

Caracterización, servicios ecosistémicos del arbolado y lineamientos generales para la arborización en aceras de la ciudad de San Salvador, El Salvador

Aguilar-Rincán, K.N.

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

Cruz-Cruz, M.E.

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

Salmerón-Rodríguez, N.L.

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

Castaneda-Romero, L.F.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Docente director.

Tejada-Asencio, J.M.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Docente director.

RESUMEN

La investigación se realizó de octubre 2019 a diciembre de 2020 en el segmento de la calle Rubén Darío, 1.ª calle poniente y la calle Arce, desde la Avenida España y finalizando en la 25 Avenida Norte, en el municipio de San Salvador, El Salvador. Con coordenadas 13°41'54"N 89°11'27"O; 13°42'01"N 89°12'21"O, con un área de 351,000 m² y una elevación media de 711 m s. n. m. El estudio consistió en la caracterización del arbolado, la determinación de los servicios ecosistémicos que estos brindan y la elaboración de lineamientos para la arborización en aceras de áreas urbanas. Para la caracterización, se tomaron parámetros como diámetro a la altura del pecho, altura total, altura y diámetro de copa, presencia de plagas, daños, estado fenológico, entre otros. Para la determinación de los servicios ecosistémicos se utilizó el programa i-Tree Eco®, desarrollado por el Servicio Forestal de los Estados Unidos de América (USFS por sus siglas en inglés), el cual permite caracterizar la estructura del bosque urbano, así como cuantificar y valorar los servicios ambientales, esto facilita el procesamiento y análisis de la información de campo, y permite la organización y control del arbolado de un área determinada. Con el análisis socioeconómico y ambiental de la arborización, y los aspectos técnicos y legales del manejo de especies, se elaboraron lineamientos generales que servirán de base para los tomadores de decisiones relacionados con la arborización de aceras en áreas urbanas, para obtener beneficios ambientales, económicos y sociales; a fin de mejorar la capacidad de adaptación y resiliencia de las ciudades. En el área de estudio se encontraron 301 individuos, 21 familias, 34 géneros y 37 especies; entre las cuales *Calophyllum brasiliense* es una de las que presentaron mayor incidencia en aceras con un 82.35 % y *Magnolia champaca* obtuvo mayor problema con el alumbrado eléctrico en 53 %. El secuestro bruto de carbono capturado del arbolado de San Salvador es 6.495 toneladas por año con un valor asociado de USD 1,046.37, y anualmente se producen 17.32 toneladas de oxígeno por año. Los bosques urbanos tienen un valor estructural basado en los mismos árboles (el costo de tener que reemplazar un árbol con otro similar), para el arbolado de San Salvador el valor estructural es de USD 548,081.72.

ABSTRACT

The research was carried out from november 2019 to december 2020 in the segment of Rubén Darío Street, 1st Poniente Street and Arce Street, from Spain Avenue and ending at 25 North Avenue, in the municipality of San Salvador, El Salvador. With coordinates 13°41'54"N 89° 11'27"W; 13°42'01"N 89°12'21"W, with an area of 315,000 m² and an average elevation of 711 m s. n. m. The study consisted of the characterization of the trees on the sidewalks, the determination of the ecosystem services that they provide and the elaboration of guidelines for the arborization of sidewalks in urban areas. For the characterization of the trees, height parameters such as diameter at breast height, total height, and crown diameter, presence of pests, damage, phenological status, among others, were taken. To determine the ecosystem services, the i-Tree Eco® program was used, developed by the Forest Service of the United States of America (USFS), which characterizes the structure of the urban forest, as well as quantifies and assess environmental services, facilitating the processing and analysis of field information, allowing the organization and control of trees in a given area. With the socioeconomic and environmental analysis of arborization, technical and legal aspects of species management, general guidelines were developed that will serve as a basis for decision makers related to arborization of sidewalks in urban areas, to obtain environmental, economic and social benefits; improving the adaptability and resilience of cities. In the study area, 301 individuals, 21 families, 34 genera and 37 species were found; Among which *Calophyllum brasiliense* is one of those with the highest incidence on sidewalks with 82.35 % and *Magnolia champaca* had the greatest problem with electric lighting in 53 %. The gross sequestration of carbon captured from the trees of San Salvador is 6,495 tons per year with an associated value of USD 1,046.37, and 17.32 tons of oxygen are produced annually per year. Urban forests have a structural value based on the same trees (the cost of having to replace a tree with a similar one), for the trees of San Salvador the structural value is USD 548,081.72.

