del suelo donde se encuentra el árbol. En este caso, todos los árboles fueron catalogados dentro del uso de suelo correspondiente a áreas verdes urbanas.
H. **Foto ID:** Código o número asignado a la fotografía tomada a cada árbol para su respaldo visual.
I. **DAP (cm):** Medida del diámetro a la altura del pecho del árbol, estimada a 1,37 metros sobre el nivel del suelo.
J. **Copa: % de muerte regresiva:** Estimación visual del porcentaje de la copa que presenta ramas muertas o sin follaje.
K. **Altura Total:** Altura desde el suelo hasta la punta más alta del árbol (viva o muerta), medida con clinómetro.
L. **Altura de la Copa Superior:** Distancia desde el suelo hasta la parte viva de la copa del árbol (esta medida no debe exceder la altura total del árbol).
M. **Altura de la Copa hasta la Base:** Medida desde el suelo hasta la base de la copa del árbol. La base de la copa se define como el punto más bajo donde se encuentra la última rama dentro de la copa, determinada por el follaje vivo y no por el punto de unión de la rama con el tronco principal. Si la base de la copa toca el suelo, un valor de 0 sería aceptable.
N. **Ancho de la Copa N/S y E/O (m):** Medida del ancho de la copa en dos direcciones, Norte/Sur y Este/Oeste. Si el árbol está caído o inclinado, se mide de forma perpendicular al tronco, y los árboles muertos se clasifican como -1.
O. **Porcentaje de Copa Faltante (%):** Proporción del volumen de la copa que no está ocupado por ramas y hojas. Se estima comparando la silueta esperada de la copa, basada en las medidas de ancho, altura total y altura hasta la base de la copa, imaginando un árbol en óptimas condiciones. Se evalúa el porcentaje de follaje ausente debido a factores como poda, muerte, defoliación, irregularidades en la copa o escasez de hojas. No se consideran los espacios normales dentro de las copas causados por el sombreado de las hojas, y se tiene en cuenta la forma natural de la copa para cada especie.
P. **Exposición de la Copa a la Luz:** Número de lados de la copa que reciben luz solar, considerando que el sol está directamente sobre el árbol (máximo cinco lados). La copa se divide en cuatro lados iguales, más la parte superior que se cuenta como un lado. Para que un lado sea considerado, al menos un tercio de ese lado debe recibir luz plena; si solo una pequeña parte recibe luz, ese lado no se contabiliza.
Q. **Edificio cercano:** Se registró si existían estructuras edilicias cercanas que pudieran interferir con el crecimiento del árbol.
R. **Dirección:** Calle o ubicación precisa donde se encuentra el árbol.
S. **Árbol en la calle:** Indicador binario que identifica si el árbol está ubicado en vía pública o no.
T. **Mantenimiento recomendado:** Evaluación técnica sobre si el árbol requiere intervención (poda, tratamiento fitosanitario, etc.).

U. **Tarea de mantenimiento:** Tipo específico de acción recomendada para el árbol.
V. **Conflicto con aceras:** Registro de si el sistema radicular o tronco está afectando aceras, bordillos u otras estructuras urbanas.
W. **Estrés en árbol – muerte regresiva:** La presencia de ramillas secas, ausencia de brotes y reducción del follaje activo.
X. **Estrés de árbol – Retoño epicormicos:** Presencia de brotes anormales en tronco o ramas principales.
Y. **Estrés de árbol – Follaje marchito:** Signo de deshidratación o deficiencia nutricional.
Z. **Estrés de árbol – Estrés ambiental:** Evidencia de daño por sequía, exceso de calor, compactación del suelo o contaminación.
AA. **Estrés de árbol – humano:** Cortes, vandalismo, daños por vehículos o infraestructura urbana.
BB. **Follaje/ramitas – Follaje mordisqueado:** Daños por herbívoros o fauna urbana.
CC. **Follaje/ramitas – Follaje descolorido:** Indicios de clorosis, hongos o deficiencias.
DD. **Follaje/ramitas – Follaje anormal:** Presencia de hojas deformes o crecimientos atípicos.
EE. **Follaje/ramitas – Señales de insectos:** Presencia de galerías, excremento, perforaciones o plagas visibles.
FF. **Follaje/ramitas – Follaje afectado:** Por enfermedades fúngicas, bacterianas u otras alteraciones.
GG. **Ramas/tronco – señales de insectos:** Daños estructurales visibles.
HH. **Ramas/tronco – señales de enfermedad:** Necrosis, chancros o descortezamiento.
II. **Lugar problemático:** Presencia de hongos de descomposición o cavidades grandes.
JJ. **Crecimiento anormal:** Engrosamientos, bifurcaciones asimétricas o inclinaciones severas.
KK. **Plaga principal:** Identificación del agente biológico causante del daño observado (si fue posible).
LL. **Público o Privado:** Indica si el árbol es gestionado por la ciudad (público) o no (privado).
MM. **Coordenadas GPS:** Ubicación del árbol en términos de latitud y longitud.

2.5.Estructura del arbolado urbano

Se realizó un inventario detallado de todos los árboles presentes en el área de estudio. Para ello, se recorrió sistemáticamente el parque y se identificaron, etiquetaron, midieron y georreferenciaron cada uno de los individuos arbóreos. Cada árbol fue registrado con un número de identificación único, lo que permitió su posterior seguimiento y análisis.

A. **Medición de la riqueza de especies:** Se determinó mediante la identificación del número total de especies distintas presentes en el parque. Para ello, se registró el nombre común y científico de cada individuo arbóreo, con apoyo de una lista de verificación de especies locales.

Esta información permitió a i-Tree calcular indicadores de diversidad, como el Índice de Shannon-Wiener, que integra tanto la riqueza como la equitatividad de la comunidad arbórea.

B. **Medición de la abundancia de especies:** Se registró el número total de individuos por especie, lo que permitió evaluar la composición y dominancia dentro del arbolado urbano. Esta información es utilizada por i-Tree para estimar la distribución de beneficios ecosistémicos por especie y valorar la importancia relativa de cada una en términos de biomasa y captura de contaminantes.
C. **Medición del diámetro a la altura del pecho (DAP):** El DAP se midió a 1.37 metros desde el nivel del suelo, utilizando cinta métrica. Este parámetro es fundamental para los cálculos del área basal y para la aplicación de ecuaciones alomé tricas en i-Tree, que estiman la biomasa, el carbono almacenado y otros servicios derivados. El software utiliza modelos específicos para cada especie (cuando están disponibles) o aproximaciones genéricas basadas en grupos funcionales.
D. **Medición de la altura total del árbol:** Se midió desde el nivel del suelo hasta la punta más alta del árbol, ya sea viva o muerta, mediante clinómetro o cinta métrica. Junto con el DAP, la altura permite refinar las estimaciones de biomasa y contribuye a la cuantificación de servicios como la interceptación de escorrentía pluvial y la captura de contaminantes atmosféricos.
E. **Distribución vertical o estratificación del bosque urbano:** Se registró la posición de cada árbol dentro de un estrato (bajo, medio o alto), lo cual permitió evaluar la estructura tridimensional del bosque urbano. Esta variable es relevante para el análisis de hábitats y nichos ecológicos y aporta al entendimiento de la funcionalidad del ecosistema urbano.
F. **Estado de salud del árbol:** Se realizó una evaluación visual del estado de la copa, buscando signos de estrés fisiológico, daño estructural, enfermedades o presencia de plagas. En i-Tree, este dato se ingresa como un porcentaje de copa faltante o deteriorada, lo cual afecta directamente las estimaciones de servicios ecosistémicos, ya que un árbol en malas condiciones funcionales provee menos beneficios ambientales.

2.6.Estimación y Valoración Económica de Servicios Ecosistémicos

El software i-Tree Eco permite cuantificar y valorar diversos servicios ecosistémicos proporcionados por el arbolado urbano, mediante el procesamiento de datos de campo (como el DAP, la altura, la especie y el estado de salud del árbol) en combinación con información climática y de calidad del aire. En este estudio se evaluaron los siguientes servicios principales:

A. **Remoción de contaminantes atmosféricos** i-Tree Eco estima la capacidad del arbolado para remover contaminantes del aire mediante procesos como la absorción gaseosa a través de las estomas y la interceptación física de partículas por el follaje.

El modelo considera contaminantes como:

- Ozono (O_3)
- Monóxido de carbono (CO)
- Dióxido de nitrógeno (NO_2)
- Dióxido de azufre (SO_2)
- Material particulado menor a 2.5 micrones (PM2.5)
- Material particulado entre 2.5 y 10 micrones (PM10)

La estimación se basa en modelos de intercambio de gases, tasas de deposición específicas por especie y cobertura, y datos climáticos estandarizados. Para este estudio, debido a la ausencia de estaciones locales en la base de datos de i-Tree, se utilizaron las siguientes estaciones de referencia:

- Bogotá, D.C. Bogotá, Colombia, (estación 0011)
- Medellín, Antioquia, Colombia, (estación 0005)

B. Almacenamiento y secuestro de carbono: i-Tree Eco calcula la biomasa de cada árbol mediante ecuaciones alomé tricas que relacionan el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total con el volumen estimado de madera. A partir de la biomasa, se estima el:

- **Carbono almacenado total:** carbono contenido en la biomasa aérea del árbol (kg/árbol), como indicador del aporte acumulado del arbolado al secuestro histórico.
- **Carbono secuestrado anualmente:** cantidad de carbono fijada cada año por el crecimiento del árbol.

Se utilizó un valor estandarizado de almacenamiento de carbono por área de copa de 7.69 kg C/m². La tasa de secuestro varía según la duración de la temporada de crecimiento, estimada automáticamente por i-Tree con base en la estación meteorológica seleccionada (841170 – Eloy Alfaro INTL, Manta).

C. Intercepción de lluvias y reducción de escorrentía El software estima el volumen de agua de lluvia interceptado por las copas de los árboles, lo que reduce la escorrentía superficial hacia los sistemas de drenaje urbano. Este cálculo considera el área foliar proyectada, la densidad de copa y los datos climáticos locales, como la precipitación anual (en este caso, 30.5 cm anuales, según la estación meteorológica de Manta). El resultado se expresa en metros cúbicos por año de escorrentía evitada, contribuyendo a disminuir los costos por infraestructura de drenaje y tratamiento.

D. Valoración económica de los servicios ecosistémicos Los valores monetarios fueron estimados mediante los modelos integrados en i-Tree Eco, los cuales asignan un costo económico a los servicios ecosistémicos evaluados. Se utilizaron las siguientes bases de cálculo:

- **Remoción de contaminantes del aire** Se estimó el valor económico en función del costo evitado en salud pública y productividad, aplicando el modelo BenMAP de la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA). Este modelo asigna costos a enfermedades respiratorias, muertes prematuras y reducción de productividad laboral asociadas con la exposición a contaminantes atmosféricos.
- **Reducción de escorrentía** Se utilizó un valor promedio de USD 0.008936 por galón (equivalente a USD 2.36/m³ aproximadamente), basado en estudios del costo de tratamiento y manejo de aguas pluviales en entornos urbanos.

Los servicios ecosistémicos estimados fueron valorizados económicamente utilizando criterios internacionales incorporados en el software i-Tree Eco.

El valor de la remoción de contaminantes fue calculado en función del ahorro en salud pública, usando modelos como el BenMAP de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de EE. UU., que considera los costos asociados al tratamiento de enfermedades respiratorias y pérdidas de productividad. En cuanto a la reducción de escorrentía, se estimó el volumen de agua interceptado por el arbolado y se aplicó un valor monetario promedio de \$0,008936 por galón, en función de los costos evitados en infraestructura y tratamiento de aguas pluviales.

2.7. Análisis de datos

Los datos recopilados fueron procesados en la plataforma i-Tree Eco, que permitió realizar el análisis cuantitativo y económico de los servicios ecosistémicos. Esta herramienta permitió generar informes automáticos que incluyen gráficas, que representan el estado de salud del arbolado, estimaciones de carbono capturado, contaminantes removidos y beneficios monetarios asociados.

3. RESULTADOS

Los resultados del presente estudio se organizan en dos grandes apartados. La primera parte corresponde a la composición y estructura del arbolado urbano del Parque de la Madre, donde se detalla la diversidad de especies, distribución por diámetros, condición general, área foliar, biomasa y requerimientos de manejo.

La segunda parte comprende el análisis de costos y beneficios ecosistémicos, abordando aspectos como el almacenamiento y secuestro de carbono, reducción de escorrentía, remoción de contaminantes, emisiones de compuestos orgánicos volátiles, índice de alergia, y el balance económico anual del arbolado.

