

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN**

NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN

Código: AI-2108

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

TÍTULO A OBTENER: Ingeniera Agrónomo

AUTORES.

Nombres, apellidos y formación académica	Institución y Dirección	Teléfono y correo electrónico	Firma
Br. Karla Nohemy Aguilar Rincán	Colonia San Sebastián, Pol."G", Lot # 20. Ahuachapán, Ahuachapán.	7748-2399 karlarin92@gmail.com	
Br. María Elizabeth Cruz Cruz	Colonia Alcaine # 1 calle ppl , casa 4, San Marcos, San Salvador.	7650-6819 elizabeth.cruz2313@gmail.com	
Br. Nancy Lizbeth Salmerón Rodríguez	Colonia. Santa Rosa final pasaje Limber # 58, Cuscatancingo, San Salvador.	7977-3175 nancysalmeron0@gmail.com	
Ing. Agr. Luis Fernando Castaneda Romero	Universidad de El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas	7604-3986 luis.castaneda@ues.edu.sv	
Ing. Agr. José Mauricio Tejada Asencio	Universidad de El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas.	7633-2415 jose.tejada@ues.edu.sv	

VISTO BUENO

Coordinador General de Procesos de Graduación del Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente:

Ing. Agr. Nelson Bernabé Granados Alvarado

Firma: _____

Director General de Procesos de Graduación Facultad de Ciencias Agronómicas:

Ing. Agr. Enrique Alonso Alas García

Firma: _____

Jefe del Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente:

Ing. Agr. José Mauricio Tejada Asencio

Firma: _____

Sello:

Lugar y fecha: Ciudad Universitaria, enero de 2022

NOMBRE DE LA INVESTIGACION:

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

AUTORES: Aguilar-Rincán KN.¹, Cruz-Cruz ME.¹, Salmerón- Rodríguez NL.¹, Castaneda-Romero LF.², Tejada- Asencio JM³.

RESUMEN.

La investigación se realizó de noviembre 2019 a diciembre de 2020 en el segmento de la calle Rubén Darío, 1ª calle poniente y la calle Arce, desde la avenida España y finalizando en la 25 avenida norte, en el municipio de San 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 de las aceras, 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 del arbolado, 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, facilitando el procesamiento y análisis de la información de campo, permitiendo la organización y control del arbolado de un área determinada; Con el análisis socioeconómico y ambiental de la arborización, aspectos técnicos y legales del manejo de especies, se elaboraron lineamientos generales que servirán de base para los tomadores de decisión relacionados con la arborización de aceras en áreas urbanas, para obtener beneficios ambientales, económicos y sociales; mejorando 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.

Palabras claves: Arbolado urbano, arborización en aceras, i-Tree Eco®, lineamientos, caracterización, servicios ecosistémicos.

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

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

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

NAME OF RESEARCH:

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

AUTHORS: Aguilar-Rincán KN.¹, Cruz-Cruz ME.², Salmerón- Rodríguez NL.³, Castaneda- Romero LF.⁴, Tejada- Asencio JM⁵.

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. 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®, guidelines, characterization, ecosystem services.

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

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

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

1. INTRODUCCIÓN.

El arbolado urbano contribuye a la sostenibilidad a mejorar la calidad de vida en las zonas urbanas estableciendo un patrimonio verde y natural de las ciudades. Además de embellecer el paisajismo en las calles, aceras, desempeña un rol importante en la mitigación del cambio climático. Entre los servicios ambientales se destacan su uso estético, funcional, depuración de contaminantes atmosféricos como las partículas suspendidas totales, lo cual inclusive repercute en una mejor salud de los habitantes de la zona; así como la producción de oxígeno, regulación de la temperatura e incremento de la humedad relativa, sombra, protección al suelo, hábitat a la fauna.

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.

2. MATERIALES Y METODOS.

2.1. Descripción del lugar de estudio

La investigación se realizó en el segmento formado por: calle Rubén Darío, 1ª calle poniente y la calle Arce, desde la avenida España y finalizando en la 25 avenida norte cerca del parque Cuscatlán, de la ciudad y municipio de San Salvador, departamento de San 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, 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)), el cual presenta una temperatura entre los 22° a 27°C (MARN 2015).