Keywords: urban trees, sidewalk trees, i-Tree Eco®, characterization, ecosystem services

Palabras clave: arbolado urbano, arborización en aceras, i-Tree Eco®, caracterización, servicios ecosistémicos

DOI:10.5281/zenodo.10611868

**ACCESO ABIERTO**

Título en inglés:

Characterization, ecosystem services of the trees and general guidelines for the trees on sidewalks of the city of San Salvador, El Salvador

Correspondencia:

luis.castaneda@ues.edu.sv

Presentado:

08 de febrero de 2022

Aceptado:

03 de abril de 2022



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional

INTRODUCCIÓN

El bosque urbano está conformado por los árboles y vegetación que se encuentra a lo largo de las aceras de calles, avenidas, parques, jardines, cementerios, derechos de vía y en las zonas cercanas a las ciudades que están bajo la influencia de los habitantes y actividades urbanas (Benavides 1989). La arborización urbana es definida como «el manejo de los árboles para su contribución al bienestar fisiológico, sociológico y económico de la sociedad urbana. Tiene que ver con los bosques, otras agrupaciones menores de árboles y los árboles individuales presentes donde vive la gente». Cuando se habla de plantar árboles en las ciudades, el término más correcto a utilizar es el de «arborización» en espacios públicos y privados: plazas, áreas recreativas, frentes y fondos de escuelas y colegios, casas y centros comerciales, cualquier lugar donde exista espacio suficiente para plantar y cuidar un árbol. En el caso de la reforestación, se realiza en zonas agrícolas o boscosas que han sufrido algún impacto y requieran de ser reforestadas (Barboza 2016).

La emisión de dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera, por el uso de combustibles fósiles (petróleo con sus derivados), la deforestación y degradación de los suelos, es la principal causa de los cambios en el clima del planeta. Las plantas a través de la fotosíntesis, absorben el CO_2 de la atmósfera y lo fijan como carbono en su biomasa (madera, hojas, ramas y raíces). La permanencia de este carbono en la biomasa vegetal depende del ciclo de vida de las plantas (Andrade y Segura 2008). La vegetación presente en las zonas urbanas puede mitigar la contaminación atmosférica, principalmente del dióxido de carbono (CO_2), ya que gracias al proceso de la fotosíntesis se produce un intercambio gaseoso, donde se captura CO_2 y se libera oxígeno. Las partículas en suspensión contaminantes del aire pueden ser captadas y acumuladas en la superficie de las hojas, tallos y troncos de la vegetación (USFS 2021).

Existen métodos directos e indirectos para estimar la biomasa de un bosque. El método directo consiste en cortar el árbol y pesar la biomasa directamente, para luego determinar su peso seco. Una forma de estimar la biomasa, con el método indirecto, es a través de ecuaciones y modelos matemáticos calculados por medio de análisis de regresión entre las variables recolectadas en terreno y en inventarios forestales. También, se puede estimar la biomasa a través del volumen del fuste, utilizando la densidad básica para determinar el peso seco y un factor de expansión para encontrar el peso seco total. Un método indirecto para estimar biomasa es por medio del uso de ecuaciones alométricas de la forma $Y=a \cdot X^b$ con transformación logarítmica e incluyen variables de diámetro a la altura del pecho (DAP), diámetro de tocón (DAT) y altura total (HT) (Schlegel 2001).

El programa i-Tree® es un software desarrollado por el

Servicio Forestal de los Estados Unidos, que proporciona herramientas de análisis de evaluación de la silvicultura urbana y sus beneficios. Las herramientas de i-Tree® ayudan a las comunidades a fortalecer sus esfuerzos en el manejo forestal y desarrollo urbano sostenible, mediante la cuantificación de la estructura de los árboles de la trama y los servicios ambientales que brindan. Desde el lanzamiento inicial del programa i-Tree® en agosto de 2006, numerosas comunidades, organizaciones sin ánimo de lucro, consultores, voluntarios y estudiantes, han utilizado i-Tree® para informar sobre árboles singulares, barrios, ciudades e incluso los estados o regiones enteras. Este programa permite la comprensión de los servicios de los ecosistemas locales y tangibles que brindan los árboles; los usuarios de i-Tree® pueden vincular las actividades de manejo forestal urbano con la calidad ambiental y calidad de vida del ámbito. El programa permite caracterizar la estructura del bosque urbano, así como cuantificar y valorar los servicios ambientales que provee. Para determinar con precisión la cuantificación y valoración de los servicios ambientales generados por el bosque urbano, es necesaria la realización de inventarios de arbolado, que incluyan su diagnóstico. Existen diversos modelos de i-Tree: Canopy; Design; Hydro; Landscape; Streets; Eco. El modelo i-Tree Eco®, utiliza datos compilados en campo de inventarios totales de árboles o de parcelas asignadas al azar, así como la información de clima y contaminantes atmosféricos, para estimar las características estructurales de la población arbórea y los servicios ecosistémicos que provee (González 2017).

El objetivo del estudio fue la caracterización y valoración de los servicios ecosistémicos por medio del programa i-Tree Eco® en el área de estudio de la ciudad de San Salvador, El Salvador; y la elaboración de lineamientos generales para el establecimiento y manejo de especies en aceras.

MATERIALES Y METODOS.

Descripción del lugar de estudio

La investigación se realizó en el segmento formado por la calle Rubén Darío, 1.ª calle poniente y la calle Arce, desde la Avenida España y finalizó en la 25 Avenida Norte cerca del parque Cuscatlán, de la ciudad y municipio de San Salvador, departamento de San Salvador, El Salvador, con coordenadas $13^{\circ}41'54''\text{N}$; $89^{\circ}11'27''\text{O}$; $13^{\circ}42'01''\text{N}$; $89^{\circ}12'21''\text{O}$, en un área de 351,000 m², elevación promedio de 711 m s. n. m., precipitación media anual de 1,700 mm, temperatura anual de 22 ° a 27 °C, humedad relativa de 82 % y velocidad del viento de 15 km/h. La zona de vida es Bosque Húmedo Subtropical (bh-ST(c)) (MARN 2015).

