

ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD POTENCIAL DE FIJACIÓN DE CO₂ Y
PRODUCCIÓN DE O₂, COMO SERVICIO ECOSISTÉMICO SUMINISTRADO POR EL
ARBOLADO DEL PARQUE LOS FUNDADORES Y LA ALAMEDA DE LA AVENIDA 40
EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO (META).



JHON HARRINSON CORTES CAGÜEÑO
ERIKA VALENTINA MATIAS BARRIENTOS



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2019

ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD POTENCIAL DE FIJACIÓN DE CO₂ Y PRODUCCIÓN DE O₂, COMO SERVICIO ECOSISTÉMICO SUMINISTRADO POR EL ARBOLADO DEL PARQUE LOS FUNDADORES Y LA ALAMEDA DE LA AVENIDA 40 EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO (META).

JHON HARRINSON CORTES CAGÜEÑO
ERIKA VALENTINA MATIAS BARRIENTOS

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental

Asesora:

ANGÉLICA MARIA BUSTAMANTE ZAPATA
ING. Ambiental, ESP. Gerencia de Proyectos

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2019

Autoridades Académicas

P. JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O. P.

Rector General

P. EDUARDO GONZÁLEZ GIL, O. P.

Vicerrector Académico General

P JOSÉ ARTURO RESTREPO RESTREPO, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P RODRIGO GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

MG. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

P YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

Notas de Aceptación

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano de la facultad

ANGÉLICA MARIA BUSTAMANTE ZAPATA

Director trabajo de grado

RODRIGO ISAAC VELOSA CAICEDO

Jurado

JORGE ARTURO BOLAÑOS BRICEÑO

Jurado

Villavicencio, junio de 2019

Agradecimientos

Agradecemos a nuestros padres y hermanos por su apoyo, esfuerzo y confianza durante estos años de aprendizaje y crecimiento personal y profesional.

Gracias a nuestra directora la Ingeniera Angélica María Bustamante Zapata, por brindarnos su tiempo, conocimiento, experiencia y confianza, siempre nos ofreció su apoyo incondicional en todo el proceso del desarrollo de este proyecto, guiándonos correctamente.

A todas las personas que hacen parte de la Universidad Santo Tomás, docentes por los conocimientos brindados durante estos años y compañeros por los lazos de amistad que se forjaron.

Finalmente, a la Secretaría de Medio Ambiente de Villavicencio, especialmente a la señora Nohemí Vázquez por la información que fue otorgada de la identificación de especies, siendo esta información vital para el desarrollo del proyecto.

Contenido

	Pág.
Resumen	12
Abstract	14
1. Introducción	15
2. Planteamiento del problema	17
2.1 Descripción del problema	17
3. Objetivos	19
3.1 Objetivo general	19
3.2 Objetivos específicos.....	19
4. Justificación	20
5. Alcance del proyecto	22
6. Antecedentes	24
7. Marco referencial	27
7.1. Marco teórico	27
7.1.1. Beneficios de los parques urbanos en las ciudades	27
7.1.2. Función social de los parques urbanos	28
7.1.3. Servicios ecosistémicos del arbolado urbano	28
7.2. Marco conceptual	31
7.3. Marco legal	34
8. Metodología	35
8.1. Fase I: Diagnostico de la zona de estudio	35
8.2. Fase II: Estimación de la fijación de CO₂ y producción de O₂	37
8.3. Fase III: Determinación de la capacidad potencial de la zona de estudio	40
9. Resultados y análisis	44
Fase I. Diagnóstico de la zona de estudio mediante variables dasométricas	44
Determinación de la densidad básica de la madera por especie.....	49
Fase II. Estimación de la fijación de CO₂ y producción de O₂	52
Análisis de varianza (ANOVA)	55
Fijación de CO ₂ total de los individuos en la zona de estudio	57

	Fijación de CO ₂ por clase diamétrica	60
	Producción de O ₂	61
	Fase III: Determinación de la capacidad potencial de la zona de estudio	62
	Especies más representativas por sección	64
	Afluencia peatonal.....	65
	Balance fijación CO ₂ , producción de O ₂ y liberación de CO ₂ , necesidad de O ₂	67
	Proyección de la fijación de CO ₂ y la producción de O ₂	70
10.	Discusión de resultados.....	73
11.	Conclusiones	76
12.	Recomendaciones	79
13.	Bibliografía	81
14.	Anexos	88

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Parámetros para determinar el estado de la copa.....	35
Tabla 2. Códigos para determinar la exposición solar de los individuos forestales	36
Tabla 3. Ecuación alométrica escogida para la determinación de biomasa.....	38
Tabla 4. Ecuación alométrica seleccionada para proyectar la biomasa en árboles.....	43
Tabla 5. Caracterización dasométricas promedio por especie	47
Tabla 6. Comparación de las densidades básicas de la madera	50
Tabla 7. Fijación de CO ₂ por especie bajo los tres tratamientos	53
Tabla 8. Fijación de CO ₂ por especie de palmas bajo los dos tratamientos.....	54
Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) para los tres tratamientos empleados.....	55
Tabla 10. Tratamientos escogidos por especies de árboles.....	56
Tabla 11. Fijación de CO ₂ realizada por los individuos forestales de la zona de estudio	57
Tabla 12. Fijación de CO ₂ por clase diamétrica	60
Tabla 13. Producción de O ₂ por especie	61
Tabla 14. Especies más representativas por secciones	64
Tabla 15. Afluencia peatonal por sección.....	65
Tabla 16. Balance de O ₂ en las secciones establecidas.....	68
Tabla 17. Balance CO ₂ en las secciones establecidas.....	68
Tabla 18. Proyección de la fijación de CO ₂ y la producción de O ₂ para las especies más representativas.....	71

Lista de Figuras

	Pág.
figura 1. Parque los Fundadores y Alameda de la Av. 40.....	22
figura 2. Ubicación del área de estudio, parque los Fundadores y Alameda de la Av. 40.	23
figura 3. Líneas de tiempo de los estudios internacionales y nacionales.....	26
figura 4. Forma biológica de los individuos de la zona.	45
figura 5. Abundancia de especies en palmas en la zona de estudio.	45
figura 6. Abundancia de especies en árboles.	46
figura 7. Toma de variables dasométricas.....	49
figura 8. Extracción de un tarugo de madera haciendo uso del barreno de incremento.	49
figura 9. Proceso de obtención de la densidad básica de la madera.	50
figura 10. Densidad básica de la madera por especie con los valores teóricos y el valor experimental.....	52
figura 11. Especies que realizan la mayor fijación de CO ₂ en promedio en kg.....	59
figura 12. Fijación de CO ₂ por clase diamétrica.	60
figura 13. Mapa de la fijación de CO ₂ por sección.	63
figura 14. Promedio de afluencia peatonal entre semana y fines de semana.	66
figura 15. Flujo de CO ₂ en un distrito de Singapur.....	70

Lista de Ecuaciones

	Pág.
Ecuación 1. Densidad básica de la madera	37
Ecuación 2. Biomasa aérea para palmas	39
Ecuación 3. Oxígeno neto liberado	40
Ecuación 4. Incremento medio anual	42

Lista de anexos

	Pág.
Anexo A. Prueba de Tukey por especie de árboles.	88
Anexo B. Análisis de varianza por especie de palmas.....	89
Anexo C. Respuesta del radicado de la solicitud de especies ante la Secretaria de Medio Ambiente de Villavicencio	90
Anexo D. Respuesta del radicado de permiso para la extracción de muestras ante la Secretaria de Medio Ambiente de Villavicencio	91
Anexo E. Registro fotográfico.	92

Resumen

El proyecto se desarrolló en el parque los Fundadores, ubicado en la parte sur de la ciudad de Villavicencio y en la Alameda de la Avenida 40 hasta la altura del centro comercial Unicentro, con el objetivo de estimar la capacidad potencial del arbolado para fijar CO₂ y producir O₂ en la actualidad y en un horizonte de tiempo de 10 años, considerando los requerimientos de los usuarios directos. Este es el parque urbano más grande del municipio de Villavicencio con un área aproximada de 10 ha. Se llevó a cabo un inventario forestal de los individuos que presentaban un diámetro a la altura del pecho (DAP) igual o superior a 15 cm, en donde se identificó: la especie, DAP, altura total, salud de la copa, exposición solar, uso del suelo y la densidad básica de la madera que fue hallada a través del método peso seco por unidad de volumen verde, se procesó esta información por medio de ecuaciones alométricas con densidad teórica, experimental y el software i-Tree ECO, posteriormente se realizó un análisis de varianza y la prueba de Tukey por especie para determinar la similitud entre los tratamientos y llegar a un consenso de la fijación de CO₂ y la producción de O₂. A partir de los datos arrojados se realizó un balance considerando la tasa de respiración de las personas determinando si la zona de estudio tiene la capacidad para suplir estas necesidades. Por último, se realizó la proyección de estos servicios ecosistémicos a través del incremento medio anual (IMA) para un periodo de 10 años.

Los resultados de la investigación arrojaron que la zona de estudio tiene un almacenamiento de carbono de 349,2 ton y una fijación de CO₂ de 1281,7 ton destacándose la especie *Ficus benjamina* con 936,4 ton que corresponde a el 73,03% de la fijación total, seguida de la especie *Tabebuia rosea* con 63,5 ton, así mismo las especies forestales han producido un total de 920,78 ton de O₂ con una producción anual de 51,73 ton, además se logró determinar que el arbolado suple de una manera satisfactoria los requerimientos de los usuarios directos en términos de la tasa de respiración hasta con eficiencias de más del 6000% en un periodo de 1 año. Por último, a través de la proyección realizada se estimó que la zona de estudio fijará 660,3 ton de CO₂ y producirá 479,7 ton de O₂ en 10 años. Concluyendo que la zona de estudio posee una buena capacidad potencial en la actualidad y en un horizonte de tiempo de 10 años para proporcionar estos servicios ecosistémicos.

Palabras clave: Arbolado urbano, Fijación de CO₂, producción de O₂, usuarios directos.

Abstract

The project was developed in the Fundadores Park, located in the south of the Villavicencio City and in the Alameda the 40th avenue, up to the point of Unicentro, the mall and with the objective of estimating the potential capacity of the trees to fix CO₂ and produce O₂ at present and in a time of 10 years, considering the requirements of direct users. This is the biggest urban park in the municipality of Villavicencio with an approximate area of 10 ha. A forest inventory of individuals with a diameter at breast height (DBH) equal to or greater than 15 cm, identifying the species, DBH, total height, crown health, sun exposure, use of the soil and the basic density of the wood that was found through the dry weight method per unit of green volume, this information was processed by allometric equations with theoretical density, experimental and software i-Tree ECO, later an analysis of variance was made and the test of Tukey by species to determine the similarity between the treatments and to reach a consensus of CO₂ fixation and O₂ production. Based on the data obtained, a balance was made considering the respiration rate of the persons determining if the study area has the capacity to supply these needs. Finally, the projection of these ecosystem services was carried out through the annual average increase (MAI) for a period of 10 years

The results of the investigation showed that the study area has a carbon storage of 349.2 tons and a CO₂ fixation of 1281.7 tons, with *Ficus benjamina* standing out with 936.4 tons corresponding to 73.03% of the total fixation, followed by the species *Tabebuia rosea* with 63.5 tons. Likewise, forest species have produced a total of 920.78 tons of O₂ with an annual production of 51.73 tons. It was also possible to determine that the tree supply satisfies the requirements of the direct users in terms of the respiration rate with efficiencies of more than 6000% in a period of 1 year. Finally, through the projection made, it is estimated that the study area will fix 660.3 tons of CO₂ and produce 479.7 tons of O₂ in 10 years. Concluding that the study area has a good potential capacity at present and in a time of 10 years to provide these ecosystem services.

Key words: Urban trees, CO₂ fixation, O₂ production, direct users.

1. Introducción

En los espacios urbanos al igual que en otros sistemas se presentan una serie de interacciones entre los diversos elementos que la componen y algunas de estas pueden llegar en algún momento a sobrecargar el sistema (Clavijo, 2007). En las ciudades el cambio en el paisaje, y la constante construcción de infraestructura, hace que los componentes naturales como los árboles pierdan importancia y eficiencia en cuanto a su funcionalidad ecosistémica (Clavijo, 2007). Actualmente, más del 50% de la población mundial vive en suelos urbanos y se espera que para el año 2050, este número aumente al 66%, esta rápida expansión se lleva a cabo con pocas estrategias de planificación del uso de la tierra, y la presión humana resultante tiene efectos altamente dañinos en los bosques, los paisajes y las áreas verdes de las ciudades y sus alrededores (FAO, 2016).

Los estudios sobre el arbolado urbano, han permitido determinar el rol de estos en mitigar algunos de los impactos negativos que se pueden generar por el crecimiento urbano. La vegetación urbana se define como una agregación de plantas y espacios verdes dentro de las ciudades y sus alrededores próximos, que proveen beneficios vitales para el mejoramiento de la calidad de vida de las personas (Guarín, y otros, 2014). Se ha podido comprobar que un árbol maduro puede llegar a fijar 150 kg de CO₂ al año, como resultado estos juegan un papel importante en la mitigación del cambio climático, así mismo pueden llegar a generar un enfriamiento de 2 a 8 °C reduciendo de esta manera el efecto isla de calor, tener acceso a un espacio verde tiene mejoras en la salud física y mental de las personas ayudando a disminuir la presión arterial alta y el estrés, por otro lado un árbol de hoja perenne maduro puede llegar a interceptar más de 15000 litros de agua por año reduciendo el riesgo de inundaciones (FAO, 2016).

En Colombia han sido pocos los estudios que se han realizado sobre los servicios ecosistémicos brindados por el arbolado urbano, destacándose algunos estudios en las ciudades de Bucaramanga, Medellín y Bogotá, en la región donde se llevó a cabo el proyecto no se han realizado. De esta manera se planteó el presente proyecto, tomando como zona de estudio el parque urbano más grande de la ciudad, se analizó la fijación de CO₂ y la producción de O₂ que realiza el arbolado en la actualidad y en un horizonte de tiempo de 10 años, y la importancia del suministro de los mismos

a sus usuarios directos. Entender la estructura, la función y el valor del arbolado urbano puede promover decisiones en la gestión pública que mejoren la salud humana y la calidad del ambiente.

2. Planteamiento del problema

2.1 Descripción del problema

Según el Inventario Nacional y Departamental de Gases de Efecto Invernadero del año 2012, Colombia es el responsable del 0.4% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel global, estas emisiones se deben principalmente al sector forestal (36%) – por deforestación-, agropecuario (26%), transporte (11%) y energía (10%). Así mismo en el inventario se establece que el departamento del Meta es el segundo mayor generador a nivel nacional con 21,24 Mton CO₂ eq (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELACIÓN, 2016). Siendo Villavicencio cabecera municipal del departamento presentó una emisión per cápita de 3.6 t CO₂ eq para el año 2014, lo cual permite estimar con una población de 473.718 hab (POT, 2015) a ese mismo año, que los habitantes arrojaron una emisión anual de 1'705.384,8 t CO₂ eq. Un valor por considerar ya que es el municipio que presenta actualmente la mayor cantidad de población y el mayor crecimiento territorial de la región (FINDETER, 2016).

A partir de esta información es necesario tomar acciones para atenuar estos impactos, el arbolado es de suma importancia ya que ofrece diversos servicios ecosistémicos, los árboles y bosques en las ciudades mejoran la calidad del aire fijando contaminantes, además son particularmente eficaces para aliviar el calor del verano a través de la evaporación, la fotosíntesis y la sombra. Ante estos beneficios se podría plantear que el arbolado y los bosques urbanos son una solución basada en la naturaleza para obtener una urbanización más sostenible y adaptable al cambio climático (J.Davies, J.Doick, D.Hudson, & KateSchreckenberg, 2017). Incluso en algunos países se están proponiendo políticas nacionales sobre forestación urbana como una forma de ayudar efectivamente a la descontaminación y mejorar la calidad de vida de los habitantes, como es el caso en Chile (Dominguez, y otros, 2009).

Hasta hace poco, en Colombia, el árbol era un elemento secundario y muchas veces inexistente en los procesos de urbanismo y en la planificación de las ciudades y municipios. En los últimos 20 años, Colombia ha trabajado en el desarrollo y fortalecimiento institucional, normativo y de participación comunitaria de la silvicultura urbana en sus principales ciudades –Bogotá, Medellín

y Cali–, logrando avances significativos tales como decretos, normas y manuales técnicos. Pereira, Cali y Medellín, por su parte, ya cuentan con un manual de silvicultura, censos parciales georreferenciados y normativas precisas que garantizan el manejo del arbolado en el tiempo (Corzo, 2013).

