

Análisis de la estructura y Evaluación de los servicios ecosistémicos prestados por el arbolado, de la cabecera Urbana del municipio de Palmira, Valle del cauca.

**Corporación Autónoma Regional Valle del cauca
CVC- Dirección Técnica Ambiental-Grupo de
Gestión Forestal Sostenible y grupo de gestión
de Riesgo y cambio climático.**

**Santiago de Cali, Noviembre de
2023**

Imagen tomada de: https://www.tripadvisor.co/ShowUserReviews-g1725989-d8729383-r641268554-Plaza_de_Bolivar-Palmira_Valle_del_Cauca_Department.html

ÍNDICE

Resumen.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
1. OBJETIVOS.....	5
1.1 Objetivo general.....	5
1.2 Objetivos Específicos.....	5
2. METODOLOGÍA.....	5
2.1 Captura de la información.....	5
2.2 Procesamiento de la información.....	8
3. RESULTADOS.....	9
3.1 ESTRUCTURA DEL ARBOLADO URBANO DEL MUNICIPIO DE PALMIRA VALLE DEL CAUCA PARA EL AÑO 2022.....	9
3.1.1 Características de los árboles urbanos.....	9
3.1.6 Cobertura del bosque urbano y área foliar.....	13
3.2.1 Almacenamiento y secuestro de carbono.....	15
3.2.2 Producción de oxígeno.....	17
3.2.3 Eliminación de la contaminación del aire por árboles urbanos.....	18
3.2.4 Escurrimiento evitado.....	21
4. ANÁLISIS DE REDUCCIÓN DE LA TEMPERATURA CON BASE A LOS ICU.....	22
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	24
BIBLIOGRAFIA.....	32

Resumen

Entender la estructura, la función y el valor del bosque urbano puede promover las decisiones de manejo que mejorarán la salud humana y la calidad del medio ambiente. Una evaluación de la estructura, la función y el valor de la vegetación del bosque urbano del municipio de Palmira, se llevó a cabo durante el período entre octubre y diciembre de 2022, Los datos de 682 árboles localizados a lo largo del municipio se analizaron usando el modelo i-Tree Eco desarrollado por el Servicio Forestal de EEUU, Estación de Investigación del Norte. utilizando datos de la estación meteorológica más cercana al área de estudio registrada en el software, arrojando los siguientes resultados presentados en la tabla 1:

Tabla 1. Resultados de los servicios ecosistémicos calculados por el software i-Tree Eco.

Año/servicios evaluados	2022
Número de árboles evaluados	38.856
Cobertura arbórea	92,17 ha
Especies más comunes de árboles	<i>Geoffroea spinosa</i> , <i>Dypsis lutescens</i> , <i>Caesalpinia pluviosa</i> v. <i>peltophoroides</i>
Porcentaje de árboles menores a (15.2 cm) de diámetro	56,7 %
Eliminación de la contaminación (Tonelada métrica/año)	7,545 (Col\$2,28 mil millones/año)
Almacenamiento de carbono (tonelada métrica)	5,013 thousand (Col\$3,1 mil millones)
Secuestro de carbono (tonelada métrica/año)	350,6 (Col\$217 millón/año)
Producción de oxígeno (tonelada métrica/año)	934,9
Escurrimiento evitado (metro³/año)	14,83 thousand (Col\$115 millón/año)

En el censo arbóreo realizado en la cabecera urbana de Palmira, Durante el período comprendido entre el 13 de octubre de 2022 y el 16 de diciembre de 2022, se registraron un total de 40.580 individuos en la cabecera municipal, de los cuales 1.599 corresponden a tocones y muertos, y para el procesamiento en el software se excluyeron además 125 de los individuos de especies de gramíneas y setos que no contaban con la información necesaria para ser ingresados en el software, como DAP y Diámetros de copa, ya que estas especies fueron tomadas por área y no como individuos. En total en i-Tree se ingresaron **38.856 Individuos** arbóreos que representan una cobertura de árboles del 70% del área total del municipio, se identificaron 113 especies y 42 familias dispersos en toda el área urbana del municipio.

INTRODUCCIÓN

El arbolado urbano proporciona múltiples beneficios que contribuyen al bienestar humano y al mejoramiento de la calidad ambiental, es por eso que los árboles en la ciudad son elementos fundamentales que han sido reconocidos además por brindar diversos servicios ecosistémicos, por ejemplo: La captura y almacenamiento de carbono por parte de los individuos arbóreos, es identificado a nivel mundial como un fuerte referente en la mitigación del cambio climático. Este proceso se debe a la captura de las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂), donde el oxígeno es liberado y devuelto a la atmósfera y el carbono es almacenado como biomasa (Cabudivo, 2017). Otros beneficios reportados son la producción de oxígeno, la remoción de contaminantes y el escurrimiento evitado.

A pesar de que se tiene el conocimiento de los servicios que el arbolado ofrece en las ciudades, no se tienen en cuenta dentro del diseño de la infraestructura, ocasionando que el cambio de las coberturas arbóreas por vías y edificaciones conlleven al aumento de la temperatura al interior de las ciudades. Por otro lado, la creación de fábricas y la movilidad aumentan la contaminación del aire, así mismo se pierden las propiedades de los suelos que facilitan drenar el agua producida por las precipitaciones. Es así como los árboles a través de los procesos de respiración y fotosíntesis remueven los contaminantes y la presencia y actividad de las raíces ayudan a mantener las características del suelo (Gonzales 2002).

Conocer e identificar las coberturas arbóreas presentes al interior de las ciudades posibilita las oportunidades de cuantificar y valorar los servicios ecosistémicos que estas brindan. Los elementos arbóreos, como unidad o conjunto, marcan la diferencia dentro de los ambientes de las ciudades, al generar sombra, proporcionar aire limpio, constituir espacios verdes de esparcimiento, como parques, o simplemente generar paz mental con el solo hecho de apreciarlos. Se han desarrollado modelos matemáticos que junto a diferente software permiten medir la contribución de los árboles al interior de las ciudades y estimar su valor.

El programa i-Tree Eco es una herramienta desarrollada y vigilada por el Servicio Forestal de los Estados Unidos, la cual permite calcular y valorar los servicios ecosistémicos que proveen las coberturas arbóreas urbanas o rurales. El software analiza datos de campo que pueden tratarse de árboles individuales o conjuntos de estos, que son recolectados por medio de muestreos o censos. La información recolectada comprende variables dasométricas y estado fitosanitario de los individuos evaluados (USFS 2020). Además, contiene las ecuaciones que permiten traducir la estructura del arbolado en la capacidad de fijación de contaminantes y de incremento en la infiltración, y nos permite evaluar diferentes escenarios de desarrollo de poblaciones en condiciones locales específicas bajo diferentes supuestos de deforestación y reforestación para determinar el mejor curso de acción. Finalmente, pero no menos importante, permite una planeación y cálculo de estos beneficios en pesos, lo que a su vez ayuda a justificar la realización de gastos en su cuidado y a crear conciencia de la necesidad de llevar a cabo un manejo que, aunque tenga costos, estos son sobrepasados con creces por los beneficios.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Evaluar y cuantificar la estructura y los servicios ecosistémicos generados por el arbolado de la cabecera urbana del municipio de Palmira, para el año 2022, con la finalidad de proveer información para la toma de decisiones sobre el manejo del arbolado urbano.

1.2 Objetivos Específicos

- Identificar y evaluar las condiciones actuales en las que se encuentra el arbolado urbano del municipio de Palmira y cuáles son las especies más relevantes en cuanto a servicios ecosistémicos.
- cuantificar los servicios ecosistémicos prestados por el arbolado, desde secuestro de carbono, producción de oxígeno, fijación de contaminantes, incremento en la infiltración o reducción de la escorrentía.
- Cuantificar económicamente, con base en precios establecidos internacionalmente, los beneficios de los servicios ecosistémicos del arbolado urbano del municipio.
- Establecer información base para el manejo y diseño ecológico de las zonas verdes urbanas, para así contribuir a la sostenibilidad, resiliencia y adaptación al cambio ambiental global.
- Plantear lineamientos para optimizar los servicios ecosistémicos prestados.

2. METODOLOGÍA

2.1 Captura de la información

Para el desarrollo del censo arbóreo se definieron 49 atributos a evaluar por cada individuo, a partir de un consenso entre funcionarios de la Dirección Técnica Ambiental (DTA) y Direcciones Ambientales Regionales (DAR) de CVC, funcionarios de algunas dependencias de la Alcaldía Municipal y el equipo de trabajo del Centro de Investigación Territorio, Construcción y Espacio – CITCE de la Universidad del Valle. Con los atributos definidos, el censo arbóreo para la cabecera urbana de Palmira fue realizado entre el 1 de julio y el 5 de agosto de 2022, en el marco del desarrollo del Convenio Interadministrativo 141 de 2020, suscrito entre la CVC y el CITCE de la Universidad del Valle.

A continuación, se presentan los atributos que fueron estimados, algunos de los cuales fueron tomados en campo y otros en oficina:

Tabla 2 y 3. Atributos del censo definidos para cada individuo.

Grupo	Atributo	Valor	Tipo
ID	- ID		Alfanumerico
Ubicación	- Longitud		Decimal
	- Latitud		Decimal
	- Comuna		Texto
	- Barrio		Texto
Taxonomía	- Tipo	- Árbol - Árbol/Arbusto - Arbusto - Palma - Otro	Texto
	- Código sp		Alfanumerico
	- Nombre común		Texto
	- Nombre científico		Texto
	- Familia		Texto
	- Etapa de desarrollo	- Juvenil - Adulto - Adulto senescente - Muerto - Tocón	Texto
	- Condición	- Introducida - Exótica - Nativa	Texto
	- Caducifolio	- No - Si	Texto
Dasometría	- CAP 1		Entero
	- CAP 2		Entero
	- CAP 3		Entero
	- Área (solo gramíneas)		Entero
	- Fuste	- Fuste principal - Bifurcación - Polifurcación	Texto
	- Altura total		Decimal
	- Diámetro de copa		Decimal
	- Grado de inclinación		Entero
- Inclinación	- Anden - Edificaciones - Redes aéreas - Vía - Zona verde - Ninguna	Texto	

Grupo	Atributo	Valor	Tipo
Emplazamiento	- Emplazamiento	- Anden - Borde de cauce artificial - Borde de cauce natural - Escenario deportivo - Escenario cultural - Glorieta o asimilable - Oreja de puente o asimilable - Parque, plaza o plazoleta - Separador vial - Vía férrea - Vía peatonal - Otro	Texto
	- Confinamiento	- No - Si	Texto
Estado fitosanitario	- Vigoridad	- Bueno - Regular - Malo	Texto
	- Grado de estrés	- Alto - Medio - Bajo - Ningún	Texto
	- Incidencia	- Enfermo - Sano	Texto
	- Severidad del árbol	- <20 - 21 - 40 - 41 - 60 - 61 -80 - > 80	Texto
	- Localización de la patología	- Flores - Follaje - Fruto - Tallo - Raíces - Ramas	Texto
	- Posibles patógenos	- Bacterias - Hongos - Macromicetos - Plantas parasitas - Virus - Otro - Ninguno	Texto

Tabla 4 y 5. Atributos del censo definidos para cada individuo (continuación).

Grupo	Atributo	Valor	Tipo	
Estado fitosanitario	- Síntomas	- Anomalías en follaje - Chancros - Clorosis - Defoliación - Exudados - Muerte de ramas/foliar - Pudrición/Tizones/Necrosis - Otros	Texto	
		- Insectos plaga	- Ausencia - Presencia	Texto
Estado entomológico	- Nivel de población (individuos)	- < 10 - 11 - 50 - 51 - 100 - > 100	Texto	
	- Porcentaje de infestación del árbol	- ≤20 - 21 - 40 - 41 - 60 - 61 - 80 - > 80	Texto	
	- Estructura infestada	- Flores - Follaje - Fruto - Tallo - Raíces - Ramas	Texto	
	- Daños asociados	- Defoliación - Clorosis - Perforaciones - Galerías - Minas en hojas - Entorchamientos - Perforación de frutos - Otro	Texto	
	- Grupos taxonómicos	- Díptera - Lepidóptera - Himenóptera - Coleóptera - Ortóptera - Hemíptera	Texto	
	- Moluscos plaga (Caracol africano)	- Presencia - Ausencia	Texto	
	Condición general	- Revisión física	- Anillamiento - Daños mecánicos - Evidencia de endoterapia - Poda mal hecha - Presencia de parásita - Sobre carga de epifitas - Ninguna	Texto

Grupo	Atributo	Valor	Tipo
Condición general	- Amenazas	- Volcamiento	Texto
		- Caída de frutos	Texto
		- Caída de ramas	Texto
		- Raíces	Texto
	- Ninguno	Texto	
	- Energizado	- No - Si	Texto
	- Hito	- Emblemático (sobresaliente) - Normal	Texto
- Peligro de extinción	- CR (En peligro crítico) - EN (En peligro) - VU (Vulnerable)	Texto	
Recomendación	- Tipo de intervención silvicultural	- Control fitosanitario - Erradicar - Fertilización - PA Poda aclareo - PC Poda control - PE Poda equilibrio - PF podas formación - PL Poda de limpieza - PRE Poda de realce - PRL Poda de ramas laterales - PRS Poda de ramas secas - PS Poda Sanitaria - RA Reducción de altura - Tala - Traslado (solo juvenil) - Ninguno	Texto
		- Fotografía	Adjunto
	- Observaciones		Texto

2.2 Procesamiento de la información.

Una vez se tuvo el resultado del censo y de la captura de la información en campo se procedió a realizar el procesamiento de la información en el software i-Tree ECO V 6.0.10 del i-Tree 6.1.22. El programa i-Tree con la información dasométrica tomada, calculó los siguientes parámetros morfológicos de los árboles por especie en general:

- Área Foliar (m²).
- Cubierta del dosel (m²).
- Biomasa foliar (Kg).
- Índice de área foliar
- Densidad Población (Árboles/ha).
- Distribución de la población por clase diamétrica (DAP en cm).
- Valor de importancia para las especies.
- Densidad de área Foliar (m²/ha).
- Densidad de biomasa de hojas (kg/ha).