Metodología de campo

La caracterización de las especies arbóreas, se inició con un recorrido general por la zona de estudio, con el apoyo del personal de la municipalidad de San Salvador, a fin de conocer las condiciones generales del sitio y las especies existentes, para definir las estrategias de trabajo y los aspectos metodológicos para la recopilación de la información.

Para el registro de la información, se utilizó una hoja de campo en la cual se incluyeron datos morfológicos, fenológicos y dasométricos. Se tomó en cuenta únicamente árboles con diámetro altura del pecho (DAP) mayores o iguales a 5 cm. Las variables evaluadas se describen a continuación:

- Número de referencia y coordenadas geográficas de cada árbol con GPS.
- Identificación taxonómica.
- Dimensiones del árbol: DAP a 1.3 m del suelo, altura total y características de la copa.
- Estado físico: raíz, fuste, copa y fenología.
- Porcentaje de superficie impermeable y copa expuesta a la luz.

f) Afectación de infraestructura: daño en alcantarillas, aceras, techos, tendido eléctrico y viviendas.

g) Aspectos sobre el manejo.

h) Archivo fotográfico.

Determinación de servicios ecosistémicos

La determinación de los servicios ecosistémicos y su valoración en términos económicos, se realizó con el programa i-Tree Eco® del Servicio Forestal de los Estados Unidos, el cual utiliza los datos de campo, información climática y contaminantes atmosféricos, para estimar las características estructurales de la población arbórea y los servicios ecosistémicos que provee.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las especies arbóreas

Composición florística

La composición florística está integrada por 301 individuos, 21 familias, 34 géneros y 37 especies (Tabla 1). El 3 % son especies nativas y el 97 % exóticas.

Tabla 1.
Composición florística del área muestreada

Familia	Nombre científico	Nombre común	Número de individuos
Bignoniaceae	<i>Tabebuia donnell smithii</i>	cortez blanco	4
	<i>Tabebuia rosea</i>	maquilishuat	6
	<i>Tecoma stans</i>	san andrés	3
Fabaceae	<i>Inga punctata</i>	guamita	1
	<i>Andira inermis</i>	almendro de río	3
	<i>Pithecellobium dulce</i>	mangollano	1
	<i>Cassia grandis</i>	carao	1
	<i>Acacia mangium</i>	mangium	1
Combretaceae	<i>Terminalia catappa</i>	almendro de playa	10
Dilleniaceae	<i>Magnolia champaca</i>	magnolia del himalaya	100
Nyctaginaceae	<i>Bougainvillea glabra</i>	veranera	2
	<i>Dyopsis lutescens</i>	palmera egipcia	35
	<i>Brahea salvadorensis</i>	palmera de rancho	1
	<i>Roystonea regia</i>	palmera regia	1
	<i>Cocos nucifera</i>	cocotero	2
	<i>Adonidia merrilli</i>	palmera miami	25
Clusiaceae	<i>Calophyllum brasiliense</i>	barío	17
	<i>Spondias purpurea</i>	jocote	3
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i>	mango	3
	<i>Anacardium occidentale</i>	marañón	1

Familia	Nombre científico	Nombre común	Número de individuos
Malpighiaceae	<i>Byrsonima crassifolia</i>	nance	1
Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i>	naranja	2
Meliaceae	<i>Swietenia humilis</i>	caoba	4
Borraginaceae	<i>Cordia alliodora</i>	laurel	10
Polygonaceae	<i>Coccoloba uvifera</i>	uva de playa	1
Annonaceae	<i>Polyalthia longifolia</i>	polyalta	4
Cupressaceae	<i>Thuja occidentale</i>	tuya	1
Apocynaceae	<i>Thevetia peruviana</i>	chilindrón	2
Moraceae	<i>Ficus cotinifolia</i>	amate negro	1
	<i>Ficus benjamina</i>	laurel de la india	37
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum cainito</i>	caimito	3
Sapindaceae	<i>Blighia sapida</i>	seso vegetal	1
Myrtaceae	<i>Callistemon citrinus</i>	calistemo limpiatubos	2
	<i>Psidium guajava</i>	guayabo	1
	<i>Syzygium cumini</i>	cerezo de belice	3
	<i>Psidium friedrichsthalianum</i>	arrayán	7
Chrysobalanaceae	<i>Couepia poliandra</i>	zapotillo	1
Total de especies			301

La familia con mayor número de individuos es Dileniácea y dentro de esta, *Magnolia champaca* con 100 árboles, entre las familias con solo un árbol encontrado, están: Malpighiaceae, Polygonaceae, Cupressaceae, Sapindaceae, Chrysobalanaceae.