El proceso de arborización de la ciudad de Villavicencio, tanto en el espacio público y los espacios privados ha surgido sin una orientación técnica, siendo las tendencias culturales la base del criterio para seleccionar las especies a sembrar (MONTIEL, 2014). Los árboles en la ciudad son víctimas de malas intervenciones de talas y /o podas, mutilaciones, confinamiento y otras agresiones mecánicas. Además, que frecuentemente sus ramas o raíces intervienen en las cuerdas del fluido eléctrico, el alcantarillado y las redes de gas domiciliario; esto hace evidencia el carente plan de manejo que se le ha dado, los árboles no son vistos como agentes beneficiosos, a pesar de los servicios ecosistémicos que brindan a la comunidad (MONTIEL, 2014).

Según el Plan de Ordenamiento Territorial de Villavicencio las zonas verdes del municipio no tienen un método sostenible definido para su mantenimiento, por lo que depende de la asignación de recursos para este fin, que resultan insuficientes para el mantenimiento de todo el municipio. Así mismo, los parques urbanos no se conectan entre sí y el espacio público es deficiente no solo por su escaso mantenimiento y organización administrativa (POT, 2015), sino, además porque es insuficiente para los habitantes del municipio al presentarse con indicador de 2.5 m² por habitante (FINDETER, 2016)

Por lo anterior, se desea conocer cuánto CO₂ puede almacenar el arbolado existente en la zona de estudio y la cantidad de oxígeno que libera, para determinar de acuerdo con la representatividad de las especies que componen este arbolado la importancia del suministro de este servicio ecosistémico a sus usuarios directos en la actualidad y en un horizonte de tiempo de 10 años (capacidad potencial).

La presente investigación plantea como formulación en torno al problema ¿Cuál es la capacidad potencial de fijación de CO₂ y producción de O₂ del arbolado del parque los Fundadores y la Alameda de la Avenida 40 en el municipio de Villavicencio (Meta)?

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Estimar la capacidad potencial de fijación de CO₂ y producción de O₂, como servicio ecosistémico suministrado por el arbolado del parque los Fundadores y la Alameda de la Avenida 40 en el municipio de Villavicencio (Meta).

3.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar el arbolado presente de la zona de estudio mediante variables dasométricas.
- Estimar la cantidad de CO₂ fijado por el arbolado presente en la zona de estudio mediante tres tratamientos de datos y su producción de O₂.
- Determinar la capacidad potencial de fijación de CO₂ y producción de O₂ de las especies más representativas en un horizonte de tiempo de 10 años como servicio ecosistémico ofrecido a los usuarios directos.

4. Justificación

El arbolado es de gran importancia en los centros urbanos, y a pesar de su gran influencia sobre la calidad ambiental y social de la población no son valorados. Escobedo F. (2011), afirma que este es estudiado principalmente desde una perspectiva académica, pero la mayoría de los ciudadanos y los políticos no ven el valor relativo o beneficio directo que este tiene para mitigar la contaminación (Escobedo, Kroeger, & Wagner, 2011).

Es importante aclarar que, el municipio no cuenta con estudios relacionados sobre los servicios y beneficios prestados por el arbolado urbano, considerando que en otras ciudades de Colombia si se han realizado como es el caso del Valle de Aburra, Bucaramanga y Bogotá. Al no existir este tipo de estudios no se aprecia la función que están realizando. Sin embargo, actualmente la administración municipal de Villavicencio está desarrollando el Plan de Ornato, que incluye los planes de arborización urbana por comuna, frente al cual esta investigación podría aportar en la etapa de prospectiva, al sugerir el tipo de arbolado que se podría plantar de acuerdo a su capacidad de fijación de CO₂ y producción de O₂.

Adicionalmente, este estudio podría contribuir en la generación de herramientas en la toma de decisiones en cuanto al desarrollo urbanístico, la preservación del arbolado en las ciudades y el aumento del espacio público natural, teniendo en cuenta que, según el estudio realizado por FINDETER, entre los principales problemas del municipio se encuentra el déficit de espacio público, que son aquellas áreas que hacen parte del bien común (parques, plazas, senderos y plazoletas). Se estima que en el año 2014 la ciudad contaba con 2,5 m² de espacio público por habitante, valor que se encuentra por debajo de la media nacional de 4,3 m² (FINDETER, 2016), además incumpliendo con el índice mínimo de 15 m² de espacio público efectivo recomendado por el decreto 1504 de 1998. Considerando que en la misma proporción que exista espacio público disponible, también se contara con espacio para el aumento del arbolado.

Otro factor a considerar es el crecimiento demográfico acelerado que contribuye en la generación de CO₂ debido a las actividades realizadas diariamente por la población, por lo cual se requiere de una mayor cobertura vegetal dentro de las zonas urbanas que incrementen la fijación

de CO₂ y produzcan más O₂. Según datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Villavicencio es la ciudad del departamento del Meta que presenta la mayor concentración poblacional, con un incremento del 41% entre los años censales 1993-2005 y se observa que durante los últimos diez años tuvo un aumento poblacional similar (FINDETER, 2016). Para el año 2019 se estima una población de 527.668 de acuerdo con la proyección del POT de Villavicencio (POT, 2015) .

Por lo anterior, se pretende visibilizar entre la comunidad y los entes gubernamentales la capacidad intrínseca del arbolado urbano, procurando con esto que en el municipio se fomenten mejores prácticas para el fortalecimiento del mismo. Para este estudio en el municipio de Villavicencio se seleccionó el parque los Fundadores junto con la Alameda de la Avenida 40 ya que esta zona posee un potencial significativo para brindar servicios ecosistémicos representativos, cuenta con un arbolado considerable dentro de la ciudad además de tener una ubicación estratégica por encontrarse en una Avenida principal.

5. Alcance del proyecto

El proyecto se llevó cabo en el departamento del Meta específicamente en el municipio de Villavicencio el cual presenta las siguientes características: el promedio de lluvia total anual es de 4383 mm, de abril a noviembre presenta la temporada de mayores lluvias, tiene una temperatura promedio de 25.5 °C y la humedad relativa del aire oscila entre 67 y 83 % durante el año (IDEAM, 2019). Se escogió como caso estudio el parque los Fundadores y la Alameda de la av. 40 en donde el parque los Fundadores se encuentra ubicado geográficamente entre los 4°7'18.10" de latitud norte y 73°38'36.27" de longitud oeste (parte sur de la ciudad de Villavicencio), así mismo cuenta con un área de 6 hectáreas, por lo cual es considerado como el parque urbano más grande de la ciudad. La Alameda de la Av. 40 inicia entre los 4°7'24.23" de latitud norte y 73°38'26.18" de longitud oeste, y termina entre 4°8'34.78" de latitud norte y 73°38'4.38" de longitud oeste, a la altura del Centro Comercial Unicentro y cuenta con una longitud aproximada de 2 km (Figura 2 mapa de la zona de estudio).

En las siguientes imágenes se identifica la zona de estudio:



Figura 1. Instituto de Turismo de Villavicencio. 2019. Parque los Fundadores y Alameda de la Av. 40. (Imagen). Recuperado (Instituto de Turismo de Villavicencio, 2016)

Se realizó un inventario de los individuos forestales presentes que cumplieran con un DAP igual o superior a 15 cm (ya que esta especificación la exige el software *i-tree eco* V6 y las ecuaciones alométricas a implementar (ECO, 2017)), en donde el parque los Fundadores contó con

un total de 490 individuos con esta característica y la Alameda de la Av. 40 contó con un total de 233. Este inventario se llevó a cabo en el segundo periodo del año 2018. La identificación de las especies fue información otorgada por la Secretaría de Medio Ambiente de Villavicencio.

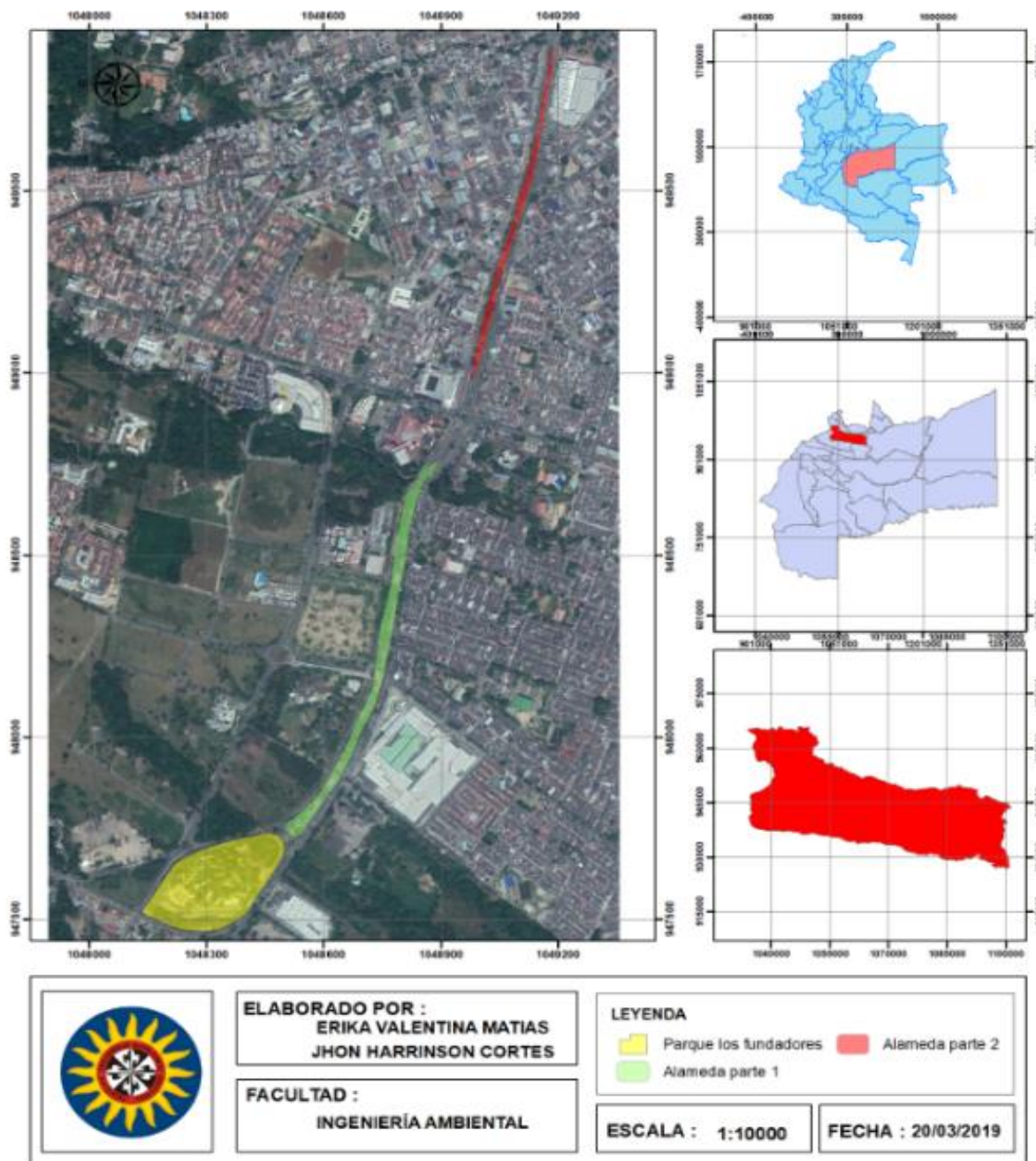


Figura 2. Ubicación del área de estudio, parque los Fundadores y Alameda de la Av. 40, tomado de Google earth adaptado por (Cortes, H. & Matias E, 2019)

6. Antecedentes

El arbolado urbano ha sido objeto de estudio desde hace algunas décadas por ser promotores de servicios ecosistémicos. E. Gregory McPherson en 1998 llevo a cabo un estudio sobre la reducción de dióxido de carbono atmosférico en un bosque urbano de Sacramento (EE.UU), haciendo uso de ecuaciones alométricas específicas para cada especie de árbol con el fin de determinar la biomasa y posteriormente estimar la fijación de CO₂, obteniendo que los 6 millones de árboles del Condado de Sacramento almacenan 8 millones de toneladas de CO₂ anualmente (McPherson, 1998). En algunos países han estudiado el arbolado urbano como medida de reducción de CO₂ y mejoras en la calidad del aire como lo fue en Beijing Jun Yanga, Joe McBride, Jinxing Zhou en el año 2002, estudiaron la propuesta del gobierno municipal que constaba en la plantación de árboles como una medida de mitigación contra la contaminación del aire, en donde se determinó que los 2,4 millones de árboles de Beijing en el año 2002 eliminaron 1261 toneladas de contaminantes del aire (Yang, McBride, Zhou, & Sun, 2005).

Dentro de los servicios ofrecidos por el arbolado urbano se encuentra la producción de oxígeno, David J. Nowak en el año 2007 desarrolló un estudio que tenía como finalidad evaluar el potencial del arbolado urbano en la provisión de oxígeno en Estados Unidos. La producción de oxígeno en los árboles urbanos de EE. UU fue de 61 millones de toneladas métricas (67 millones de toneladas) (Nowak, Hoehn, & Crane, 2007). Así mismo, David J. Nowak y Daniel E. Crane en el año 2013 evaluaron la eliminación de la contaminación del aire por árboles y arbustos urbanos haciendo uso de datos meteorológicos por hora y concentración de contaminación de todo el territorio, demostrando que los árboles urbanos eliminan grandes cantidades de contaminantes, la eliminación de la contaminación varió entre las ciudades con una eliminación total anual de 711000 toneladas métricas (Nowak, Greenfield, Hoehn, & Lapoint, 2013).

Otros estudios resaltan la importancia del arbolado urbano como fijadores de CO₂ emitido por fuentes móviles, Ana Domínguez desarrollo un estudio en el año 2016 en donde estimo la fijación de CO₂ de la totalidad de parques urbanos en Tijuana-México y este lo comparó con las emisiones de CO₂ producido por el tránsito vehicular por medio del software *I-Tree* determinando que fueron

fijadas 21,372 Toneladas de CO₂ durante el 2015 y que el arbolado urbano no es suficiente para fijar todas las emisiones de CO₂ por vehículos (Madrid, 2016).

A nivel nacional han sido pocos los estudios en los que se estime la fijación de CO₂ por arbolado urbano y su producción de O₂. En el año 2014 Guarín, Delgado, Suanch, Mantilla, Gualdrón, Moreno determinaron la biomasa y absorción CO₂ en parques urbanos de Bucaramanga para mitigar la contaminación causada por el parque automotor, haciendo uso de ecuaciones alométricas encontradas en la literatura, determinaron que la cantidad de biomasa obtenida en las áreas de estudio es baja si se compara con los niveles de contaminación que puede generar el parque automotor de Bucaramanga y recomiendan para los planes de ordenamiento territorial ampliar las zonas verdes o espacios arbóreos al menos cuatro veces más la actual (Guarín, y otros, 2014).

Así mismo, en el Valle de Aburrá en el año 2015 se llevó a cabo un estudio por la ingeniera forestal María del Pilar Arroyave en donde se buscaba hacer una estimación y valoración económica de la remoción de contaminantes atmosféricos por parte de tres parques urbanos del valle haciendo uso del software *i-tree* entre los resultados están que 129 árboles tuvieron una remoción de 8,6 gramos de contaminantes con un almacenamiento de 268 toneladas de carbono y una fijación de 1,23 toneladas por año (Mejía, 2016). En diversas universidades se han realizado estudios sobre la biomasa aérea y la fijación de CO₂ por el arbolado existente en los campus, como es el caso de la Universidad EAFIT, en el año 2017 llevó a cabo un estudio en donde se caracterizó la totalidad del arbolado, en total 1161 individuos distribuidos en 48 especies, por medio de modelos se determinó que se almacena 475 toneladas de biomasa aérea con un reservorio de 872 toneladas de CO₂ en el campus, además que la familia que más contribuye a la fijación fue Fabaceae (familia de leguminosas) con 308 toneladas (EAFIT, 2017).

Para la determinación de biomasa en Colombia se han realizado estudios los cuales hacen uso de las ecuaciones alométricas planteadas por el IDEAM es el caso de Meneses, Herrera y Sierra en el año 2017 en donde determinaron el potencial de servicios ambientales de la cobertura vegetal de un sector de Bucaramanga, estableciendo por medio de las ecuaciones que la cobertura vegetal del sector realiza una fijación de CO₂ de 367 toneladas por hectárea (Meneses, Herrera, & Sierra, 2017).