Con esta información es posible determinar, gracias al software i-Tree, la situación del arbolado, y sus servicios ecosistémicos prestados, relacionados con:

- Carbono Almacenado en toneladas (Cfijo).
- Capacidad de Secuestro en toneladas/año (SeC).
- Reducción de escurrimiento de agua de lluvia en m³/año (ReD).
- Remoción de Contaminantes en toneladas/año (ReCon).

Adicionalmente, utilizando los precios de los servicios ecosistémicos incluidos en el software i-Tree se calcula el valor monetario de dichos servicios. En el anexo III se presenta a detalle el modelo i-Tree ECO y la fuente de los valores que se presentan a continuación en la tabla 6:

Tabla 6. Precios de la tonelada de C, contaminantes, y m³ de agua de drenaje evitado, utilizados por i-Tree para Colombia.

Concepto	Unidad	Valor
Carbono fijo y secuestro bruto	Tonelada Metrica	\$ 334.854,00
Reduccion de escorrentia	M3	\$ 7.758.730,00
Contaminantes		
Ozono (O3)	Tonelada Metrica	\$ 61.301.947,00
Monoxido de Carbono (CO)	Tonelada Metrica	\$ 3.543.342,00
Dioxido de nitrogeno (NO2)	Tonelada Metrica	\$ 9.155.067,00
Dioxido de Sulfuro (SO2)	Tonelada Metrica	\$ 3.335.264,00
PM-2.5 mic	Tonelada Metrica	\$ 2.128.084.240,00
PM-10mic	Tonelada Metrica	\$ 15.858.323,00

Fuente: El Autor.

3. RESULTADOS

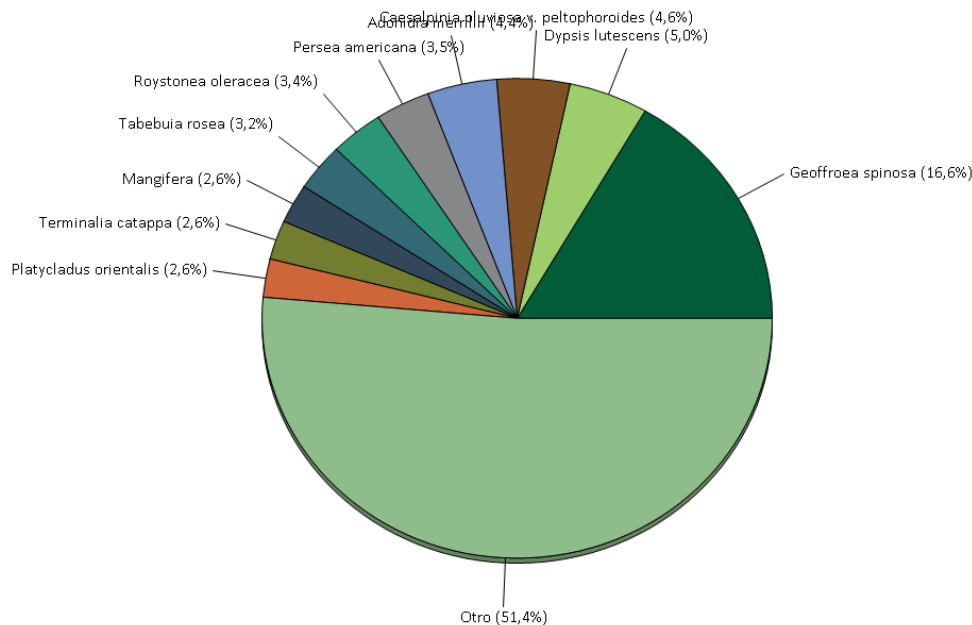
El software i-Tree tiene la capacidad de generar reportes de la base de datos que procesa y genera con los datos dasométricos de los árboles. Algunos de estos reportes están incluidos en este informe. Así, los resultados se presentan en dos partes, la primera, se refiere a la estructura del arbolado que explica y define el tamaño, la situación, las especies, y su ubicación. La segunda se refiere a los servicios ecosistémicos que nos ofrecen los árboles. A continuación, se presentan algunos reportes gráficos que explican y describen de manera resumida la estructura del arbolado.

3.1 ESTRUCTURA DEL ARBOLADO URBANO DEL MUNICIPIO DE PALMIRA VALLE DEL CAUCA PARA EL AÑO 2022.

3.1.1 Características de los árboles urbanos

Para el bosque urbano del municipio de Palmira se identificaron en total 435 especies y 76 familias dispersos en el área urbana de del municipio, equivalente a 38.981 individuos vivos, excluyendo registros asociados a tocones y muertos (1.599 registros) y 125 especies de setos, cercos vivos y otras especies sin identificar. Entre las especies que se destacaron por presentar mayor número de individuos y abundancia relativa fueron: Ébano falso (*Geoffroea spinosa* Jacq.) con 6.464 individuos (16,58%), seguida de la especie Palma areca (*Dypsis lutescens* (H. Wendl.) Beentje & J. Dransf. con 1.919 individuos arbóreos (4,92%), Palma navidad (*Adonidia merrillii* (Becc.) Becc.) con 1.711 individuos forestales (4,39%), la especie, Acacia rubiña (*Caesalpinia pluviosa* DC) 1.450 (3,72%) individuos, seguidos de la especie Aguacate (*Persea americana* Mill.) con 1.349 individuos arbóreos (3,46%), Como se muestra en la figura 1 que reporta la composición florística de las 10 especies más representativas del censo arbóreo realizado en el municipio durante el periodo señalado.

Figura 1. Composición florística de las 10 especies más representativas, encontradas en el censo de Palmira 2022.

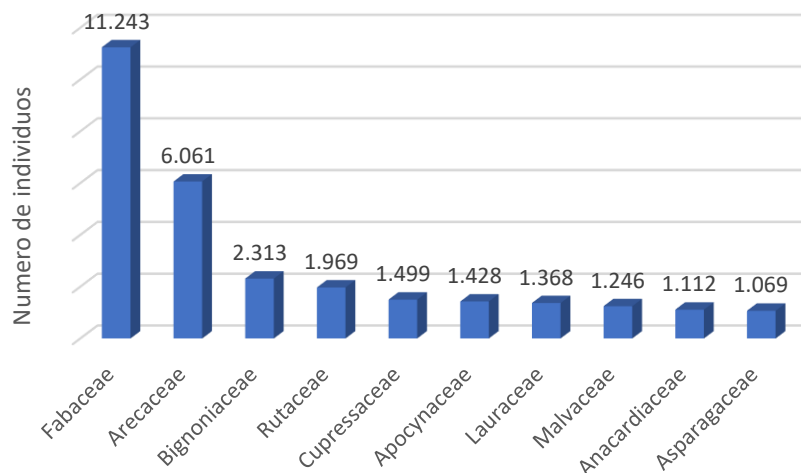


Fuente: Software itree eco.

Para el municipio de Palmira para el año 2022 Los árboles cubren casi 92,18 hectáreas del área total del municipio y proporcionan 272,4 hectáreas del área de las hojas.

Por otro lado, entre las familias botánicas más representativas de los individuos vivos se identifica la familia Fabaceae con 11.243 individuos arbóreos, seguido de la familia Arecaceae con 6.061 individuos y la familia Bignoniaceae con 2.313 individuos arbóreos (Figura 2).

Figura 2. 10 familias botánicas más representativas en la cabecera urbana del Municipio de Palmira, año 2022.



Fuente: CVC-UNIVALLE 2022.

3.1.2 Diámetro a la altura del pecho (DAP)

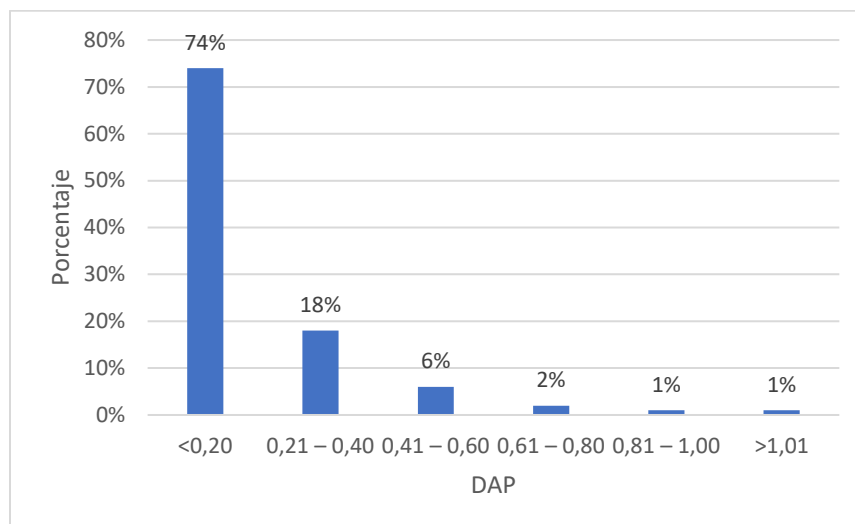
Dentro del censo se realizó la toma de mediciones dasométricas con DAP, esta variable se determinó en campo como circunferencia a la altura del pecho (CAP) y por operación matemática se convirtió a DAP para facilitar la interpretación y el análisis, con el fin de identificar y agrupar los diámetros en intervalos las medidas del diámetro a la altura del pecho (DAP) fueron tomadas en metros para facilitar el manejo de la información. Dentro del estudio se puede notar que existe una alta variabilidad de diámetros, lo cual nos indica que existe una alta tasa de individuos con variabilidad en sus diámetros y con diferentes rangos de madurez.

De los 38.981 individuos vivos registrados, 98 se consolidan como setos, por lo que no se les registra la variable DAP sino área, lo que nos deja un total de 38.883 individuos de los cuales el (74%) corresponde a individuos con un diámetro menor a 0,20 metros ubicados en el primer intervalo y siendo este el más significativo, seguido por los individuos con un diámetro entre 0,21 y 0,40 metros con el (18%). Se puede concluir que las especies utilizadas en el arbolado urbano de Palmira están seleccionadas para adaptarse a las limitaciones de espacio, en donde las especies con menor diámetro pueden establecerse con una mayor variedad de emplazamientos.

Por otra parte, los individuos con un DAP mayor a un metro solo se encuentra (1%) de toda la población, siendo las especies *Ficus elastica* Roxb. ex Hornem. *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. y *Albizia saman* (Jacq.) Merr. las más representativas gracias a su gran envergadura. Con esta información la gestión para el arbolado urbano tiene como reto amplificar el número de individuos con un DAP mayor a 0,41 m. Este reto se puede lograr aprovechando zonas de gran espacio, como parques, zonas verdes,

separadores viales, siempre y cuando se tenga en cuenta la estructura de la especie a implementar para evitar daños estructurales.

Figura 3. Distribución del número de individuos por rangos de DAP en la cabecera municipal.



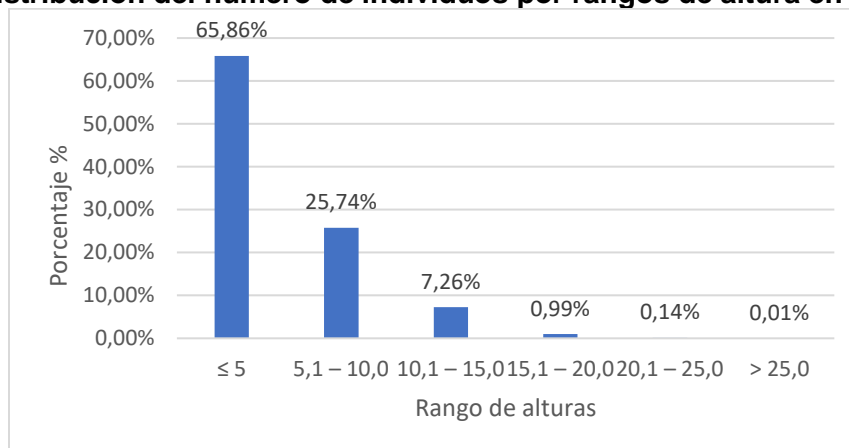
Fuente: CVC UNIVALLE 2022.

Es importante destacar que dentro de las especies que presentan mayor DAP promedio, se encuentran en primer lugar *Ficus elastica* Roxb. ex Hornem. con 104,58 cm, seguida de *Ficus brevibracteata* W.C. Burger con 100,27 cm, seguidas por *Kigelia africana* (Lam.) Benth. *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. y *Nectandra lineata* (Kunth) Rohwer Con 91,25 cm, 90,16 cm y 72,15 respectivamente. De igual manera se identifica la *Ficus insipida* Willd. con 60,92 cm, seguida por las especies *Albizia saman* (Jacq.) Merr. con 60,86 cm. Entre las especies más destacadas con DAP promedio con valores por debajo de 50 cm son: *Ficus glabrata*, *Senna siamea* (Lam.) H.S. Irwin & Barneby, *Erythrina poeppigiana* (Walp.) O.F. Cook y *Bulnesia arborea* (Jacq.) Engl. con 49,80 cm, 48,48 cm, 47,80 cm y 46,54 cm respectivamente.