3.1.Composición y estructura del arbolado

3.1.1.Distribución de la estructura del arbolado

La Tabla 1 presenta un resumen de la estructura del arbolado urbano del Parque de la Madre, Manta. Se incluyen por especie: el número total de árboles registrados, el área foliar estimada en hectáreas, la biomasa foliar y la biomasa total del peso seco (ambas en toneladas métricas), así como la condición promedio de salud expresada en porcentaje. Se identificaron 129 árboles, 15 especies diferentes, siendo Olivo negro *(Bucida buceras*) la más abundante con 30 individuos, lo que representa el 23.3 % de la población total, seguida por Mata palo (*Ficus benjamina*) con 24 árboles (18.6 %) y Palma real (*Roystonea regia*) con 20 (15.5 %). Estas tres especies constituyen más del 57 % del total de árboles presentes, lo que indica una estructura poblacional dominada por pocas especies.

Tabla 1. Resumen de la estructura del arbolado por especie

	Árboles		Área foliar		Biomasa foliar		Biomasa del peso seco del árbol		Condición promedio (%)
Especie	N°	SE	(ha)	SE	(tonelada métrica)	SE	(tonelada métrica)	SE	
Olivo negro	30	±0	0,292	±0	0,378	±0	10,21	±0	90,73
Mata palo	24	±0	0,573	±0	0,448	±0	38,46	±0	85,73
Palma	20	±0	0,055	±0	0,093	±0	3,60	±0	88,20
Neem	12	±0	0,387	±0	0,287	±0	50,00	±0	78,75
Acacia roja	12	±0	0,233	±0	0,201	±0	31,44	±0	86,29
Palma amarilla	10	±0	0,005	±0	0,008	±0	0,40	±0	94,10
Algarrobo	6	±0	0,179	±0	0,154	±0	12,25	±0	79,83
Tabebuia	5	±0	0,009	±0	0,006	±0	0,36	±0	94,10
Palma cocotera	2	±0	0,007	±0	0,012	±0	0,13	±0	91,00
Jacaranda sp	2	±0	0,065	±0	0,039	±0	1,30	±0	88,50
Mango	2	±0	0,006	±0	0,006	±0	0,21	±0	97,00
Tulipan africano	2	±0	0,013	±0	0,008	±0	0,16	±0	78,50
Zapote blanco	1	±0	0,009	±0	0,012	±0	0,32	±0	62,50
Guayaba	1	±0	0,001	±0	0,001	±0	0,01	±0	82,50
Área de estudio	129	±0	1,833	±0	1,654	±0	148,87	±0	87,36

Fuente: Elaboración propia a partir del censo arbóreo procesado en i-Tree Eco (2025).

A continuación, se presentan la Figura 2 y Figura 3 que permiten un mejor entendimiento visual de la composición arbórea y la biomasa en el Parque de la Madre.

La Figura 2 muestra el número de árboles por especie, lo que facilita identificar las más abundantes en el área de estudio.

Figura 2. Numero de árboles por especie en el Parque de la Madre

La Figura 3 representa la biomasa total por especie (en toneladas), reflejando la contribución de cada una al almacenamiento de carbono y a la estructura general del ecosistema. Además, permite identificar especies clave que, aunque no sean las más abundantes, tienen gran peso individual

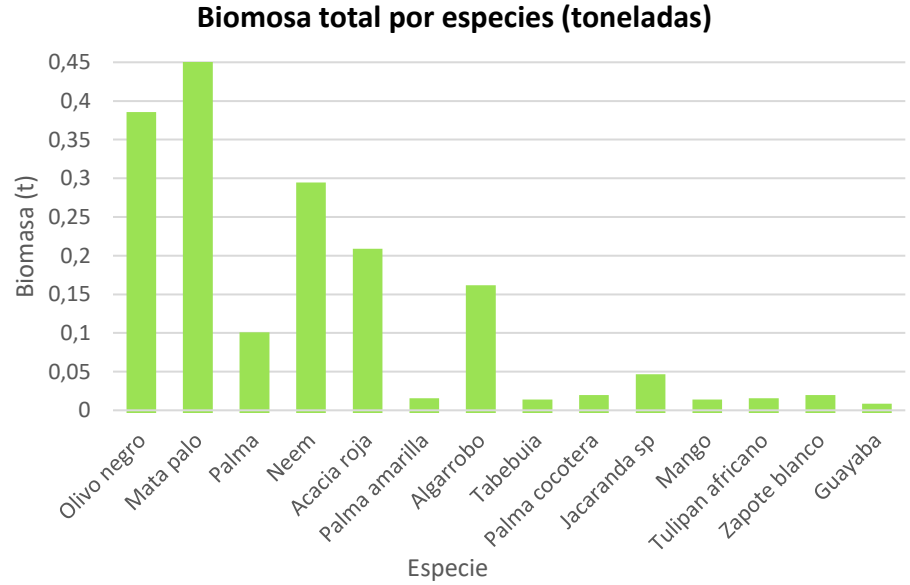


Figura 3. Biomasa total por especies (toneladas)

4.1.2.Distribución del arbolado por clases de DAP

La Tabla 2 muestra la distribución porcentual de los árboles según su especie y su clase de DAP, categorizado en rangos de centímetros. Este análisis permite identificar la estructura diamétrica del arbolado, un indicador clave del desarrollo, la edad y el estado de madurez de los individuos. Se observa que algunas especies, como Olivo negro (*Bucida buceras*), se concentran en clases de DAP intermedias, con una mayor proporción en el rango de 15.2 – 30.5 cm, lo que sugiere una población en etapa media de desarrollo.

Por otro lado, especies como Palma amarilla (Dypsis lutescens) y Tulipán africano (Spathodea campanulata) presentan proporciones altas en clases bajas (0 – 15.2 cm), lo que indica presencia de individuos jóvenes. En contraste, no se registran árboles en clases diamétricas superiores a 121.9 cm en ninguna especie, lo cual sugiere una ausencia de individuos muy longevos o patrimoniales.

Tabla 2. Distribución porcentual de las especies por clase de DAP (cm)

Especie	Clase de DAP (cm) (%)									
	0 - 7,6	7,6 - 15,2	15,2 - 30,5	30,5 - 45,7	45,7 - 61	61 - 76,2	76,2 - 91,4	91,4 - 106,7	106,7 - 121,9	121,9+
Neem	0,00	0,00	0,00	33,30	16,70	25,00	16,70	8,30	0,00	0,00
Olivo negro	3,30	23,30	66,70	6,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zapote blanco	0,00	0,00	100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Palma amarilla	40,00	60,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Palma cocotera	0,00	0,00	100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acacia roja	0,00	0,00	0,00	16,70	33,30	16,70	16,70	16,70	0,00	0,00
Mata palo	0,00	0,00	33,30	25,00	29,20	4,20	4,20	0,00	4,20	0,00
Jacaranda sp	0,00	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mango	0,00	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Algarrobo	0,00	0,00	16,70	33,30	33,30	0,00	16,70	0,00	0,00	0,00
Guayaba	100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Palma	5,00	50,00	10,00	15,00	15,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tulipan africano	0,00	0,00	100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tabebuia	0,00	60,00	40,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia a partir del censo arbóreo procesado en i-Tree Eco (2025).

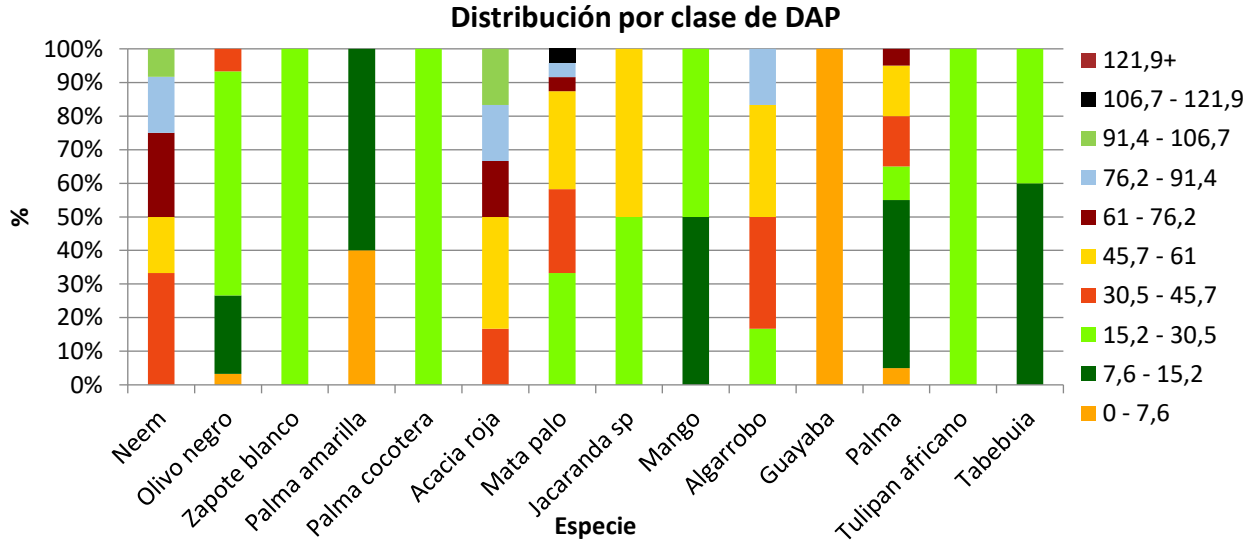


Figura 4. Distribución porcentual de las especies según clases de DAP

4.1.3. Valor de importancia de las especies

La Tabla 3 presenta el valor de importancia de cada especie, calculado a partir del porcentaje de la población, el porcentaje del área foliar y su contribución relativa en la estructura general del arbolado. Este índice permite evaluar no solo la abundancia de cada especie, sino también su aporte funcional al ecosistema urbano.

La especie Mata palo (*Ficus benjamina*) se posiciona como la especie más relevante, con un valor de importancia del 49.8 %, al concentrar el 18.6 % de la población y el 31.2 % del área foliar. Le siguen Olivo negro (*Bucida buceras*) con un valor de 39.2 %, y Neem (*Azadirachta indica*) con 30.4 %, evidenciando que, aunque esta última representa solo el 9.3 % de los individuos, tiene una alta proporción de área foliar (21.1 %), lo cual refuerza su importancia funcional.

Tabla 3. Valor de importancia de las especies en el Parque de la Madre

Especie	Porcentaje población	Porcentaje del área de las hojas	Valor de importancia
Mata palo	18,6	31,2	49,8
Olivo negro	23,3	15,9	39,2
Neem	9,3	21,1	30,4
Acacia roja	9,3	12,7	22
Palma	15,5	3	18,5
Algarrobo	4,7	9,7	14,4
Palma amarilla	7,8	0,3	8
Jacaranda sp	1,6	3,5	5,1
Tabebuia	3,9	0,5	4,4
Tulipan africano	1,6	0,7	2,3
Palma cocotera	1,6	0,4	1,9
Mango	1,6	0,3	1,9
Zapote blanco	0,8	0,5	1,3
Guayaba	0,8	0	0,8

Fuente: Elaboración propia a partir del censo arbóreo procesado en i-Tree Eco (2025).

La Figura 5 presenta el valor de importancia por especie, mostrando de forma comparativa la relevancia relativa de distintas especies vegetales evaluadas en un área de estudio. Se observa que especies como Mata palo (*Ficus benjamina*), Olivo negro *(Bucida buceras*) y Neem (*Azadirachta indica*) alcanzan los valores más altos, lo que indica una mayor presencia o influencia en el ecosistema analizado.