Aunque en la región en donde se llevó a cabo el proyecto no se encuentra ningún estudio relacionado con la fijación de CO₂ o la producción de O₂ por el arbolado urbano, si se han realizado estudios sobre el reconocimiento del estado actual del arbolado de Villavicencio, en donde se identificaron que predominan en el municipio dos especies introducidas: el ficus *Ficus benjamina* y el pomarroso brasileiro *Syzygium malaccensis*, las cuales poseen altísimas poblaciones (ficus: 3725, pomarroso brasileiro: 3544), especies que han generado afectaciones severas al acueducto y el alcantarillado, además se identificó que el municipio cuenta con una amplia variedad de palmas introducidas donde se destacan la palma botella y la palma areca, por último se recomendaron las especies para el fortalecimiento de la Estructura Ecológica Principal entre esas la *Leucaena leucocephala*, *Tabebuia chrysantha*, *Gliricidia sepium*, *Tabebuia rosea*, *Erythrina poeppigiana*, *Ceiba pentandra*, *Phitecellobium saman*, *Brownea ariza* (Prieto & Garzón, 2007).

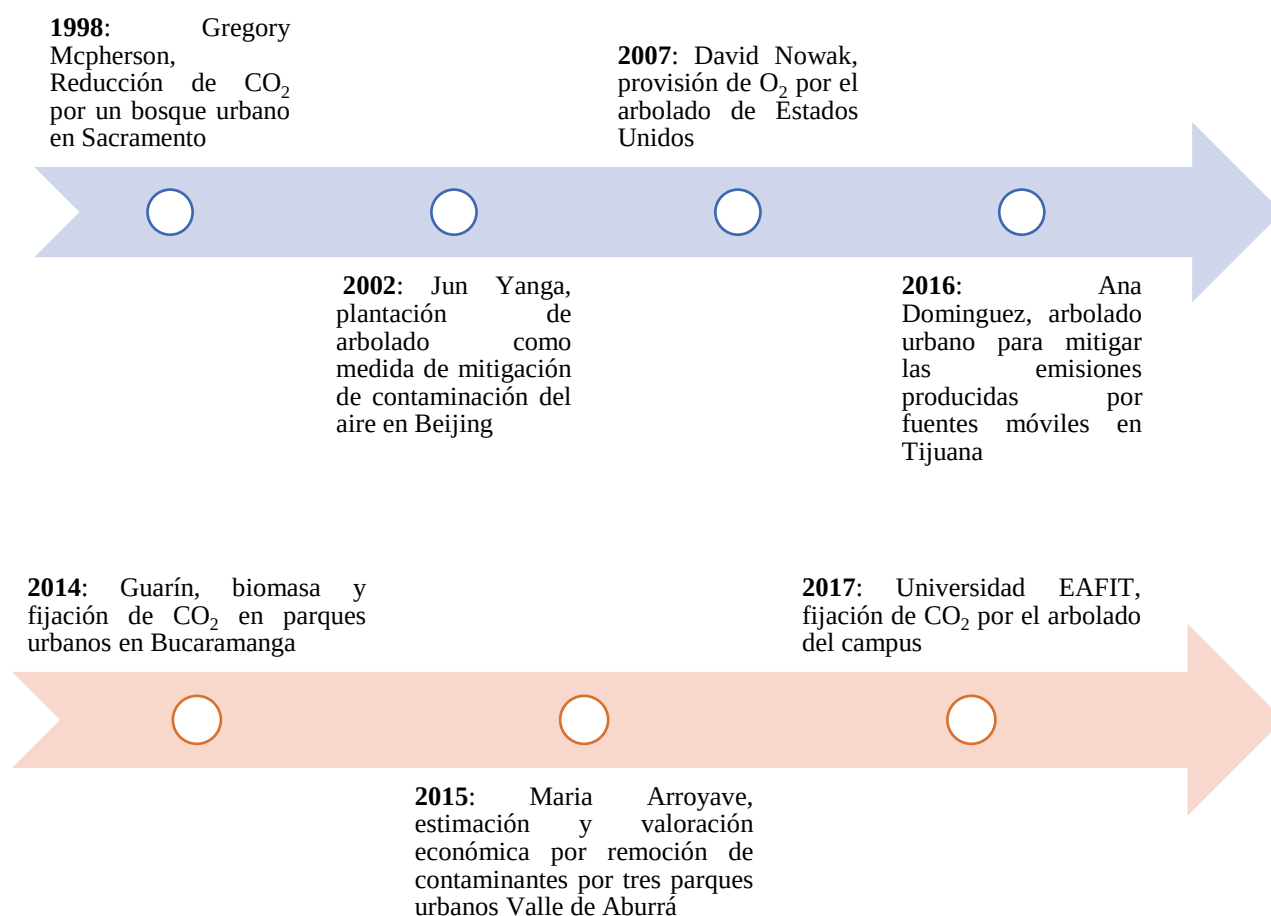


Figura 3. Líneas de tiempo de los estudios internacionales y nacionales. Por Cortes & Matias, 2019.

7. Marco referencial

7.1. Marco teórico

7.1.1. Beneficios de los parques urbanos en las ciudades.

Pacheco y Sousa (2014) en “BENEFÍCIOS DOS PARQUES URBANOS”, señalan que los parques urbanos contribuyen positivamente a la mitigación climática, en el microclima local, además son atenuantes de ruidos, permiten la fijación y retención del polvo y actúan como zonas de oxigenación del aire (Martins & Sousa, 2014). Por otro lado, Vargas y Roldan en 2017, argumentan que los parques urbanos son espacios estratégicos para la calidad de vida de las sociedades urbanas, no solo porque proporcionan servicios ecosistémicos como la purificación del aire, reducción del ruido, regulación microclimática, entre otros; sino también porque inciden directamente en la salud física y mental de los habitantes de las ciudades (Vargas & Roldán, 2017).

Además de los beneficios mencionados anteriormente los parques urbanos, son una estrategia adecuada en la restauración de tierras marginales urbanas, como por ejemplo las que han sido empleadas anteriormente en vertederos o botaderos de basura, siendo lugares que no se pueden adaptar para construir edificaciones (Frutos & Esteban, 2009). Otro beneficio, es que los parques permiten que, en muchos casos, algunas especies se adapten al medio ambiente urbano, convirtiéndose este lugar en su nuevo hábitat (Frutos & Esteban, 2009). Así mismo, cuando se incorpora en la planificación de los parques urbanos grandes zonas de espacio verde, estas pueden servir como áreas de captación de aguas lluvias, aportando en la disminución de las inundaciones en las ciudades (Frutos & Esteban, 2009).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) asegura que el agrupamiento de las viviendas en zonas verdes (parques urbanos) mejora la calidad del aire y estimulan la actividad física, al tiempo que reducen las lesiones y los efectos de la isla de calor urbana. Igualmente, fija un valor óptimo de m² de zonas verdes por habitante, este indicador se encuentra entre 10 y 15 m² (Castillo, 2013). Y aunque los parques urbanos tienen gran influencia sobre la calidad

ambiental y social de la población estos espacios no son valorados. Escobedo F. (2011), afirma que estos espacios son estudiados principalmente desde una perspectiva académica, pero la mayoría de los ciudadanos y los políticos no ven el valor relativo o beneficio directo de estas áreas para mitigar la contaminación (Escobedo, Kroeger, & Wagner, Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices, 2011).

7.1.2. Función social de los parques urbanos.

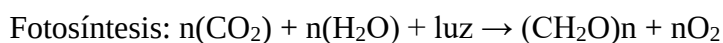
Los usuarios de parques y jardines encuentran en estas zonas diferentes beneficios relacionados con la salud física y mental. En diferentes estudios se ha podido demostrar que la relación de la sociedad con la naturaleza, al igual que la presencia de la naturaleza dentro de las comunidades puede inducir a estrechar intereses comunes creándose vínculos sociales (Canales, 2002), además que los espacios verdes contribuyen directamente a la salud pública reduciendo el estrés y ayudando a la salud mental, considerando que estos espacios dan una oportunidad a la comunidad para desarrollar actividades y mejorar su salud física (Konijnendijk, Annerstedt, Nielsen, & Maruthaveeran, 2013).

En un estudio realizado en Dinamarca se demostró que las personas que viven a más de 1 km de distancia de espacios verdes, tienen mayores probabilidades de sufrir de estrés en comparación con personas que viven a menos de 300 m de distancia, encontrando una relación directa entre la distancia del espacio verde con la salud y la calidad de vida de las personas (Stigsdotter, y otros, 2010). Por otro lado, Agudelo (2014) considera que la demanda de los servicios de los parques urbanos o espacios verdes depende de las características de los usuarios. En esta medida los niños, ancianos y la población que realiza baja actividad física encuentran en las zonas verdes la satisfacción de una demanda concreta que tiene que ver con lo lúdico y el descanso. Otros grupos de población se sirven de los espacios verdes de manera distinta, más dinámica, como paseo, sitio de tertulia, para desarrollar ejercicio, actividades de juego, entre otros (Agudelo, 2014).

7.1.3. Servicios ecosistémicos del árbol-ado urbano.

Entre los servicios ecosistémicos más importantes que proveen los árboles en el ambiente urbano se pueden considerar los siguientes:

- Control de la contaminación: los árboles contribuyen a disminuir la contaminación presente en las ciudades. Ciertas especies pueden absorber contaminantes del aire como el dióxido de carbono (CO₂), que representa casi la mitad del peso total de los contaminantes emitidos a la atmósfera, así como también los dióxidos de azufre y nitrógeno (SO₂ y NO₂) compuestos provenientes fundamentalmente por la combustión de fuentes móviles (vehículos) (Corzo, Manejo del arbolado urbano en Bogotá, 2007). Existen muchos estudios sobre la eliminación de contaminantes por arbolado urbano, pero la mayoría de estos no se relacionan directamente con la eliminación de los efectos de la salud humana. En Canadá se demostró mediante un estudio que existe una relación entre la eliminación de contaminantes por arbolado urbano y la disminución de los efectos sobre la salud, dando como resultado que el arbolado de 86 ciudades evita la muerte de 30 vidas humanas (Nowak, Hirabayashi, Hirabayashi, McGovern, & Pasher, 2018).
- Atenuación al efecto de isla de calor: Dentro de los principales problemas ambientales que presenta la población de grandes urbes se encuentra la isla de calor, es un fenómeno que ocurre en especial en aquellas ciudades que enfrentan una mayor exposición de calor, en un estudio realizado en Tokio-Japón se pudo demostrar que el arbolado urbano de un parque trae un beneficio de enfriamiento a la población que se encuentra a 200m a favor del viento, enfriamiento que equivale a 39 Wm⁻² (Livesley, McPherson, & Calfapietra, 2015).
- Generación de oxígeno: El arbolado es parte indispensable de la vida en la tierra, ya que proporcionan oxígeno mediante el consumo de dióxido de carbono (Patil, y otros, 2017) así mismo la generación de oxígeno es uno de los servicios ecosistémicos más comúnmente citados por el arbolado urbano y a su vez se encuentra dentro de los servicios más representativos prestados por el arbolado (Mitra, Chaudhuri, Pal, Zaman, & Mitra, 2017), Nowak D (2007), define que la producción neta de oxígeno por los árboles se basa en la cantidad de oxígeno producido durante la fotosíntesis menos la cantidad de oxígeno producido por la planta y está directamente relacionado con la cantidad de carbono secuestrado por el árbol, que está ligado a la acumulación de biomasa arbórea (Nowak, Hoehn, & Crane, 2007). Así se demuestra en las siguientes reacciones:



Respiración: $(\text{CH}_2\text{O})_n + n\text{O}_2 \rightarrow n(\text{CO}_2) + n(\text{H}_2\text{O}) + \text{energía}$

Por esta razón un método para estimar la producción de oxígeno de un árbol es a partir del carbono secuestrado basado en su peso atómico O_2 neto = C neto secuestrado X (32/12) donde O_2 es la producción neta de oxígeno por árbol en kg, C es el carbón neto secuestrado en kg (Nowak, Hoehn, & Crane, 2007).

El arbolado urbano juega un papel protagónico a la hora de producir oxígeno, en un estudio se determinó que en Estados Unidos los bosques urbanos producen 67 millones de toneladas métricas de oxígeno al año que es suficiente para compensar el consumo de oxígeno humano de aproximadamente dos tercios de la población estadounidense, así mismo Nowak señala que el número medio de árboles necesarios para compensar el consumo anual de oxígeno de un adulto es de 30 árboles aunque varió de 17 a 81 árboles en distintas ciudades, esta diferencia radica en la diferencia de tamaño de los árboles, condiciones y tasas de crecimiento que se generan en estas ciudades (Nowak, Hoehn, & Crane, 2007).

- Regulación del microclima: El arbolado urbano tiene contribuciones positivas sobre el microclima local, debido a la reducción de la temperatura ambiente y el aumento en la humedad del aire en presencia de vegetación, se debe al efecto de sombra proyectada sobre las diversas superficies (Ochoa, 1999) La influencia de la vegetación en el microclima se presenta en un rango de escalas, desde un árbol individual hasta todo el arbolado en el ámbito municipal y regional (Nowak, Dwyer, & Childs, 1997) y este beneficio está directamente relacionado con la altura total, la forma de la copa, la densidad del follaje del árbol además del tipo de ramificación que son rasgos relacionados con la arquitectura arbórea que pueden contribuir a crear sombra y moderar el microclima (Shahidan, Shariff, Jones, Salleh, & Abdullah, 2010).

La sombra que proyectan los árboles evita que las piedras y el asfalto absorban la radiación que después se desprende en forma de calor (Leon, Rosas, & Bartorila, 2017). Al mismo tiempo, el follaje absorbe las radiaciones de onda corta que se convierten en rayos infrarrojos al tocar el suelo. Se estima que la diferencia térmica entre una calle sin

vegetación y otra con árboles de tamaño regular puede oscilar de 2 a 4 °C de diferencia (Leon, Rosas, & Bartorila, 2017).

- Conservación de suelos y aguas: Dentro de los impactos del desarrollo urbanístico se encuentra el aumento de las zonas impermeables, lo que genera una disminución en la capacidad de infiltrar, retener, evaporar y transpirar el agua lluvia (Castro, 2011) además el sellado del suelo incrementa los efectos de las inundaciones y la fragmentación de áreas naturales (Junta de Andalucía; Unión Europea; Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía, s.f). Por otro lado el arbolado urbano junto con los suelos, juegan un papel esencial en los procesos hidrológicos urbanos, pues restringen la velocidad y el volumen de la escorrentía generada por aguaceros y tormentas (Nowak, Dwyer, & Childs, 1997) impidiendo la sobrecarga de los sistemas de alcantarillado y consecuentes daños por inundaciones. El arbolado urbano dependiendo de las características de sus raíces (profundidad, extensión, dimensiones) cumplen un papel importante en la estabilización de taludes y prevención de deslizamientos del mismo modo reduce la exposición de los suelos a los efectos del agua tanto por el impacto vertical (lluvia) como por arrastre (escorrentía) minimizando la erosión (Corzo, 2007).

7.2. Marco conceptual

Para efectos de la siguiente investigación, se entienden los siguientes conceptos:

Parque urbano: Los parques urbanos cumplen una serie de funciones dentro de la sociedad entre las cuales se encuentran las sociales, ecológicas, psicológicas, recreativas. La definición de parque urbano según el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Villavicencio año 2015 “espacios libres situados al interior de la ciudad, destinados al esparcimiento de la comunidad al aire libre y al contacto con la naturaleza. Actúan como reguladores del equilibrio ambiental, como elementos de amortiguación para el cambio climático, como áreas para la absorción de aguas lluvias y contrarrestan el efecto de isla de calor sobre la ciudad” (Villavicencio A. M., 2015), comprendiendo que los parques urbanos son más que espacios de esparcimiento.

Servicio ecosistémico: según el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt los servicios ecosistémicos son “todas aquellas contribuciones directas e indirectas que hacen los ecosistemas al bienestar humano, esto se ve representado en elementos o funciones derivadas de los ecosistemas que son percibidas, capitalizadas y disfrutadas por el ser humano como beneficios que incrementan su calidad de vida” (Humboldt, 2017).

Fotosíntesis, fijación de carbono y producción de oxígeno: la fijación de carbono por medio de la fotosíntesis ocurre cuando las plantas absorben energía solar y CO₂ de la atmósfera, produciendo oxígeno e hidratos de carbono (azúcares como la glucosa), que sirven de base para su crecimiento. Por medio de este proceso las plantas fijan el carbono en la biomasa de la vegetación, y consecuentemente constituyen, junto con sus residuos (madera muerta y hojarasca), un stock natural de carbono” (Rügnitz, Chacón, & R., 2009).

Al considerar esta información se puede decir que existe una relación entre C-CO₂-Biomasa, el Centro Internacional de Investigación Agroforestal (ICRAF) determina que una tonelada de carbono equivale a 3,67 t de CO₂ (obtenido de los pesos moleculares de C y CO₂ 12/44). Para poder determinar la fijación de CO₂ de un árbol se debe multiplicar 3,67 por la cantidad de carbono almacenado, igualmente para determinar la cantidad de carbono a partir de la biomasa se dice que una tonelada de biomasa posee aproximadamente 0,5 t de carbono. De esta forma se obtiene la fijación de CO₂ a partir de la biomasa arbórea (Rügnitz, Chacón, & R., 2009).