3.1.3 Altura total:

Los individuos forestales censados en el municipio se agruparon en 6 categorías de altura, siendo los ≤ 5 m en la que se agruparon el (65,86%) del total de la cobertura censada, seguido por la altura entre 5,1 – 10,0 m con un porcentaje de (25,74%). Tan solo el (0,14%) de los árboles cuenta con una altura de 20,1 – 25,0 m y el (0,01%) corresponde a $>25,0$ m La distribución de la altura se detalla en la Tabla 7. El (92,0%) de los árboles tiene una altura menor a 10 m. Esto está relacionado con las limitaciones de espacio aéreo en el entorno urbano, lo cual impide el pleno desarrollo de la copa. El reto para la planificación del nuevo arbolado es analizar cuidadosamente la disponibilidad de espacio aéreo y lograr el establecimiento de especies de alto porte en los espacios identificados. En este sentido, no se recomienda el establecimiento de especies de bajo porte en áreas con espacio aéreo disponible como parques, zonas verdes o separadores viales.

Figura 4. Distribución del número de individuos por rangos de altura en el municipio.

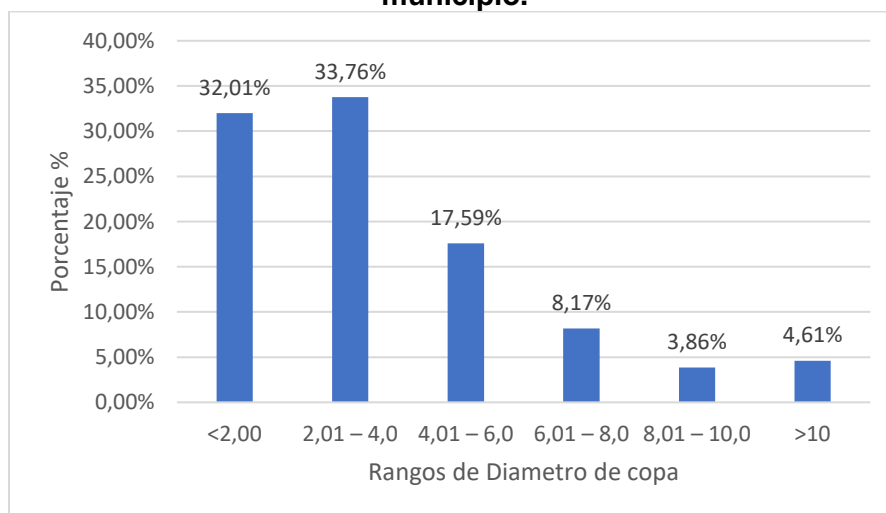


Fuente: El Autor.

3.1.4 Diámetro de copa:

De los 38.981 individuos censados, 98 se consolidaron como setos por lo que no se registra la variable Diámetro de copa sino área, de acuerdo con lo observado, se encuentra que los individuos tienen una gran variedad de diámetros de copa. La mayoría de los individuos censados se caracterizan por tener un diámetro de copa entre 2,01 a 4,0 metros, representando el (33,76%) de toda la población, seguido por individuos con copas menores a 2,00 metros con el (32,01%) de la población, como se muestra en la siguiente gráfica:

Figura 5. Distribución del número de individuos por rangos de diámetro de copa en el municipio.



Fuente: El Autor.

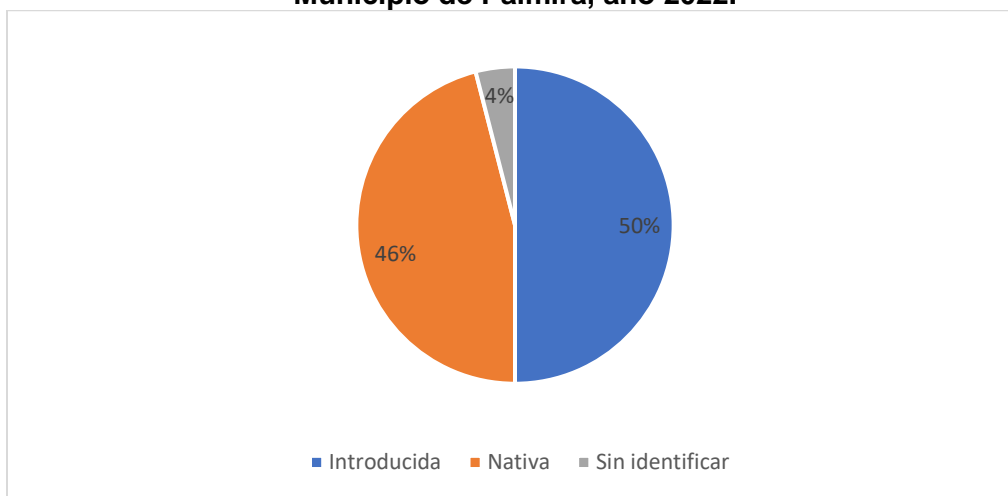
De acuerdo con la anterior información se tiene que las especies con diámetro de copa entre 2,01 a 4,00 metros son las dominantes, confirmando que las especies de porte pequeño son las más representativas dentro del casco urbano de Palmira. Las especies con un diámetro de copa mayor a 10 metros solo representa el (4,61%), con lo cual se pretende que la gestión del arbolado urbano haga énfasis en aumentar las especies de gran porte de copa, con el fin de aumentar la cobertura, aprovechando los espacios adecuados para estas.

Las especies con mayor diámetro de copa reportado dentro del censo corresponde a: *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb, con un promedio de copa de 17,70 m, seguida por el *Ficus elastica* Roxb. ex Hornem, con un diámetro promedio de 15,81 m, seguidas por las especies *Albizia saman* (Jacq.) Merr y *Peltophorum pterocarpum* (DC.) Backer ex K. Heyne con diámetros de copa promedio de 15,56 y 13,60 m respectivamente. Las especies que se encuentran en el intervalo de diámetro mayor a 10 metros y las especies con un diámetro entre 8,01 y 10 solo cuentan con un 4,61% y 3,86% respectivamente para cada intervalo, esto representa un gran reto, ya que se hace necesario establecer especies que cumplan con los criterios para aumentar el porcentaje de estas especies en futuros censos forestal. Es importante resaltar que los espacios de gran abertura no solo se deben dirigir a especies de menor tamaño de DAP y diámetro de copa, con el fin de aumentar el número de individuos dentro de los próximos censos, también se debe contar las con las especies de mayor envergadura, con el fin de aumentar el embellecimiento de Palmira.

3.1.5 Condición

De acuerdo con el análisis de la condición de las especies censadas en la cabecera municipal, se encontró que el 50% corresponden a especies introducidas, entre las cuales predominan las especies *Dyopsis lutescens* (H. Wendl.), *Adonidia merrillii* (Becc.) Becc., *Caesalpinia pluviosa* DC., *Roystonea regia* (Kunth), mientras el 46% representa las especies nativas en el municipio, integradas principalmente por *Geoffroea spinosa* Jacq., *Persea americana* Mill., *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC., *Annona muricata* L. (Figura 6). El 4% restante coincide con individuos que no se pudieron identificar por ser tocones o muertos.

Figura 6. Porcentaje de la población según su condición de origen, en la cabecera urbana del Municipio de Palmira, año 2022.



Fuente: El Autor.

3.1.6 Cobertura del bosque urbano y área foliar

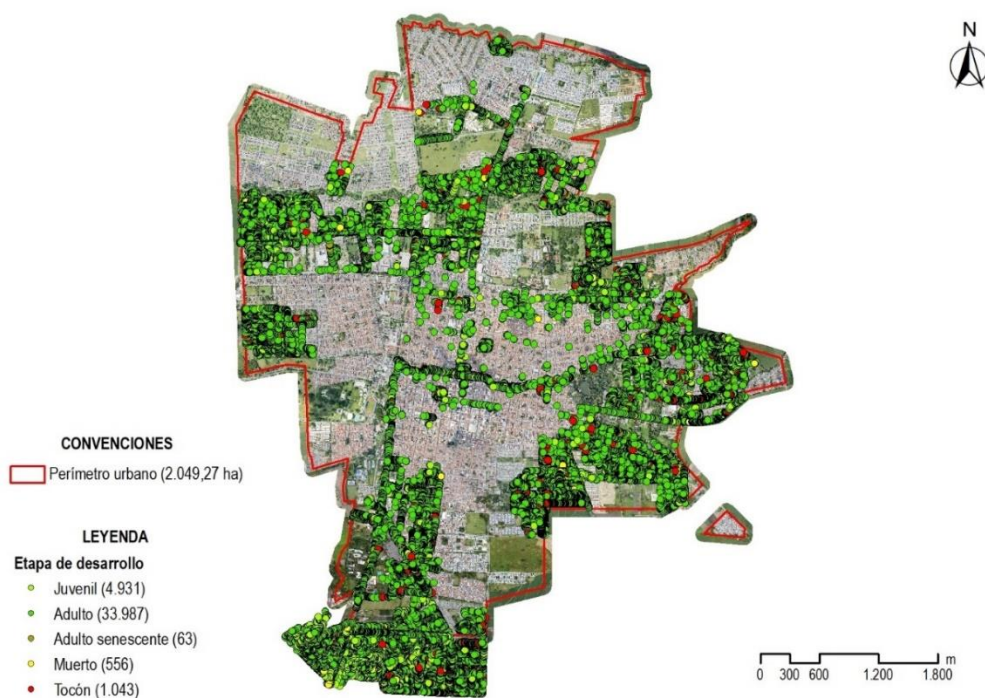
Muchos beneficios de los árboles corresponden directamente con la cantidad de área superficial saludable de las hojas de las plantas. Los árboles de palmira cubren 92,18 hectáreas del área total de la cabecera municipal y proporcionan 272,4 hectáreas del área de las hojas.

Según el análisis del arbolado la mayor concentración de individuos se presenta en los barrios: Sin definir 2A (7,29%), El sembrador (6,80%), Fátima (5,39%), Poblado de Comfaución (4,34%), Departamental (4,25%) y Municipal (4,13%), En contraste los barrios Sin Definir 2B, Zamorano, Sin

Definir 1D, Bizerta y Sin definir 1A, tienen una participación inferior al 1% del total de individuos censados; cabe resaltar que los barrios mencionados anteriormente son barrios en los cuales el censo se obtuvo de forma parcial y es posible que la información obtenida no sea suficiente para un correcto análisis.

Dentro del casco urbano, el sector mayoritariamente urbanizado conformado por los barrios: Santa rita, Estonia, Alfonso López, San Cayetano, Berlín, Obrero, Bizerta, Uribe Uribe, Palmeras, San Jorge, Colombia, La libertad y San pedro, presentan un comportamiento particular, y es que el arbolado se encuentra principalmente en parques y separadores, esto se debe a que en este sector el espacio público dentro de las manzanas es limitado y reducido. Para los procesos de planificación y gestión del arbolado urbano, deben priorizarse los barrios del centro tradicional que se caracterizan por manzanas cuadradas de dimensiones cercanas a los 100 m y calles estrechas con distancias entre 10 y 12 m entre paramento y paramento. Esta condición histórica del sistema de calles y manzanas tradicionales ha dificultado el establecimiento de vegetación. Para incorporar nuevo arbolado en estas áreas, se recomienda un estudio de las especies adecuadas, debido a las limitaciones de espacio aéreo y la proximidad de edificaciones y pavimentos.

Figura 7. Distribución espacial de la cobertura arbórea en el municipio por Comunas.



Fuente: CVC y Univalle (2022)

Por otro lado en cuanto a área foliar la especie más dominante en términos de área de las hojas o área foliar son *Albizia saman* con 454743,2 m² y *Geoffroea spinosa* con 152112,3 m², equivalentes al 16,7% y al 5,6% respectivamente. A continuación en la tabla 7 se enumeran las 10 especie con los valores de importancia más altos. Estos valores de importancia (VI) se calculan como la suma del porcentaje de la población y porcentaje del área de las hojas. Los valores de importancia altos no quieren decir que los árboles deben procurarse necesariamente a futuro; sino que dichas especies dominan actualmente la estructura del bosque urbano en cuanto al área foliar pero para cualquier decisión de siembra se debe realizar un análisis previo del sitio y sus condiciones.

Tabla 7. Especies más importantes en el municipio de Palmira.

Nombre de la especie	Porcentaje población	Porcentaje del área de las hojas	I.V
<i>Geoffroea spinosa</i>	16,6	5,6	22,2
<i>Albizia saman</i>	1,7	16,7	18,4
<i>Caesalpinia pluviosa v. peltophoroides</i>	4,6	8,8	13,4
<i>Tabebuia rosea</i>	3,2	4,6	7,8
<i>Guazuma ulmifolia</i>	1,6	6,0	7,6
<i>Ficus</i>	1,1	5,9	7,0
<i>Mangifera</i>	2,6	4,3	6,9
<i>Pithecellobium dulce</i>	1,5	5,4	6,9
<i>Persea americana</i>	3,5	3,1	6,5
<i>Roystonea oleracea</i>	3,4	3,0	6,4

Fuente: El Autor.

3.2 SERVICIOS ECOSISTÉMICOS ASOCIADOS AL ARBOLADO URBANO DEL MUNICIPIO DE PALMIRA 2022.

Tener claro los servicios ecosistémicos que son brindados por el arbolado urbano es de gran importancia, ya que de esa forma se pueden orientar estrategias, acciones a ejecutar, y metas de manejo del arbolado urbano, así como también evaluar los esfuerzos. Por ejemplo, si se plantea aumentar en cierto porcentaje la cantidad de secuestro de carbono al año habrá que incrementar el tamaño de los árboles existentes, sembrar especies eficientes, etc.

A continuación, se relacionan los resultados arrojados por el software en cuanto a servicios ecosistémicos prestados por el arbolado urbano de la cabecera urbana de Palmira, según censo realizado en el año 2022.