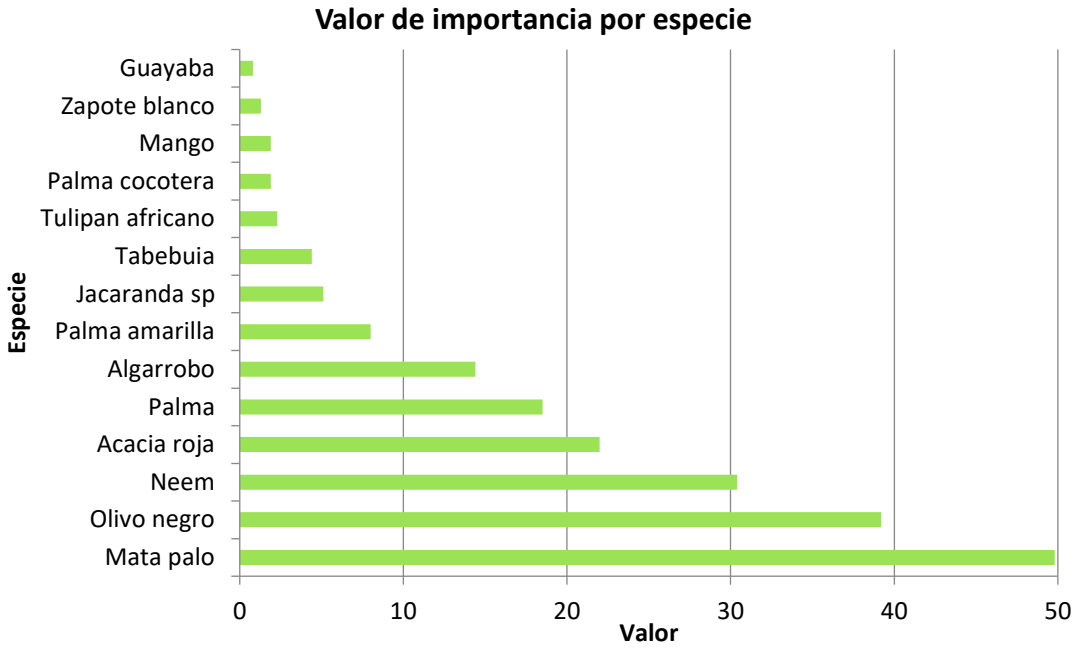


Figura 5. Valor de importancia por especie

La Figura 6 muestra el porcentaje del área de hojas por especie, permitiendo visualizar la proporción relativa de cobertura foliar que cada especie aporta dentro del ecosistema evaluado. Se destaca que Mata palo (*Ficus benjamina*), Neem (*Azadirachta indica*) y Olivo negro (*Ficus benjamina*) concentran los mayores porcentajes de área foliar, lo que indica una mayor contribución a la cobertura vegetal.

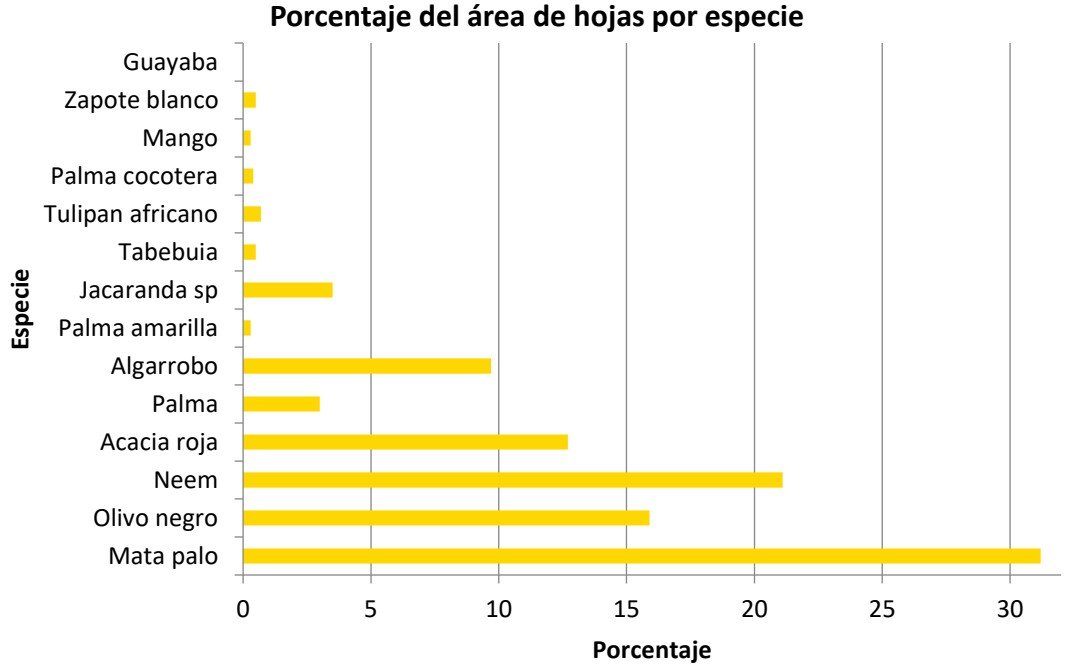


Figura 6. Porcentaje del área de hojas por especie

4.1.4.Condición del arbolado por especie

La Tabla 4 resume la condición sanitaria del arbolado urbano según categorías estándar utilizadas por i-Tree Eco: excelente, buena, aceptable, mala, crítica, muriendo y muerto. Se presenta el porcentaje de individuos por especie en cada categoría. Se observa que el 39.5 % del total de árboles se encuentran en condición buena, seguido por 22.5 % en condición aceptable y 27.1 % en excelente estado. En contraste, solo el 6.2 % están en condición mala, el 1.6 % en condición crítica y el 3.1 % se encuentran muertos.

Especies como Mango (*Mangifera indica),* Palma cocotera *(Cocos nucifera),* Tulipán africano *(Spathodea campanulata) y* Palma *(Roystonea regia)* presentan un 50 % o más de sus individuos en condición excelente o buena, mientras que otras como Neem *(Azadirachta indica)* tienen una proporción significativa en estado crítico (16.7 %). Además, se registra presencia de individuos muertos en especies como Acacia roja (*Delonix*), Palma *(Roystonea regia)*, Tulipán africano (*Spathodea campanulata*) y Tabebuia (*Tabebuia rosea*).

El indice (RPI), que integra condiciones sanitarias, frecuencia y distribución de cada especie. El RPI promedio del parque es 1.00 Mata palo (*Ficus benjamina),* alcanza el mayor desempeño con 1.09, seguido por Tulipán africano *(Spathodea campanulata)* con 1.08, Guayaba *(Psidium guajava)* con 1.07, y Mango (*Mangifera indica*), Palma (*Roystonea regia*), Acacia roja (*Delonix*) también superan el promedio, indicando eficiencia en su condición y funcionalidad. En contraste el Neem (*Azadirachta indica*) y Zapote blanco (*Casimiroa edulis*) con 0.93, Tabebuia (*Tabebuia rosea*) con 0.82 presentan índices inferiores, asociados a condiciones sanitarias menos favorables.

Tabla 4. Condición sanitaria del arbolado urbano por especie

Especie	Excelente %	Buena %	Aceptable %	Mala %	Crítica %	Muriendo %	Muerto %	RPI
Neem	8,3	33,3	33,3	8,3	16,7	0	0	0,93
Olivo negro	10,0	60,0	26,7	3,3	0	0	0	0,99
Zapote blanco	0	0	0	100,0	0	0	0	0,93
Palma cocotera	50,0	0	50,0	0	0	0	0	0,99
Acacia roja	33,3	41,7	16,7	0	0	0	8,3	1,02
Palma amarilla	40,0	40,0	20,0	0	0	0	0	0,98
Mata palo	16,7	45,8	25,0	8,3	0	0	4,2	1,09
Jacaranda sp	0	50,0	50,0	0	0	0	0	0,9
Mango	50,0	50,0	0	0	0	0	0	1,04
Algarrobo	0	33,3	33,3	33,3	0	0	0	1
Guayaba	0	0	100,0	0	0	0	0	1,07
Palma	75,0	10,0	5,0	0	0	0	10,0	1,03
Tulipan africano	0	50,0	0	50,0	0	0	0	1,08
Tabebuia	40,0	40,0	20,0	0	0	0	0	0,82
Total	27,1	39,5	22,5	6,2	1,6		3,1	1

Fuente: Elaboración propia a partir del censo arbóreo procesado en i-Tree Eco (2025).

La Figura 7 muestra el estado de los árboles por especie, clasificando la condición de cada uno en categorías que van desde Excelente hasta Muerto. Se observa una variabilidad significativa entre especies, con algunas presentando mayor proporción de individuos en buen estado y otras concentrando porcentajes elevados en categorías críticas o de mortalidad, lo que permite identificar prioridades de manejo y conservación.

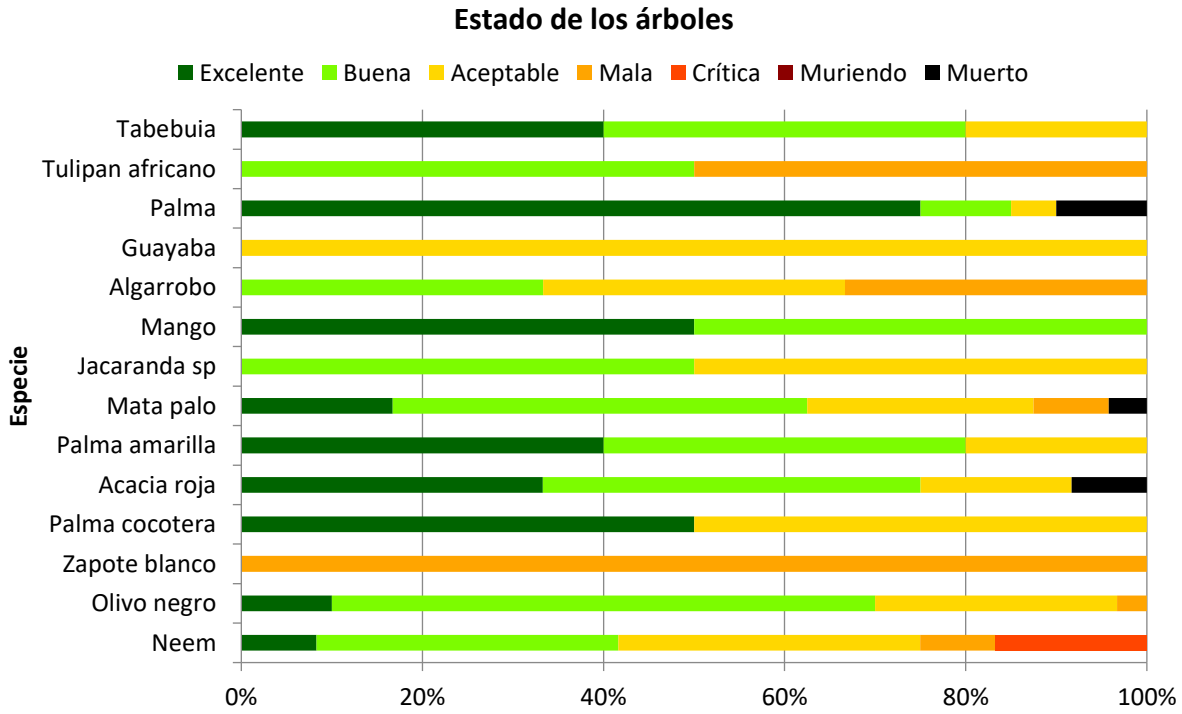


Figura 7. Estado de salud de los arboles

4.1.5.Recomendaciones de mantenimiento del arbolado

La Tabla 5 muestra el resumen de las recomendaciones de mantenimiento emitidas por el modelo i-Tree Eco para los árboles evaluados en el Parque de la Madre. Se establece una clasificación basada en el tamaño del árbol (grande o pequeño) y la urgencia de la intervención (inmediato, rutinario o ninguno), incluyendo además un caso de preocupación crítica por seguridad pública.

Del total de 129 árboles censados, el 48.1 % corresponde a árboles grandes con necesidades de mantenimiento rutinario, lo que representa la categoría predominante. Le sigue un 22.5 % correspondiente a árboles pequeños también con requerimientos rutinarios. Además, el 13.2 % de los árboles grandes necesita intervención inmediata, mientras que solo un 3.9 % de los árboles pequeños requieren atención urgente.

El 10.9 % de los árboles no requiere ningún tipo de intervención al momento de la evaluación. Cabe destacar que dos árboles, equivalentes al 1.6 % del total, fueron clasificados como de preocupación crítica por razones de seguridad pública, lo que implica un riesgo potencial para los usuarios del espacio urbano y exige atención prioritaria por parte de los gestores municipales.

Tabla 5. Recomendaciones de mantenimiento del arbolado urbano según i-Tree Eco

Mantenimiento recomendado	Conteo de árboles	% de árboles
Preocupación crítica (seguridad pública)	2	1,6
Árbol grande (inmediato)	17	13,2
Árbol grande (rutinario)	62	48,1
Ninguno	14	10,9
Árbol pequeño (inmediato)	5	3,9
Árbol pequeño (rutinario)	29	22,5

Fuente: Elaboración propia a partir del censo arbóreo procesado en i-Tree Eco (2025).

4.1.6.Tarea prioritaria de mantenimiento

La Tabla 6 resume las tareas prioritarias recomendadas para el arbolado urbano del Parque de la Madre, de acuerdo con los criterios técnicos del modelo i-Tree Eco. Las tareas incluyen acciones directas de manejo como podas específicas, tratamiento sanitario, y remoción de individuos, clasificadas por su frecuencia en el total de árboles evaluados.

Se destaca que la limpieza de copa es la intervención más frecuente, requerida en el 34.9 % de los árboles, seguida por la poda formativa, con un 27.9 %. La reducción de copa representa el 14 % de las tareas, mientras que la elevación de copa aparece en un 7% de los casos. Solo un 10.1 % de los árboles no requiere intervención prioritaria.