Interacción con aceras, postes y tendido eléctrico

Una cantidad significativa de árboles encontrados, están causando algún daño a las aceras y al tendido eléctrico. El 46.18 % causan problemas a cables del tendido eléctrico debido a su tamaño y falta de manejo. Entre las especies que más predominan se encontraron *Magnolia champaca* con 53 árboles, *Calophyllum brasiliense* con 12, *Dyopsis lutescens* con 12 y *Ficus benjamina* con 10. El 13.95 % están dañando las aceras, entre las de mayor predominancia están *Calophyllum brasiliense* con 14, *Tabebuia donnell smithii* y *Swietenia humilis*, ambos con 4, son especies maderables no recomendadas para la arborización en aceras por el tamaño que alcanzan, tanto de sus raíces como del follaje. Entre las especies con menor predominancia, se encuentra *Ficus cotinifolia*, el cual se puede considerar plantarlo, siempre y cuando se le brinde el mantenimiento adecuado de poda para controlar su crecimiento (Tabla 2).

Según Alvarado *et al.* 2014, al decidir plantar un árbol en aceras en zonas urbanas, se debe prestar atención al tipo de raíz, tamaño de los árboles, el origen y si la especie es fructífera o no. En espacios públicos no se debe plantar

especies con frutos pesados, porque pueden causar accidentes a los peatones, dañar los cables eléctricos y el pavimento.

Las raíces de árboles de gran tamaño como *Calophyllum brasiliense* y *Swietenia humilis*, causan el levantamiento de las aceras al dañar su estructura y causan accidentes en los transeúntes que circulan en la zona (Figura 1), también pueden causar averías en las estructuras subterráneas como las tuberías. Son especies maderables no recomendadas para plantarlas en aceras.

Figura 1.

Daño de acera por raíces de *Swietenia humilis* en la calle Rubén Darío.



Los árboles que crecen demasiado y no reciben ningún mantenimiento como *Magnolia champaca*, *Calophyllum brasiliense* y *Ficus benjamina*, interfieren directamente con el tendido eléctrico (Figura 2), y presentan un riesgo para los transeúntes ya que al ser influenciados por el viento, pueden generar cortes de energía.

Tabla 2.
Listado de árboles que interfieren con el tendido eléctrico y aceras

Especie	Cantidad			
	Tendido eléctrico	%	Aceras	%
<i>Ficus benamina</i>	10	27	3	8.1
<i>Swietenia humilis</i>	4	100	4	100
<i>Ficus cotinifolia</i>	1	100	1	100
<i>Mangifera indica</i>	2	66.66	1	33.33
<i>Calophyllum brasiliense</i>	12	70.58	14	82.35
<i>Syzygium cumini</i>	2	66.66	2	66.66
<i>Coccoloba uvifera</i>	1	100	1	100
<i>Cordia alliodora</i>	2	20	1	10
<i>Pithecellobium dulce</i>	1	100	1	100
<i>Acacia mangium</i>	1	100	1	100
<i>Thevetia peruviana</i>	1	50	1	50
<i>Blighia sapida</i>	1	100	1	100
<i>Couepia polyandra</i>	1	100	1	100
<i>Andira inermis</i>	3	100	2	66.66
<i>Polyalthia longifolia</i>	4	100	1	25
<i>Tabebuia rosea</i>	6	100	3	50
<i>Tabebuia donnell smithii</i>	4	100	4	100
<i>Tecoma stans</i>	2	66.66	0	0
<i>Callistemon citrinus</i>	1	50	0	0
<i>Psidium guajava</i>	1	100	0	0
<i>Citrus sinensis</i>	2	100	0	0
<i>Terminalia catappa</i>	1	10	0	0
<i>Spondias purpurea</i>	1	33.33	0	0
<i>Magnolia champaca</i>	53	53	0	0
<i>Adonidia merrilli</i>	1	100	0	0
<i>Brahea salvadorensis</i>	1	100	0	0
<i>Cocos nucifera</i>	2	100	0	0
<i>Adonidia merrilli</i>	5	20.83	0	0
<i>Roystonea regia</i>	1	100	0	0
<i>Dyopsis lutescens</i>	12	34.28	0	0
Total	139		42	
Porcentaje	46.18		13.95	

Figura 2.
Interferencia con el tendido eléctrico por *Calophyllum brasiliense* calle Rubén Darío



Características fenológicas

El 26.58 % de las especies poseen flores, generan un atractivo visual y mejoran el paisaje. Entre ellas están, *Magnolia champaca* con 61 árboles y *Terminalia catappa* con 5.

El 15.61 % se encuentran con frutos, que pueden ser consumidos por las personas o por animales silvestres. Por ejemplo: *Cocos nucifera* con 2, *Terminalia catappa* con 5 y *Citrus sinensis* con 1 (Tabla 3). Sin embargo, son especies no recomendadas para la arborización en aceras por sus

características fisionómicas y estructurales, como el caso de *Cocos nucifera* por producir frutos pesados que pueden causar accidentes a las personas. Ayma 2021, recomienda no plantar sin ningún tipo de criterio, ya que es necesario seleccionar especies apropiadas para evitar pérdida de tiempo y recursos.

Tabla 3.
Listado de árboles con flores y frutos.