3.2.1 Almacenamiento y secuestro de carbono

La fijación de CO₂ tiene dos componentes importantes; el primero se refiere a la cantidad de Carbono ya fijo o almacenado en la madera al momento de realizar el censo, y el segundo es la capacidad que tienen los árboles para secuestrar o capturar CO₂ durante un periodo, que normalmente es de un año.

El primer valor se determina por la cantidad de madera, y es directamente proporcional al tamaño del árbol (DAP y Altura) y está en función a la especie, por la influencia que tiene sobre la densidad de la madera. Este indicador se utiliza también para calcular el valor estructural del arbolado, ya que entre más madera exista más valor tiene el arbolado, otra manera en la que los árboles pueden influenciar el cambio climático global. Conforme un árbol crece, almacena más carbono sujetándolo en su tejido (madera). Cuando el árbol se muere y descompone, nuevamente libera la mayoría del carbono almacenado a la atmósfera. Por lo tanto, el almacenamiento de carbono es una indicación de la cantidad de carbono que se puede liberar si se permite que los árboles mueran y se descompongan. Conservar árboles saludables mantendrá el carbono almacenado en los árboles, pero el mantenimiento de los árboles puede contribuir a las emisiones de carbono (Nowak et al, 2002).

Por otro lado, Carbono capturado (secuestro bruto de carbono), hace referencia a la reducción de

la cantidad de carbono en la atmósfera al secuestrar el carbono en el crecimiento nuevo cada año, la capacidad de secuestro de carbono anual depende a su vez del follaje, y por supuesto del tipo de hoja, que a su vez depende de la especie. No es lo mismo una hoja de un Ficus (*Ficus benjamina*) comparada con la hoja de un Ébano (*Geoffroea spinosa*), por tamaño, grosor, y eventualmente por cantidad expresada en biomasa o área foliar, Estos parámetros son el insumo principal para realizar los cálculos de almacenamiento y captura de carbono y ingresando los datos básicos en el software I-Tree, a continuación en la tabla 8. Se relacionan los datos respectivos a los cálculos de área foliar de las 10 especies más representativas evaluadas en el municipio de Palmira en el año 2022:

Tabla 8. Especies más representativas respecto al Área foliar en la cabecera urbana del Municipio de Palmira, año 2022.

Nombre de la especie	Conteo de árboles	Cubierta del dosel (m ²)	Área foliar (m ²)	Biomasa foliar (kg)	Área basal (m ²)
Total	38855	921759,1	2724427	244500,6	2278,4
<i>Albizia saman</i>	659	161963,4	454743,2	19771,4	320,6
<i>Geoffroea spinosa</i>	6464	76087,3	152112,3	13147,1	200,3
<i>Caesalpinia pluviosa v. peltophoroides</i>	1795	68052,4	238436,5	21290,9	244,1
<i>Pithecellobium dulce</i>	566	46947	147726,4	12768,1	132,9
<i>Guazuma ulmifolia</i>	613	43383,8	164098	14364,3	82,4
<i>Tabebuia rosea</i>	1245	42301,8	124887	7603,5	101,9
<i>Ficus Sp.</i>	430	38249	161577,9	12651,9	147,4
<i>Roystonea oleracea</i>	1311	34856,6	82174	13783	164
<i>Terminalia catappa</i>	1021	31073,2	70983,4	9188,8	49,7
<i>Mangifera Indica</i>	1024	29125,8	117021,2	11424,5	76,9

Fuente: El Autor.

En resumen se puede observar que el área foliar aumenta directamente en relación con la especie y su amplitud de copa, pues aunque de la especie *Geoffroea spinosa* es la que presenta mayor cantidad de individuos con 6464 árboles registrados, esta no supera el área foliar, ni la cobertura del dosel de los individuos de las especies *Albizia saman* que por lo general tienen copas más amplias.

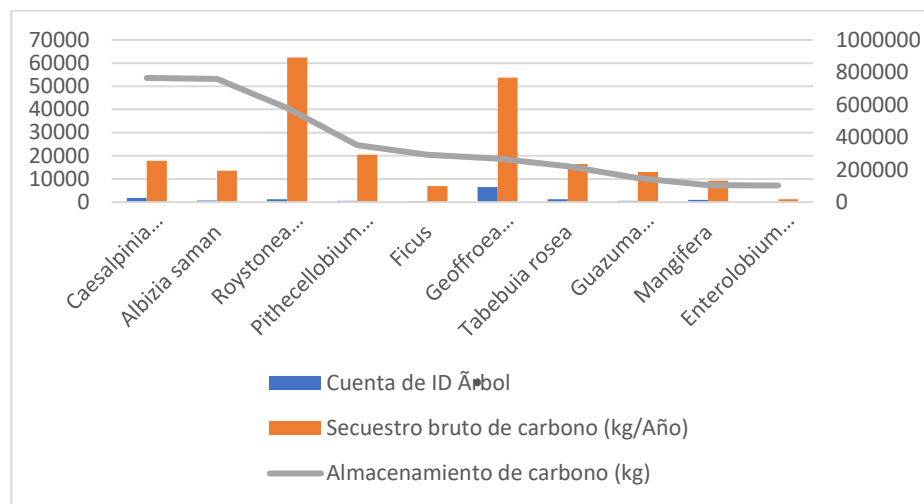
A continuación en la Figura 8. se muestra una gráfica con los dos conceptos relacionados con la captura y almacenamiento de carbono y su relación entre cantidad de individuos y especie, para los árboles censados en el municipio de Palmira en el 2022.

El primero es el secuestro bruto o captura de carbono, el cual incrementa anualmente con el crecimiento y la salud de los árboles. El secuestro bruto de los individuos censados en el municipio de Palmira es de 350,6 tonelada métrica del carbono por año con un valor asociado de Col \$217 millón (Para más detalles de los métodos ver el Apéndice I).

El otro concepto es el almacenamiento de carbono, Se calcula que los árboles en Municipio de Palmira almacenan 5010 toneladas de carbono (Col\$3,1 mil millones). De las especies muestreadas, *Caesalpinia pluviosa v. peltophoroides* almacena la mayor cantidad de carbono (aproximadamente 15,3% del total de carbono almacenado) y *Roystonea oleracea* secuestra la mayor cantidad (aproximadamente 17,8% de todo el carbono secuestrado). Es importante destacar, para evitar confusiones, que cuando se menciona Carbono, se refiere al átomo de carbono, con un peso

atómico de 12, mientras que al hablar de CO₂, se tiene en cuenta una molécula que pesa 44 (por los 2 átomos de oxígeno de 16).

Figura 8. Comportamiento del almacenamiento y secuestro de carbono vs cantidad de individuos para las 10 especies más representativas en la cabecera urbana del Municipio de Palmira, año 2022.



En resumen se puede observar que aunque la especie *Geoffroea spinosa* es la que presenta mayor cantidad de individuos con 6.464 árboles registrados equivalentes a un 16,6 % del total de árboles censados para este municipio, esta no es la especie que más captura, ni almacena carbono, la especie que más captura carbono en este municipio es Palma Botella (*Roystonea regia*) con una cantidad de 1311 individuos equivalentes al 3,4% del total de los individuos censados y captura 62.431,5 Kg/año equivalentes al 18% del total de carbono capturado por año para este municipio, y la especie que más almacena carbono es la *Caesalpinia pluviosa v. peltophoroides* con una cantidad de 1795 individuos respectivamente equivalentes a un 15% del total de los individuos censados y almacena un 16% del total del carbono almacenado para este municipio al igual que la especie *Albizia saman*, con 659 individuos equivalentes al 15% del total y lo cual corresponde con los datos de las 2 especies con mayor área foliar e índice de importancia para este municipio.

3.2.2 Producción de oxígeno

Otro servicio ecosistémico muy importante es la liberación de oxígeno por causa de la fotosíntesis, que es complementario y aditivo a la fijación de CO₂. Este parámetro se comporta directamente proporcional a la cantidad de árboles que existen. Sin embargo, la capacidad de producción de oxígeno si varía dependiendo del tipo de árboles o especies que hay, ya que está directamente relacionada con la cantidad de carbono secuestrado por el árbol, la cual está vinculada también con la acumulación de biomasa.

Se calcula que los árboles en Municipio de Palmira producen 934,9 tonelada métrica de oxígeno al año. Sin embargo, este beneficio de los árboles es relativamente insignificante debido a la gran y relativamente estable cantidad de oxígeno en la atmósfera y extensa producción por los sistemas acuáticos. Nuestra atmósfera tiene una enorme reserva de oxígeno. Si se consumieran todas las reservas de combustibles fósiles, todos los árboles y toda la materia orgánica en el suelo, el oxígeno de la atmósfera sólo se reduciría en un mínimo porcentaje (Broecker 1970).

A continuación en la tabla 9, se presentan las 20 especies que más producen oxígeno en la cabecera urbana del Municipio de Palmira, para el año 2022.

Tabla 9. Las principales especies productoras de oxígeno.

Especie	Producción de Oxígeno (Tonelada Métrica)	Secuestro bruto de carbono (tonelada métrica/año)	Número de árboles	Área Foliar (Ha)
<i>Roystonea oleracea</i>	166,48	62,43	1.311	8,22
<i>Geoffroea spinosa</i>	143,14	53,68	6.464	15,21
<i>Pithecellobium dulce</i>	54,60	20,48	566	14,77
<i>Caesalpinia pluviosa v. peltophoroides</i>	47,53	17,82	1.795	23,84
<i>Tabebuia rosea</i>	43,87	16,45	1.245	12,49
<i>Albizia saman</i>	36,01	13,50	659	45,47
<i>Guazuma ulmifolia</i>	34,82	13,06	613	16,41
<i>Terminalia catappa</i>	28,77	10,79	1.021	7,10
<i>Mangifera</i>	24,63	9,24	1.024	11,70
<i>Adonidia merrillii</i>	23,09	8,66	1.714	2,17
<i>Dypsis lutescens</i>	22,13	8,30	1.955	2,20
<i>Ficus</i>	18,38	6,89	430	16,16
<i>Simarouba amara</i>	17,95	6,73	155	4,22
<i>Persea americana</i>	15,80	5,92	1.352	8,31
<i>Swinglea glutinosa</i>	15,31	5,74	363	2,35
<i>Leucaena leucocephala</i>	11,66	4,37	447	5,08
<i>Melicoccus bijugatus</i>	10,79	4,05	172	2,51
<i>N.I</i>	8,77	3,29	819	1,30
<i>Attalea butyracea</i>	8,63	3,24	82	0,85

3.2.3 Eliminación de la contaminación del aire por árboles urbanos

La mala calidad del aire es un problema común en muchas áreas urbanas, que puede conducir a la disminución de la salud humana, dañar los materiales del paisaje, los procesos de los ecosistemas, y reducir la visibilidad. El arbolado urbano puede ayudar a mejorar la calidad del aire reduciendo la temperatura del aire, eliminando directamente los contaminantes del aire, y reduciendo el consumo de energía de los edificios, que por consiguiente reduce las emisiones de los contaminantes del aire de las fuentes eléctricas. Los árboles también emiten compuestos orgánicos volátiles que pueden contribuir a la formación de ozono. Sin embargo, estudios han dado a conocer que el aumento en la cobertura de los árboles conduce a una menor formación de ozono (Nowak y Dwyer, 2000).

La eliminación de la contaminación para los árboles censados para Palmira 2022 se calculó usando datos de campo y de contaminación reciente, así como el estado del tiempo, disponibles en la siguiente estación meteorológica:

Detalles de estación meteorológica:

- Año: 2016
- USAF: 802590
- WBAN: 99999
- Nombre: ALFONSO BONILLA ARAGON INTI
- Data source: NCDC and user submitted

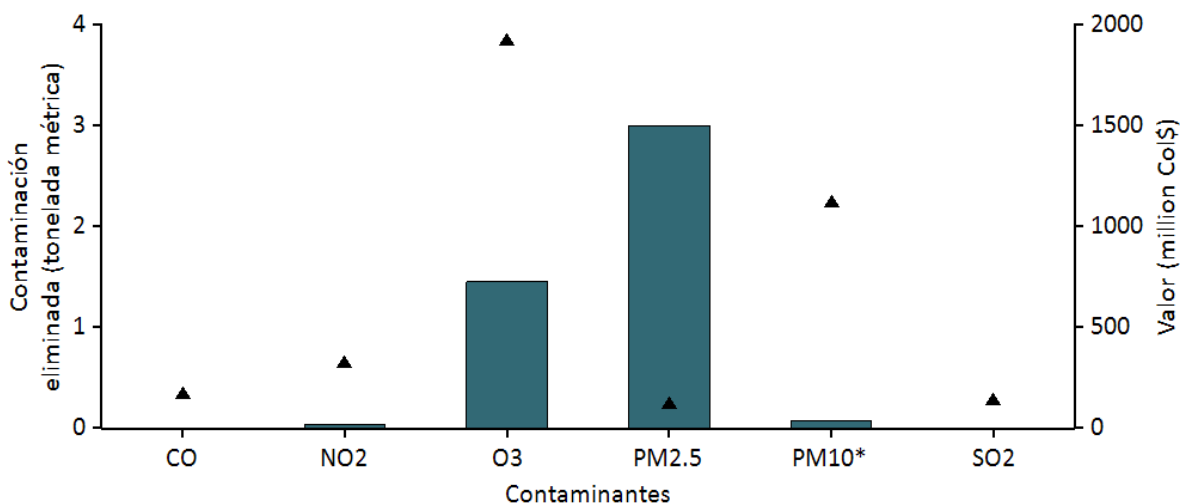
Detalles de la contaminación:

- Año: 2016

CO	O3	NO2	SO2	PM2.5	Lugar	Station ID	Distance (km)
Sí	Sí			Sí	Cali, Valle del Cauca, Colombia	0002	31,4
			Sí		Cali, Valle del Cauca, Colombia	0003	30,6
Sí					Bogota, D.c., Bogota, Colombia	0002	271,2

Esta estación meteorológica es la más cercana al área de estudio reportada en el software. Se estima que los árboles en el municipio de palmira eliminaron 7,545 tonelada métrica de la contaminación del aire (ozono (O3), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO2), material particulado menor a 2.5 micrones (PM2.5), material particulado menor a 10 micrones y mayor a 2.5 micrones (PM10*)², y dióxido de sulfuro (SO2)) por año con un valor asociado de Col\$2,28 mil millones, (para más detalles ver el Apéndice I).