Adicionalmente, el 3.1 % de los árboles necesita ser removido, y un porcentaje igual requiere tratamiento contra plagas o enfermedades, lo que sugiere una mínima pero significativa incidencia de condiciones fitosanitarias comprometidas.

Tabla 6. Tareas prioritarias de mantenimiento por tipo de intervención

Tarea prioritaria	Conteo de árboles	% de árboles
Limpieza de copa	45	34,9
Elevación de copa	9	7
Reducción de copa	18	14
Poda formativa	36	27,9
Ninguna	13	10,1
Remover	4	3,1
Tratar plagas/enfermedades	4	3,1

Fuente: Elaboración propia a partir del censo arbóreo procesado en i-Tree Eco (2025).

4.1.7.Interacción física del arbolado con la infraestructura: desplazamiento de aceras

La Tabla 7 muestra el grado de afectación estructural que los árboles ejercen sobre las aceras del Parque de la Madre, específicamente en términos de desplazamiento superficial causado por el crecimiento de raíces.

Se registró que el 100 % de los árboles censados (n=129) presentaron algún grado de desplazamiento de la acera en el rango de 0 a 3/4 pulgadas (aproximadamente 0 a 1.9 cm). Este desplazamiento leve no representa un daño estructural mayor, pero evidencia una interacción constante entre el arbolado y la infraestructura urbana, lo cual debe ser monitoreado periódicamente para evitar riesgos futuros de deformaciones o accidentes peatonales.

Tabla 7. Porcentaje de árboles con desplazamiento de acera

Desplazamiento de la acera	Conteo de árboles	% de árboles
0-3/4 in	129	100

Fuente: Elaboración propia a partir del censo arbóreo procesado en i-Tree Eco (2025).

4.1.8.Conflictos del arbolado con infraestructura de servicios

La Tabla 8 muestra la interacción del arbolado urbano con la infraestructura aérea, particularmente con cables de servicios públicos. Se distingue entre árboles sin cables próximos, árboles con cables presentes, pero sin conflicto potencial, y árboles en los que existe un conflicto por interferencia directa. El análisis indica que el 85.3 % de los árboles no presentan cables en su entorno inmediato, lo cual reduce significativamente los riesgos de interferencia con líneas eléctricas u otros servicios.

En contraste, el 9.3 % de los árboles sí presentan conflictos activos, posiblemente por contacto con el follaje o ramas, lo que representa un riesgo potencial tanto para la seguridad como para la continuidad del servicio. Adicionalmente, el 5.4 % de los árboles tienen cables presentes, pero aún no representan un conflicto potencial, aunque podrían llegar a hacerlo conforme crezcan.

Tabla 8. Interacción del arbolado urbano con la infraestructura de cables de servicios

Conflictos con servicios	Conteo de árboles	% de árboles
Sin cables	110	85,3
Presentes y con conflicto	12	9,3
Presentes y sin conflicto potencial	7	5,4

Fuente: Elaboración propia a partir del censo arbóreo procesado en i-Tree Eco (2025).

4.1.9.Incidencia de plagas en el arbolado urbano

La Tabla 9 muestra los resultados del monitoreo de plagas en los árboles evaluados, destacando el número de individuos afectados por especie, el porcentaje que representan dentro del total de especies y el porcentaje respecto a todos los árboles registrados. También se incluye el valor proporcional de afectación por plagas.

En total, se identificaron signos o síntomas de afectación en árboles de 8 especies diferentes, siendo el Olivo negro *(Bucida buceras*) la más afectada con 9 árboles, lo que representa el 0.3 % de las especies y el 0,07 % del total de árboles, con una proporción de 0.29 afectados.

Le siguen Neem (*Azadirachta indica*), Palma amarilla (*Dypsis lutescens*) y Mata palo (*Ficus benjamina*), cada una con 5 individuos afectados, lo que equivale a un impacto más distribuido pero relevante a nivel funcional y sanitario.

Las especies como Zapotillo blanco (*Casimiroa edulis)*, Palma cocotera (Cocos nucifera) y Mango (*Mangifera indica*) reportan solo un caso, mientras que Palma (*Roystonea regia*) registra cuatro árboles afectados. La incidencia total es baja, pero no debe descartarse, ya que una detección oportuna puede evitar propagaciones que comprometan la salud del arbolado en el mediano plazo.

Tabla 9. Número de árboles con señales y síntomas de plagas por especie

Especie	Conteo de árboles	% de especies	% de todos los árboles	afectados por plagas
Neem	5	0,42	0,04	0,16
Zapote blanco	1	1	0,01	0,03
Olivo negro	9	0,3	0,07	0,29
Mata palo	5	0,21	0,04	0,16
Palma amarilla	5	0,5	0,04	0,16
Mango	1	0,5	0,01	0,03
Palma cocotera	1	0,5	0,01	0,03
Palma	4	0,2	0,03	0,13

Fuente: Elaboración propia a partir del censo arbóreo procesado en i-Tree Eco (2025).

4.2.Costos y beneficios

4.2.1.Resumen de beneficios ecosistémicos del arbolado urbano

La Tabla 10 presenta un resumen de los beneficios ecosistémicos provistos por cada especie arbórea del Parque de la Madre. Los servicios cuantificados incluyen: almacenamiento y secuestro de carbono, reducción del escurrimiento pluvial y eliminación de contaminantes del aire, todos expresados en valores absolutos y monetarios anuales estimados por el modelo i-Tree Eco. El arbolado total almacena 74.43 toneladas métricas de carbono, con un valor equivalente de 521.04 dólares.

La especie que más contribuye en esta categoría es Neem *(Azadirachta indica),* con 25 toneladas y 174.99 dólares, seguida de Mata palo (*Ficus benjamina*) con 19.23 toneladas (134.61 dólares) y Acacia roja (*Delonix*) con 15.72 toneladas (110.05 dólares).

En cuanto al secuestro anual de carbono, se estiman 3,65 toneladas/año (equivalentes a 25.54 dólares/año). Olivo negro (*Bucida buceras*) es la especie que más carbono secuestra anualmente (0.99 t/año), seguida por Mata palo (*Ficus benjamina*) (0.74 t/año) y Neem (*Azadirachta indica*) (0.48 t/año).

En la categoría de reducción del escurrimiento pluvial, el total anual evitado es de 25.54 m^3, valorado en 21.07 dólares/año. Las especies que más contribuyen son Mata palo (*Ficus benjamina*) (6.58 m^3), Neem (*Azadirachta indica*) (4.45 m^3) y Acacia roja (*Delonix regia*) (4.02 m^3).

Finalmente, se estima que el arbolado elimina un total de 0.07 toneladas métricas/año de contaminantes atmosféricos, con un valor económico equivalente de 537.51 dólares/año. La mayor eliminación la aportan Neem (*Azadirachta indica*) (0,02 t/año), Mata palo (*Ficus benjamina*), Palma (*Roystonea regia*) y Acacia roja (*Delonix regia*) (0.01 t/año cada una). El valor total combinado de los beneficios estimados asciende a 1.079,12 dólares anuales, considerando todos los servicios descritos.

Tabla 10. Beneficios ecosistémicos anuales del arbolado urbano por especie

Especie	Almacenamiento de carbono		Secuestro bruto de carbono		Escurrimiento evitado		Eliminación de la contaminación	
	(Ton. métrica)	($)	(Ton. métrica)	($/año)	(m^3/año)	($/año)	(Ton. métrica)	($/año)
Neem	25,00	174,99	0,48	3,38	4,45	0,53	0,02	113,44
Olivo negro	5,11	35,77	0,99	6,96	3,36	0,40	0,01	85,72
Zapote blanco	0,16	1,11	0,04	0,26	0,10	0,01	0,00	2,60
Palma amarilla	0,20	1,40	0,02	0,12	0,06	0,01	0,00	1,47
Palma cocotera	0,07	0,47	0,01	0,04	0,08	0,01	0,00	2,09
Acacia roja	15,72	110,05	0,47	3,28	2,67	0,32	0,01	68,22
Mata palo	19,23	134,61	1,04	7,27	6,58	0,79	0,02	167,94
Jacaranda sp	0,65	4,57	0,05	0,37	0,74	0,09	0,00	18,97
Mango	0,10	0,73	0,02	0,13	0,07	0,01	0,00	1,71
Algarrobo	6,13	42,88	0,28	1,99	2,05	0,25	0,01	52,38
Guayaba	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01	0,00	0,00	0,17
Palma	1,80	12,61	0,18	1,23	0,64	0,08	0,00	16,25
Tulipan africano	0,08	0,57	0,02	0,12	0,15	0,02	0,00	3,80
Tabebuia	0,18	1,25	0,05	0,35	0,11	0,01	0,00	2,76
Total	74,43	521,04	3,65	25,54	21,07	2,53	0,07	537,51

Fuente: Elaboración propia a partir del censo arbóreo procesado en i-Tree Eco (2025).

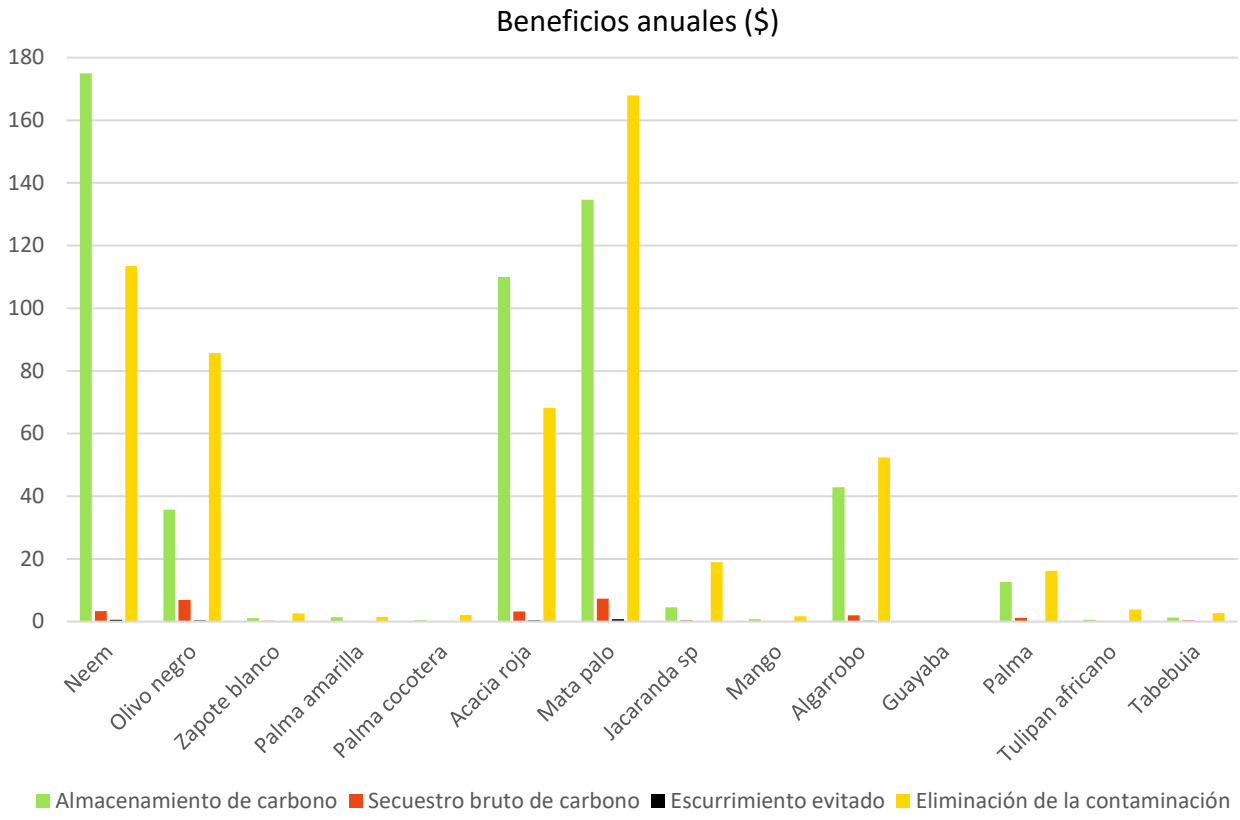


Figura 8. Beneficios anuales en dinero

4.2.2. Almacenamiento de carbono por especie

La Tabla 11 detalla la cantidad total de carbono almacenado por las especies arbóreas del Parque de la Madre, así como su equivalente en dióxido de carbono (CO_2). El arbolado urbano almacena en total 74.4 toneladas métricas de carbono, lo que equivale a 273 toneladas métricas de CO_2.