Especies	Cantidad			
	Flores	%	Frutos	%
<i>Cocos nucifera</i>	2	100	2	100
<i>Adonidia merrilli</i>	2	8.33	1	4.16
<i>Terminalia catappa</i>	5	50	5	50
<i>Thevetia peruviana</i>	2	100	1	50
<i>Roystonea regia</i>	1	100	1	100
<i>Syzygium cumini</i>	1	33.33	1	16.66
<i>Psidium friedrichsthalianum</i>	1	14.29	2	28.57
<i>Magnolia champaca</i>	61	61	29	29
<i>Tabebuia rosea</i>	0	0	1	16.66
<i>Ficus benjamina</i>	0	0	1	2.70
<i>Dyopsis lutescens</i>	0	0	1	2.86
<i>Citrus sinensis</i>	0	0	1	50
<i>Brahea salvadorensis</i>	0	0	1	100
<i>Calophyllum brasiliense</i>	3	17.64	0	0
<i>Bougainvillea glabra</i>	1	50	0	0
<i>Couepia polyandra</i>	1	100	0	0
Total	80		47	
Porcentaje	26.58		15.61	

Servicios ecosistémicos

Características de los árboles

Las especies más comunes son *Magnolia champaca* (33.6 %), *Ficus benjamina* (12.0 %) y *Dyopsis lutescens* (11.6 %). El aumento en la diversidad de los árboles puede minimizar el impacto general o la destrucción por un insecto o enfermedad específica de una especie, pero también puede presentar un riesgo para las plantas nativas, si alguna de las especies exóticas son plantas invasivas con el potencial de ser más competitivas y desplazarlas. Las especies de plantas introducidas, a menudo se caracterizan por su vigor, habilidad de adaptarse, capacidad de reproducción y falta general de enemigos naturales. Dichas habilidades

les permiten desplazar a las plantas nativas y convertirlas en una amenaza para las áreas naturales (USFS 2021).

Cobertura del bosque urbano y área foliar

El bosque urbano de las tres calles de San Salvador tiene 301 árboles, solo el 46 % del área total está ocupado por el área foliar, esto equivale a 1.48 ha; el 54 % restante corresponde al espacio de afluencia vehicular y peatonal; para el porcentaje total de área foliar, solo el 4.22 % es de área verde saludable, debido a que se consideró el espacio de copa faltante y copa muerta en cada especie.

En el arbolado bajo estudio, las especies más dominantes en términos de área de las hojas son *Magnolia champaca*, *Calophyllum brasiliense* y *Swietenia humilis*. Los valores de importancia se calculan como la suma del porcentaje de la población y porcentaje del área de las hojas (USFS 2021).

Eliminación de la contaminación del aire

Se estima que los árboles eliminaron 63.51 libras de la contaminación del aire (ozono (O_3), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO_2), material particulado menor a 2.5 micrones ($PM_{2.5}$), y dióxido de sulfuro (SO_2) con un valor asociado de USD 4.69/año.

En 2020, los árboles del área de estudio emitieron aproximadamente 36.64 libras/año de los compuestos orgánicos volátiles (COV) (26.72 libras de isopreno y 9.925 libras de monoterpenos). Las emisiones varían entre las especies con base a las características de las mismas (por ejemplo, algunos géneros como los robles son altos emisores de isopreno) y cantidad de biomasa de las hojas. El 29 % de las emisiones de COV del bosque urbano fueron de *Calophyllum brasiliense* y *Acacia mangium*. Estos COV son sustancias químicas precursoras de la formación de ozono (USFS 2021).

Almacenamiento y secuestro de carbono

Los árboles reducen la cantidad de carbono en la atmósfera, capturándolo en el crecimiento nuevo cada año. Esta cantidad anualmente aumenta con el tamaño y la salud de los árboles. El secuestro bruto de los árboles del área de estudio es de 6.495 toneladas con un valor asociado de USD 1,046.37/año. Se calcula que 313 toneladas de carbono (USD 49,825.61) se encuentran almacenadas; de las especies encontradas, *Magnolia champaca* captura y secuestra la mayor cantidad (aproximadamente 78.1 % y 51.1 %, respectivamente).

Producción de oxígeno

El oxígeno anual producido de un árbol está directamente relacionado con la cantidad de carbono secuestrado

por árbol, la cual está vinculada con la acumulación de biomasa. Se calcula que el arbolado en estudio produce 17.32 toneladas de oxígeno al año. Las especies más importantes son *Magnolia champaca* con 8,377,303 kg y *Calophyllum brasiliense* con 1,851,236 kg.

Escurrimiento evitado

Los árboles ayudan a reducir el escurrimiento por 3.28 m³ al año con un valor asociado de USD 7.37 (USFS 2021). El escurrimiento evitado se calculó con base a las condiciones meteorológicas de la localidad de la estación meteorológica de Ilopango interpolada con datos de la estación meteorológica del estado de Tuxtla Gutiérrez (México), ya que ambas presentan características similares en cuanto a temperatura, altura sobre el nivel del mar, precipitación y fauna.

Influencia de los árboles en el uso de la energía eléctrica en los edificios

Según el Servicio Forestal de Estados Unidos (USFS), se calcula que el arbolado reduce los costos relacionados con la energía de los edificios residenciales por USD 961.63 anualmente. Los árboles también brindan USD 326.85 adicional en valor, al reducir la cantidad de carbono liberado por las centrales eléctricas basadas en combustibles fósiles (una reducción de 1.96 toneladas de las emisiones de carbono).