Sumidero de carbono: el concepto de sumidero en relación con el cambio climático fue adoptado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) de 1992. Según la Convención, un sumidero es “cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe o elimina de la atmósfera un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero” (PROVINCIA, 2019).

Biomasa área y métodos de estimación: la biomasa se entiende como masa leñosa (tronco, corteza, ramas y raíces) de árboles y arbustos en un área de vegetación. También puede incluir masa herbácea si se habla de pastos u otros vegetales. En términos generales el carbono en los árboles se encuentra almacenado en diferentes compartimientos en la biomasa aérea y biomasa subterránea, en la necromasa y en el suelo. La biomasa aérea es considerada toda la biomasa viva

que se encuentra sobre el suelo, con inclusión de tallos, ramas, corteza, semillas y follaje” (Quintero, Duque, Álvarez, Garcia, & Ordoñez, 2011).

Existen dos métodos de estimación de la biomasa presente en el arbolado (Método directo e indirecto), según el ICRAF método directo (o destructivo) utilizado para la construcción de ecuaciones alométricas y factores de expansión de la biomasa, consiste cortar uno o más individuos (árboles), determinar la biomasa por medio del peso directo de cada uno de los componentes (fuste, ramas y hojas) y extrapolar los resultados para el área total (Rügnitz, Chacón, & R., 2009) y el método indirecto consiste en utilizar ecuaciones o factores de expansión existentes que permitan relacionar algunas dimensiones básicas obtenidas en campo (de fácil medición) con características de interés, de forma que no sea necesario medir estas últimas (Rügnitz, Chacón, & R., 2009).

Variables dasométricas: la dasometría es una parte de la dasonomía que se encarga de la medición, cálculo o estimación de los volúmenes, edad e incremento de las masas forestales, dentro de las características que se pueden medir o estimar de los árboles son: diámetro a la altura del pecho (DAP), área basal, altura total, volumen total, biomasa aérea y otras (Torres, 2006).

Crecimiento: el incremento de la masa forestal está influenciado por su capacidad genética e interacción con los factores climáticos, edáficos, competitivos, entre otras características de cada región (Mora, Ramirez, & Torres, 2009). En términos generales, el crecimiento de un individuo arbóreo se mide como el incremento en el diámetro, puesto que el diámetro a la altura del pecho (DAP) es considerado como el mejor indicador de la biomasa de un árbol y es importante determinarlo porque influye en la biomasa acumulada, así como en la captura de carbono (Mora, Ramirez, & Torres, 2009). Existen varios métodos para estudiar el crecimiento, cuya diferencia es mínima y se consideran periodos de tiempo que van desde un día hasta una década o siglo, como se presenta a continuación:

- Incremento corriente anual: es la diferencia entre las medidas tomadas al inicio y finalización de un año en particular.
- Incremento anual periódico: es el promedio anual para un periodo de años.
- Incremento periódico: es el incremento ocurrido entre los años extremos de un periodo.

- Incremento medio anual: es el promedio anual para una edad determinada. Se calcula dividiendo el tamaño total acumulado por la edad (Mora, Ramirez, & Torres, 2009).

7.3. Marco legal

La normatividad actual fortalece el proyecto ya que se le da relevancia e importancia a la arborización urbana, por lo tanto, se apoya en ella para promover que las autoridades locales, regionales y nacionales tengan en cuenta las conclusiones y promuevan el desarrollo de zonas con arbolado dentro de las ciudades. Entre la normatividad colombiana que respecta el proyecto, se encuentra la Constitución Política de Colombia de 1991, por la cual se establece que es deber del estado velar por la protección del espacio público y su destinación al uso común, igualmente que se deben considerar dentro de la planeación urbana zonas de descanso o recreo, zonas oxigenantes y amortiguadoras que contemplen la arborización necesaria. De igual forma, mediante el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Decreto 2811 de 1974), se hace hincapié que la comunidad tiene derecho a disfrutar de paisajes urbanos que contribuyan a su bienestar físico y espiritual.

Mediante la ley 388 de 1997 se establece que son acciones urbanísticas determinar espacios libres para parques y áreas verdes públicas en proporción adecuada a las necesidades colectivas, además que dentro de las normas urbanísticas que son aquellas que regulan el uso, la ocupación y el aprovechamiento del suelo y definen la naturaleza, se deben incluir aéreas para parques y zonas urbanas. Por otro lado, la ley 472 de 1997 resalta que son derechos colectivos los que se relacionan al goce del espacio público, igualmente la utilización y defensa de estos.

Considerando la anterior normatividad en donde se especifica la importancia del arbolado urbano y las zonas verdes para la comunidad, se estableció mediante el Decreto 1504 de 1998 el cual reglamenta el manejo del espacio público en los planes de ordenamiento territorial, que el espacio público está conformado por aéreas articuladoras tales como parques urbanos, plazas, plazoletas, escenarios deportivos y otros, además se considera como índice mínimo de espacio público efectivo de quince (15m²) metros cuadrados por habitante. Mediante la misma línea el Decreto 1077 de 2015 determina que hay déficit de espacio público cuando existe menos de 15 m² por habitante.

8. Metodología

La metodología del proyecto tiene una base descriptiva, la cual se llevó a cabo mediante la recolección de datos en la zona de estudio, y se hizo uso de información cuantitativa para posteriormente realizar su análisis. Se subdividió en las siguientes fases:

8.1 Fase I: Diagnostico de la zona de estudio

Para la estimación de la fijación de CO₂ y producción de O₂ se escogió el método no destructivo para la determinación de la biomasa aérea. Para ejecutar este método, se tuvieron en cuenta las siguientes variables, las cuales se aplicaron para todos aquellos individuos forestales que contaran con un DAP ≥ 15 cm:

- i) Especie: información otorgada por la Secretaria de Medio Ambiente de Villavicencio.
 - ii) Diámetro a la altura del pecho (DAP): se determinó por medio de una cinta métrica, midiendo la circunferencia a una altura de 1.3 m de altura. El valor obtenido se dividió por π , obteniendo el DAP.
 - iii) Altura total: se determinó por medio de un hipsómetro laser marca Nikon.
 - iv) Salud de la copa: el estado de las copas es un indicador de la salud del árbol, el indicador se da en porcentaje dependido de la cantidad de ramas muertas que presente.
- En la siguiente tabla se identifican los parámetros para dar el porcentaje (ECO, 2017):

Tabla 1. Parámetros para determinar el estado de la copa

ID	Condition Description	Condition %	% Dieback	Report Category	Traducción
1	100%	100	0	Excellent	Excelente
2	95%-99%	97	3	Good	Bien
3	90%-95%	92	8	Good	Bien
4	85%-90%	87	13	Fair	Regular
5	80%-85%	82	18	Fair	Regular
6	75%-80%	77	23	Fair	Regular
7	70%-75%	72	28	Poor	Pobre
8	65%-70%	67	33	Poor	Pobre
9	60%-65%	62	38	Poor	Pobre
10	55%-60%	57	43	Poor	Pobre

Tabla 1. (Continuación)

11	50%-55%	52	48	Poor	Pobre
12	45%-50%	47	53	Critical	Critico
13	40%-45%	42	58	Critical	Critico
14	35%-40%	37	63	Critical	Critico
15	30%-35%	32	68	Critical	Critico
16	25%-30%	27	73	Critical	Critico
17	20%-25%	22	78	Dying	Muriendo
18	15%-20%	17	83	Dying	Muriendo
19	10%-15%	12	88	Dying	Muriendo
20	5%-10%	7	93	Dying	Muriendo
21	1%-5%	2	98	Dying	Muriendo
22	0%	0	100	Dead	Muerto

Nota: Parámetros para determinar la condición de la copa de los individuos forestales, dado por % de condición y % de muerte. Tomado del i-Tree ECO manual de toma de datos, 2016.

- v) Exposición solar: esta variable dependió del número de lados en el que el individuo forestal tiene recepción de luz solar. De esta manera, el software i-Tree ECO otorga los siguientes códigos:

Tabla 2. *Códigos para determinar la exposición solar de los individuos forestales*

Código	Descripción
-1	Árbol muerto
0	El árbol no recibe ninguna luz plena, ya que le da la sombra de otros árboles u otra vegetación
1	El árbol recibe luz plena desde la parte superior o de un lateral
2	El árbol recibe luz plena desde la parte superior y un lateral (o 2 lados)
3	El árbol recibe luz plena desde la parte superior y 2 lados (o 3 lados)
4	El árbol recibe luz plena desde la parte superior y 3 lados
5	El árbol recibe luz plena desde la parte superior y 4 lados

Nota: Tomado del i-Tree ECO manual de toma de datos, 2016.

- vi) Densidad básica de la madera: se determinó en términos de peso seco por unidad de volumen verde y por fuentes secundarias (Base de datos del Centro Mundial de Agroforestería (ICRAF), catalogo virtual de flora del Valle de Aburrá, informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

Para determinar la densidad básica de la madera se hizo uso del método volumen verde por unidad de peso seco, extrayendo una muestra de madera por medio de un

barreno de incremento de un individuo por especie, las muestras extraídas, denominadas tarugos, tenían unas dimensiones de 5 mm de diámetro por 8 cm de longitud, fueron marcados y dispuestos en pajillas para evitar la pérdida de la humedad y fractura.

Se mantuvieron en condiciones de humedad (en las pajillas respectivas selladas) y posteriormente se llevaron a laboratorio y fueron sometidas a una humedad constante durante 40 minutos. Se determinó el volumen verde por medio del método de desplazamiento de agua. El nivel del agua aumenta cuando la muestra se encuentra totalmente sumergida (sin tocar los bordes del recipiente) y se estima la equivalencia de $1\text{ g} = 1\text{ cm}^3$, por lo tanto, la lectura del resultado arrojado por la balanza es igual al volumen de la pieza de madera sumergida (Giraldo, Rodríguez, Sarmiento, & Borralho, 2014). Después de obtener el volumen verde, las muestras fueron dispuestas para ser secadas en el horno a 103°C hasta alcanzar un peso constante, la cual conlleva un tiempo de 28 horas, posteriormente se pesaron en una balanza de precisión de 0,001 gr. Por último, se hizo uso de la ecuación 1 para obtener el dato de densidad básica.

$$\rho = \frac{\text{Peso seco (gr)}}{\text{Volumen verde (cm}^3\text{)}}$$

Ecuación 1. Densidad básica de la madera

- vii) Localización geográfica: se obtuvo haciendo uso de un GPS.
- viii) Uso del suelo: se determinó considerando la clasificación establecida por el Software i-Tree ECO.

El levantamiento de la información del arbolado se realizó en tramos de 100 m de manera secuencial, haciendo un recorrido a lo largo del parque, desde su límite sur (vía Villavicencio-Bogotá) hasta el final de la Alameda a la altura del centro comercial Unicentro.

8.2 Fase II: Estimación de la fijación de CO₂ y producción de O₂

La cantidad CO₂ almacenado en los árboles depende de la especie del árbol, las condiciones ambientales de crecimiento, la edad y la densidad específica de la madera (Guarín, y otros, 2014), (como se describió anteriormente este dato se obtuvo en campo con la finalidad de reducir la incertidumbre de los datos obtenidos para la estimación de CO₂). Para el propósito de esta

investigación las ecuaciones y el software que se implementaron arrojaron una estimación promedio de la fijación de CO₂.

Se implementaron los siguientes tratamientos para la estimación de la fijación de CO₂:

A) Estimación de la biomasa aérea a partir de ecuaciones alométricas haciendo uso de densidad básica teórica.

Las ecuaciones alométricas escogidas para el estudio fueron las realizadas por el IDEAM en el Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia, en donde se tiene en cuenta la zona de vida para escoger las constantes de la ecuación y consideran tres variables independientes DAP, altura total y densidad básica la cual se obtuvo por fuentes secundarias expuestas anteriormente. Se hizo uso de las ecuaciones recomendadas para formas de vida individuales, una general para determinar la biomasa en árboles (Tabla 3),

Tabla 3. Ecuación alométrica escogida para la determinación de biomasa

Variables independientes: Diámetro (D), altura (H) y densidad de madera (ρ)			
$\ln(BA)=a+B1\ln(D_2*H*\rho)$			
Tipo de bosque	A	B1	R ²
bh-M	-2,45	0,932	0,948
bh-MB	-1,993	0,932	
bh-PM	-2,289	0,932	
bh-T	-2,218	0,932	
bp-T	-2,413	0,932	
bs-T	-2,29	0,932	

Nota: bh-M: bosque húmedo montano, bh-MB: bosque húmedo montano bajo, bh-PM: bosque húmedo premontano, bh-T: bosque húmedo tropical, bp-T: bosque pluvial tropical, bs-T: bosque seco tropical, tomado del Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia (Álvarez, 2011).

La cual considera la zona de vida para determinar dos constantes, para el caso del proyecto se escogió bosque húmedo tropical (bh-T), por las condiciones que presenta el municipio teniendo una precipitación anual de 4383 mm y una temperatura promedio de 25,5 °C (IDEAM, 2019). Y otra para determinar la biomasa en palmas. Esta, se realizó por medio de otra ecuación ya que el contenido de biomasa cambia en contraste con los árboles, el contenido de biomasa en palmas se

predice más por la altura (Kirby & Potvin, 2007), siendo la altura total su única variable (Quintero, Duque, Álvarez, Garcia, & Ordoñez, 2011).

$$BA = \exp(0,360 + 1,218 \ln H)$$

Ecuación 2. Biomasa aérea para palmas

BA=Biomasa aérea en kg

H=Altura en m

A partir de la biomasa se determina la cantidad de carbono, la biomasa contiene 50% carbono, el valor obtenido de las ecuaciones se multiplica por 0.50 y con el carbono se determina la fijación de CO₂ multiplicándose por 3,67 en kg (es el resultado de dividir el peso atómico de una molécula de CO₂ entre el peso específico del C $44/12 \approx 3,67$) (Quintero, Duque, Álvarez, Garcia, & Ordoñez, 2011).

B) Estimación de la biomasa aérea a partir de ecuaciones alométricas haciendo uso de densidad básica experimental.

Se hizo uso de las ecuaciones alométricas planteadas en el tratamiento anterior, y la densidad básica obtenida en el laboratorio por medio del peso seco por unidad de volumen verde, para esta estimación no se tuvo en cuenta las palmas ya que esta no considera la densidad básica como variable independiente.

C) Estimación de la fijación de CO₂ por medio del software *i-tree eco* v6.

Se escogió el software *i-tree eco* v6 debido a que este ofrece diferentes servicios, se puede usar para la evaluación de los servicios ecosistémicos de un solo árbol o para la evaluación de miles de árboles en un inventario de parques u otros (ECO, 2017). Los datos que se emplearon para el funcionamiento del software fueron los siguientes: especie, DAP, altura total, salud de la copa, exposición solar y uso del suelo de la zona de estudio. posterior al ingreso de todas las variables fue necesario esperar 2 días para los informes finales en donde se especificaba, la fijación de CO₂, el secuestro neto anual y carbono almacenado especificados por individuos y por especie respectivamente.

- Análisis de varianza (ANOVA)

Se realizó un análisis de varianza con los datos obtenidos bajo los tres tratamientos (T1=ecuaciones alométricas con densidad teórica, T2=ecuaciones alométricas con densidad experimental, T3=software i-Tree ECO), para cada una de las especies identificadas en la zona de estudio (sin considerar las palmas ya que la ecuación planteada no considera la densidad básica como variable, en este caso se establece hacer un promedio bajo los dos tratamientos). Posteriormente se realizó la prueba de Tukey por especie, lo anterior, permitió identificar cuál es la similitud entre los resultados obtenidos, y establecer un promedio entre los dos tratamientos que más presentaron similitud, con el fin de evitar un mayor sesgo en los datos y llegar a un consenso para posteriormente estimar la liberación de O₂.

- Producción de oxígeno

Para determinar la producción de oxígeno por individuo forestal, se hizo uso de la ecuación a partir del carbono secuestrado basado en su peso atómico.

$$O_2 \text{ neto} = C \text{ neto secuestrado} * \left(\frac{32}{12}\right)$$

Ecuación 3. Oxígeno neto liberado

O₂= producción neta de oxígeno por árbol en kg

C=carbón neto fijado en kg

8.3 Fase III: Determinación de la capacidad potencial de la zona de estudio

La tercera parte de la metodología se dividió en tres actividades, la primera actividad en donde se compararon las secciones de la zona de estudio obteniendo las especies más representativas en términos de densidad y potencial para brindar el servicio ecosistémico de fijación de CO₂ y producción de O₂. En la segunda actividad, se realizó un conteo de los usuarios directos (peatones) con la finalidad de conocer a cuántas personas el arbolado urbano de la zona les presta el servicio ecosistémico. A partir de los datos obtenidos en la primera y segunda actividad, se determinó cuál es la capacidad potencial (en un horizonte de tiempo de 10 años) de las especies más representativas para fijar CO₂ y liberar O₂ en el parque los Fundadores y la Alameda de la Avenida 40, considerando los requerimientos de los usuarios directos.