2.2. Metodología de campo.

- Caracterización de las especies arbóreas

Esta fase se realizó de octubre a diciembre 2020, iniciando 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 incluyeron sólo los árboles con DAP mayores o iguales a 5 cm. Las variables evaluadas se describen a continuación:

- a) Número de referencia y coordenadas geográficas de cada árbol con GPS.
- b) Identificación taxonómica.
- c) Dimensiones del árbol: DAP a 1.3 m del suelo, altura total y características de la copa.
- d) Estado físico: raíz, fuste, copa, fenología.
- e) Porcentaje de superficie impermeable, copa expuesta a la luz.
- f) Afectación de infraestructura: daño en alcantarillas, aceras, techos, tendido eléctrico, viviendas.
- g) Aspectos sobre el manejo.
- h) Archivo fotográfico.

2.3. Determinación de servicios eco sistémicos

La determinación de los servicios eco sistémicos 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.

3. RESULTADOS Y DISCUSION.

3.1. Caracterización de las especies arbóreas

3.1.1. Composición florística

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

Cuadro 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 puctata</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
Arecaceae	<i>Dypsis 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
Anacardiaceae	<i>Spondias purpurea</i>	"jocote"	3
	<i>Mangifera indica</i>	"mango"	3
	<i>Anacardium occidentale</i>	"marañón"	1
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>	"arrayan"	7
Chrysobalanaceae	<i>Couepia poliandra</i>	"zapotillo"	1
Total de especies			301

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

3.1.2. 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 son

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 (cuadro 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.

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

Especie	Cantidad			
	Tendido eléctrico	%	Aceras	%
<i>Ficus benjamina</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	

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 *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), presentando un riesgo para los transeúntes y al ser influenciados por el viento, pueden generar cortes de energía.



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

3.1.4. 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. Entre estas están *Cocos nucifera* con 2, *Terminalia catappa* con 5 y *Citrus sinensis* con 1, (cuadro 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, es necesario seleccionar especies apropiadas para evitar pérdida de tiempo y recursos.

Cuadro 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	

3.2. Servicios ecosistémicos

3.2.1. 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 algunas 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).

3.2.2 Cobertura del bosque urbano y área foliar

El bosque urbano de las 3 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; del porcentaje total del 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).

3.2.3 Eliminación de la contaminación del aire

Se estima que los árboles eliminaron 63.51 libras de la contaminación del aire (ozono (O₃), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), material particulado menor a 2.5 micrones (PM_{2.5}), y dióxido de sulfuro (SO₂) 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 en las características de las mismas (por ejemplo, algunos géneros como los robles son altos emisores de isopreno) y la 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).

3.2.4 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).

3.2.5 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.

3.2.6 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 en 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 temperatura, altura sobre el nivel del mar, precipitación, y fauna.

3.2.7 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 un 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).

3.2.8 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 con 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 San 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).

3.2.9 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).

La comparación entre ciudades debe hacerse con precaución ya que hay 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, utilizando el programa i-tree (cuadro 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, sin embargo, el carbono almacenado y secuestrado, la remoción de contaminantes, producción de escorrentía y los COV son mucho más alto 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 haber 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.

Cuadro 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	N° 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

Fuente: USFS 2021; De la Concha 2018.

3.3. 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 libre 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 daños, libre de daños mecánicos, tallo fuerte y vigoroso capaz de mantenerse por sí solo.

3.3.1. Recomendaciones para el establecimiento 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.

3.3.2. Listado especies recomendadas para su plantación en áreas urbanas (aceras).

Nombre Común	Nombre Científico
Azalea	<i>Rhododendron indicum</i>
Anturio corazón	<i>Anthurium scherzerianum</i>
Chamal	<i>Dioon edule</i>
Chichipince	<i>Hamelia patens</i>
Cabello de ángel	<i>Calliandra calothyrsus</i>
Corona de cristo	<i>Euphorbia milii var. splendens</i>
Corona de reina	<i>Petrea volubilis</i>
Coleus	<i>Coleus blumei</i>
Cola de ratón	<i>Piper tuberculatum</i>
Crotos	<i>Codiaeum variegatum</i>
Flor barbona	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>
Flor de San José	<i>Allamanda cathartica</i>
Florifundio	<i>Brugamsia aurea</i>