La especie con mayor contribución es el Neem (*Azadirachta indica*), con 25 toneladas de carbono (33.6 % del total) y 91.7 toneladas de CO_2 equivalente. seguida por Mata palo con 19,2 t de carbono (25,8%) y 70,5 t de CO_2, Acacia roja con 15,7 t de carbono (21,1%) y 57,6 t de CO_2, y Algarrobo con 6,1 t de carbono (8,1%) y 22,4 t de CO_2.

El Olivo negro almacena 5,1 t de carbono (6,9%) equivalente a 18,7 t de CO_2, mientras que la especie Palma alcanza 1,8 t de carbono (2,4%) y 6,6 t de CO_2. El resto de especies presenta valores menores, como el Jacaranda spp con 0,7 t de carbono (0,9%) y 2,5 t de CO_2, el Mango con 0,1 t de carbono (0,1%) y 0,4 t de CO_2, y especies como Zapote blanco, Palma amarilla, Palma cocotera, Tulipán africano y Tabebuia que no superan el 0,3% de almacenamiento de carbono, con valores equivalentes menores a 1t de CO_2. Finalmente, la Guayaba no registra almacenamiento de carbono.

Tabla 11. Almacenamiento de carbono del arbolado urbano por especie

Especie	Almacenamiento de carbono (ton. métrica)	(%)	Equivalente CO_2 (ton. métrica)
Neem	25	33,60%	91,7
Olivo negro	5,1	6,90%	18,7
Zapote blanco	0,2	0,20%	0,6
Palma amarilla	0,2	0,30%	0,7
Palma cocotera	0,1	0,10%	0,2
Acacia roja	15,7	21,10%	57,6
Mata palo	19,2	25,80%	70,5
Jacaranda spp	0,7	0,90%	2,4
Mango	0,1	0,10%	0,4
Algarrobo	6,1	8,20%	22,5
Guayaba	0	0,00%	0
Palma	1,8	2,40%	6,6
Tulipan africano	0,1	0,10%	0,3
Tabebuia	0,2	0,20%	0,7
Total	74,4	100%	273

Fuente: Elaboración propia a partir del censo arbóreo procesado en i-Tree Eco (2025).

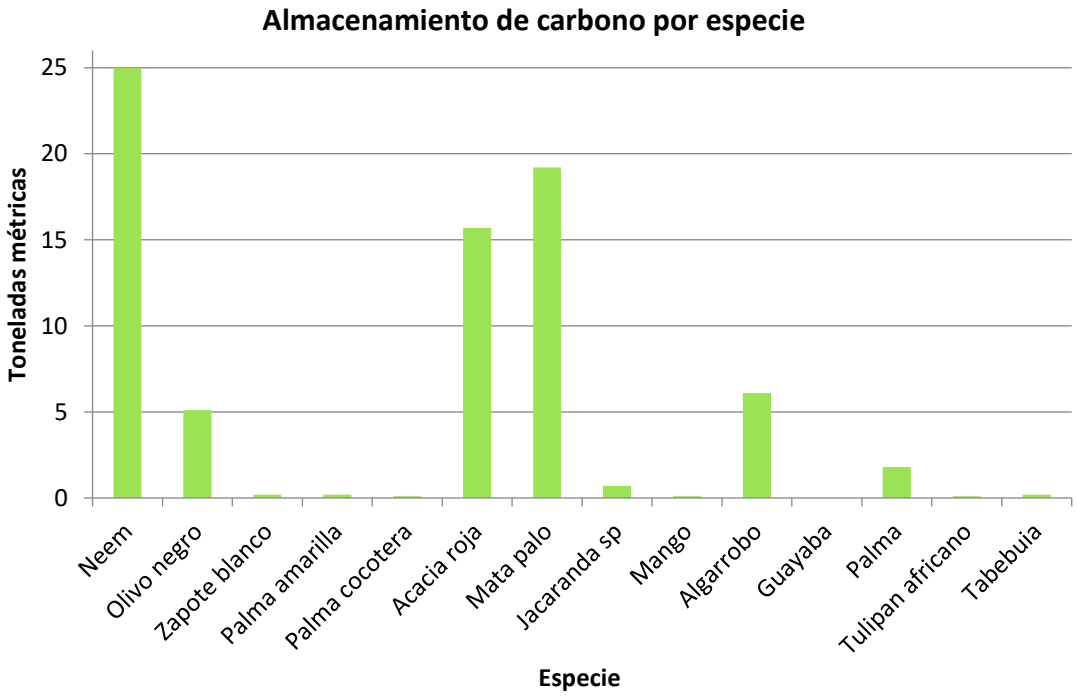


Figura 9. Almacenamiento de carbono por especie

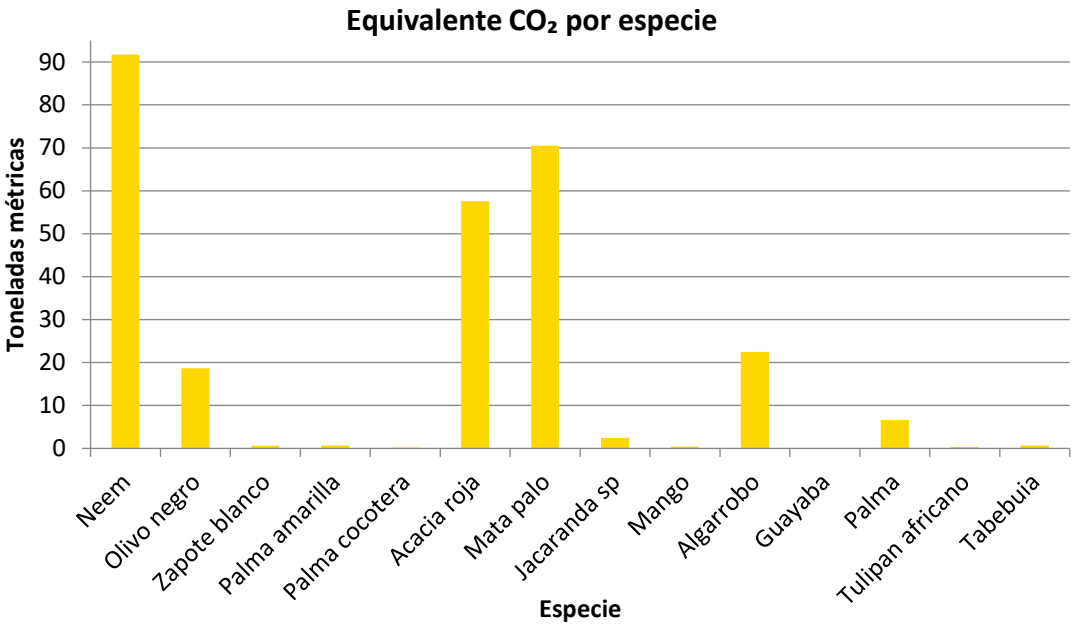


Figura 10. Almacenamiento equivalente de CO_2 por especie

4.2.3. Secuestro anual de carbono por especie

La Tabla 12 presenta el secuestro bruto de carbono por especie del arbolado urbano del Parque de la Madre. El total capturado anualmente asciende a 3 toneladas métricas de carbono, equivalentes a 13 toneladas de CO_2. Las especies que más carbono secuestran por año son Mata palo (*Ficus benjamina)* con 1 tonelada (3 toneladas de CO_2), Olivo negro (*Bucida buceras*) con 0 toneladas (3 toneladas de CO_2), Neem (*Azadirachta indica*) con 0 toneladas (1 tonelada de CO_2) y Acacia roja (*Delonix regia*) con 0 toneladas (1 tonelada de CO_2). Estas cuatro especies concentran la mayor parte del secuestro anual.

Tabla 12. Secuestro anual de carbono del arbolado urbano por especie

Especie	Secuestro bruto de carbono (Ton. métrica/año)	Equivalente CO_2 (Ton. métrica/año)
Neem	0,48	1,77
Olivo negro	0,99	3,64
Zapote blanco	0,04	0,14
Palma amarilla	0,02	0,06
Palma cocotera	0,01	0,02
Acacia roja	0,47	1,72
Mata palo	1,04	3,81
Jacaranda sp	0,05	0,20
Mango	0,02	0,07
Algarrobo	0,28	1,04
Guayaba	0,01	0,02
Palma	0,18	0,64
Tulipan africano	0,02	0,06
Tabebuia	0,05	0,18
Total	3,65	13,38

Fuente: Elaboración propia a partir del censo arbóreo procesado en i-Tree Eco (2025).

4.2.4.Efectos hidrológicos del arbolado urbano

La Tabla 13 muestra el impacto del arbolado del Parque de la Madre sobre el ciclo hidrológico urbano. En total, los árboles procesan 3.912 m³/año de agua a través de evapotranspiración, de los cuales 1.733 m³ corresponden a transpiración y 150 m³ a evaporación. Además, se estima que 150 m³ de agua son interceptados por el follaje. Esta información se complemente con la Tabla 10, se observa que el arbolado evita un total de 21,07 m³ de escorrentía superficial al año, con un valor económico equivalente de 2,53 dólares anuales. Las especies que más contribuyen a este servicio son Mata palo (*Ficus benjamina*) (6.58 m³), Neem (*Azadirachta indica*) (4.45 m³), Acacia roja (*Delonix regia*) (3.02 m³) y Olivo negro *(Bucida buceras*) (3.36 m³), debido principalmente a su mayor cobertura foliar y eficiencia en la intercepción de lluvia.

Tabla 13. Efectos hidrológicos del arbolado urbano por especie

Especie	Número de árboles	Posible evapotranspiración (m³/año)	Evaporación (m³/año)	Transpiración (m³/año)	Agua interceptada (m³/año)
Mata palo	24,00	1222,57	46,98	541,42	46,98
Neem	12,00	825,84	31,73	365,73	31,73
Olivo negro	30,00	624,01	23,98	276,34	23,98
Acacia roja	12,00	496,60	19,08	219,92	19,08
Algarrobo	6,00	381,34	14,65	168,88	14,65
Jacaranda sp	2,00	138,11	5,31	61,16	5,31
Palma	20,00	118,27	4,54	52,37	4,54
Tulipan africano	2,00	27,67	1,06	12,25	1,06
Tabebuia	5,00	20,06	0,77	8,88	0,77
Zapote blanco	1,00	18,90	0,73	8,37	0,73
Palma cocotera	2,00	15,24	0,59	6,75	0,59
Mango	2,00	12,47	0,48	5,52	0,48
Palma amarilla	10,00	10,69	0,41	4,74	0,41
Guayaba	1,00	1,22	0,05	0,54	0,05
Total	129,00	3912,99	150,36	1732,88	150,36

Fuente: Elaboración propia a partir del censo arbóreo procesado en i-Tree Eco (2025).

4.2.5.Eliminación de contaminantes atmosféricos

La Tabla 14 muestra la eliminación estimada de contaminantes del aire por parte del arbolado urbano del Parque de la Madre durante un año. En total, los árboles remueven contaminantes clave como ozono (O_3), partículas (PM_{10} y $PM_{2.5}$), dióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO_2).

El contaminante más eliminado es el ozono (25 kilogramos/año), seguido por PM_{10} (20 kilogramos), NO_2 (11 kilogramos) y SO_2 (10 kilogramos). En menor proporción se eliminan CO (6 kilogramos) y $PM_{2.5}$ (1 kilogramo). El valor económico total asociado a esta remoción asciende a aproximadamente 537 dólares anuales, con mayores aportes en los contaminantes SO_2 (184,86 USD), PM_{10} (165,48 USD) y NO_2 (113,54 USD).

Para monóxido de carbono (CO), I-tree no estima valores máximos ni mínimos, por lo que se reporta únicamente el valor medio; en consecuencia, los campos Máx y Mín figuran como N/A.

Tabla 14. Eliminación anual de contaminantes atmosféricos por el arbolado urbano

Contaminante	Eliminación (kilogramos)			Valor ($)		
	Media	Máx	Mín	Media	Máx	Mín
CO	5,652	N/A	N/A	2,83	N/A	N/A
NO2	11,354	21,491	5,812	113,54	214,91	58,12
O3	25,201	35,993	5,259	63,00	89,98	13,15
PM10*	19,694	30,772	7,693	165,48	258,56	64,64
PM2.5	0,651	1,236	0,089	7,81	14,83	1,07
SO2	10,270	19,534	4,697	184,86	351,61	84,55

Fuente: Elaboración propia a partir del censo arbóreo procesado en i-Tree Eco (2025).