Figura 9. Eliminación anual de la contaminación (puntos) y valor (barras) por total de árboles en la cabecera urbana del Municipio de Palmira, año 2022.



PM10* es material particulado menor a 10 micrones y mayor a 2.5 micrones. PM2.5 es material particulado menor a 2.5 micrones. Si no se monitorea PM2.5, PM10* representa material particulado menor a 10 micrones. PM2.5 por lo general es más relevante en las discusiones sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud humana.

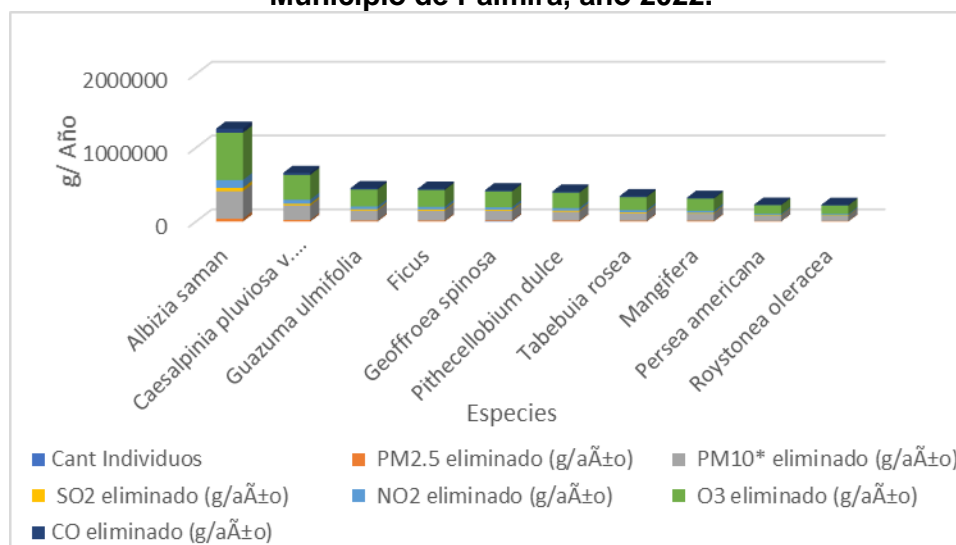
Los árboles eliminan PM2.5 y PM10* cuando el material particulado se deposita en la superficie de las hojas. Este PM2.5 y PM10* depositado puede volver a suspenderse en la atmósfera o eliminarse durante las lluvias y disolverse o transferirse al suelo. La combinación de eventos puede conducir a una eliminación y valor de la contaminación positiva o negativa según los diferentes factores atmosféricos (para más detalles ver el Apéndice I).

A continuación en la tabla 10 se relacionan la cantidad de contaminantes removidos por cada especie:

Tabla 10. Cantidad de contaminantes eliminados al año por las 10 especies arbóreas más representativas en la cabecera urbana del Municipio de Palmira, año 2022.

Especie	Cantidad de individuos	PM2.5 eliminado (g/año)	PM10* eliminado (g/año)	SO2 eliminado (g/año)	NO2 eliminado (g/año)	O3 eliminado (g/año)	CO eliminado (g/año)
Total general	38855	229011,4	2235435,5	275684,7	637082,9	3839682,8	328132,3
<i>Geoffroea spinosa</i>	6464	12789,1	124810	15395,8	35569,4	214378,7	18318,6
<i>Dypsis lutescens</i>	1955	1848,9	18067,1	2228	5149,4	31030,1	2650
<i>Caesalpinia pluviosa v. peltophoroides</i>	1795	20044,1	195639,9	24126,8	55754,2	336043	28720,7
<i>Adonidia merrillii</i>	1714	1829,1	17832,1	2200,8	5080,6	30626,2	2616,1
<i>Persea americana</i>	1352	6987,6	68216,5	8413,9	19439,6	117171,7	10011,9
<i>Roystonea oleracea</i>	1311	6908,7	67425,3	8314,5	19215,8	115812,2	9894,3
<i>Tabebuia rosea</i>	1245	10495,5	102472,5	12634,6	29204,3	176012,6	15041,1
<i>Mangifera</i>	1024	9835,8	96016,6	11838,7	27365,3	164924,6	14093,9
<i>Terminalia catappa</i>	1021	5966,4	58242,8	7183,7	16598,5	100041	8550,5
<i>Platyclusus orientalis</i>	1003	741,8	7252,7	896,6	2066,6	12457,7	1065,7

Figura 10. Especies arbóreas que más eliminan contaminantes en la cabecera urbana del Municipio de Palmira, año 2022.



De acuerdo a lo anterior se aclara que, aunque algunas especies como el *Geoffroea spinosa*, *Dypsis lutescens*, *Caesalpinia pluviosa v. peltophoroides*, *Adonidia merrillii* y *Persea americana* son las especies más abundantes en este municipio no son las que eliminan contaminantes, en la siguiente grafica se puede observar que la especie que más elimina contaminantes es la *Albizia saman* que con solo un 659 individuos equivalentes al 2% de la población censada captura 12593.651 Kg/año de contaminantes, esto no quiere decir que sean las más recomendadas para posteriores planes de siembra o revegetalización, ya que todo dependerá de la cantidad de individuos, tipo de ecosistema, entre otros

factores determinantes. Por ello para cada sitio, y objetivo específico, se deberán evaluar las especies más recomendables.

Por otra parte para el año 2022, los árboles del Municipio de Palmira emiten aproximadamente 3,962 toneladas métricas de los compuestos orgánicos volátiles (COV) (3,392 toneladas métricas de isopreno y 0,5697 toneladas métricas de monoterpenos). Las emisiones varían entre las especies con base en las características de las mismas (p. ej., algunos géneros como los robles son altos emisores de isopreno) y la cantidad de biomasa de las hojas. Para el caso del municipio de Palmira, el 50% de las emisiones de COV del bosque urbano fueron por parte de las especies *Albizia saman* y *Roystonea oleracea*. Estos COV son sustancias químicas precursoras de la formación de ozono.

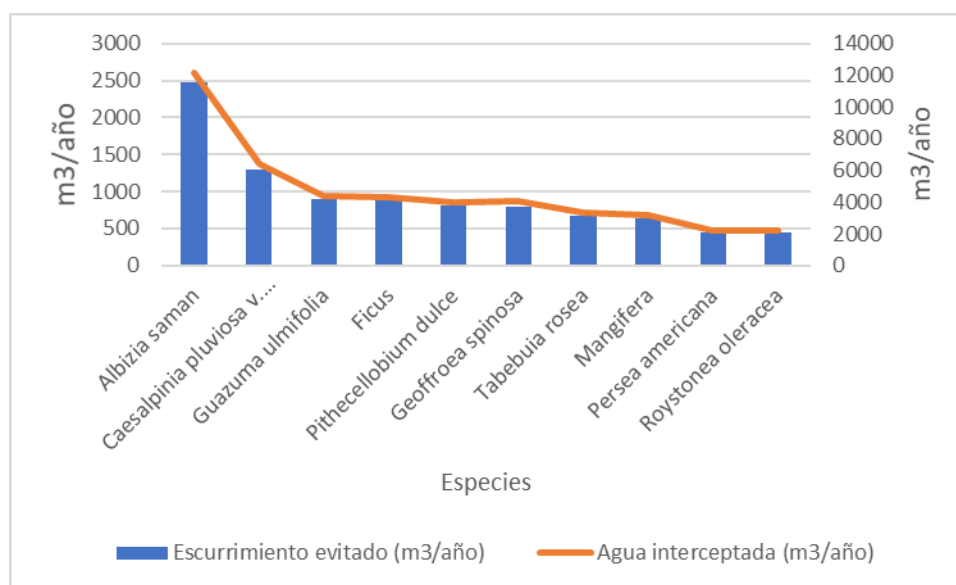
En el Apéndice VIII se brindan recomendaciones generales para mejorar la calidad del aire con árboles.

3.2.4 Ecurrimiento evitado

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

Sin embargo, los árboles y arbustos urbanos son benéficos al reducir el escurrimiento superficial. Ya que estos interceptan la precipitación, mientras que sus sistemas de raíces promueven la infiltración y el almacenamiento en el suelo. Es por eso que este servicio ecosistémico se calcula con base al agua interceptada por cada especie como se muestra en la figura 11.

Figura 11. Ecurrimiento evitado vs agua interceptada para las especies con mayor impacto general en el escurrimiento, en la cabecera urbana del Municipio de Palmira, año 2022.



Con base a lo anterior la vegetación del Municipio de Palmira ayudan a reducir el escurrimiento por casi 14.595,8 metros cúbicos al año con un valor asociado de Col \$ 115.072.290 (para más

detalles ver el Apéndice I). El escurrimiento evitado se calcula en base al estado del tiempo de la localidad de la estación meteorológica designada por el usuario. En informe i tree , la precipitación anual total en fue -71.128.690,6 centímetros, se toma el año 2016 por que es el último año en el que se reportan los datos de precipitación y temperatura de la estación meteorológica asignada, en resumen las especies que genera mayor impacto en este servicio ecosistémico son *Albizia saman* representando un 17% del escurrimiento evitado seguido de las especies, *Caesalpinia pluviosa v. peltophoroides* y *Guazuma ulmifolia* con un 9% y un 6% respectivamente de escurrimiento evitado.

4. ANÁLISIS DE REDUCCIÓN DE LA TEMPERATURA CON BASE A LOS ICU.

La regulación de la temperatura y la mitigación del efecto de Isla de Calor Urbana (ICU), es un beneficio importante de la vegetación urbana, especialmente en un contexto de temperaturas extremas asociadas al cambio climático. La exposición a altas temperaturas tiene efectos relevantes en la salud, incluyendo problemas respiratorios, deshidratación, fatiga e incluso la mortalidad por insolación (Hsu et al., 2022). El tráfico vehicular y la expansión urbanística magnifica estos efectos al aumentar el estrés por calor, ruido y contaminación del aire. Las características del entorno urbano, como el predominio de superficies impermeables (edificaciones, pavimentos) y la falta de espacios verdes, espacios de agua y vegetación arbórea, son las causas principales de las ICU (CVC, UNIVALLE 2022).

De los resultados obtenidos en los programas de mejoramiento realizados por univalle en el año 2022, La información de temperatura superficial (LST) para el municipio de Palmira tiene unos valores máximos y mínimos que van desde 21,46 °C hasta 30,40 °C y con un promedio de temperatura de 27,28 °C. A nivel de las siete (7) comunas, la temperatura máxima tiene presencia en la comuna 3 en los alrededores del barrio El Prado, localizado en cercanías al río Palmira. Sin embargo, según los valores del índice de vegetación normalizado (NDVI), hay presencia de coberturas mayormente que van desde las clases no vegetales hasta el suelo descubierto con un 5,60% de las coberturas del barrio.

Al hacer el análisis a partir del promedio de las temperaturas al interior del perímetro urbano, los resultados indican que la comuna 6 y la comuna 4 poseen los mayores valores con un 27,82 °C y 28,94 °C respectivamente.

Por otro lado, y siguiendo el análisis con los valores promedio, el barrio con la temperatura promedio más alta es el barrio Bizerta con 29,5 °C y pertenece a la comuna 4.

En cuanto a los valores del NDVI, se puede decir que el 40,88% de las coberturas son de tipo no verde, donde la comuna 2 y la comuna 7 presentan las mayores áreas de coberturas sin vegetación con un 6,40% y un 7,29% respectivamente. Sin embargo, estas dos comunas tienen en su área total mayor proporción de coberturas verdes con un 15,49% para la comuna 2 y un 12,47% para la comuna 7, con mayor predominio de la clase de cobertura vegetación muy abierta. Los barrios Poblados de Comfaunión y Luís Carlos Galán, son los que más aportan de área verde a las dos comunas respectivamente. Las comunas con menores porcentaje de coberturas verdes son la comuna 4 la comuna 6, donde predominan las coberturas sin vegetación con un 5,61% y 5,31% de su área total respectivamente, siendo los barrios Colombia de la comuna 4 y Central de la comuna 6, los que mayor aportan a las coberturas en cada comuna correspondiente. La comuna 5 aporta los mayores valores de las coberturas verdes. El Bosque es el barrio con mayor cobertura verde con un 3,13% y el barrio San Pedro, con el mayor aporte a las coberturas no verdes con un 2,43%.

La identificación de las ICU en Palmira tiene una intensidad que va desde las débiles hasta las moderadamente fuertes, siendo el 8,55% del área urbana identificado con una intensidad de moderada

a moderadamente fuerte. La comuna 2 y comuna 7 se encuentran con los mayores niveles de esta intensidad con un 17,36% y 16,68% respectivamente. Las intensidades con niveles moderados se presentan en sus mayores niveles en la comuna 4 con un 2,86% entre todas las comunas y las moderadamente fuertes tiene presencia en las comunas 3 y comuna 6.