Galatea	<i>Calathea crocata</i>
Ixora	<i>Ixora coccinea</i>
Icaco	<i>Chrysobalanus icaco</i>
Jazmín del cabo	<i>Gardenia jasminoides</i>
Júpiter	<i>Lagerstroemia indica</i>
Lluvia de estrellas	<i>Cuphea hyssopifolia</i>
Mala madre	<i>Chlorophytum comosum</i>
Malvavisco	<i>Malvaviscus arboreus</i>
Mano de tigre	<i>Monstera deliciosa</i>
Mirto	<i>Murraya paniculata</i>
Navidad o calanchoes.	<i>Kalanchoe blossfeldiana</i>
Camarón	<i>Pachystachys lutea</i>
Pacaya	<i>Chamaedorea elegans</i>
Palmera egipcia	<i>Dypsis lutescens</i>
Palma tornillo	<i>Pandanus utilis</i>
Palo de agua	<i>Dracaena fragans</i>
Petate de caballo	<i>Beaucarnea inermis</i>
Plumero	<i>Cordyline fruticosa</i>
Pigmea	<i>Phoenix roebelenii</i>
Pie de venado	<i>Bauhinia unguolata</i>
Rapis	<i>Raphis excelsa</i>
Clavel	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>
Narciso	<i>Nerium oleander</i>
Teresita	<i>Solanum rantonnetii</i>
Tuya	<i>Thuja sp.</i>
Yacarta	<i>Allamanda violacea</i>
Veranera	<i>Bougainvillea spp</i>

4. 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 San 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 población encuestada tiene poco conocimiento sobre el tema del arbolado, en su mayoría no conocen los nombres de los árboles y se muestran indiferentes a los problemas que pudieran causar al tendido eléctrico y a las aceras.
- ✓ Una limitante del programa i-Tree® es no poder estimar más servicios ecosistémicos de los que ofrece; y además no tener incorporada una base de datos ambientales del país.
- ✓ Al determinar los servicios ecosistémicos mediante el programa i-Tree Eco®, también se obtienen valores económicos de los beneficios que proporcionan los árboles en el área de estudio.
- ✓ 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.

5. RECOMENDACIONES.

- ✓ Para reducir las emisiones de COV se recomienda plantar especies de baja emisión logrando así disminuir la formación de ozono y monóxido de carbono.
- ✓ Para arborizar las zonas urbanas, se debe aplicar un adecuado programa de manejo, para potenciar y aprovechar los beneficios ecosistémicos que brindan para el bienestar de la sociedad urbana.
- ✓ Plantar árboles en parques y zonas verdes para disminuir la cantidad de CO₂ presente en la atmósfera, reducir los gastos de energía por medio de la disminución de las temperaturas, aumentar la biodiversidad y mejorar el paisajismo de las ciudades.
- ✓ Utilizar el programa i-tree®, en las municipalidades, para valorar y tener un mejor monitoreo de los servicios ecosistémicos que brindan los árboles en las ciudades.
- ✓ Para arborizar aceras en áreas urbanas, no se deben plantar especies forestales ni frutales, para evitar obstrucción de las señales de tránsito y la zona peatonal, daños al tendido eléctrico y las aceras.
- ✓ Utilizar como una guía los lineamientos generales para arborizar aceras en áreas urbanas, parques y zonas verdes.
- ✓ Realizar investigaciones similares tomando en cuenta las aceras que se encuentran en los otros 3 puntos cardinales del centro de San Salvador, para tener una perspectiva más clara de la condición en que se encuentra el arbolado y los servicios ecosistémicos que estos brindan.
- ✓ De acuerdo con el ancho de aceras que se encontró en el área de estudio, plantar especies de porte pequeño y de preferencia ornamentales, a un metro de la infraestructura.

6. 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](https://www.conaf.cl/cms/editorweb/institucional/Manual_de_Plantacion_de_Arboles_en_Areas_Urbanas.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](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>

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/>

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.