A) La zona de estudio se analizó en tramos de 100 m de manera secuencial, haciendo un recorrido a lo largo del parque, desde su límite sur (vía Villavicencio-Bogotá) hasta el final

de la Alameda a la altura del centro comercial Unicentro, en cada sección se identificaron los siguientes aspectos:

-Abundancia absoluta= número de árboles por hectárea de la especie i.

-Abundancia relativa= participación en porcentaje de cada especie por hectárea (número total de individuos de la especie en relación con la cantidad total de árboles de la sección).

-Cantidad de carbono que almacena la especie en cada sección

-Cantidad de oxígeno que libera la especie en cada sección.

B) Posteriormente se realizó el cálculo de la demanda de los servicios ecosistémicos (producción de CO₂ y requerimiento de O₂) a partir de la movilidad peatonal en el parque Los Fundadores y la Alameda de la Av. 40 en las secciones diferenciadas como se indica anteriormente (secciones de 100 m consecutivas a lo largo del parque y la Alameda), ya que estos son los que demandan este servicio directamente.

Se adoptó una metodología de afluencia peatonal en la cual se recomienda, realizar el conteo un día de lunes a jueves y un día de viernes a domingo (Lobo, 2018). Para el proyecto se llevó a cabo de la siguiente manera:

El conteo se llevó a cabo los días lunes y sábados, con una frecuencia de 10 minutos en cada sección durante horas estratégicas (Lobo, 2018). Para el presente proyecto se adoptó las siguientes franjas horarias: 6:00 am a 8:00 am, 12:00 pm a 14:00 pm y 15:00 pm a 17:00 pm. Se planteó que cada sección fuera contada 4 lunes y 4 sábados por lo tanto la duración total de la actividad fue de 8 semanas, ya que la zona de estudio cuenta con 24 secciones. Posteriormente se realizó un estimado de la cantidad de personas que frecuentan cada sección de la zona de estudio durante los 10 minutos al año. Con esto se halló en términos de respiración la cantidad de CO₂ que se está emitiendo y la cantidad de O₂ que se está requiriendo, con el fin de comparar la capacidad que tiene el parque Los Fundadores y la Alameda de la Avenida 40 para suministrar este servicio ecosistémico. Para hallar la cantidad de O₂ que requiere una persona, fue necesario determinar la tasa de respiración, esta depende principalmente del peso corporal, edad, y actividad física de cada persona (Velasco, y otros, 2013). En condiciones de respiración normales, cada respiración mueve

7 ml/kg de aire por kg de peso de una persona (se tomó un peso promedio de 60 kg) y un adulto toma un promedio de 15 respiraciones por minuto (Velasco, y otros, 2013). El aire entra al cuerpo con un contenido de 20,9% de oxígeno y es expulsado con un contenido de 15,3%, por lo que un humano consume solo el 5,6%. Así mismo, el aire exhalado contiene aproximadamente un 4% de CO₂ por volumen (Velasco, y otros, 2013).

- C) En la tercera actividad se realizó una proyección de la fijación de CO₂ y producción de O₂ de las especies más representativas en términos de fijación de CO₂ y abundancia de cada sección. Se hizo uso del incremento medio anual (IMA) que “expresa la media del crecimiento total a cierta edad del árbol, expresa por tanto la media anual del crecimiento para cualquier edad” El IMA es obtenido por la división del mayor valor actual de la variable considerada, dividida por la edad del árbol (Imaña & Encinas, 2008). Para términos de este proyecto la variable considerada para los árboles fue DAP y para las palmas la altura total (la biomasa en palmas se predice más por la altura). A continuación, se evidencia la ecuación para determinar el IMA:

$$IMA = \frac{\text{Variable considerada}}{EDAD}$$

Ecuación 4. Incremento medio anual

La edad de los árboles y las palmas se determinó según la fecha de inauguración del parque los Fundadores y la Alameda de la Av. 40 que corresponden al año 2001 y 2002 respectivamente (Villavicencio I. d., 2013), por lo tanto, la edad de los individuos oscilaría entre 17 y 18 años, esto considerando la dificultad de conocer la edad exacta al ser formas de vida que no presentan anillos de crecimiento por encontrarse en el trópico. El dato que se obtuvo por medio del IMA fue el aumento promedio del DAP por año para el caso de los árboles, para las palmas fue el aumento promedio de la altura total por año. A partir de este promedio se pudo estimar cuánto aumentaría el DAP de los árboles y la altura total de las palmas durante los próximos 10 años.

Posteriormente se determina la cantidad de biomasa que aumentará en este periodo de tiempo, la ecuación utilizada para los árboles fue la siguiente:

Tabla 4. *Ecuación alométrica seleccionada para proyectar la biomasa en árboles*

Variables independientes: Diámetro (D) y densidad de madera (ρ)						
$\ln(BA) = a + b \ln(D) + c (\ln(D))^2 + d (\ln(D))^3 + B1 \ln(\rho)$						
Tipo de bosque	a	B	c	d	B1	R ²
bh-M	3,442	-1,809	1,237	-0,126	1,744	0,954
bh-MB	2,226	-1,552	1,237	-0,126	0,237	
bh-PM	2,421	-1,415	1,237	-0,126	1,068	
bh-T	2,829	-1,596	1,237	-0,126	0,441	
bp-T	1,596	-1,225	1,237	-0,126	0,691	
bs-T	4,040	-1,991	1,237	-0,126	1,283	

Nota: bh-M: bosque húmedo montano, bh-MB: bosque húmedo montano bajo, bh-PM: bosque húmedo premontano, bh-T: bosque húmedo tropical, bp-T: bosque pluvial tropical, bs-T: bosque seco tropical. Tomado del Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia (Álvarez, 2011).

Para el caso de las palmas se hizo uso de la ecuación planteada anteriormente para la determinación de la biomasa (Ecuación 2), teniendo la altura como su única variable.

9 Resultados y análisis

Fase I. Diagnóstico de la zona de estudio mediante variables dasométricas

El parque los Fundadores junto con la Alameda de la Av. 40, cuenta con un área total de 104,679 m², conformado por cobertura arbolea, zonas verdes, peatonales, ciclorrutas y espacios de recreación. La zona de estudio cuenta con un total de 723 individuos forestales que presentan un DAP igual o superior a 15 cm, lo cual permite estimar que tiene una densidad arbórea de 69 árboles/ha, estos se encuentran divididos en 48 especies, de las cuales el 41.66% son introducidas las más representativas son *Roystonea regia*, *Ficus benjamina* y *Adonidia merrilli*. El 58.34% son nativas en donde se destacan *Tabebuia rosea*, *Mauritia flexuosa* y *Anadenanthera peregrina*. Aunque las especies introducidas pueden producir algunos servicios ecosistémicos como la provisión de sombra, embellecimiento a la ciudad, además de atenuación de la contaminación del aire, ninguna de ellas presenta una oferta alimenticia interesante para la fauna nativa, si bien tienen una alta abundancia no aportan a la Estructura Ecológica Principal de la ciudad (Prieto & Garzón, 2007). En contraste las especies nativas producen alimento para la fauna nativa, especialmente a la avifauna y pequeños mamíferos como los murciélagos y las ardillas, y una amplia variedad de insectos (Prieto & Garzón, 2007). De esta manera las especies nativas no solo cumplirían con los aspectos ornamentales y ambientales, sino también con los ecológicos (Prieto & Garzón, 2007).

Las especies que presentan una mayor abundancia son: *Roystonea regia* (32.23%), *Ficus benjamina* (14.38%), *Adonidia merrilli* (7.05%), *Tabebuia rosea* (6.36%), *Dypsis lutescens* (5.95%), *Mauritia flexuosa* (3.87%), *Anadenanthera peregrina* (2.63%), *Licania tomentosa* (2.21%), *Bahuinia picta* (2.21%), las 39 especies faltantes (23,1%) cuentan con una abundancia de 13 a 1 individuos. La dominancia de algunas especies como la *Roystonea regia* y la *Ficus benjamina*, puede deberse a tendencia culturales, porque en esta época se encontraban de moda o por la disponibilidad que se tenía en los viveros. Así mismo, la poca abundancia de algunas especies como la *Samanea saman* y *Cassia grandis* que presentan 1 individuo puede deberse a que estos se encontraban plantados anteriormente a la construcción del parque los Fundadores y la Alameda de la Av. 40.

A continuación, se demuestra mediante una gráfica la división de los individuos forestales según su forma biológica:

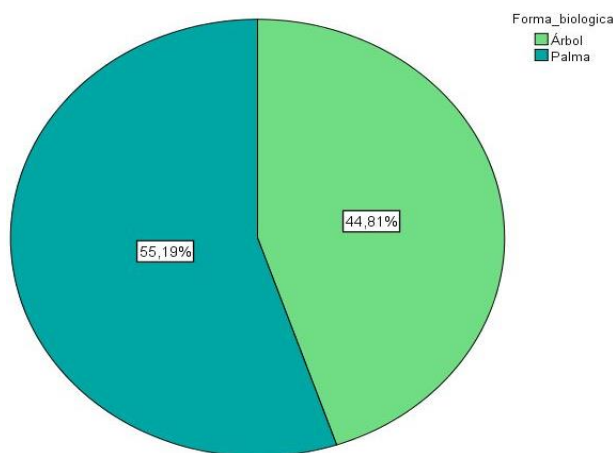


Figura 4. Forma biológica de los individuos de la zona. Por Cortes & Matias, 2019.

Se puede identificar que la zona de estudio tiene una mayor cantidad de individuos de palmas con un porcentaje de 55,19%, dato a considerar ya que los árboles leñosos son capaces de capturar y almacenar más CO₂ en comparación a las palmas, esto debido a que su madera tiene una reducida densidad específica, que en promedio es menos de la mitad de los árboles leñosos (Madrid, 2016).

En cuanto a la distribución de la abundancia en palmas se puede evidenciar una dominancia por parte de la especie *Roystonea regia* con un porcentaje de 58,40%, como se muestra en la siguiente gráfica:

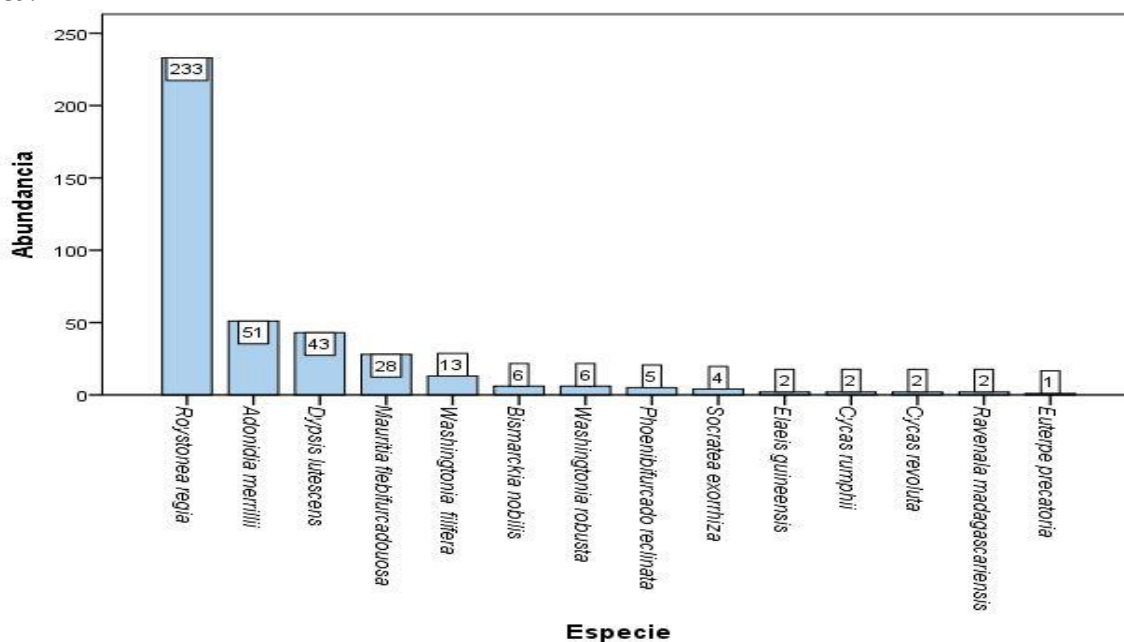


Figura 5. Abundancia de especies en palmas en la zona de estudio. Por Cortes & Matias, 2019.

Es importante resaltar que de los 399 individuos de palmas solo el 8,3% corresponde a individuos nativos. Por lo tanto, se debe considerar el incremento de estas principalmente el de aquellas que proporcionan alimento a la fauna presente en la zona de estudio, como es el caso de la palma Moriche que ocupa un lugar importante en la alimentación de la fauna (Trujillo, Torres, & Santana, 2011), además es importante considerar el no uso de especies forestales como la palma africana ya que estas atraen plagas (chulos y ratas) generando riesgos en la salud pública (Prieto & Garzón, 2007)

En la siguiente gráfica se identifican las especies de árboles según su abundancia, en donde se hace clara una dominancia por parte de la especie *Ficus benjamina* con un porcentaje de 32,10%:

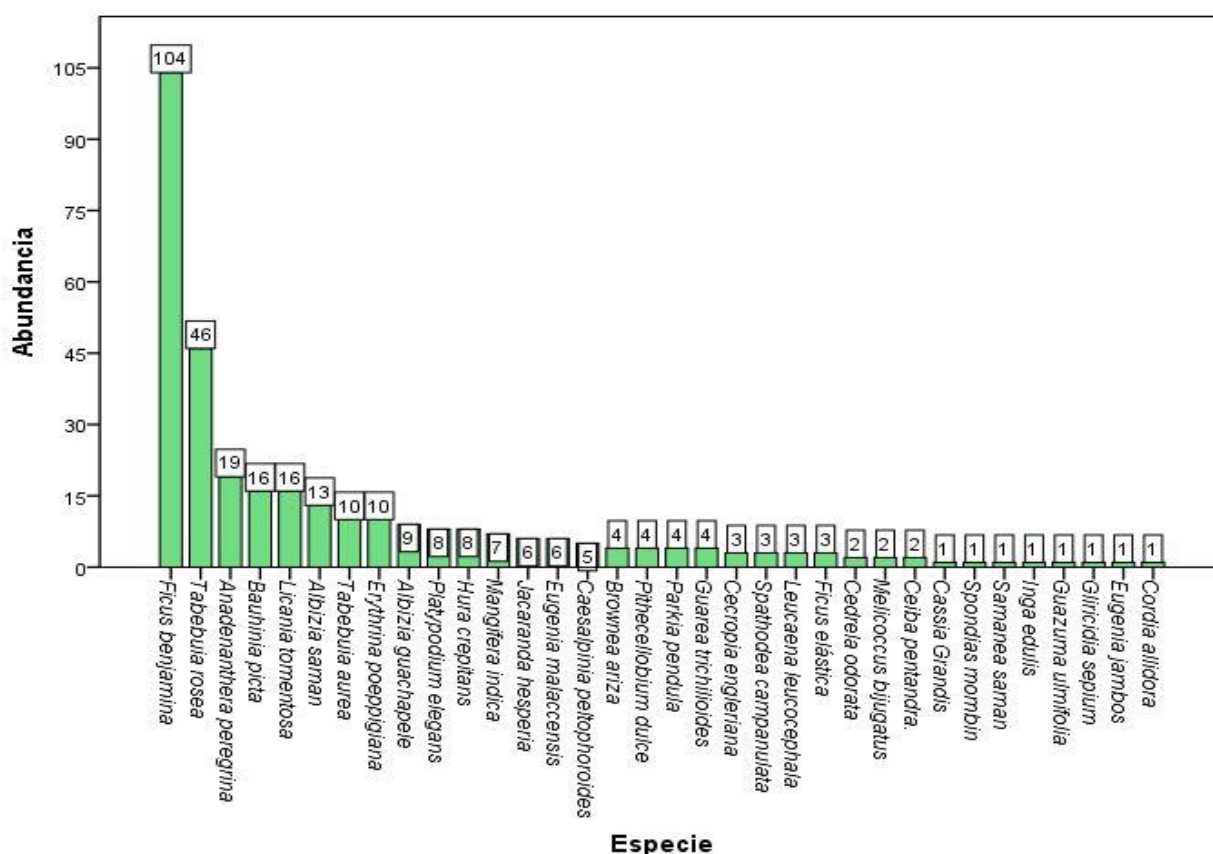


Figura 6. Abundancia de especies en árboles. Por Cortes & Matias, 2019.