Figura 15. Relación de islas de calor con respecto a distribución del arbolado urbano (puntos Amarillos) en la cabecera urbana del Municipio de Palmira, año 2022.



Fuente: Adaptado CVC y Univalle (2022).

En conclusión las áreas donde poca o nula presencia de arbolado urbano es donde se presentan las mayores temperaturas y por ende las islas de calor.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Priorizar la continuación total de la actualización del censo arboreo para toda la cabecera urbana, dado que esta es la herramienta principal para la caracterización, seguimiento y gestión de las autoridades competentes.
- Adelantar la marcación de cada individuo arbóreo censado con un equipo integral que incluya al menos un ingeniero forestal y un profesional en SIG, aparte de los técnicos operativos para llevar a feliz término dicho proceso. Con dicha marcación se podrá hacer seguimiento de cada individuo y correlación de los atributos con la información consolidada del censo.
- Priorizar intervenciones silviculturales en individuos que presentan amenazas, son individuos en alto riesgo en el entorno urbano y pueden generar implicaciones a la población cercana. Tanto estas intervenciones como actividades de mantenimiento y adecuación de arbolado en general las desarrolle personal certificado en competencias laborales.
- Reforzar las alianzas con la comunidad para lograr una mayor participación cuidada con el arbolado urbano, debido al interés de la comunidad y la importancia a este tema, además de la conciencia cultural asociado al enfriamiento del aire y que valoran las personas del municipio teniendo en cuenta las elevadas temperaturas que se presentan. Involucrar actores regionales en todos los niveles de participación (Secretario de Medio Ambiente, DAR, Alcaldía, comités de ornato, juntas de acción comunal, residentes y comunidad en general), se propone como estrategia para el seguimiento del arbolado urbano. Con ello se generarían alertas tempranas para identificación preventiva de amenazas, inadecuadas intervenciones y actividades de preservación. Sin embargo, se debe propiciar estos espacios de intercambio de conocimiento y participación ciudadana.
- Realizar un diagnóstico detallado del estado fitosanitario del arbolado urbano que contribuya a alertar la presencia de síntomas o patógenos en los individuos, para de esta forma implementar un plan de prevención o control de enfermedades y plagas en el municipio. Estas afectaciones podrían ser los causales de generar riesgos peatonales, vehiculares y estructurales. Sin embargo, es necesario crear espacios con la comunidad para concientizar la necesidad de preservar y cuidar el arbolado urbano que les rodea.
- Incentivar el cultivo de especies nativas, aptas para espacios públicos en búsqueda de establecer especies del Bosque cálido húmedo en piedemonte coluvio-aluvial, Bosque cálido húmedo en planicie aluvial y Arbustales y matorrales medio húmedo en piedemonte coluvio-aluvial, ecosistemas propios del municipio.

Apéndice I. Modelo y mediciones de campo de i-Tree Eco

i-Tree Eco está diseñado para usar datos de campo estandarizados y datos locales de la contaminación del aire y meteorológicos por hora para cuantificar la estructura del bosque urbano y sus numerosos efectos (Nowak y Crane 2000), incluyendo:

- Estructura del bosque urbano (p. ej., composición de las especies, salud de los árboles, área de las hojas, etc.).
- Cantidad de contaminación del aire que el bosque urbano elimina por hora y su mejoramiento de la calidad del aire asociado a lo largo del año.
- Carbono total almacenado y carbono neto secuestrado anualmente por el bosque urbano.
- Efectos de los árboles en el uso de la energía de los edificios y efectos consiguientes en las emisiones de dióxido de carbono de las fuentes eléctricas.
- Valor de sustitución del bosque, así como el valor para la eliminación de la contaminación del aire y almacenamiento y secuestro de carbono.

Típicamente, todos los datos de campo se recopilan durante la temporada de hojas para evaluar correctamente el dosel de los árboles. La recopilación típica de datos (la recopilación de datos actual puede variar según el usuario) incluye uso de la tierra, cubierta del suelo y de los árboles, características individuales de los árboles de las especies, diámetro del tallo, altura, ancho de la copa, copa faltante y muerte regresiva, y la distancia y dirección a edificios residenciales (Nowak et al 2005; Nowak et al 2008).

Durante la recopilación de datos, los árboles se identifican a la clasificación taxonómica más específica posible. Los árboles que no se clasifican a nivel de la especie pueden clasificarse por género (p. ej., fresno) o grupo de especie (p. ej., madera noble). En este reporte, la especie, género o grupo de especie de los árboles se denomina de manera colectiva como especie del árbol.

Características de los árboles:

Se evaluó el área de las hojas de los árboles usando las mediciones de las dimensiones de la copa y el porcentaje de copa faltante. En caso de que dichas variables no se hayan recopilado, el modelo las calcula.

No existe disponible un análisis de especies invasivas para estudios fuera de Estados Unidos. Para EEUU, las especies invasivas se identifican usando una lista de especies invasivas para el estado en el que se ubica el bosque urbano. Las listas no son exhaustivas y cubren especies invasivas con varios grados de invasión y distribución. En casos donde un estado no tuvo una lista de especies invasivas, se crea una lista con base en las listas de los estados adyacentes. Las especies de árboles que se identifican como invasivas por la lista estatal de especies invasivas se comparan con los datos de distribución de las nativas. Esto ayuda a eliminar a las especies que están en la lista estatal de especies invasivas, pero que son nativas del área de estudio.

Eliminación de la contaminación del aire:

La eliminación de la contaminación se calcula para ozono, dióxido de sulfuro, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, material particulado menor a 2.5 micrones, y material particulado menor a 10 micrones y mayor a 2.5 micrones. PM_{2.5} por lo general es más relevante en las discusiones sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud humana.

Los cálculos de la eliminación de la contaminación del aire se derivan de los cálculos de la resistencia del dosel de los árboles al ozono, sulfuro y dióxido de nitrógeno por hora con base en un híbrido de los modelos de deposición de doseles de hojas grandes y de multicapas (Baldocchi 1988; Baldocchi et al 1987). Ya que la eliminación de monóxido de

carbono y material particulado por la vegetación no está directamente relacionada con la transpiración, los índices de eliminación (velocidades de deposición) para dichos contaminantes se basan en los valores promedio medidos de la literatura (Bidwell y Fraser 1972; Lovett 1994) que se modificaron según la fenología y área de las hojas. La eliminación del particulado incorporó un índice de suspensión del 50 por ciento de partículas de regreso a la atmósfera (Zinke 1967). Las últimas actualizaciones (2011) al modelaje de la calidad del aire se basan en mejores simulaciones del índice del área de las hojas, procesamiento e interpolación del estado del tiempo y la contaminación, y valores monetarios actualizados de los contaminantes (Hirabayashi et al 2011; Hirabayashi et al 2012; Hirabayashi 2011).

Los árboles eliminan PM_{2.5} y PM₁₀* cuando el material particulado se deposita en la superficie de las hojas (Nowak et al 2013). Dicho PM_{2.5} y PM₁₀* depositado puede volverse a suspender en la atmósfera o eliminarse durante la lluvia y disolverse o transferirse al suelo. La combinación de eventos puede conducir a una eliminación y valor de la contaminación positiva o negativa dependiendo de varios factores atmosféricos. Por lo general, la eliminación de PM_{2.5} y PM₁₀* es positiva con beneficios positivos. Sin embargo, existen casos donde la eliminación neta es negativa o las partículas vuelven a suspender conducen a mayores concentraciones de contaminación y valores negativos. Durante algunos meses (p. ej., sin lluvia), los árboles vuelven a suspender más partículas de las que eliminan. La resuspensión puede conducir a un aumento general de las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀* si las condiciones de la capa límite son menores durante los períodos de resuspensión neta que durante los períodos de eliminación neta. Debido a que los valores de eliminación de la contaminación se basan en el cambio en la concentración de la contaminación, es posible contar con situaciones donde los árboles eliminan PM_{2.5} y PM₁₀* pero aumentan las concentraciones y por ello tienen valores negativos durante períodos positivos de eliminación general. Dichos eventos no son comunes, pero pueden suceder.

Para reportes en Estados Unidos, el valor predeterminado de la eliminación de la contaminación del aire se calcula con base en la incidencia local de los efectos adversos a la salud y en los costos nacionales de externalidades promedio. El número de efectos adversos a la salud y el valor económico asociado se calcula para ozono, dióxido de sulfuro, dióxido de nitrógeno y material particulado menor a 2.5 micras usando datos del Programa de Asignaciones y Análisis de Beneficios Ambientales (BenMAP) de la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (Nowak et al 2014). El modelo usa un enfoque en función del daño que se basa en los cambios locales de la concentración de la contaminación y la población. Los costos nacionales de externalidades promedio se usan para calcular el valor de la eliminación del monóxido de carbono (Murray et al 1994).

Para reportes internacionales, se usaron valores locales de la contaminación definidos por el usuario. Para reportes internacionales que no cuentan con valores locales, los cálculos se basan en los valores europeos de externalidades promedio (van Essen et al 2011) o en las ecuaciones de regresión BenMAP (Nowak et al 2014) que incorporan cálculos de población definidos por el usuario. Luego los valores se convierten al tipo de cambio local con tasas definidas por el usuario.

Para este análisis, el valor de la eliminación de la contaminación se calcula con base en los precios de Col\$3.543.342 por tonelada métrica (monóxido de carbono), Col\$14.283.193.554 por tonelada métrica (ozono), Col\$2.133.785.210 por tonelada métrica (dióxido de nitrógeno), Col\$777.475.542

por tonelada métrica (dióxido de sulfuro), Col\$495.739.502.753 por tonelada métrica (material particulado menor a 2.5 micrones), Col\$15.858.323 por tonelada métrica (material particulado menor a 10 micrones y mayor a 2.5 micrones).

Almacenamiento y secuestro de carbono:

El almacenamiento de carbono es la cantidad de carbono capturada en las partes de la vegetación leñosa sobre el suelo y bajo el mismo. Para calcular el almacenamiento actual de carbono, se calcula la biomasa de cada árbol usando ecuaciones de la literatura y los datos de los árboles medidos. Los árboles maduros con mantenimiento tienden a tener menos biomasa de la predicha por las ecuaciones de biomasa derivadas del bosque (Nowak 1994). Para ajustar la diferencia, los resultados de la biomasa para árboles urbanos maduros se multiplicaron por 0.8. No se hizo ninguna modificación para árboles en condiciones naturales. La biomasa del peso seco de los árboles se convirtió a carbono almacenado multiplicándola por 0.5.

El secuestro de carbono es la eliminación del dióxido de carbono del aire por las plantas. Para calcular la cantidad bruta de carbono secuestrado anualmente, se añadió el crecimiento promedio del diámetro del género correspondiente y la clase de diámetro y condición del árbol al diámetro existente del mismo (año x) para calcular el diámetro del árbol y el almacenamiento de carbono en el año x+1.

Los valores de almacenamiento y secuestro de carbono se basan en los valores de carbono locales calculados o personalizados. Para los reportes internacionales que no cuentan con valores locales, los cálculos se basan en el valor del carbono para Estados Unidos (Agencia de Protección Ambiental de EEUU 2015, Grupo de Trabajo Interagencial del Costo Social del Carbono 2015) y se convierten al tipo de cambio local con tasas definidas por el usuario.

Para este análisis, los valores de almacenamiento y secuestro de carbono se calculan con base en Col\$617.974 por tonelada métrica.

Producción de oxígeno:

La cantidad de oxígeno producido se calcula a partir del secuestro de carbono con base en los pesos atómicos: liberación neta de O₂ (kg/año) = secuestro neto de C (kg/año) x 32/12. Para calcular el índice de secuestro neto de carbono, la cantidad de carbono secuestrado como resultado del crecimiento del árbol se reduce por la cantidad perdida que resulta de la mortalidad del árbol. Por lo tanto, el secuestro neto de carbono y la producción anual neta de oxígeno del bosque urbano consideran la descomposición (Nowak et al 2007). Para proyectos de inventario completo, la producción de oxígeno se calcula a partir del secuestro bruto de carbono y no considera la descomposición.

Escurrimiento evitado:

El escurrimiento superficial evitado anual se calcula con base en las precipitaciones interceptadas por la vegetación, en particular la diferencia entre el escurrimiento anual con y sin vegetación. Aunque las hojas de los árboles, las ramas y la corteza pueden interceptar la lluvia y mitigar así el escurrimiento evitado, sólo se toman en cuenta las precipitaciones interceptadas por las hojas.

El valor del escurrimiento evitado se basa en los valores locales calculados o los definidos por el usuario. Para reportes internacionales que no cuentan con valores locales, se utiliza el valor promedio nacional para Estados Unidos y se convierte al tipo de cambio local con tasas definidas

por el usuario. El valor de EEUU para el escurrimiento evitado se basa en las Series del Manual de Árboles Comunitarios del Servicio Forestal de EEUU (McPherson et al 1999; 2000; 2001; 2002; 2003; 2004; 2006a; 2006b; 2006c; 2007; 2010; Peper et al 2009; 2010; Vargas et al 2007a; 2007b; 2008).

Para este análisis, el valor del escurrimiento evitado se calcula con base en el precio de Col\$7.758,73 por m³. Uso de energía de edificios:

Si se recopilaban los datos de campo correspondientes, los efectos estacionales de los árboles en el uso de la energía de edificios residenciales se calcularon con base en los procedimientos descritos en la literatura (McPherson y Simpson 1999) usando la distancia y dirección de los árboles a partir de las estructuras residenciales, la altura de los árboles y los datos de las condiciones de los mismos. Para calcular el valor monetario de los ahorros de energía, se usaron los precios locales o personalizados por MWH o MBTU.

Para este análisis, el valor del ahorro de energía se calcula con base en los precios de Col\$470.000,00 por MWH y Col\$8.740,00 por MBTU.