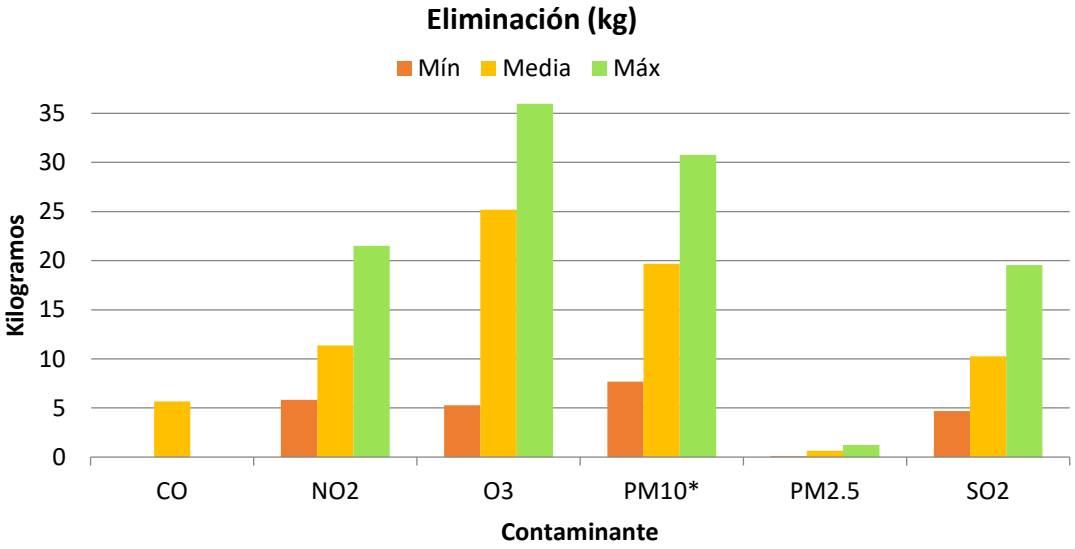


Figura 11. Eliminación Min, Media y Máxima de contaminantes

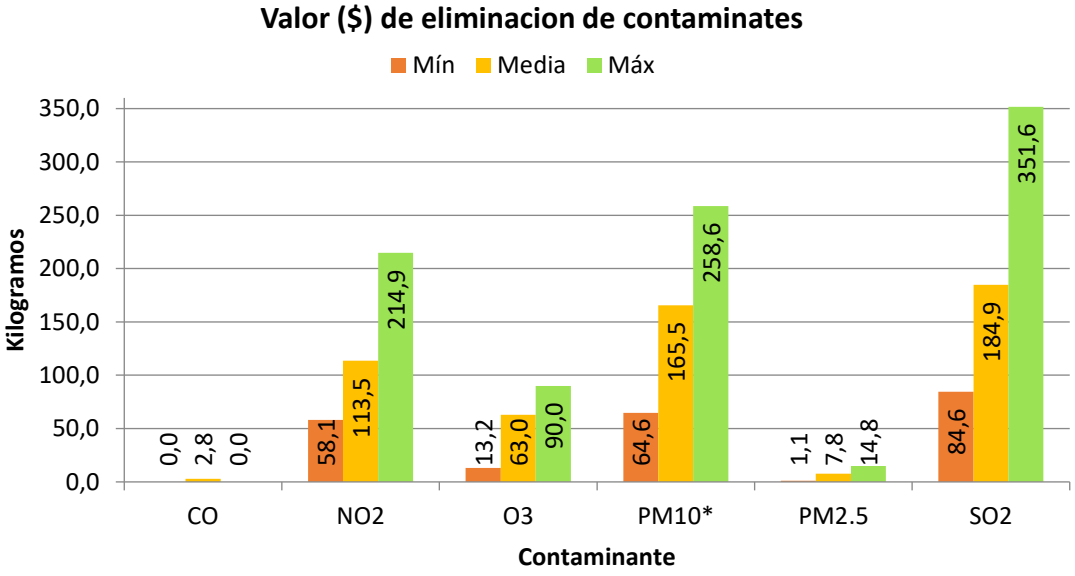


Figura 12. Valor de la eliminación Min, Media y Máxima de contaminantes

4.2.6.Emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV)

La Tabla 15 presenta la emisión estimada de compuestos orgánicos volátiles (COV) por parte del arbolado urbano del Parque de la Madre. El total emitido por todas las especies es de 18 kilogramos por año, compuestos por 4 kilogramos de monoterpenos y 15 kilogramos de isopreno. Las especies que más contribuyen a estas emisiones son Mata palo (*Ficus benjamina*) con 9 kilogramos por año, seguida por Palma (*Roystonea regia*) con 4 kilogramos, Palma amarilla (*Dypsis lutescens*) y Neem (*Azadirachta indica*) con valores entre 1 y 2 kilogramos. El resto de las especies presenta emisiones mínimas o nulas. Aunque estas emisiones son naturales, pueden tener efectos sobre la calidad del aire urbano en ciertas condiciones atmosféricas, al reaccionar con contaminantes como el ozono o los óxidos de nitrógeno.

Tabla 15. Emisión anual de compuestos orgánicos volátiles (COV) por especie

Especie	Monoterpene (kg/año)	Isoprene (kg/año)	COV totales (kg/año)
Algarrobo	0	0	0
Acacia roja	0,3	0	0,3
Tulipan africano	0	0	0
Guayaba	0	0	0
Jacaranda spp	0	0	0
Mata palo	2,8	6,4	9,3
Mango	0,1	0	0,1
Neem	0,2	0,1	0,3
Olivo negro	0,1	4,3	4,5
Palma	0,1	3,5	3,5
Palma amarilla	0	0,3	0,3
Palma cocotera	0	0,4	0,5
Tabebuia	0	0	0
Zapote blanco	0,1	0	0,1
Total	3,8	15,1	18,9

Fuente: Elaboración propia a partir del censo arbóreo procesado en i-Tree Eco (2025).

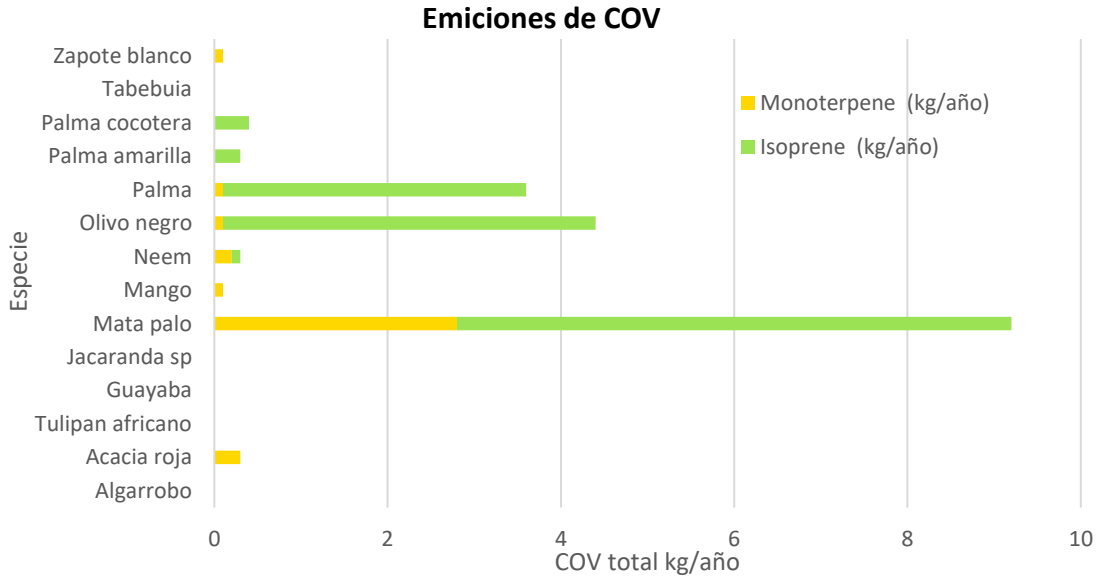


Figura 13. Valor de la eliminación Min, Media y Máxima de contaminantes

4.2.7.Índice de alergia del arbolado urbano

La Tabla 16 muestra el índice de alergia del arbolado presente en el Parque de la Madre. Del total de especies analizadas, un 31 por ciento corresponde a especies con potencial alérgico bajo, mientras que el 3 por ciento presenta potencial medio.

No se registraron especies con potencial alérgico alto, aunque un 65 por ciento no cuenta con información específica sobre su nivel alergénico. El índice general de alergia calculado fue de 0.86, lo que ubica al arbolado en la categoría de bajo riesgo para la salud respiratoria de la población sensible.

Tabla 16. Índice de alergia asociado al arbolado urbano

Estrato	Bajo-(%)	Medio (%)	Alto (%)	Desconocido (%)	Índice de Alergia	Clase de Alergia
Área de estudio	31,28	3,41	0,00	65,31	0,86	Bajo

Fuente: Elaboración propia a partir del censo arbóreo procesado en i-Tree Eco (2025).

4.2.8.Costos de manejo del arbolado urbano

La tabla 17 muestra los gastos anuales estimados para el manejo del arbolado urbano en el Parque de la Madre. El costo total asciende a 10.300 dólares por año, lo que equivale a 79 dólares por árbol y aproximadamente 0.04 dólares por habitante.

Las actividades que generan mayores costos son la contratación de poda (2.100 dólares), la adquisición y siembra de árboles (1.600 dólares), la irrigación (1.700 dólares) y la eliminación de ejemplares (1.100 dólares). Otras áreas relevantes incluyen la limpieza de basura (900 dólares) y reparaciones a la infraestructura (700 dólares).

Estos valores representan los costos necesarios para mantener en condiciones saludables y funcionales al arbolado urbano en términos operativos, sanitarios y de seguridad.

Tabla 17. Costos anuales de manejo del arbolado urbano por tipo de gasto

Gastos	Total $	$/árbol	$/cápita
Adquirir árboles y sembrar	1600	12,4	0,01
Contratar poda	2100	16,28	0,01
Manejo de plagas	500	3,88	0
Irrigación	1700	13,18	0,01
Eliminación	1100	8,53	0
Administración	800	6,2	0
Inspección/servicio	500	3,88	0
Reparaciones a la infraestructura	700	5,43	0
Limpieza de basura	900	6,98	0
Responsabilidad/reclamos	0	0	0
Otros gastos	400	3,1	0
Gastos totales	10300	79,84	0,04

Fuente: Elaboración propia a partir del censo arbóreo procesado en i-Tree Eco (2025).

4.2.9.Beneficios netos e índice costo-beneficio

La tabla 18 muestra el balance económico anual entre los beneficios ecosistémicos y los costos de manejo del arbolado urbano del Parque de la Madre. Los beneficios totales estimados ascienden a 662 dólares al año, distribuidos principalmente en la eliminación de la contaminación (537 dólares), energía (97 dólares), secuestro de carbono (25 dólares) y escurrimiento evitado (2 dólares).

Por otro lado, los costos de mantenimiento anual suman 10.300 dólares, generando un balance negativo de 9.637 dólares, equivalente a una pérdida de 75 dólares por árbol. El índice costo-beneficio obtenido es de 0,06, lo cual indica que por cada dólar invertido en gestión del arbolado se recuperan apenas 6 centavos en beneficios directos cuantificables.

Tabla 18. Balance anual de beneficios y costos del arbolado urbano

	Total $ (USD)	$ (USD)/árbol	$ (USD)/cápita
Energía	96,7	0,75	0
Secuestro bruto de carbono	25,54	0,2	0
Eliminación de la contaminación	537,51	4,17	0
Escurrimiento evitado	2,53	0,02	0
Beneficios totales	662,28	5,13	0
Adquirir árboles y sembrar	1600	12,4	0,01
Contratar poda	2100	16,28	0,01
Manejo de plagas	500	3,88	0
Irrigación	1700	13,18	0,01
Eliminación	1100	8,53	0
Administración	800	6,2	0
Inspección/servicio	500	3,88	0
Reparaciones a la infraestructura	700	5,43	0
Limpieza de basura	900	6,98	0
Responsabilidad/reclamos	0	0	0
Otros gastos	400	3,1	0
Costos totales	10300	79,84	0,04
Beneficios netos	-9637,72	-74,71	-0,04
Índice costo-beneficio		0,06	

Fuente: Elaboración propia a partir del censo arbóreo procesado en i-Tree Eco (2025).

4. DISCUSIÓN

4.1.Discusión composición y estructura

Los resultados indican una composición dominada por pocas especies, siendo Olivo negro (*Bucida buceras), Mata palo (Ficus benjamina) y Mata palo (Roystonea regia)* las más frecuentes, representando en conjunto más del 55 % del total de individuos. Este patrón es característico de los arbolados urbanos en Ecuador, donde se prioriza el uso de especies ornamentales y exóticas de rápido crecimiento, lo cual ha sido documentado en estudios como el realizado por *Merino et al. (2023)* en la ciudad de Ibarra, donde más del 70 % del arbolado estaba representado por solo cinco especies.