La especie *Ficus benjamina*, a nivel mundial ha sido reportado como una especie que genera daños a la infraestructura urbana, según estudios de la Alcaldía de Villavicencio, se han presentado 3478 afectaciones severas a la red de acueducto y alcantarillado, 963 al servicio de energía y 1072 a las redes telefónicas, según estos mismos informes en la ciudad se han plantado 3722 individuos. Otra especie que ha reportado daños es el pomarroso brasilero *Syzygium malaccensis*, aunque en

la zona de estudio posee poca abundancia, en el municipio han generado 15 afectaciones severas al acueducto y el alcantarillado, 299 al alumbrado público, 2540 a las redes de energía y 2955 a las redes telefónicas (Prieto & Garzón, 2007). Así mismo, la segunda especie más representativa la *Tabebuia rosea* (14,20%), según el artículo “Árboles para Villavicencio” es una especie recomendada para la plantación en espacios urbanos (Prieto & Garzón, 2007).

Como resultado de las mediciones realizadas del arbolado en la zona de estudio, se determinaron los promedios de cada variable medida y calculada por especie, como se identifica en la Tabla 5.

Tabla 5. Caracterización dasométricas promedio por especie

Nombre común	Nombre científico	Prom CAP ¹ (cm)	Prom DAP ² (cm)	Prom Altura (cm)	Prom Condición copa (%)
Palma Botella	<i>Roystonea regia</i>	130,08	41,37	11,38	97,7
Ficus	<i>Ficus benamina</i>	338,24	107,55	15,4	91,4
Palma Manila	<i>Adonidia merrillii</i>	71,96	20,13	5,6	91,7
Apamate	<i>Tabebuia rosea</i>	132,39	42,74	11,56	77,7
Palma Areca	<i>Dypsis lutescens</i>	37,21	33,88	7,1	90,5
Palma Moriche	<i>Mauritia flexuosa</i>	109,53	34,86	8,83	83
Yopo	<i>Anadenanthera peregrina</i>	165	40,41	11,57	94,6
Oiti	<i>Licania tomentosa</i>	140,62	37,28	7,71	95,4
Patevaca	<i>Bauhinia picta</i>	166,25	43,75	9,58	78,9
Palma Abanico	<i>Washingtonia filifera</i>	83,3	26,52	7,8	93
Samán	<i>Albizia saman</i>	123,46	39,30	9,63	95,1
Cámbulo	<i>Erythrina poeppigiana</i>	187,8	55,52	11,06	79,8
Ocobo Enano	<i>Tabebuia aurea</i>	104,4	33,23	5,84	91,8
Igua	<i>Albizia guachapele</i>	188,22	58,00	14,71	90,1
Acuapar	<i>Hura crepitans</i>	171,38	52,19	7,88	73
Lomo de Caiman	<i>Platypodium elegans</i>	97	27,45	12,48	93,9
Mango	<i>Mangifera indica</i>	181,71	38,46	7,11	96,7
Gualanday	<i>Jacaranda hesperia</i>	150,67	44,11	12,13	88,8
Palma Bismarckia	<i>Bismarckia nobilis</i>	156	45,49	10,83	94,7
Palma Washingtonia	<i>Washingtonia robusta</i>	92,33	29,39	11,33	96,3
Pomarroso brasileiro	<i>Eugenia malaccensis</i>	105,83	33,69	9,63	95,5
Acacia Amarilla	<i>Caesalpinia peltophoroides</i>	135,8	36,12	9	92,2
Palma fenibifurcado	<i>Phoenibifurcado reclinata</i>	49,6	15,79	3,7	93
Dormidero	<i>Parkia pendula</i>	271,75	78,69	15,98	91,5
Palma Zancona	<i>Socratea exorrhiza</i>	52,25	16,63	9,13	93,3
Palocruz	<i>Brownea ariza</i>	152	25,38	5,25	96

Tabla 5. (Continuación)

Payandé	<i>Pithecellobium dulce</i>	184,25	56,08	12,35	83,3
Trompillo	<i>Guarea trichilioides</i>	98	27,41	9,65	90,8
Caucho	<i>Ficus elástica</i>	69,67	22,18	8,4	90,3
Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i>	186,3	48,62	14,27	96,3
Tulipán africano	<i>Spathodea campanulata</i>	107	31,09	8,53	96,3
Yarumo	<i>Cecropia engleriana</i>	97,33	20,93	10,13	99
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	184	58,57	19,2	77
Ceiba	<i>Ceiba pentandra.</i>	224,5	71,46	16,6	86
Mamoncillo	<i>Melicoccus bijugatus</i>	192	48,13	12,6	97
Palma Africana	<i>Elaeis guineensis</i>	325	50,40	7,6	92
Palma del Viajero	<i>Ravenala madagascariensis</i>	125,4	47,98	11,10	95
Palma Fúnebre	<i>Cycas revoluta</i>	216	55,52	6	100
Palma Sagú	<i>Cycas rumphii</i>	55	17,51	3	81,5
Campano	<i>Samanea saman</i>	96	25,90	6,8	95
Cañafístula	<i>Cassia Grandis</i>	203	64,61	9,6	90
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	93	26,60	9,2	90
Guamo Rabo de Mico	<i>Inga edulis</i>	116	27,76	7	80
Jobo	<i>Spondias mombin</i>	277	88,17	16	55
Mataratón	<i>Gliricidia sepium</i>	67	21,32	4,6	60
Moho	<i>Cordia allidora</i>	98	31,19	16	85
Palma Manaca	<i>Euterpe precatoria</i>	383	35,34	7,4	95
Pomarroso de castilla	<i>Syzygium jambos</i>	168	37,94	6,80	90

Nota: Variables dasométricas promedio por especie, ¹ CAP= Circunferencia a la altura del pecho, ² DAP= Diámetro a la altura del pecho. Por Cortes & Matías, 2019.

Las especies que presentan el promedio de DAP más alto son la *Ficus benjamina*, *Spondias mombin* y *Parkia pendula*, el diámetro promedio de todo el arbolado es de 48,18 cm, en cuanto la altura las especies con el promedio más alto fueron *Cedrela odorata*, *Ceiba pentandra* y *Spondias mombin*. La altura promedio de todo el arbolado fue de 10,71 m. Según un estudio realizado por E. Velasco et al 2013, los árboles grandes no deben ser reemplazados por árboles jóvenes o palmas ya que existe una gran diferencia en las tasas de asimilación de CO₂, esto se debe a la diferencia entre el volumen del tallo y el follaje, así mismo en el estudio resaltan que 23 árboles pequeños son necesarios para reemplazar el potencial de fijación de CO₂ de un árbol grande, del mismo modo que 18 palmas son necesarias para suplir la misma cantidad de CO₂ (Velasco, y otros, 2013). El 70,8% de las especies se encuentran en un buen estado según la salud de su copa.

En las siguientes imágenes se identifica el proceso de obtención de las variables dasométricas.



Figura 7. Toma de variables dasométricas.

- Determinación de la densidad básica de la madera por especie

La determinación de la densidad básica de la madera por especie, se llevó a cabo haciendo una toma de muestras por medio de un barreno de incremento como se observa en la figura 8. Después, de extraer las muestras se taparon los huecos con una mezcla de aserrín y colbón de madera, para evitar la entrada de insectos u hongos y facilitar la cicatrización de la herida



Figura 8. Extracción de un tarugo de madera haciendo uso del barreno de incremento.

Posteriormente se hizo uso del método de volumen verde por unidad de peso seco, a continuación, se identifican algunas imágenes del proceso en el laboratorio:



Figura 9. Proceso de obtención de la densidad básica de la madera.

Como resultado en la Tabla 6 se compara los datos obtenidos en el laboratorio con los datos teóricos de diferentes fuentes:

Tabla 6. Comparación de las densidades básicas de la madera

Especie	Densidad básica de la madera (gr/cm ³)				Promedio	Varianza	Desviación estándar
	Base de datos ICRAF	Catálogo virtual de flora Valle de Aburrá	Informes del IPCC	Experimental			
<i>Ficus benjamina</i>	0,4993	0,46	0,65	0,612	0,53643	0,00190	0,04363
<i>Tabebuia rosea</i>	0,534	0,54	0,54	0,541	0,53800	0,0000	0,00173
<i>Anadenanthera peregrina</i>	0,8833	—	0,86	0,612	0,87165	0,03371	0,18360
<i>Licania tomentosa</i>	0,98	0,98	0,88	0,6	0,94667	0,04006	0,20015
<i>Bauhinia picta</i>	1,055	—	0,67	0,603	0,86250	0,03367	0,18349
<i>Albizia saman</i>	0,5238	0,49	0,46	0,483	0,49127	0,00002	0,00477
<i>Erythrina poeppigiana</i>	0,2867	0,3	0,23	0,26	0,27223	0,00005	0,00706
<i>Tabebuia aurea</i>	0,76	—	—	0,503	0,76000	0,06605	0,25700
<i>Albizia guachapele</i>	0,5496	0,56	0,52	0,453	0,54320	0,00271	0,05208
<i>Hura crepitans</i>	0,365	0,41	0,36	0,559	0,37833	0,01088	0,10431
<i>Platypodium elegans</i>	0,8058	0,8	—	0,489	0,80290	0,04927	0,22196
<i>Mangifera indica</i>	0,5977	0,55	0,55	0,523	0,56590	0,00061	0,02477
<i>Jacaranda hesperia</i>	0,4671	0,49	0,33	0,482	0,42903	0,00094	0,03058
<i>Eugenia malaccensis</i>	0,712	0,7	0,69	0,407	0,70067	0,02875	0,16955
<i>Caesalpinia peltophoroides</i>	0,9507	0,89	1,05	0,721	0,96357	0,01961	0,14005
<i>Parkia pendula</i>	—	0,57	0,55	0,628	0,56000	0,00231	0,04808

Tabla 6. Continuación

<i>Brownea ariza</i>	1,21	—	—	0,726	1,21000	0,11713	0,34224
<i>Pithecellobium dulce</i>	0,6658	0,64	0,56	0,521	0,62193	0,00340	0,05827
<i>Guarea trichilioides</i>	0,5842	0,56	0,68	0,414	0,60807	0,01255	0,11204
<i>Ficus elástica</i>	0,4547	0,62	—	0,539	0,53735	0,00000	0,00117
<i>Leucaena leucocephala</i>	0,6411	0,45	0,64	0,432	0,57703	0,00701	0,08374
<i>Spathodea campanulata</i>	0,3303	0,35	0,25	0,317	0,31010	0,00002	0,00398
<i>Cecropia engleriana</i>	0,49	0,33	0,36	0,435	0,39333	0,00058	0,02406
<i>Cedrela odorata</i>	0,4754	0,6	0,42	0,413	0,49847	0,00243	0,04934
<i>Ceiba pentandra</i>	0,3032	0,26	0,28	0,249	0,28107	0,00034	0,01851
<i>Melicoccus bijugatus</i>	0,98	—	—	0,654	0,98000	0,10628	0,32600
<i>Samanea saman</i>	0,5838	0,49	0,52	0,6	0,53127	0,00157	0,03968
<i>Cassia Grandis</i>	—	—	0,69	0,63	0,69000	0,00360	0,06000
<i>Guazuma ulmifolia</i>	0,5273	0,51	0,52	0,645	0,51910	0,00528	0,07269
<i>Inga edulis</i>	0,5745	—	0,51	0,778	0,54225	0,02779	0,16670
<i>Spondias mombin</i>	0,3917	—	0,35	0,382	0,37085	0,00006	0,00788
<i>Gliricidia sepium</i>	0,6843	0,62	—	0,602	0,65215	0,00126	0,03546
<i>Cordia allidora</i>	0,5437	—	0,48	0,554	0,51185	0,00089	0,02980
<i>Eugenia jambos</i>	0,7	0,7	0,69	0,526	0,69667	0,00971	0,09853

Nota: Comparación de las densidades básicas por especie obtenidas en el laboratorio con las diferentes bases de datos. Por Cortes & Matias, 2019.

Las densidades básicas que presentaron una mayor desviación estándar son de las especies *Brownea ariza*, *Melicoccus bijugatus*, *Tabebuia aurea* y *Senegalia polyphylla*, con un valor $\geq$ a 0,2 siendo estos valores los que presentan una mayor dispersión frente a la media de las densidades teóricas por especie. Así mismo, las densidades que presentaron una menor desviación estándar fueron *Ficus elástica*, *Tabebuia rosea*, *Spathodea campanulata* y *Albizia saman* con un valor $\leq$ a 0,004. Esta variable tiene una importancia fundamental en los estudios para dar una estimación confiable del contenido de carbono que puede llegar a almacenar un individuo forestal ya que, en general, existe una gran variabilidad de las densidades básicas de la madera entre familias, géneros, especies, individuos de una misma especie e incluso dentro de un mismo individuo (Álvarez, Benítez, Velásquez, & Cogollo, 2013), esto dependiendo de diversos factores como los factores ambientales, condiciones del rodal, manejo, edad, incluso las propiedades físicas y químicas del suelo (Vázquez, Zamora, García, & Ramírez, 2015). Razón por la cual se incluyó dentro del

presente estudio, ya que no existen datos de densidad básica por especie que considere las condiciones meteorológicas y ambientales del municipio de Villavicencio

En la siguiente grafica se evidencia la distribución de las densidades básicas de la madera por especie, con sus respectivos valores teóricos y experimentales. En donde se puede identificar que el 76% de las densidades experimentales tienen un rango cercano a los datos teóricos, el 24% restante presenta valores atípicos a las densidades teóricas.

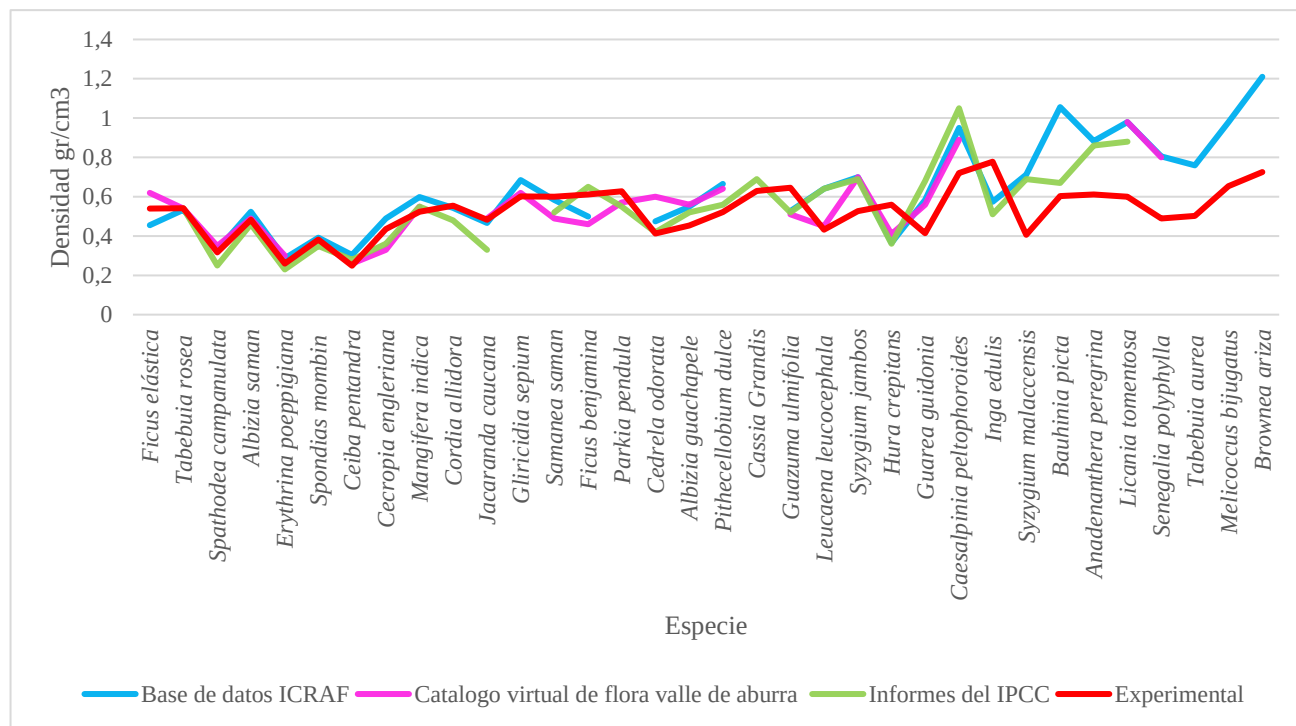


Figura 10. Densidad básica de la madera por especie con los valores teóricos y el valor experimental. Por Cortes & Matias, 2019.