Valores de sustitución:

El valor de sustitución es el valor de un árbol con base en el mismo recurso físico (p. ej., el costo de tener que reemplazar un árbol con otro similar). Los valores de sustitución se basan en los procedimientos de valoración del Consejo de Tasadores de Árboles y el Paisaje, que usa la información de especie, diámetro, condición y lugar del árbol (Nowak et al 2002a; 2002b). El valor de sustitución puede no incluirse en proyectos internacionales si no se cuentan con datos locales suficientes para concluir los procedimientos de valoración.

Efectos de los árboles relacionados:

El valor relativo de los beneficios de los árboles reportado en el Apéndice II se calcula para mostrar a lo que el almacenamiento y secuestro de carbono y la eliminación de la contaminación del aire equivalen en cantidades de emisiones de carbono municipal, emisiones de automóviles de pasajeros y emisiones de viviendas.

Las emisiones de carbono municipal se basan en las emisiones de carbono per cápita de EEUU 2010 (Centro de Análisis de la Información de Dióxido de Carbono 2010). Las emisiones per cápita se multiplicaron por la población de la ciudad para calcular las emisiones totales de carbono de la ciudad.

Los índices de emisión de vehículos ligeros (g/mi) para CO, NO_x, COV, PM₁₀, SO₂ para 2010 (Buro de Estadística del Transporte 2010; Heirigs et al 2004), PM_{2.5} para 2011-2015 (Junta de Recursos del Aire de California 2013) y CO₂ para 2011 (Agencia de Protección Ambiental de EEUU 2010) se multiplicaron por las millas promedio conducidas por vehículo en 2011 (Administración Federal de Caminos 2013) para determinar las emisiones promedio por vehículo.

Las emisiones de las viviendas se basan en la electricidad promedio kWh utilizada, gas natural Btu utilizado, gasolina Btu utilizada, keroseno Btu utilizado, LPG Btu utilizado, y madera Btu utilizada por vivienda en 2009 (Administración de Información de Energía 2013; Administración de Información de Energía 2014)

- Las emisiones de CO₂, SO₂ y NO_x de las plantas eléctricas por KWh son de Leonardo

Academy 2011. La emisión de CO por kWh asume que 1/3 del uno por ciento de emisiones de C es CO con base en la Administración de Información de Energía 1994. La emisión de PM10 por kWh de Layton 2004.

- Las emisiones de CO₂, NO_x, SO₂ y CO por Btu para gas natural, propano y butano (promedio usado para representar LPG), Combustible #4 y #6 (promedio usado para representar gasolina y keroseno) de Leonardo Academy 2011.
- Las emisiones de CO₂ por Btu de madera de la Administración de Información de Energía 2014.
- Las emisiones de CO, NO_x y Sox por Btu con base en el total de emisiones y quema de madera (toneladas) de (Ministerio de la Columbia Británica 2005; Comisión de Silvicultura de Georgia 2009).

Apéndice II. Efectos de los árboles relacionados

El bosque urbano en Municipio de Palmira brinda beneficios que incluyen el almacenamiento y secuestro de carbono y la eliminación de la contaminación del aire. Para calcular el valor relativo de dichos beneficios, se compararon los beneficios de los árboles con los cálculos de las emisiones promedio de carbono municipales, las emisiones promedio de los automóviles de pasajeros y las emisiones promedio de las viviendas. Ver Apéndice I para las metodologías.

El almacenamiento de carbono equivale a:

- Cantidad de carbono emitido en Municipio de Palmira en 1 días
- Emisiones anuales de carbono (C) de 1.170 automóviles
- Emisiones anuales de C de 481 viviendas unifamiliares

La eliminación de monóxido de carbono equivale a:

- Emisiones anuales de monóxido de carbono de 3 automóviles
- Emisiones anuales de monóxido de carbono de 7 viviendas unifamiliares

La eliminación de dióxido de nitrógeno equivale a:

- Emisiones anuales de dióxido de nitrógeno de 54 automóviles
- Emisiones anuales de dióxido de nitrógeno de 25 viviendas unifamiliares

La eliminación de dióxido de sulfuro equivale a:

- Emisiones anuales de dióxido de sulfuro de 1.890 automóviles
- Emisiones anuales de dióxido de carbono de 5 viviendas unifamiliares

El secuestro anual de carbono equivale a:

- Cantidad de carbono emitida en Municipio de Palmira en 0,1 días
- Emisiones anuales de C de 100 automóviles
- Emisiones anuales de C de 0 viviendas unifamiliares.

Apéndice III. Comparación de bosques urbanos

Una pregunta común es, “¿cómo se compara esta ciudad con otras?” Aunque la comparación entre ciudades debe hacerse con precaución ya que hay muchas características de una ciudad que afectan a la estructura y las funciones del bosque urbano, se proporcionan los datos resumidos de otras ciudades analizadas con el modelo i-Tree Eco.

I. Total de beneficios según cantidad de árboles por ciudad.

Ciudad	% de cobertura de los árboles	Número de árboles	Almacenamiento de carbono (toneladas)	Secuestro de carbono (toneladas/año)	Eliminación de la contaminación (toneladas/año)
Toronto, ON, Canada	26,6	10.220.000	1.108.000	46.700	1.905
Atlanta, GA	36,7	9.415.000	1.220.000	42.100	1.509
Los Angeles, CA	11,1	5.993.000	1.151.000	69.800	1.792
New York, NY	20,9	5.212.000	1.225.000	38.400	1.521
London, ON, Canada	24,7	4.376.000	360.000	12.500	370
Chicago, IL	17,2	3.585.000	649.000	22.800	806
Phoenix, AZ	9,0	3.166.000	286.000	29.800	511
Baltimore, MD	21,0	2.479.000	517.000	16.700	390
Philadelphia, PA	15,7	2.113.000	481.000	14.600	522
Washington, DC	28,6	1.928.000	477.000	14.700	379
Oakville, ON , Canada	29,1	1.908.000	133.000	6.000	172
Albuquerque, NM	14,3	1.846.000	301.000	9.600	225
Boston, MA	22,3	1.183.000	290.000	9.500	257
Syracuse, NY	26,9	1.088.000	166.000	5.300	99
Woodbridge, NJ	29,5	986.000	145.000	5.000	191
Minneapolis, MN	26,4	979.000	227.000	8.100	277
San Francisco, CA	11,9	668.000	176.000	4.600	128
Morgantown, WV	35,5	658.000	84.000	2.600	65
Moorestown, NJ	28,0	583.000	106.000	3.400	107
Hartford, CT	25,9	568.000	130.000	3.900	52
Jersey City, NJ	11,5	136.000	19.000	800	37
Casper, WY	8,9	123.000	34.000	1.100	34
Freehold, NJ	34,4	48.000	18.000	500	20

II. Beneficios según cantidad de área por ciudad.

Ciudad	Número de árboles/ha	Almacenamiento de carbono (toneladas/ha)	Secuestro de carbono (toneladas/ha/año)	Eliminación de la contaminación (kg/ha/año)
Toronto, ON, Canada	160,4	17,4	0,73	29,9
Atlanta, GA	275,8	35,7	1,23	44,2
Los Angeles, CA	48,4	9,4	0,36	14,7
New York, NY	65,2	15,3	0,48	19,0
London, ON, Canada	185,5	15,3	0,53	15,7
Chicago, IL	59,9	10,9	0,38	13,5
Phoenix, AZ	31,8	2,9	0,30	5,1
Baltimore, MD	118,5	25,0	0,80	18,6
Philadelphia, PA	61,9	14,1	0,43	15,3
Washington, DC	121,1	29,8	0,92	23,8
Oakville, ON , Canada	192,9	13,4	0,61	12,4
Albuquerque, NM	53,9	8,8	0,28	6,6
Boston, MA	82,9	20,3	0,67	18,0
Syracuse, NY	167,4	23,1	0,77	15,2
Woodbridge, NJ	164,4	24,2	0,84	31,9
Minneapolis, MN	64,8	15,0	0,53	18,3
San Francisco, CA	55,7	14,7	0,39	10,7
Morgantown, WV	294,5	37,7	1,17	29,2
Moorestown, NJ	153,4	27,9	0,90	28,1
Hartford, CT	124,6	28,5	0,86	11,5
Jersey City, NJ	35,5	5,0	0,21	9,6
Casper, WY	22,5	6,2	0,20	6,2
Freehold, NJ	94,6	35,9	0,98	39,6

Apéndice IV. Recomendaciones generales para el mejoramiento de la calidad del aire.

La vegetación urbana puede afectar de manera directa e indirecta a la calidad del aire local y regional al alterar el ambiente de la atmósfera urbana. Cuatro formas principales en las que los árboles urbanos afectan la calidad del aire son (Nowak 1995):

- Reducción de la temperatura y otros efectos del microclima
- Eliminación de los contaminantes del aire
- Emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) y emisiones del mantenimiento de los árboles
- Efectos de la energía en los edificios

Los efectos acumulativos e interactivos de los árboles en el clima, la eliminación de la contaminación y las emisiones de COV y de las plantas eléctricas determinan el impacto de los árboles en la contaminación del aire. Los estudios acumulativos de los impactos de los árboles urbanos en el ozono han revelado que el aumento en la cobertura del dosel urbano, en particular con especies de baja emisión de COV, conduce a la reducción en las concentraciones de ozono en las ciudades (Nowak 2000). Las decisiones de manejo urbano de la localidad pueden ayudar a mejorar la calidad del aire.

Las estrategias de manejo del bosque urbano para ayudar a mejorar la calidad del aire incluyen (Nowak 2000):

<i>Estrategia</i>	<i>Resultado</i>
Aumenta el número de árboles saludables	Aumenta la eliminación de la contaminación
Mantener la cobertura de los árboles actual	Mantiene los niveles de eliminación de la contaminación
Maximiza el uso de árboles de baja emisión de COV	Reduce la formación de ozono y monóxido de carbono
Mantener árboles grandes, saludables	Los árboles más grandes tienen mayores efectos por árbol
Usar árboles duraderos	Reducir las emisiones de contaminantes a largo plazo de la siembra y la eliminación
Usar árboles de bajo mantenimiento	Reducir las emisiones de contaminantes de las actividades de mantenimiento
Reducir el uso de combustibles fósiles en el mantenimiento de la vegetación	Reducir las emisiones de los contaminantes
Sembrar árboles en lugares que conservan energía	Reducir las emisiones de contaminantes de centrales eléctricas
Sembrar árboles para darle sombra a autos estacionados	Reduce las emisiones vehiculares de COV
Suministrar mucha agua a la vegetación	Mejora la eliminación de la contaminación y la reducción de la temperatura
Sembrar árboles en áreas contaminadas o muy pobladas	Maximiza los beneficios de la calidad del aire de los árboles
Evita especies sensibles a la contaminación	Mejora la salud del árbol
Utilizar árboles siempre verdes para material particulado	Eliminación de partículas durante todo el año

BIBLIOGRAFIA

- Abdollahi, K.K.; Ning, Z.H.; Appeaning, A., eds. 2000. Global climate change and the urban forest. Baton Rouge, LA: GCRCC and Franklin Press. 77 p.
- Animal and Plant Health Inspection Service. 2010. Plant Health – Asian longhorned beetle. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service.
- Baldocchi, D. 1988. A multi-layer model for estimating sulfur dioxide deposition to a deciduous oak forest canopy. *Atmospheric Environment*. 22: 869-884.
- Baldocchi, D.D.; Hicks, B.B.; Camara, P. 1987. A canopy stomatal resistance model for gaseous deposition to vegetated surfaces. *Atmospheric Environment*. 21: 91-101.
- Bidwell, R.G.S.; Fraser, D.E. 1972. Carbon monoxide uptake and metabolism by leaves. *Canadian Journal of Botany*. 50: 1435-1439.
- British Columbia Ministry of Water, Land, and Air Protection. 2005. Residential wood burning emissions in British Columbia. British Columbia.
- Broecker, W.S. 1970. Man's oxygen reserve. *Science* 168(3939): 1537-1538.
- Bureau of Transportation Statistics. 2010. Estimated National Average Vehicle Emissions Rates per Vehicle by Vehicle Type using Gasoline and Diesel. Washington, DC: Bureau of Transportation Statistics, U.S. Department of Transportation. Table 4-43.
- Burnside, R.E.; Holsten, E. H.; Fetting, C.J.; Kruse, J. J.; Schultz, M.E.; Hayes, C.J.; Graves, A.D.; Seybold, S.J. 2011. Northern Spruce Engraver. Forest Insect & Disease Leaflet 180. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 12 p.
- California Air Resources Board. 2013. Methods to Find the Cost-Effectiveness of Funding Air Quality Projects. Table 3 Average Auto Emission Factors. CA: California Environmental Protection Agency, Air Resources Board.
- Carbon Dioxide Information Analysis Center. 2010. CO2 Emissions (metric tons per capita). Washington, DC: The World Bank.
- Cardelino, C.A.; Chameides, W.L. 1990. Natural hydrocarbons, urbanization, and urban ozone. *Journal of Geophysical Research*. 95(D9): 13,971-13,979.
- Childs, R. 2011. Winter Moth Identification and Management. Amherst, MA: University of Massachusetts Amherst, Landscape, Nursery & Urban Forestry Program.
- Ciesla, W. M. 2001. *Tomicus piniperda*. North American Forest Commission. Exotic Forest Pest Information System for North America (EXFOR).