El valor de importancia ecológica fue liderado por Mato Palo (*Ficus benjamina)* (49.8 %) y Neem (*Azadirachta indica)* (30.4 %), especies con amplia cobertura foliar y buena condición estructural, pese a que esta última no figura entre las más abundantes. Este comportamiento ya ha sido observado por *Yao et al. (2022)*, quienes señalan que algunas especies pueden tener un alto desempeño funcional por unidad individual, compensando su baja densidad relativa

La condición sanitaria general es favorable, con más del 88 % de los árboles en estado excelente, bueno o aceptable. No obstante, especies como Neem (Azadirachta indica) presentan un 16.7 % de individuos en estado crítico, lo que puede atribuirse a estrés hídrico, problemas de compactación del suelo o falta de manejo técnico. Este tipo de desequilibrio fue evidenciado también por *Ochoa (2021*) en Cuenca, quienes identificaron que la falta de podas adecuadas y el uso de especies no adaptadas influye negativamente en la salud del arbolado.

El Índice de Desempeño Relativo (RPI) muestra que especies como Mango (*Mangifera indica)* (1.99), Neem (*Azadirachta indica)* (1.98) y Jacaranda spp (*Jacaranda sp.)* (1,92) presentan un excelente equilibrio entre su condición, cobertura y valor funcional. Estos resultados concuerdan con lo observado en Santo Domingo, donde especies de hoja ancha con buena copa obtuvieron altos RPI en zonas urbanas (*Abrigo y Molina 2022*).

En cuanto a las plagas, se reportaron señales en 8 especies, siendo Olivo negro (*Bucida buceras)* la más afectada. Si bien la incidencia es baja, su presencia confirma la necesidad de monitoreo constante, como lo en un análisis del arbolado urbano de Loja, donde se identificó la proliferación de cochinilla y hongos en especies mal adaptadas (*Armijos y Fernández 2023*).

Finalmente, se identificó que el 100 % del arbolado presenta desplazamiento de aceras en el rango leve (0–¾ pulgadas). Aunque no representa riesgo inmediato, confirma lo encontrado por el Consorcio de Investigación del Urbanismo Quiteño, que advierte sobre los daños acumulativos de raíces en infraestructura urbana si no se realizan podas correctas ni selección adecuada de especies (*Aragundi et al. 2020*).

4.2. Discusión Costos y beneficios

El análisis revela que los beneficios ecosistémicos estimados “captura de carbono (25 USD/año), reducción de escorrentía (2 USD/año), eliminación de contaminantes (537 USD/año) y ahorro energético (97 USD/año)” suman aproximadamente 662 USD al año, frente a unos costos de manejo proyectados de 10 300 USD anuales, lo que arroja un balance negativo de 9 637 USD y un índice costo-beneficio de solo 0.06. Esto significa que, por cada dólar invertido en mantenimiento del arbolado, solo se recuperan unos 6 centavos en beneficios cuantificados.

Este resultado está en línea con múltiples estudios internacionales que muestran que, aunque los beneficios ambientales de los árboles urbanos son variados y sustanciales, los costos de plantación, mantenimiento y riesgos a infraestructura suelen superar los beneficios monetizables, especialmente en etapas tempranas después de la plantación o en contextos de escasa densidad arbórea (*Song et al. 2018*).

La relación detectada en la sección de resultados refleja un patrón recurrente en estudios de Norteamérica y Europa, donde el retorno económico directo de servicios como secuestro de carbono o reducción de energía suele necesitar complementarse con beneficios “invisibles” o sociales (como salud pública, estética o bienestar psicológico) para justificar plenamente la inversión (*Dwyer et al. 1992.*)

Aunque los beneficios directos monetizados resultan bajos frente a los costos, la literatura destaca que los servicios ambientales reguladores, como la remoción de contaminantes y la mitigación de temperatura urbana, son frecuentemente subvalorados o no se contemplan en su totalidad en modelos de valoración económica (*Nowak y Dwyer 2007*). Según *Escobedo et al. (2011)* encontraron que estos servicios adicionales “como la reducción de mortalidad y enfermedades respiratorias” pueden multiplicar el valor real atribuido al arbolado urbano, aunque no siempre se incluyan en los balances financieros.

En el caso de Manta, el valor económico otorgado a la eliminación de contaminantes 537 USD/año representa más del 80 % de los beneficios totales, lo que concuerda con estudios realizados. Según *Nowak et al. (2006)* estimaron que los árboles urbanos en Estados Unidos eliminan cerca de 711 000 toneladas métricas de contaminantes al año, con un valor económico aproximado de 3.8 mil millones de dólares, siendo el ozono y las partículas somo PM_{10} los contaminantes más removidos. Este equilibrio entre servicios ecosistémicos y contaminantes coincidentes destaca el rol fundamental del arbolado en la mitigación de la contaminación atmosférica urbana.

Además, los árboles tienen un impacto crucial sobre la salud pública, especialmente en entornos urbanos densamente poblados. Según *Vogt et al. (2015)* la presencia de vegetación urbana está asociada con menores tasas de enfermedades respiratorias, mayor recuperación hospitalaria y mejor salud mental general. Desde la perspectiva de planificación urbana, la interpretación de los datos de este estudio no debe llevar a subestimar el valor del arbolado debido a un aparente déficit financiero. Más bien, resalta la necesidad de fortalecer políticas de manejo forestal urbano con criterios de sostenibilidad a largo plazo.

5. CONCLUSIONES

El presente estudio demostró que el arbolado urbano del Parque de la Madre cumple funciones ecosistémicas clave, especialmente en términos de almacenamiento y secuestro de carbono, regulación hídrica y mejora de la calidad del aire. A pesar de que los beneficios económicos cuantificados no superan los costos de mantenimiento, los árboles urbanos generan impactos ambientales positivos que no siempre se reflejan en cifras monetarias inmediatas, pero que son fundamentales para la resiliencia urbana.

La especie Olivo negro (*Bucida buceras)* destacó por su alta representatividad y aporte ecosistémico, mientras que especies como Neem (*Azadirachta indica)* y acacias rojas (*Delonix regia)* también mostraron alta eficiencia en captura de carbono. No obstante, la diversidad específica es limitada, lo cual representa un riesgo ante eventos sanitarios o climáticos.

Se concluye que es indispensable implementar programas de planificación y manejo forestal urbano que integren criterios ecológicos, sanitarios y económicos. Se recomienda ampliar la cobertura arbórea, diversificar las especies y reforzar el monitoreo con herramientas como i-Tree Eco, a fin de optimizar los beneficios ecosistémicos y garantizar un entorno urbano más saludable y sostenible para la ciudad de Manta.

6. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos, se recomienda diversificar las especies arbóreas presentes en el Parque de la Madre, priorizando especies nativas y resilientes que incrementen los servicios ecosistémicos y reduzcan el riesgo ante enfermedades o eventos climáticos extremos. Asimismo, se sugiere ampliar la cobertura forestal mediante programas de reforestación urbana que permitan aumentar los niveles de biomasa, captura de carbono y regulación hídrica.

Es fundamental fortalecer el mantenimiento preventivo del arbolado, priorizando acciones como la poda rutinaria, el manejo fitosanitario y la inspección periódica, en función del índice de desempeño relativo y las condiciones observadas.

Además, se recomienda incorporar herramientas como i-Tree Eco en procesos de monitoreo continuo, lo que facilitaría una mejor planificación del manejo forestal urbano. Por último, destaca la importancia de valorar de forma integral los beneficios del arbolado, incluyendo aspectos sociales y ambientales más allá de los beneficios económicos directos, y se insta a fomentar la participación ciudadana mediante programas de educación ambiental y actividades comunitarias de conservación.

7. BIBLIOGRAFIA

Abrigo Vivas, RF; Molina Guaman, FJ. 2022. "Automatización del parqueadero con direccionamiento a los lugares de estacionamiento y control de acceso en la puerta principal del bloque``b´´ de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná". https://repositorio.utc.edu.ec/items/d619ff41-b0d7-4450-b6f8-53858d511ff7

Aragundi, S; Cubillo, P; Aguilera, K. 2020. Un Diagnóstico de la Diversidad y Funcionalidad del Arbolado de Quito. Plan Árbol. Fases, vol 2. https://www.academia.edu/download/77122815/UnDiagnosticoDeLaDiversidadyFuncionalidadDelArboladoDeQuito_2020.pdf

Armijos Díaz, JD; Fernández Guarnizo, PV. 2023. Evaluación de enfermedades fungosas del arbolado urbano de los parques y avenidas de la ciudad de Loja. https://agris.fao.org/search/en/providers/124878/records/68515fd753e52c13fc76530a

Bolund, P; Hunhammar, S. 1999. Ecosystem services in urban areas. Ecological economics, vol. 29, no 2, p. 293-301. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800999000130

Cabrera, A; Basurto, E. 2019. Patrimonio Cultural Inmaterial del cantón Manta. Manta. Editorial Universitaria, https://munayi.uleam.edu.ec/wp-content/uploads/2019/12/patrimonio-cultural-manta-web.pdf

De Frutos, P; Esteban, S. 2009. Estimación de los beneficios generados por los parques y jardines urbanos a través del método de valoración contingente. Urban Public Economics Review, no 10, p. 13-51. https://www.redalyc.org/pdf/504/50412489001.pdf

Del Agua, C; Sustentable, D. 2013. "ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DEL CANTÓN MANTA, PERFIL TERRITORIAL. https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56813.pdf

Dwyer, JF; McPherson, EG; Schroeder, HW; Rowntree, RA. 1992. Assessing the benefits and costs of the urban forest. Journal of Arboriculture. 18 (5): 227-234., vol. 18, no 5, p. 227-234. https://research.fs.usda.gov/treesearch/61733

Escobedo, FJ; Kroeger, T; Wagner, JE. 2011. Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. Environmental pollution, vol. 159, no 8-9, p. 2078-2087. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749111000327

Hernández-Castán, J; Cuesta Mejía, E; Ortiz Espejel, B; Rosano Reyes, E. 2023. Servicios ecosistémicos del arbolado urbano en la Laguna de San Baltazar, Puebla, mediante el uso del software i-Tree. Ciencia ergo sum, vol. 30, no 2. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2395-87822023000200198&script=sci_arttext

Kadić, A; Maljković, B; Rogulj, K; Pamuković, JK. 2025. Green Infrastructure's Role in Climate Change Adaptation: Summarizing the Existing Research in the Most Benefited Policy Sectors. Sustainability, vol. 17, no 9, p. 4178. https://www.mdpi.com/2071-1050/17/9/4178

Manzaba Zambrano, WA. 2024. Plan de negocio para la creación de una empresa constructora enfocada en la remodelación de interiores en la ciudad de Manta. Tesis Doctoral. https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/6588

Merino, B; Gualán, R; Macas, MF; Armijos, A; Fernández, P; Jumbo, N; Lozano D; Pucha-Cofrep, DA. 2023. Caracterización florística y estructura del arbolado urbano de la ciudad de Loja. Bosques Latitud Cero, vol. 13, no 2, p. 1-22. https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/1886

Mieles-Giler, JW; Guerrero-Calero, JM; Moran-González, MR; Zapata-Velasco, ML. 2024. Evaluación de la degradación ambiental en hábitats Naturales. Journal of Economic and Social Science Research, vol. 4, no 3, p. 65-88. https://economicsocialresearch.com/index.php/home/article/view/121

Muñoz-Pacheco, CB; Villaseñor, NR. 2022. Urban ecosystem services in South America: A systematic review. Sustainability, vol. 14, no 17, p. 10751. https://www.mdpi.com/2071-1050/14/17/10751

Nowak, DJ. 2007. Assessing urban forest effects and values: New York City's urban forest. US Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=ntm09LH_ue4C&oi=fnd&pg=PA5&dq=Assessing+urban+forest+effects+and+values,+New+York+City%27s+urban+forest&ots=Qahj1eoC_q&sig=wr-Mw39XhMAl4xUKT-PUmzfxbtI

Nowak, DJ; Crane, DE; Stevens, JC. 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. Urban forestry & urban greening, vol. 4, no 3-4, p. 115-123. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866706000173

Nowak, DJ; Dwyer, JF. 2007. Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. En Urban and community forestry in the northeast. Dordrecht: Springer Netherlands, p. 25-46. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-4289-8_2

Ochoa Quinteros, LM. 2021. Propuesta de diseño interior para un restaurante bar en el piso 13 del edificio de la Cámara de Industrias de la ciudad de Cuenca. https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/e186d7bd-77d8-4fdc-9533-99e5ce3ac1c2

Padilla Mero, SR. 2023. Proceso de elaboración de cerveza artesanal utilizando la miel de abeja en la fermentación, cantón Manta. Tesis Doctoral. https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/4903