Valores estructurales y funcionales

Los bosques urbanos tienen un valor estructural basado en los mismos árboles (por ejemplo, el costo de tener que reemplazar un árbol por otro similar); también tienen valores funcionales (ya sea positivos o negativos) basados en las funciones que desempeñan los árboles. El valor estructural del bosque urbano tiende a subir cuando aumenta el número y tamaño de los árboles saludables.

Los árboles en estudio de la ciudad de San Salvador, El Salvador, tienen los siguientes valores:

Estructurales

- Carbono almacenado, 313 toneladas/año (USD 49,825.61/año)
- Valores estructurales, USD 548,081.72

Funcionales

- Secuestro de carbono, 6.495 toneladas (USD 1,046.37/año)
- Escurrimiento superficial, 116.2 pies cúbicos/año (USD 7.37/año)
- Eliminación de la contaminación, 28.80 kilogramos/

año (USD 4.69/año)

- Ahorros de energía de edificios, USD 961.63/año (USFS 2021).

Comparación de resultados con otras investigaciones

El valor de un servicio ecosistémico en un área geográfica es específica de un contexto dado y no puede simplemente extrapolarse a otras áreas, por lo que hace difícil las comparaciones entre estudios de otros países (Guarín *et al.* 2015). Por tanto, la comparación entre ciudades debe hacerse con precaución, ya que existen muchas características de una ciudad que afectan la estructura y las funciones del bosque urbano (USFS 2021).

Investigaciones realizadas en Mérida estado de Yucatán, México (De la Concha 2018), utilizando el programa i-tree (Tabla 4) en un área aproximadamente 10 veces más grande, que la de esta investigación, tiene un porcentaje de cobertura arbórea menor y un número de árboles del doble de la cantidad que se analizó en San Salvador, El Salvador, sin embargo, el carbono almacenado y secuestrado, la remoción de contaminantes, la producción de escorrentía y los COV son mucho más altos, ya que en las aceras de San Salvador hay menor cantidad de árboles y bastantes son de porte pequeño y con poca biomasa, lo que puede indicar que el estado de un árbol que se encuentra plantado en un parque es completamente diferente a uno que está en las aceras, siendo afectado negativamente por diversos factores. El valor en la reducción de escorrentía es mucho más alto, ya que se debe considerar que es un parque, por lo tanto, debe existir más superficie permeable que la que hay en una acera en donde el espacio es bastante reducido, debido al pavimento que se encuentra en el suelo.

Lineamientos generales para arborizar aceras:

- Plantar árboles de porte pequeño y follaje disperso, preferiblemente arbustos para las áreas donde este el cableado eléctrico.
- Considerar como mínimo una distancia entre el eje del árbol y la fachada al edificio de 2.5 m.
- Dejar un espacio mínimo 1.50 m para la libre circulación accesible y sin obstáculos.
- Evitar plantar especies anuales o de ciclo corto que mueren o se deterioran rápidamente.
- Al seleccionar las especies para arborizar aceras, se debe elegir un individuo representativo de las características de la especie, planta de aspecto vigoroso y saludable, libre de plagas, enfermedades y libre de daños mecánicos, tallo fuerte y vigoroso capaz de mantenerse por sí solo.

Tabla 4.
Comparación de resultados con otras investigaciones.

Comparación de datos obtenidos en dos investigaciones realizadas utilizando el programa i-Tree®									
Nombre de la investigación	Área	Nº de árboles	Cobertura arbórea %	Carbono almacenado (t)	Carbono secuestrado (t/año)	Remoción de contaminantes (lb/año)	Reducción de escorrentía (m³/año)	Producción de oxígeno (t/año)	Compuestos orgánicos volátiles (lb/año)
Arbolado de 3 calles de San Salvador	351,000 m²	301	46	313	6.5	63.5	3.28	17.3	36.6
Estudio-diagnóstico del arbolado urbano en parques públicos de Mérida, 2018	29,000 m²	675	24.8	356.3	15.6	401.2	447.5	40	145.5

Nota: Fuente: De la Concha (2018).

Recomendaciones para el establecimiento de especies

Transporte:

- Proporcionar protección y soporte al tallo durante el viaje.
- Evitar levantar la planta desde el tallo (para plantas en bolsa o macetas)
- No sobrecargar el vehículo utilizado para el transporte de las plantas.

Plantación:

- Se puede realizar en cualquier época del año, siempre que se cuente con riego.
- Hacer un hoyo de siembra adecuado para que las raíces de la planta no queden muy ajustadas.
- Deben ser plantadas de 2 a 4 pulgadas más altas que la profundidad original.

- Proporcionar un espacio adecuado pensando en cómo será el desarrollo de la especie.

Riego:

- El suelo se debe mantener siempre húmedo en sus capas superficiales, procurando no hacer charcos al regar.
- Se debe hacer cada tres días por semana, dependiendo de las condiciones climáticas del lugar y realizarse en horas frescas del día, ya sea por la mañana o tarde tras la puesta del sol.

Podas:

Realizar las podas a finales del invierno para no intervenir en el crecimiento, debido a que no hay una necesidad de producción de savia y se reduce el riesgo de diseminación de hongos que puede entrar en la zona afectada. Pero es importante tener en cuenta las especies de plantas recomendadas en áreas urbanas (Tabla 5).