- Ciesla, W. M.; Kruse, J. J. 2009. Large Aspen Tortrix. Forest Insect & Disease Leaflet 139. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.
- Clarke, S. R.; Nowak, J.T. 2009. Southern Pine Beetle. Forest Insect & Disease Leaflet 49. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.
- Cranshaw, W.; Tisserat, N. 2009. Walnut twig beetle and the thousand cankers disease of black walnut. Pest Alert. Ft. Collins, CO: Colorado State University.
- Seybold, S.; Haugen, D.; Graves, A. 2010. Thousand Cankers Disease. Pest Alert. NA-PR-02-10. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area State and Private Forestry.
- DeMars, C. J., Jr.; Roettgering, B. H. 1982. Western Pine Beetle. Forest Insect & Disease Leaflet 1. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.
- Diller, J. D. 1965. Chestnut Blight. Forest Pest Leaflet 94. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 7 p.
- Eastern Forest Environmental Threat Assessment Center. Dutch Elm Disease. <http://threatsummary.forestthreats.org/threats/threatSummaryViewer.cfm?threatID=43>
- Energy Information Administration. 1994. Energy Use and Carbon Emissions: Non-OECD Countries. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.
- Energy Information Administration. 2013. CE2.1 Fuel consumption totals and averages, U.S. homes. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.
- Energy Information Administration. 2014. CE5.2 Household wood consumption. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.
- Federal Highway Administration. 2013. Highway Statistics 2011. Washington, DC: Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Table VM-1.
- Fellin, D. G.; Dewey, J. E. 1986. Western Spruce Budworm. Forest Insect & Disease Leaflet 53. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 10 p.
- Ferrell, G. T. 1986. Fir Engraver. Forest Insect & Disease Leaflet 13. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.
- Georgia Forestry Commission. 2009. Biomass Energy Conversion for Electricity and Pellets Worksheet. Dry Branch, GA: Georgia Forestry Commission.
- Gibson, K.; Kegley, S.; Bentz, B. 2009. Mountain Pine Beetle. Forest Insect & Disease Leaflet 2. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 12 p.
- Haugen, D. A.; Hoebeke, R. E. 2005. Sirex woodwasp - Sirex noctilio F. (Hymenoptera: Siricidae). Pest Alert. NA-PR-07-05. Newtown Square, PA: Department of Agriculture, Forest Service, Northern Area State and Private Forestry.

- Heirigs, P.L.; Delaney, S.S.; Dulla, R.G. 2004. Evaluation of MOBILE Models: MOBILE6.1 (PM), MOBILE6.2 (Toxics), and MOBILE6/CNG. Sacramento, CA: National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board.
- Hessburg, P. F.; Goheen, D. J.; Bega, R.V. 1995. Black Stain Root Disease of Conifers. Forest Insect & Disease Leaflet 145. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Hessburg, P. F.; Goheen, D. J.; Bega, R.V. 1995. Black Stain Root Disease of Conifers. Forest Insect & Disease Leaflet 145. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Hirabayashi, S. 2011. Urban Forest Effects-Dry Deposition (UFORE-D) Model Enhancements, [http://www.itreetools.org/eco/resources/UFORE-D enhancements.pdf](http://www.itreetools.org/eco/resources/UFORE-D%20enhancements.pdf)
- Hirabayashi, S. 2012. i-Tree Eco Precipitation Interception Model Descriptions, http://www.itreetools.org/eco/resources/iTree_Eco_Precipitation_Interception_Model_Descriptions_V1_2.pdf
- Hirabayashi, S.; Kroll, C.; Nowak, D. 2011. Component-based development and sensitivity analyses of an air pollutant dry deposition model. *Environmental Modeling and Software*. 26(6): 804-816.
- Hirabayashi, S.; Kroll, C.; Nowak, D. 2012. i-Tree Eco Dry Deposition Model Descriptions V 1.0
- Holsten, E.H.; Thier, R.W.; Munson, A.S.; Gibson, K.E. 1999. The Spruce Beetle. Forest Insect & Disease Leaflet 127. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 12 p.
- Houston, D. R.; O'Brien, J. T. 1983. Beech Bark Disease. Forest Insect & Disease Leaflet 75. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.
- Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, United States Government. 2015. Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866. [http:// www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/infocreg/scc-tsd-final-july-2015.pdf](http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/infocreg/scc-tsd-final-july-2015.pdf)
- Kliejunas, J. 2005. *Phytophthora ramorum*. North American Forest Commission. Exotic Forest Pest Information System for North America (EXFOR).
- Kruse, J.; Ambourn, A.; Zogas, K. 2007. Aspen Leaf Miner. Forest Health Protection leaflet. R10-PR-14. Juneau, AK: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Alaska Region.
- Kucera, D. R.; Orr, P. W. 1981. Spruce Budworm in the Eastern United States. Forest Pest Leaflet 160. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.
- Layton, M. 2004. 2005 Electricity Environmental Performance Report: Electricity Generation and Air Emissions. CA: California Energy Commission.
- Leonardo Academy. 2011. Leonardo Academy's Guide to Calculating Emissions Including Emission Factors and Energy Prices. Madison, WI: Leonardo Academy Inc.

Liebhold, A. 2010 draft. Personal communication on the geographic distribution of forest pest species.

Lovett, G.M. 1994. Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: an ecological perspective. *Ecological Applications*. 4: 629-650.

McPherson, E.G.; Maco, S.E.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Xiao, Q.; VanDerZanden, A.M.; Bell, N. 2002. *Western Washington and Oregon Community Tree Guide: Benefits, Costs, and Strategic Planting*. International Society of Arboriculture, Pacific Northwest, Silverton, OR.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R. 1999. Carbon dioxide reduction through urban forestry: guidelines for professional and volunteer tree planters. Gen. Tech. Rep. PSW-171. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 237 p.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Crowell, A.M.N.; Xiao, Q. 2010. *Northern California coast community tree guide: benefits, costs, and strategic planting*. PSW-GTR-228. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-228. U.S. Department of

Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Vargas, K.E.; Maco, S.E.; Xiao, Q. 2006a. *Coastal Plain Community Tree Guide: Benefits, Costs, and Strategic Planting* PSW-GTR-201. USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Vargas, K.E.; Xiao, Q. 2007. *Northeast community tree guide: benefits, costs, and strategic planting*.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Maco, S.E.; Gardner, S.L.; Cozad, S.K.; Xiao, Q. 2006b. *Midwest Community Tree Guide: Benefits, Costs and Strategic Planting* PSW-GTR-199. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Maco, S.E.; Gardner, S.L.; Vargas, K.E.; Xiao, Q. 2006c. *Piedmont Community Tree Guide: Benefits, Costs, and Strategic Planting* PSW-GTR 200. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Maco, S.E.; Xiao, Q.; Mulrean, E. 2004. *Desert Southwest Community Tree Guide: Benefits, Costs and Strategic Planting*. Phoenix, AZ: Arizona Community Tree Council, Inc. 81 :81.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Scott, K.I.; Xiao, Q. 2000. *Tree Guidelines for Coastal Southern California Communities*. Local Government Commission, Sacramento, CA.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Xiao, Q. 1999. *Tree Guidelines for San Joaquin Valley Communities*. Local Government Commission, Sacramento, CA.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Xiao, Q.; Maco, S.E.; Hoefler, P.J. 2003. *Northern Mountain and Prairie Community Tree Guide: Benefits, Costs and Strategic Planting*. Center for Urban Forest Research, USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.

McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Xiao, Q.; Pittenger, D.R.; Hodel, D.R. 2001. *Tree Guidelines for Inland Empire Communities*. Local Government Commission, Sacramento, CA.

- Michigan State University. 2010. Emerald ash borer. East Lansing, MI: Michigan State University [and others].
- Mielke, M. E.; Daughtrey, M. L. How to Identify and Control Dogwood Anthracnose. NA-GR-18. Broomall, PA: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area and Private Forestry.
- Murray, F.J.; Marsh L.; Bradford, P.A. 1994. New York State Energy Plan, vol. II: issue reports. Albany, NY: New York State Energy Office.
- Nicholls, T. H.; Anderson, R. L. 1977. How to Identify White Pine Blister Rust and Remove Cankers. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area State and Private Forestry
- Northeastern Area State and Private Forestry. 1998. How to identify and manage Dutch Elm Disease. NA-PR-07-98. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area State and Private Forestry.
- Northeastern Area State and Private Forestry. 2005. Gypsy moth digest. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area State and Private Forestry.
- Nowak, D.J. 1994. Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. In: McPherson, E.G.; Nowak, D.J.; Rowntree, R.A., eds. Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project. Gen. Tech.
- Rep. NE-186. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station: 83-94.
- Nowak, D.J. 1995. Trees pollute? A "TREE" explains it all. In: Proceedings of the 7th National Urban Forestry Conference. Washington, DC: American Forests: 28-30.
- Nowak, D.J. 2000. The interactions between urban forests and global climate change. In: Abdollahi, K.K.; Ning, Z.H.; Appeaning, A., eds. Global Climate Change and the Urban Forest. Baton Rouge, LA: GCRCC and Franklin Press: 31-44.
- Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Greenfield, E. 2014. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*. 193:119-129.
- Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Hoehn, R. 2013. Modeled PM_{2.5} removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects. *Environmental Pollution*. 178: 395-402.
- Nowak, D.J.; Civerolo, K.L.; Rao, S.T.; Sistla, S.; Luley, C.J.; Crane, D.E. 2000. A modeling study of the impact of urban trees on ozone. *Atmospheric Environment*. 34: 1601-1613.
- Nowak, D.J.; Crane, D.E. 2000. The Urban Forest Effects (UFORE) Model: quantifying urban forest structure and functions. In: Hansen, M.; Burk, T., eds. Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century. Proceedings of IUFRO conference. Gen. Tech. Rep. NC-212. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Research Station: 714-720.
- Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Dwyer, J.F. 2002a. Compensatory value of urban trees in the United

States. *Journal of Arboriculture*. 28(4): 194 - 199.

Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Stevens, J.C.; Hoehn, R.E. 2005. The urban forest effects (UFORE) model: field data collection manual. V1b. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, 34 p.
http://www.fs.fed.us/ne/syracuse/Tools/downloads/UFORE_Manual.pdf

Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Stevens, J.C.; Ibarra, M. 2002b. Brooklyn's urban forest. Gen. Tech. Rep. NE-290. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station. 107 p.

Nowak, D.J.; Dwyer, J.F. 2000. Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. In: Kuser, John, ed. *Handbook of urban and community forestry in the northeast*. New York, NY: Kluwer Academics/Plenum: 11-22.

Nowak, D.J.; Hoehn, R.; Crane, D. 2007. Oxygen production by urban trees in the United States. *Arboriculture & Urban Forestry*. 33(3):220-226.

Nowak, D.J.; Hoehn, R.E.; Crane, D.E.; Stevens, J.C.; Walton, J.T; Bond, J. 2008. A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services. *Arboriculture and Urban Forestry*. 34(6): 347-358.

Nowak, D.J.; Stevens, J.C.; Sisinni, S.M.; Luley, C.J. 2002c. Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide. *Journal of Arboriculture*. 28(3): 113-122.

Ostry, M.E.; Mielke, M.E.; Anderson, R.L. 1996. How to Identify Butternut Canker and Manage Butternut Trees. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station.

Peper, P.J.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Albers, S.N.; Xiao, Q. 2010. Central Florida community tree guide: benefits, costs, and strategic planting. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-230. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.

Peper, P.J.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Vargas, K.E.; Xiao Q. 2009. Lower Midwest community tree guide: benefits,

costs, and strategic planting. PSW-GTR-219. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-219. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.

Phelps, W.R.; Czabator, F.L. 1978. Fusiform Rust of Southern Pines. Forest Insect & Disease Leaflet 26. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 7 p.

Rexrode, C. O.; Brown, H. D. 1983. Oak Wilt. Forest Insect & Disease Leaflet 29. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 6 p.

Schmitz, R. F.; Gibson, K. E. 1996. Douglas-fir Beetle. Forest Insect & Disease Leaflet 5. R1-96-87. Washington,DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.

Smith, S. L.; Borys, R. R.; Shea, P. J. 2009. Jeffrey Pine Beetle. Forest Insect & Disease Leaflet 11. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. 8 p.

Society of American Foresters. 2011. Gold Spotted Oak Borer Hitches Ride in Firewood, Kills California Oaks. *Forestry Source* 16(10): 20.

U.S. Environmental Protection Agency. 2010. Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency. EPA-420-R-10-012a

U.S. Environmental Protection Agency. 2015. The social cost of carbon. <http://www.epa.gov/climatechange/EPAactivities/economics/scc.html>

U.S. Forest Service. 2005. Hemlock Woolly Adelgid. Pest Alert. NA-PR-09-05. Newtown Square, PA: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Area State and Private Forestry.

U.S. Forest Service. 2011. Laurel Wilt. Atlanta, GA: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Health Protection, Southern Region.

University of California. 2014. Polphagous Shot Hole Borer. Sacramento, CA: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources.

van Essen, H.; Schrotten, A.; Otten, M.; Sutter, D.; Schreyer, C.; Zandonella, R.; Maibach, M.; Doll, C. 2011. External Costs of Transport in Europe. Netherlands: CE Delft. 161 p.

Vargas, K.E.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Xiao, Q. 2007a. Interior West Tree Guide.

Vargas, K.E.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Xiao, Q. 2007b. Temperate Interior West Community Tree Guide: Benefits, Costs, and Strategic Planting.

Vargas, K.E.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Xiao, Q. 2008. Tropical community tree guide: benefits, costs, and strategic planting. PSW-GTR-216. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-216. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.

Worrall, J.J. 2007. Chestnut Blight. Forest and Shade Tree Pathology. http://www.forestpathology.org/dis_chestnut.html

Zinke, P.J. 1967. Forest interception studies in the United States. In: Sopper, W.E.; Lull, H.W., eds. *Forest Hydrology*. Oxford, UK: Pergamon Press: 137-161.