Paruelo, JM. 2010. Valoración de servicios ecosistémicos y planificación del uso del territorio ¿Es necesario hablar de dinero? Valoración de Servicios Ecosistémicos,

vol. 120. https://www.academia.edu/download/34217066/Valoracion_de_Servicios_Ecosistemicos.pdf#page=62

Pons Giner, B. 2016. La infraestructura verde como base de la resiliencia urbana: estrategias para la regeneración de corredores fluviales urbanos del Banco Interamericano de Desarrollo. Tesis Doctoral. Arquitectura. https://oa.upm.es/44616/

Sharmin, M; Tjoelker, MG; Pfautsch, S; Esperón-Rodriguez, M; Rymer, PD; Power, SA. 2023. Tree traits and microclimatic conditions determine cooling benefits of urban trees. Atmosphere, vol. 14, no 3, p. 606. https://www.mdpi.com/2073-4433/14/3/606

Song, XP; Tan, PY; Edwards, P; Richards, D. 2018 The economic benefits and costs of trees in urban forest stewardship: A systematic review. Urban forestry & urban greening, vol. 29, p. 162-170. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S161886671730523X

Sorensen, M; Barzetti, V; Keipi, K; Williams, JR. 1998. Manejo de las áreas verdes urbanas. https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Manejo-de-las-areas-verdes-urbanas.pdf

Soto, M. 2010. Revisión de los modelos CITY-green, i-tree Tools ECO y i-Tree Tools Streets, como herramientas para la cuantificación de los servicios Ecosistémicos prestados por el arbolado urbano de Bogotá. Tesis Doctoral. Tesis de Grado). Carrera de Ecología, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Universidad Javeriana. Colombia. https://core.ac.uk/download/pdf/71419850.pdf

Vogt, J; Hauer, RJ; Fischer, BC. 2015. The costs of maintaining and not maintaining the urban forest: A review of the urban forestry and arboriculture literature. Arboriculture & Urban Forestry (AUF), vol. 41, no 6, p. 293-323. https://auf.isa-arbor.com/content/41/6/293

World Health Organization. 2016. Urban green spaces and health. En Urban green spaces and health. Regional Office for Europe. https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2016-3352-43111-60341?utm_source=chatgpt.com

Yao, J; Chen, N; Guo, F; Liu, M; Chen, W; He, X. 2022. Variation in ecosystem services of street tree assemblages can guide sustainable urban development. Journal of Plant Ecology, vol. 15, no 6, p. 1241-1256. https://academic.oup.com/jpe/article-abstract/15/6/1241/6542058

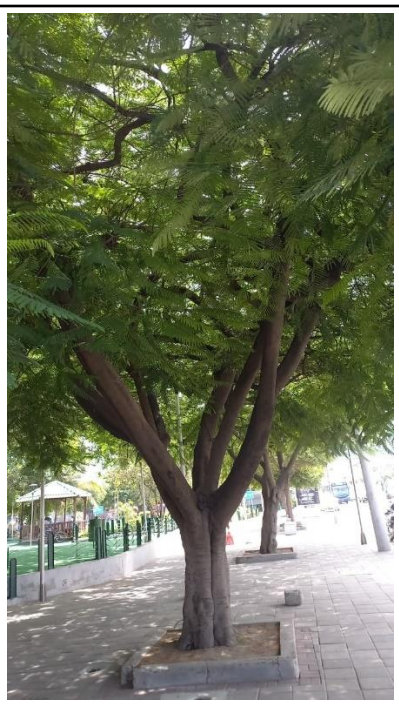
Zambrano, MJT; Mero, JLC. 2022. La ciudad compacta y diversa frente a los desafíos de los objetivos de desarrollo sostenible. Caso Manta. Dominio de las Ciencias, vol. 8, no 1, p. 1097-1116. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8383402

8. ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica: Inventario de árboles urbanos

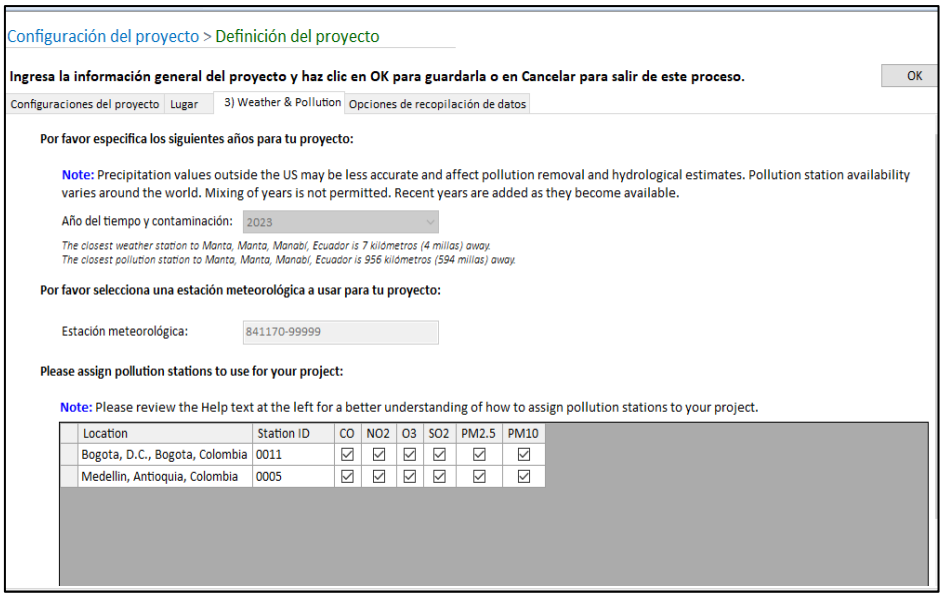
ID	Brigada	Fecha de monitoreo	Condicion	Especies	Domicilio	Uso de la tierra	Foto ID	DAP 1 (cm)
DAP 1: Altura (m)	DAP 1: ¿Medido?	DAP 2 (cm)	DAP 2: Altura (m)	DAP 2: ¿Medido?	DAP 3 (cm)	DAP 3: Altura (m)	DAP 3: ¿Medido?	DAP 4 (cm)
DAP 4: Altura (m)	DAP 4: ¿Medido?	DAP 5 (cm)	DAP 5: Altura (m)	DAP 5: ¿Medido?	DAP 6 (cm)	DAP 6: Altura (m)	DAP 6: ¿Medido?	Muerte regresiva
Total Altura (m)	Copa: Altura superior (m)	Copa: Altura a la base (m)	Copa: Ancho N/S (m)	Copa: Ancho E/O (m)	Copa: % Faltante	Copa: Exposición de luz	Edificio 1: Dirección	Edificio 1: Distancia (m)
Edificio 2: Dirección	Edificio 2: Distancia (m)	Edificio 3: Dirección	Edificio 3: Distancia (m)	Building 4: Direction	Edificio 4: Distancia (m)	¿Árbol de la calle?	Mantenimineto recomendado	Tarea de mantenimineto
Conflicto con aceros	Conflicto con servicio	Estres en arbol: Muerte progresiva	Estrés en arbol: retoños epicormicos	Estrés en arbol: follaje marchito	Estrés en arbol: estrés ambiental	Estrés en arbol: estrés humano	Comentarios	follaje/ramitas:follaje mordisqueado
follaje/ramitas:follaje descolorido	follaje/ramitas:anormal	follaje/ramitas:señales de insecto	follaje/ramitas: follaje afectado	comentario	ramas/troncos:señales de insectos	ramas/troncos:Presencia de insectos	ramas/tronco: señales de enfermedad	ramas/tronco:lugar problemático
ramas/tronco:crecimiento anormal	comentario	plaga principal	¿Público?	Latitud	Longitud	Comentarios		

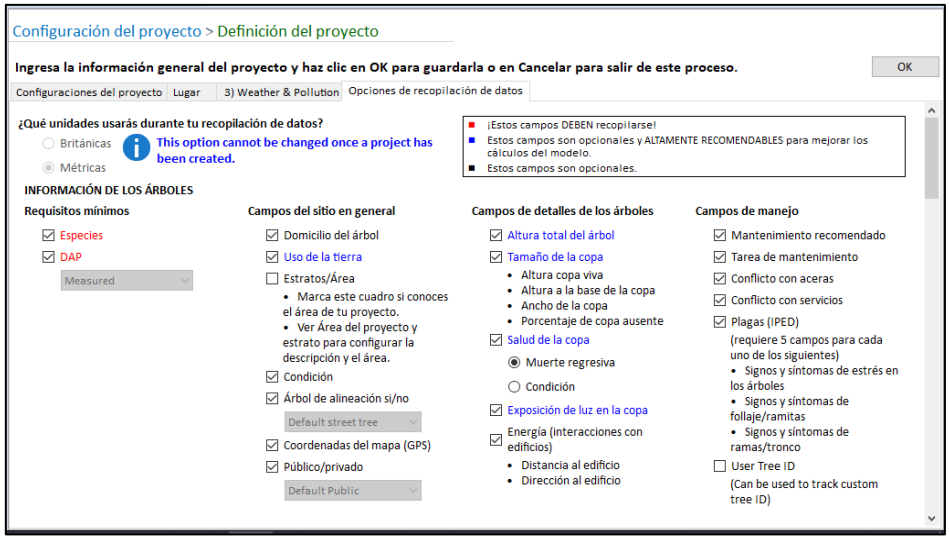
Anexo 2: Trabajo en terreno durante el inventario de árboles urbanos.



Anexo 3: Trabajo en terreno durante el inventario de árboles urbanos.

Anexo 4: Imágenes del software i-Tree Eco y especificaciones del proyecto





Anexo 5. Tabla de Datos de inventario

Datos > Datos de inventario > Árboles

ID	Brigada	Fecha de monitoreo	Condición	Especies	Domicilio	Uso de la tierra	Foto ID	DAP 1 (cm)
1	Grupo A	29/5/2025 0:00:00	Plantado	Delonix spp (Delonix)	Poste de luz	Park		98,7
2	Grupo A	29/5/2025 0:00:00	Plantado	Bayahonda blanca (Prosopis juliflora)	Parada de bus	Park		15,3
3	Grupo A	29/5/2025 0:00:00	Plantado	Bayahonda blanca (Prosopis juliflora)	Parada de bus a la iquierda	Park		37,6
4	Grupo A	29/5/2025 0:00:00	Plantado	Bayahonda blanca (Prosopis juliflora)	Casa cultural Manta	Park		49,0
5	Grupo A	29/5/2025 0:00:00	Plantado	Olivo negro (Bucida buceras)	Lado de baño	Park		14,3
6	Grupo A	29/5/2025 0:00:00	Plantado	Laurel lloron (Ficus benjamina)	Diagonal a baño	Park		29,0
7	Grupo A	29/5/2025 0:00:00	Plantado	Bayahonda blanca (Prosopis juliflora)	Frente casa cultural Manta	Park		52,5
8	Grupo A	29/5/2025 0:00:00	Plantado	Bayahonda blanca (Prosopis juliflora)	Al lado de reja parque	Park		44,3
9	Grupo A	29/5/2025 0:00:00	Plantado	Delonix spp (Delonix)	Carretera	Park		37,6
10	Grupo A	29/5/2025 0:00:00	Plantado	Laurel lloron (Ficus benjamina)	Carretera por el poste de luz	Park		15,6
11	Grupo A	29/5/2025 0:00:00	Plantado	Laurel lloron (Ficus benjamina)	Carretera por el poste de luz	Park		17,2
12	Grupo A	29/5/2025 0:00:00	Plantado	Laurel lloron (Ficus benjamina)	Cerca de la calle	Park		15,9
13	Grupo A	29/5/2025 0:00:00	Plantado	Delonix spp (Delonix)	Cerca de la calle	Park		65,6
14	Grupo A	29/5/2025 0:00:00	Plantado	Delonix spp (Delonix)	Cerca de la calle	Park		50,9
15	Grupo A	29/5/2025 0:00:00	Plantado	Olivo negro (Bucida buceras)	Cerca de la calle	Park		12,7
16	Grupo A	29/5/2025 0:00:00	Plantado	Olivo negro (Bucida buceras)	Cerca de la calle	Park		19,4
17	Grupo A	29/5/2025 0:00:00	Plantado	Delonix spp (Delonix)	A lado del edificio	Park		25,5
18	Grupo A	29/5/2025 0:00:00	Plantado	Delonix spp (Delonix)	Arbol cortado	Park		50,3
19	Grupo A	29/5/2025 0:00:00	Plantado	Delonix spp (Delonix)	Cerca artefacta	Park		37,6
20	Grupo A	29/5/2025 0:00:00	Plantado	Jacaranda spp (Jacaranda)	Comindustrias	Park		52,8
21	Grupo A	1/6/2025 0:00:00	Plantado	Neem (Azadirachta indica)	Dentro del parque, cerca de baño	Park		42,7