Fase II. Estimación de la fijación de CO₂ y producción de O₂

La estimación de la fijación de CO₂ se llevó a cabo mediante tres tratamientos (ecuaciones alométricas haciendo uso de densidades teóricas y experimentales, y el software i-Tree ECO), esto con el objetivo de dar un promedio de la fijación haciendo uso de las herramientas disponibles y determinar si el software puede ser implementado para las condiciones de la ciudad de Villavicencio, considerando que es una herramienta creada en Estados Unidos. El software i-Tree ECO funcionaba haciendo uso de las variables dasométricas comunes como el DAP, altura total y especie, pero para que realizara una estimación 75% más real, era necesario ingresar datos de salud

de la copa y exposición solar, en cuanto a las especies este ofrecía una gran variedad, en algunos casos donde no existía la especie fue necesario hacer uso del género o en su defecto la familia (este último se hizo uso solo para la especie *Mauritia flexuosa* palma moriche). Como resultado de las estimaciones realizadas bajo los tres tratamientos se obtuvo la Tabla 7 en donde se identifica la fijación total de CO₂ bajo los tres tratamientos por especie de árboles, organizados de mayor a menor fijación, donde T1 es ecuación alométrica con densidad teórica, T2 es ecuación alométrica con densidad experimental, y T3 es el software i-Tree ECO.

Tabla 7. Fijación de CO₂ por especie bajo los tres tratamientos

Especie	Fijación total, kg CO ₂ eq T1	Especie	Fijación total, kg CO ₂ eq T2	Especie	Fijación total, kg CO ₂ eq T3
<i>Ficus Benjamina</i>	922111,1	<i>Ficus Benjamina</i>	950823,3	<i>Ficus Benjamina</i>	1614550
<i>Tabebuia rosea</i>	62952,6	<i>Tabebuia rosea</i>	64169,5	<i>Tabebuia rosea</i>	96621,5
<i>Bauhinia picta</i>	39429,6	<i>Parkia pendula</i>	28108,3	<i>Erythrina Poeppigiana</i>	45696,2
<i>Anadenanthera peregrina</i>	38810,9	<i>Anadenanthera peregrina</i>	27569,8	<i>Albizia guachapele</i>	37660,4
<i>Albizia guachapele</i>	28764,9	<i>Albizia guachapele</i>	24022,7	<i>Bauhinia picta</i>	36833,22
<i>Parkia pendula</i>	23710,2	<i>Bauhinia picta</i>	23410,3	<i>Parkia pendula</i>	34787,5
<i>Licania tomentosa</i>	19753,05	<i>Hura crepitans</i>	14568,2	<i>Hura crepitans</i>	32883,5
<i>Erythrina Poeppigiana</i>	14960,1	<i>Erythrina Poeppigiana</i>	13688,5	<i>Anadenanthera peregrina</i>	30793,8
<i>Pithecellobium dulce</i>	12412,7	<i>Licania tomentosa</i>	12503,9	<i>Licania tomentosa</i>	24604,4
<i>Albizia saman</i>	12338,46	<i>Albizia saman</i>	11440,3	<i>Albizia saman</i>	19939,4
<i>Hura crepitans</i>	9792,1	<i>Pithecellobium dulce</i>	9876,5	<i>Pithecellobium dulce</i>	15198,2
<i>Platypodium elegans</i>	7444,5	<i>Jacaranda hesperia</i>	9070,6	<i>Jacaranda hesperia</i>	13863,4
<i>Tabebuia aurea</i>	7110,06	<i>Platypodium elegans</i>	5985,3	<i>Tabebuia aurea</i>	13561,7
<i>Caesalpinia peltophoroides</i>	7041,9	<i>Caesalpinia peltophoroides</i>	5787,08	<i>Ceiba pentandra</i>	12391,02
<i>Jacaranda hesperia</i>	6731,4	<i>Cedrela odorata</i>	5500,1	<i>Eugenia malaccensis</i>	11899,9
<i>Cedrela odorata</i>	6265,9	<i>Leucaena leucocephala</i>	5267,7	<i>Mangifera indica</i>	11258,4
<i>Mangifera indica</i>	5698,1	<i>Mangifera indica</i>	5031,5	<i>Leucaena leucocephala</i>	9321,8
<i>Leucaena leucocephala</i>	5472,004	<i>Tabebuia aurea</i>	4839,6	<i>Spondias mombin</i>	9188,5
<i>Ceiba pentandra</i>	5205,4	<i>Spondias mombin</i>	4562,3	<i>Cedrela odorata</i>	8056,7
<i>Spondias mombin</i>	4670,2	<i>Ceiba pentandra</i>	4332,5	<i>Platypodium elegans</i>	7430,2
<i>Eugenia malaccensis</i>	4263,4	<i>Eugenia malaccensis</i>	3158,7	<i>Caesalpinia peltophoroides</i>	6917,5
<i>Cassia Grandis</i>	2829,4	<i>Cassia Grandis</i>	2531,1	<i>Cassia Grandis</i>	4226,7
<i>Brownea ariza</i>	2035,2	<i>Guarea trichilioides</i>	1448,9	<i>Guarea trichilioides</i>	3037,2
<i>Guarea trichilioides</i>	1791,8	<i>Brownea ariza</i>	1264,3	<i>Spathodea campanulata</i>	2482,3

Tabla 7. Continuación

<i>Ficus elástica</i>	1051,6	<i>Ficus elástica</i>	941,2	<i>Brownea ariza</i>	1928,5
<i>Spathodea campanulata</i>	961,8	<i>Cordia allidora</i>	930,07	<i>Ficus elástica</i>	1188,7
<i>Cordia allidora</i>	853,8	<i>Spathodea campanulata</i>	925,7	<i>Eugenia jambos</i>	1175,8
<i>Melicoccus bijugatus</i>	754,7	<i>Melicoccus bijugatus</i>	680,8	<i>Cecropia engleriana</i>	1058,7
<i>Eugenia jambos</i>	750,6	<i>Cecropia engleriana</i>	655,4	<i>Melicoccus bijugatus</i>	973,2
<i>Cecropia engleriana</i>	732,3	<i>Guazuma ulmifolia</i>	580,3	<i>Cordia allidora</i>	769,9
<i>Guazuma ulmifolia</i>	479,2	<i>Eugenia jambos</i>	575,1	<i>Inga edulis</i>	705,3
<i>Inga edulis</i>	358,4	<i>Inga edulis</i>	475,5	<i>Guazuma ulmifolia</i>	672,3
<i>Samanea saman</i>	281,3	<i>Samanea saman</i>	319,2	<i>Samanea saman</i>	487,7
<i>Gliricidia sepium</i>	174,4	<i>Gliricidia sepium</i>	154,7	<i>Gliricidia sepium</i>	353,4
Total	1274829,92		1245200,25		2148192,21

Nota: Fijación de CO₂ por especie de árboles bajo los tres tratamientos. Se identifica la fijación total de todas las especies por tratamiento en la zona de estudio. Por Cortes & Matias, 2019.

En la siguiente tabla se identifica la fijación de CO₂ total por especie de palmas, bajo los dos tratamientos en donde T1 es ecuación alométrica para palmas y T3 es software i-Tree ECO organizado de la mayor fijación a la menor.

Tabla 8. Fijación de CO₂ por especie de palmas bajo los dos tratamientos

Especie	Fijación total, kg CO ₂ eq T1	Especie	Fijación total, kg CO ₂ eq T3
<i>Roystonea regia</i>	11963,8	<i>Roystonea regia</i>	27803,5
<i>Dypsis lutescens</i>	1246,4	<i>Dypsis lutescens</i>	2002,3
<i>Adonidia merrillii</i>	1108,9	<i>Mauritia flexuosa</i>	1745,8
<i>Mauritia flebifurcadouosa</i>	1051,9	<i>Adonidia merrillii</i>	1256,9
<i>Washingtonia filifera</i>	419,2	<i>Washingtonia robusta</i>	621,3
<i>Washingtonia robusta</i>	304,19	<i>Bismarckia nobilis</i>	570,6
<i>Bismarckia nobilis</i>	287,7	<i>Washingtonia filifera</i>	544,2
<i>Socratea exorrhiza</i>	156,09	<i>Cycas rumphii</i>	407,003
<i>Ravenala madagascariensis</i>	98,7	<i>Socratea exorrhiza</i>	221,6
<i>Phoenibifurcado reclinata</i>	64,7	<i>Ravenala madagascariensis</i>	198,5
<i>Elaeis guineensis</i>	63,04	<i>Elaeis guineensis</i>	110,1
<i>Euterpe precatoria</i>	30,1	<i>Cycas revoluta</i>	91,3
<i>Cycas rumphii</i>	20,24	<i>Phoenibifurcado reclinata</i>	51,7
<i>Cycas revoluta</i>	20,06	<i>Euterpe precatoria</i>	48
Total	16835,37	Total	35673,42

Nota: Fijación de CO₂ por especie de palas bajo los dos tratamientos. Se identifica la fijación total de todos los individuos por tratamiento. Por Cortes & Matias, 2019.

En la tabla 7 se puede identificar que bajo los tres tratamientos implementados la especie que realiza la mayor fijación de CO₂ total es la *Ficus benjamina* con una representatividad de 73,3%, 76,4% y 76,5% respectivamente, seguida de la especie *Tabebuia rosea* con una representatividad de 5,01%, 5,16% y 4,58%, posterior a esta se observa que cada tratamiento empleado tiene discrepancias en cuanto a las especies que realizan una mayor fijación, no obstante existe diferencias significativas entre el total de fijación del tratamiento 3 (software i-Tree ECO) y los tratamientos 1 y 2 (ecuaciones alométricas), una de las posibles causas de esta diferencia se debe a que el software incluye variables más específicas de la condición actual de cada individuo (estado de la copa, exposición solar y uso del suelo), la ecuación por el contrario considera como variables independientes únicamente altura total, DAP y densidad de la madera, aunque esta última proporciona una identificación específica para cada especie, y está además fue realizada para las condiciones de Colombia. En cuanto a la Tabla 8 se puede identificar que existe un comportamiento similar a los árboles, la fijación total de los individuos de palmas es mayor en el tratamiento 3, es importante aclarar que la ecuación alométrica escogida solo considera como variable independiente la altura total, por lo que no existe una variable que represente cada especie, por el contrario, el software considera la especie y las variables mencionadas anteriormente, a partir de esto se puede inferir que el tratamiento 3 arroja un dato más preciso de fijación de CO₂ en este caso.

- Análisis de varianza (ANOVA)

Se realizó un análisis de varianza para determinar si existe una variabilidad significativa entre los tres tratamientos implementados para los árboles, en Tabla 9 se presentan los resultados. El valor de α es 0,05, la hipótesis nula (H_0) indica que las medias de K poblaciones son iguales y la hipótesis alternativa (H_1) indica que por lo menos una de las poblaciones difiere de las demás.

Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) para los tres tratamientos empleados

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados (SS)	Cuadrados medios (MS)	f	F 0.05; 2;969	p-value
Tratamientos	2	1520849638	760424819,2	22,585	3,00501291	2,58895E-10
error	969	32625417026,358	33669161,02			
Total	971	34146266664,830				

Nota: Análisis de varianza para los tres tratamientos empleados en los árboles identificándose el valor de p. Por Cortes & Matias, 2019.

Se observa que el valor de p (0,000000000258) es menor al $\alpha = 0,05$, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, indicando que existen diferencias significativas entre los tratamientos de fijación de CO₂ para los árboles. Posteriormente se realiza la prueba de Tukey, para determinar cuáles tratamientos presentan mayores similitudes y cuáles mayores diferencias, se realizó esta prueba por especie, ya que cada una de estas presenta una fijación diferente según sus características. Se hizo uso del complemento de Excel Real Statistics (Realstast). En la Tabla 10 se identifican las especies junto con los tratamientos escogidos (ver anexo A en donde se muestra con detalle la prueba de Tukey). En cuanto a las palmas al tener solo dos tratamientos, se realizó un promedio con estos para determinar la fijación de CO₂ no obstante, se llevó a cabo la prueba ANOVA para observar la diferencia existente, las especies que presentaron la mayor variabilidad fueron *Roystonea regia* ($p = 1,88E^{-13}$), *Mauritia flexuosa* ($p = 1,27E^{-6}$) y *Bismarckia nobilis* ($p = 0,0006928$), la especie que presentó menor diferencia entre tratamientos fue *Cycas rumphii* ($p = 0,6509$) (ver anexo B en donde se identifica con detalle el ANOVA para las palmas).

Tabla 10. Tratamientos escogidos por especies de árboles

Especie	Tratamientos escogidos	Especie	Tratamientos escogidos	Especie	Tratamientos escogidos
<i>Anadenanthera peregrina</i>	T2-T3	<i>Caesalpinia peltophoroides</i>	T1 -T3	<i>Hura crepitans</i>	T1-T2
<i>Tabebuia rosea</i>	T1-T2	<i>Ficus elastica</i>	T1-T3	<i>Ceiba pentandra</i>	T1-T2
<i>Erythrina poeppigiana</i>	T1-T2	<i>Cedrela odorata</i>	T1-T2	<i>Parkia pendula</i>	T1-T2
<i>Ficus benjamina</i>	T1-T2	<i>Jacaranda hesperia</i>	T1-T2	<i>Albizia guachapele</i>	T1-T2
<i>Leucaena leucocephala</i>	T1-T2	<i>Platypodium elegans</i>	T1-T3	<i>Melicoccus bijugatus</i>	T1-T2
<i>Mangifera indica</i>	T1-T2	<i>Tabebuia aurea</i>	T1-T2	<i>Licania tomentosa</i>	T1-T3
<i>Brownea ariza</i>	T1-T3	<i>Bauhinia picta</i>	T1-T3	<i>Pithecellobium dulce</i>	T1-T2
<i>Eugenia malaccensis</i>	T1-T2	<i>Albizia saman</i>	T1-T2	<i>Guarea trichilioides</i>	T1-T2
<i>Cecropia engleriana</i>	T1-T2	<i>Spathodea campanulata</i>	T1-T2	Otras especies	T1-T2

Nota: Tratamientos escogidos para las especies de árboles, T1= ecuación alométrica con densidad teórica, T2= ecuación alométrica con densidad experimental y T3= software i-Tree ECO. Por Cortes & Matias.

Para aquellas especies que tenían un solo individuo se realizó la prueba de Tukey en conjunto, ya que es necesario tener dos o más datos por tratamiento para llevarla a cabo.

- Fijación de CO₂ total de los individuos en la zona de estudio

Los individuos forestales del parque los Fundadores y la Alameda de la Av. 40 poseen un almacenamiento de carbono de 349,22 ton, una fijación de CO₂ total de 1281,67 ton, una fijación anual de 71,20 ton considerando una edad de 18 años y fijación de 122,43 ton/hectárea. En la siguiente tabla se especifica los resultados por especie

Tabla 11. Fijación de CO₂ realizada por los individuos forestales de la zona de estudio

Especie	Numero individuos	Biomasa (kg)	Carbono (kg)	CO ₂ eq (kg)	CO ₂ eq (ton)	Fijación de CO ₂ anual (kg)
<i>Ficus benjamina</i>	104	510336,37	255168,19	936467,25	936,47	52025,96
<i>Tabebuia rosea</i>	46	34638,20	17319,10	63561,09	63,56	3531,17
<i>Bauhinia picta</i>	16	20780,07	10390,03	38131,43	38,13	2118,41
<i>Anadenanthera peregrina</i>	19	15902,91	7951,45	29181,84	29,18	1621,21
<i>Albizia guachapele</i>	9	14383,57	7191,79	26393,86	26,39	1466,33
<i>Parkia pendula</i>	4	14119,50	7059,75	25909,29	25,91	1439,40
<i>Roystonea regia</i>	233	10835,80	5417,90	19883,69	19,88	1104,65
<i>Licania tomentosa</i>	16	8789,39	4394,69	16128,52	16,13	896,03
<i>Erythrina poeppigiana</i>	10	7806,19	3903,09	14324,35	14,32	795,80
<i>Hura crepitans</i>	8	6637,70	3318,85	12180,17	12,18	676,68
<i>Albizia saman</i>	13	6479,23	3239,61	11889,38	11,89	660,52
<i>Pithecellobium dulce</i>	4	6073,36	3036,68	11144,62	11,14	619,15
<i>Jacaranda hesperia</i>	6	4305,77	2152,88	7901,08	7,90	438,95
<i>Platypodium elegans</i>	8	4053,07	2026,54	7437,39	7,44	413,19
<i>Caesalpinia peltophoroides</i>	5	3803,70	1901,85	6979,79	6,98	387,77
<i>Tabebuia aurea</i>	10	3256,06	1628,03	5974,87	5,97	331,94
<i>Cedrela odorata</i>	2	3206,02	1603,01	5883,05	5,88	326,84
<i>Leucaena leucocephala</i>	3	2926,36	1463,18	5369,87	5,37	298,33
<i>Mangifera indica</i>	7	2923,62	1461,81	5364,85	5,36	298,05
<i>Ceiba pentandra</i>	2	2598,91	1299,45	4768,99	4,77	264,94
<i>Spondias mombin</i>	1	2515,69	1257,85	4616,29	4,62	256,46
<i>Eugenia malaccensis</i>	6	2022,39	1011,20	3711,09	3,71	206,17