Tabla 5.
Listado de especies recomendadas para su plantación en áreas urbanas (aceras).

Nombre Común	Nombre Científico	Nombre Común	Nombre Científico
Anturio corazón	<i>Anthurium scherzerianum</i> (Figura 3)	Cola de ratón	<i>Piper tuberculatum</i> (Figura 10)
Azalea	<i>Rhododendron indicum</i> (Figura 4)	Coleus	<i>Coleus blumei</i> (Figura 11)
Cabello de ángel	<i>Calliandra calothyrsus</i> (Figura 5)	Corona de cristo	<i>Euphorbia milii var. splendens</i> (Figura 12)
Camarón	<i>Pachystachys lutea</i> (Figura 6)	Corona de reina	<i>Petrea volubilis</i> (Figura 13)
Chamal	<i>Dioon edule</i> (Figura 7)	Crotos	<i>Codiaeum variegatum</i> (Figura 14)
Chichipince	<i>Hamelia patens</i> (Figura 8)	Flor barbona	<i>Caesalpinia pulcherrima</i> (Figura 15)
Clavel	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i> (Figura 9)	Flor de San José	<i>Allamanda cathartica</i> (Figura 16)

Nombre Común	Nombre Científico	Nombre Común	Nombre Científico
Florifundio	<i>Brugamsia aurea</i> (Figura 17)	Pacaya	<i>Chamaedorea elegans</i> (Figura 30)
Galatea	<i>Calathea crocata</i> (Figura 18)	Palma tornillo	<i>Pandanus utilis</i> (Figura 31)
Icaco	<i>Chrysobalanus icaco</i> (Figura 19)	Palmera egipcia	<i>Dypsis lutescens</i> (Figura 32)
Ixora	<i>Ixora coccinea</i> (Figura 20)	Palo de agua	<i>Dracaena fragans</i> (Figura 33)
Jazmín del cabo	<i>Gardenia jasminoides</i> (Figura 21)	Petate de caballo	<i>Beaucarnea inermis</i> (Figura 34)
Júpiter	<i>Lagerstroemia indica</i> (Figura 22)	Pie de venado	<i>Bauhinia unguolata</i> (Figura 35)
Lluvia de estrellas	<i>Cuphea hyssopifolia</i> (Figura 23)	Pigmea	<i>Phoenix roebelenii</i> (Figura 36)
Mala madre	<i>Chlorophytum comosum</i> (Figura 24)	Plumero	<i>Cordyline fruticosa</i> (Figura 37)
Malvavisco	<i>Malvaviscus arboreus</i> (Figura 25)	Rapis	<i>Raphis excelsa</i> (Figura 38)
Mano de tigre	<i>Monstera deliciosa</i> (Figura 26)	Teresita	<i>Solanum rantonnetii</i> (Figura 39)
Mirto	<i>Murraya paniculata</i> (Figura 27)	Tuya	<i>Thuja</i> sp. (Figura 40)
Narciso	<i>Nerium oleander</i> (Figura 28)	Veranera	<i>Bougainvillea</i> spp (Figura 41)
Navidad o calanchoes	<i>Kalanchoe blossfeldiana</i> (Figura 29)	Yacarta	<i>Allamanda violacea</i> (Figura 42)

Figura 3.
Anturio corazón (Anthurium scherzerianum).



Figura 6.
Camarón (Pachystachys lutea).



Figura 4.
Azalea (Rhododendron indicum).



Figura 7.
Chamal (Dioon edule).



Figura 5.
Cabello de ángel (Calliandra calothyrsus).



Figura 8.
Chichipince (Hamelia patens).



Figura 9.
Clavel (Hibiscus rosa-sinensis).



Figura 10.
Cola de ratón (Piper tuberculatum).



Figura 11.
Coleus (Coleus blumei).



Figura 12.
Corona de cristo (Euphorbia milii var. splendens).



Figura 13.
Corona de reina (Petrea volubilis).



Figura 14.
Crotos (Codiaeum variegatum).



Figura 15.
Flor barbona (Caesalpinia pulcherrima).



Figura 16.
Flor de San José (Allamanda cathartica).



Figura 17.
Florifundia (Brugamsia aurea).



Figura 18.
Galatea (Calathea crocata).



Figura 19.
Icaco (Chrysobalanus icaco).



Figura 20.
Ixora (Ixora coccinea).



Figura 21.
Jazmín del cabo (*Gardenia jasminoides*).



Figura 22.
Júpiter (*Lagerstroemia indica*).



Figura 23.
Lluvia de estrellas (*Cuphea hyssopifolia*).



Figura 24.
Mala madre (*Chlorophytum comosum*).



Figura 25.
Malvavisco (*Malvaviscus arboreus*).



Figura 26.
Mano de tigre (*Monstera deliciosa*).



Figura 27.
Mirto (*Murraya paniculata*).



Figura 28.
Narciso (*Nerium oleander*).



Figura 29.
Navidad o Calanchoe (*Kalanchoe blossfeldiana*).



Figura 30.
Pacaya (*Chamaedorea elegans*).



Figura 31.
Palma tornillo (*Pandanus utilis*).



Figura 32.
Palmera egipcia (*Dypsis lutescens*).



Figura 33.
Palo de agua (Dracaena fragans).



Figura 34.
Petate de caballo (Beaucarnea inermis).



Figura 35.
Pie de venado (Bauhinia unguolata).



Figura 36.
Pigmea (Phoenix roebelenii).



Figura 37.
Plumero (Cordyline fruticosa).



Figura 38.
Rapis (Raphis excelsa).



Figura 39.
Teresita (Solanum rantonnetii).



Figura 40.
Tuya (Thuja sp.).



Figura 41.
Veranera (Bougainvillea spp.).



Figura 42.
Yacarta (Allamanda violacea).



CONCLUSIONES.

La especie que presentó más conflicto con las aceras fue *Calophyllum brasiliense*, y con el tendido eléctrico *Magnolia champaca*.

La especie con mayor predominancia en las aceras del área de estudio es *Magnolia champaca*, con un 33.22%.

Los árboles del área de estudio de la Ciudad de San Salvador, El Salvador, emitieron 36.64 libras/año de los compuestos orgánicos volátiles (COV), siendo los más importantes *Calophyllum brasiliense* y *Acacia mangium*.

Magnolia champaca almacena y secuestra la mayor cantidad de carbono debido a que fue la especie con mayor representatividad y por ende con mayor cantidad de biomasa.

La mayoría de las especies encontradas no son recomendadas para plantar en aceras. La arborización realizada en el área de estudio no responde a lineamientos adecuados según características del lugar y de las especies utilizadas.

BIBLIOGRAFÍAS

- Alvarado Ojeda, AJ; Guajardo Becchi, FG; Devia Cartes, SA. (2014). *Manual de plantación de árboles en áreas urbanas* (en línea). Chile. p. 22-65. Consultado 5 nov. 2019. Disponible en https://www.conaf.cl/cms/editorweb/institucional/Manual_de_Plantacion_de_Arboles_en_Areas_Urbanas.pdf
- Andrade, HJ; Segura, M. (2008). *Cómo estimar rápidamente el carbono almacenado en la biomasa aérea de los sistemas agroforestales indígenas de Talamanca* (en línea). Costa Rica. Consultado 18 oct. 2019. Disponible en https://www.worldcocoafoundation.org/wpcontent/uploads/files_mf/segura2008b.pdf
- Ayma Romay, AI. (2021). *Guía de selección de especies para el arbolado urbano de Cochabamba*. Consultado 20 may. 2021. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/353046096_Guia_de_seleccion_de_especies_para_el_arbolado_urbano_de_Cochabamba_Criterios_de_seleccion_de_especies_basado_en_la_morfologia_de_copas_y_raices
- De la Concha, H. (2018). *Estudio-diagnóstico del arbolado urbano en parques públicos de Mérida*. (en línea). México. Consultado 17 sep. 2021. Disponible en <https://inventario.parque/2018-merida-m/e/x/i/c/o>
- Barboza Guzmán, R. (2016). *Selección de especies para el arbolado urbano a partir del análisis de 10 parques urbanos municipales del cantón de Curridabat* (en línea). Tesis Lic. Manejo de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. UED. Consultado 25 oct. 2019. Disponible en [file:///E:/tesis%20-%20copia/marco%20teorico/Especies_para_arbolado_urbano_Analisis%20\(2\).pdf](file:///E:/tesis%20-%20copia/marco%20teorico/Especies_para_arbolado_urbano_Analisis%20(2).pdf)
- Benavides Meza, HM. (1989). *Memorias. Congreso Forestal Mexicano de Bosque urbano: La importancia de su investigación y su correcto manejo* (en línea). México. 27 p. Consultado 26 oct. 2019. Disponible en <file:///E:/tesis%20-%20copia/marco%20teorico/Bosque-Urbano.pdf>
- González Domínguez, CE. (2017). *Taller de Capacitación i-Tree® Eco para México* (en línea). Centro de Excelencia Virtual en Monitoreo Forestal en Mesoamérica. Adaptación de i-Tree Eco a México. Consultado 26 jun. 2020. Disponible en <http://www.monitoreoforestal.gob.mx/taller-capacitacion-i-tree-eco-mexico/>
- Guarín, A; Hotz, H; Stappert, N; Vargas, S; Dávalos, L; González, LA; Drayer, A; López, S. (2015). *El análisis de servicios ecosistémicos forestales como herramienta para la formulación de políticas nacionales en el Perú* (en línea). Perú. Consultado 15 jul. 2019. Disponible en <https://www.servicioecosistemicosperu/forestales-serfor>
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador) (2015). *Descripción de climas en San Salvador* (en línea). Consultado 17 oct. 2019. Disponible en <https://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/clima+en+el+salvador/>
- Schlegel, B. (2001). *Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempre verde*. (en línea). In Simposio internacional de medición y monitoreo de la captura de carbón en ecosistemas forestales, Valdivia. Chile. Consultado 15 oct. 2019. Disponible en https://www.uach.cl/procarbono/pdf/docs_publicaciones/schlegel_simposio.pdf
- USFS (United States Forest Service) (2021). *Informe general del análisis del ecosistema Arbolado de San Salvador, efectos y valores del bosque urbano*. Washington, DC, Estados Unidos de América. 40 p.