Tabla 11. (Continuación)

<i>Cassia Grandis</i>	1	1115,82	557,91	2047,53	2,05	113,75
<i>Brownea ariza</i>	4	1080,08	540,04	1981,94	1,98	110,11
<i>Dypsis lutescens</i>	43	885,24	442,62	1624,42	1,62	90,25
<i>Guarea trichilioides</i>	4	883,05	441,52	1620,39	1,62	90,02
<i>Mauritia flexuosa</i>	28	762,32	381,16	1398,86	1,40	77,71
<i>Adonidia merrillii</i>	51	644,67	322,33	1182,97	1,18	65,72
<i>Ficus elastica</i>	3	610,44	305,22	1120,16	1,12	62,23
<i>Spathodea campanulata</i>	3	514,32	257,16	943,77	0,94	52,43
<i>Cordia allidora</i>	1	486,07	243,04	891,94	0,89	49,55
<i>Melicoccus bijugatus</i>	2	391,16	195,58	717,78	0,72	39,88
<i>Cecropia engleriana</i>	3	378,14	189,07	693,89	0,69	38,55
<i>Eugenia jambos</i>	1	361,24	180,62	662,88	0,66	36,83
<i>Euterpe precatoria</i>	1	21,28	10,64	39,05	0,04	2,17
<i>Guazuma ulmifolia</i>	1	288,73	144,37	529,83	0,53	29,43
<i>Washingtonia filifera</i>	13	262,53	131,27	481,75	0,48	26,76
<i>Washingtonia robusta</i>	6	252,19	126,09	462,76	0,46	25,71
<i>Bismarckia nobilis</i>	6	233,90	116,95	429,20	0,43	23,84
<i>Inga edulis</i>	1	227,24	113,62	416,98	0,42	23,17
<i>Samanea saman</i>	1	163,65	81,82	300,29	0,30	16,68
<i>Cycas rumphii</i>	2	116,42	58,21	213,62	0,21	11,87
<i>Socratea exorrhiza</i>	4	102,93	51,47	188,88	0,19	10,49
<i>Gliricidia sepium</i>	1	89,71	44,85	164,61	0,16	9,15
<i>Ravenala madagascariensis</i>	2	81,01	40,51	148,66	0,15	8,26
<i>Elaeis guineensis</i>	2	47,18	23,59	86,57	0,09	4,81
<i>Phoenibifurcado reclinata</i>	5	31,74	15,87	58,24	0,06	3,24
<i>Cycas revoluta</i>	2	30,37	15,18	55,72	0,06	3,10
Total	723	698455,30	349227,65	1281665,48	1281,67	71203,64

Nota: Fijación de CO₂ total por especie con los tratamientos escogidos según el ANOVA y prueba de Tukey. Por Cortes & Matias, 2019.

Se identifica que la especie que realiza la mayor fijación de CO₂ es la *Ficus benjamina* haciendo el 73,03 % de la fijación total de la zona, con 104 individuos, en promedio esta especie es la que mayor fija con 9 ton/individuo, aunque la *Tabebuia rosea* ocupa el segundo puesto en fijación total, su fijación en promedio no es muy alta ocupando el puesto 16 con 1,3 ton/individuo esto se debe a la cantidad de individuos presentes siendo la cuarta especie más abundante, en su lugar se encuentra la *Parkia pendula* que posee 4 individuos y es la sexta especie más representativa en la

fijación total y la segunda en fijación promedio con 6,4 ton/individuo La *Roystonea regia* no posee una fijación representativa considerando que es la especie más abundante en la zona de estudio con 233 individuos, ocupa el séptimo lugar haciendo el 1,5% de la fijación total, pero en promedio realiza una fijación de 85,3 kg/individuo. La especie *Spondias mombin* aunque realiza el 0,3% de la fijación total, esto debido a la cantidad de individuos al poseer solo 1, es la tercera especie que realiza la mayor fijación promedio con 4,6 ton/individuo. En la figura 11 se puede observar las especies que realizan en promedio la mayor fijación de CO₂.

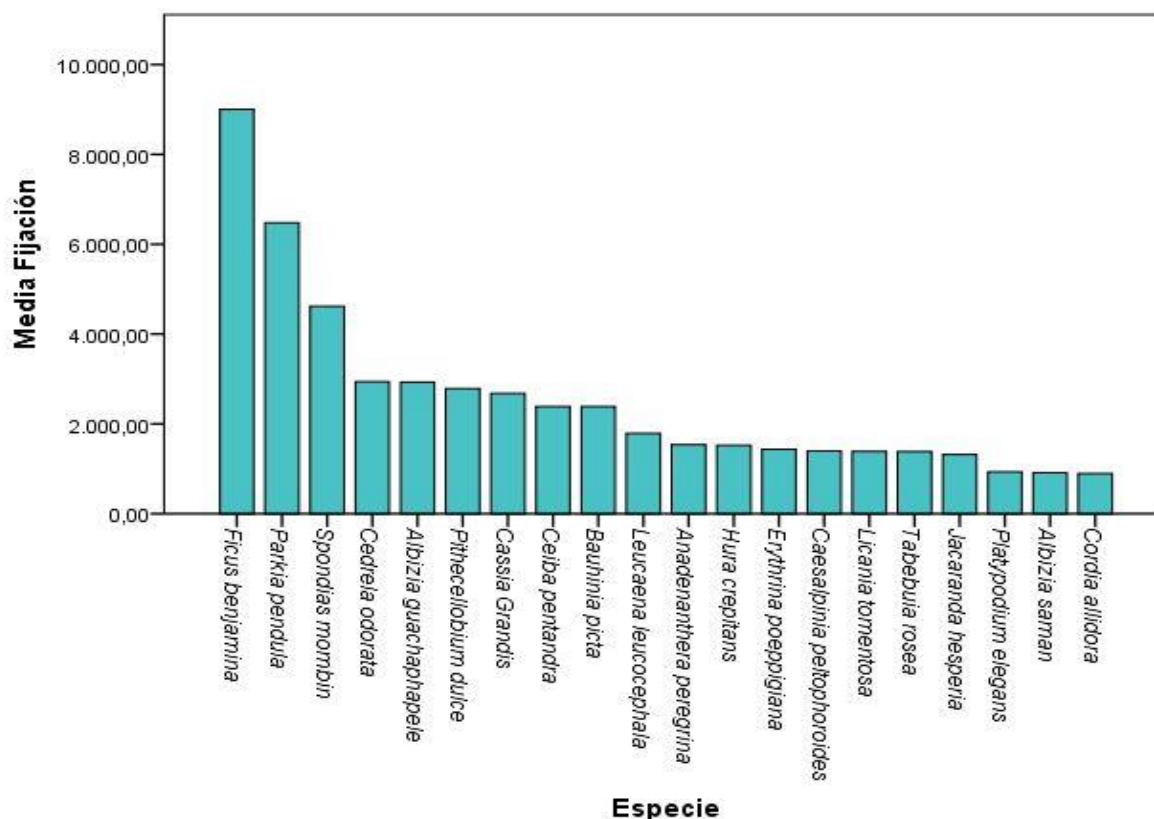


Figura 11. Especies que realizan la mayor fijación de CO₂ en promedio en kg. Por Cortes & Matias, 2019.

El 80% de estas especies son nativas, coinciden al tener unas dimensiones representativas que varían entre 50-107 cm de diámetro a la altura del pecho y entre 9-19 m de altura total, y realizan el 96,06% de la fijación de CO₂ total con 278 individuos (entre estas 20 especies no se encuentra ninguna palma), la fijación restante (3,94%) se realiza por 14 especies de árboles distribuidas en 47 individuos y 14 especies de palmas distribuidas en 398 individuos, por lo que se puede inferir que analizando este servicio ecosistémico las palmas no desempeñan un papel significativo en el control de la contaminación de las ciudades.

- Fijación de CO₂ por clase diamétrica

Se analizó la fijación de CO₂ según su clase diamétrica para observar la influencia que tiene esta variable, se realizó haciendo intervalos de 20 cm iniciando con el DAP más pequeño de la zona de estudio que corresponde a 15 cm, en la siguiente tabla se puede identificar la fijación por clase diamétrica junto con la cantidad de individuos correspondientes.

Tabla 12. Fijación de CO₂ por clase diamétrica

Clase diamétrica	# individuos	Fijación CO ₂ eq kg	
		Total	Promedio
15-35	302	66972,3	221,8
35-55	255	126459,8	495,9
55-75	56	95816,7	1711
75-95	33	160898,6	4875,7
95-115	39	316894	8125,5
>115	38	514595,6	13541,99

Nota: Fijación de CO₂ total y promedio por clase diamétrica indicando el número de individuos. Por Cortes & Matias, 2019.

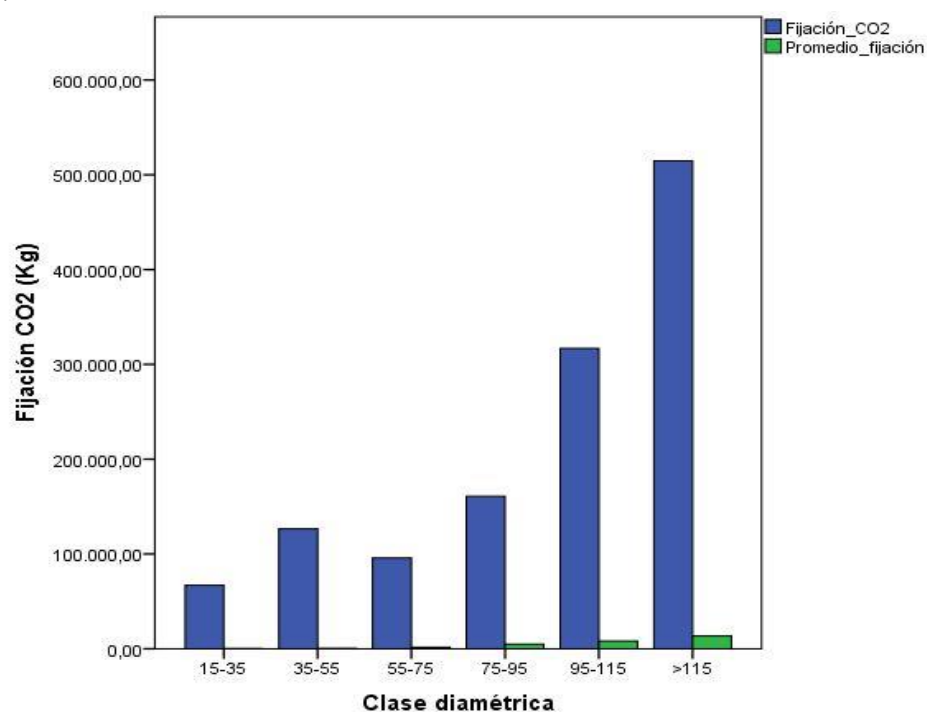


Figura 12. Fijación de CO₂ por clase diamétrica. Por Cortes & Matias, 2019.

Se puede identificar que la clase diamétrica que concentra el mayor número de individuos (302) es la numero 1 (15-35) pero es la que realiza la menor fijación de CO₂ con el 5,2% de la fijación total, por otro lado la clase diamétrica 6 (>115) con tan solo 38 individuos realiza el 40,1% de la fijación total esta clase está conformada en su mayoría por la especie *Ficus benjamina*, igualmente se puede observar que existe una disminución de la fijación total entre la clase diamétrica 2 y 3 estas clases en particular se ven influenciadas directamente por la cantidad de individuos que concentran, ya que las dos presentan una alta abundancia de palmas (71,4% y 37,5% respectivamente), por lo que al existir una disminución de individuos va a existir una disminución de la fijación total, pero esta no es muy representativa considerando que hay una diferencia de 199 individuos, además hay que aclarar que el promedio de la clase diamétrica 3 es un 345,7% más alta con respecto a la clase diamétrica 2, esto debido a que presenta una mayor cantidad de especies de árboles. Se puede inferir que para el caso de las palmas la variable DAP no presenta una mayor significancia en la fijación de CO₂ al considerar la diferencia que existe entre aquellas que se encuentran en la clase diamétrica 2 y 3, caso contrario a los árboles los cuales si presentan diferencias significativas en la fijación cuando el DAP aumenta.

- Producción de O₂

La zona de estudio ha producido en total 920,78 ton de O₂ y anualmente produce 51,73 ton tomando como referencia la edad de 18 años, en la siguiente tabla se identifican los datos por especie.

Tabla 13. Producción de O₂ por especie

Especie	Oxígeno (kg)	Especie	Oxígeno (kg)
<i>Ficus benjamina</i>	680448,51	<i>Dyopsis lutescens</i>	1180,32
<i>Tabebuia rosea</i>	46184,27	<i>Guarea trichilioides</i>	1177,39
<i>Bauhinia picta</i>	27706,75	<i>Mauritia flexuosa</i>	1016,43
<i>Anadenanthera peregrina</i>	21203,87	<i>Adonidia merrillii</i>	859,55
<i>Albizia guachapele</i>	19178,11	<i>Ficus elastica</i>	813,92
<i>Parkia pendula</i>	18826,00	<i>Spathodea campanulata</i>	685,76
<i>Roystonea regia</i>	14447,73	<i>Cordia allidora</i>	648,11
<i>Licania tomentosa</i>	11719,17	<i>Melicoccus bijugatus</i>	521,55
<i>Erythrina poeppigiana</i>	10408,24	<i>Cecropia engleriana</i>	504,19
<i>Hura crepitans</i>	8850,27	<i>Eugenia jambos</i>	481,65
<i>Albizia saman</i>	8638,96	<i>Guazuma ulmifolia</i>	384,99
<i>Pithecellobium dulce</i>	8097,81	<i>Washingtonia filifera</i>	350,05

Tabla 13. Continuación

<i>Jacaranda hesperia</i>	5741,01	<i>Washingtonia robusta</i>	336,24
<i>Platypodium elegans</i>	5404,11	<i>Bismarckia nobilis</i>	311,87
<i>Caesalpinia peltophoroides</i>	5071,60	<i>Inga edulis</i>	302,99
<i>Tabebuia aurea</i>	4341,41	<i>Samanea saman</i>	218,19
<i>Cedrela odorata</i>	4274,69	<i>Cycas rumphii</i>	155,23
<i>Leucaena leucocephala</i>	3901,81	<i>Socratea exorrhiza</i>	137,25
<i>Mangifera indica</i>	3898,16	<i>Gliricidia sepium</i>	119,60
<i>Ceiba pentandra</i>	3465,20	<i>Ravenala madagascariensis</i>	108,03
<i>Spondias mombin</i>	3354,27	<i>Elaeis guineensis</i>	62,91
<i>Eugenia malaccensis</i>	2696,53	<i>Phoenibifurcado reclinata</i>	42,32
<i>Cassia Grandis</i>	1487,76	<i>Cycas revoluta</i>	40,48
<i>Brownea ariza</i>	1440,11	<i>Euterpe precatoria</i>	28,37
Total		920786,35	

Nota: Producción de O₂ en kg por especie. Por Cortes & Matias, 2019.

Al existir una relación directa entre la cantidad de carbono almacenado y la producción de oxígeno, las especies que más fijan CO₂ son las mismas que tienen una mayor producción de O₂, entre estas *Ficus benjamina*, *Parkia pendula*, *Spondias mombin* y *Cedrela odorata*. Aunque la producción de oxígeno no es un servicio ecosistémico muy significativo del arbolado urbano, ya que el volumen total de este en la atmósfera tiene un valor fijo del 21% aproximadamente, su función en realidad es, mediante el proceso fotosintético, liberarlo del CO₂ producto de la descomposición de materia orgánica y de la combustión (Ochoa, 1999). Pasando de la escala planetaria a una local, en las áreas urbanas, los procesos de combustión son tales, que el contenido de CO₂ en el aire llega a niveles altísimos, en cambio, el de O₂ disminuye drásticamente (particularmente en ausencia de viento) (Ochoa, 1999). se ha podido observar que la concentración de O₂ se reduce del 17 - 18 % en las áreas urbanas, un área verde de adecuadas dimensiones puede desempeñar en estos casos, una importante acción reguladora (Ochoa, 1999).

Fase III: Determinación de la capacidad potencial de la zona de estudio

Se analizó la fijación de CO₂ en las 24 secciones de la zona de estudio, a partir de esto se obtuvo el siguiente mapa (figura 13) en donde se clasificó las secciones según su contribución a este servicio ecosistémico. Se logra identificar que la sección que tiene la menor fijación es la 23 esto debido a que presenta solo 4 individuos forestales, igualmente el parque los Fundadores no presenta una fijación muy alta ya que está compuesto principalmente por palmas destacándose la

Roystonea regia, en contraste la mayor fijación se concentra en las secciones comprendidas entre la 11 y la 21 que corresponden a la Alameda de la Av. 40 en esta se presenta la mayor concentración de la especie *Ficus benjamina*.

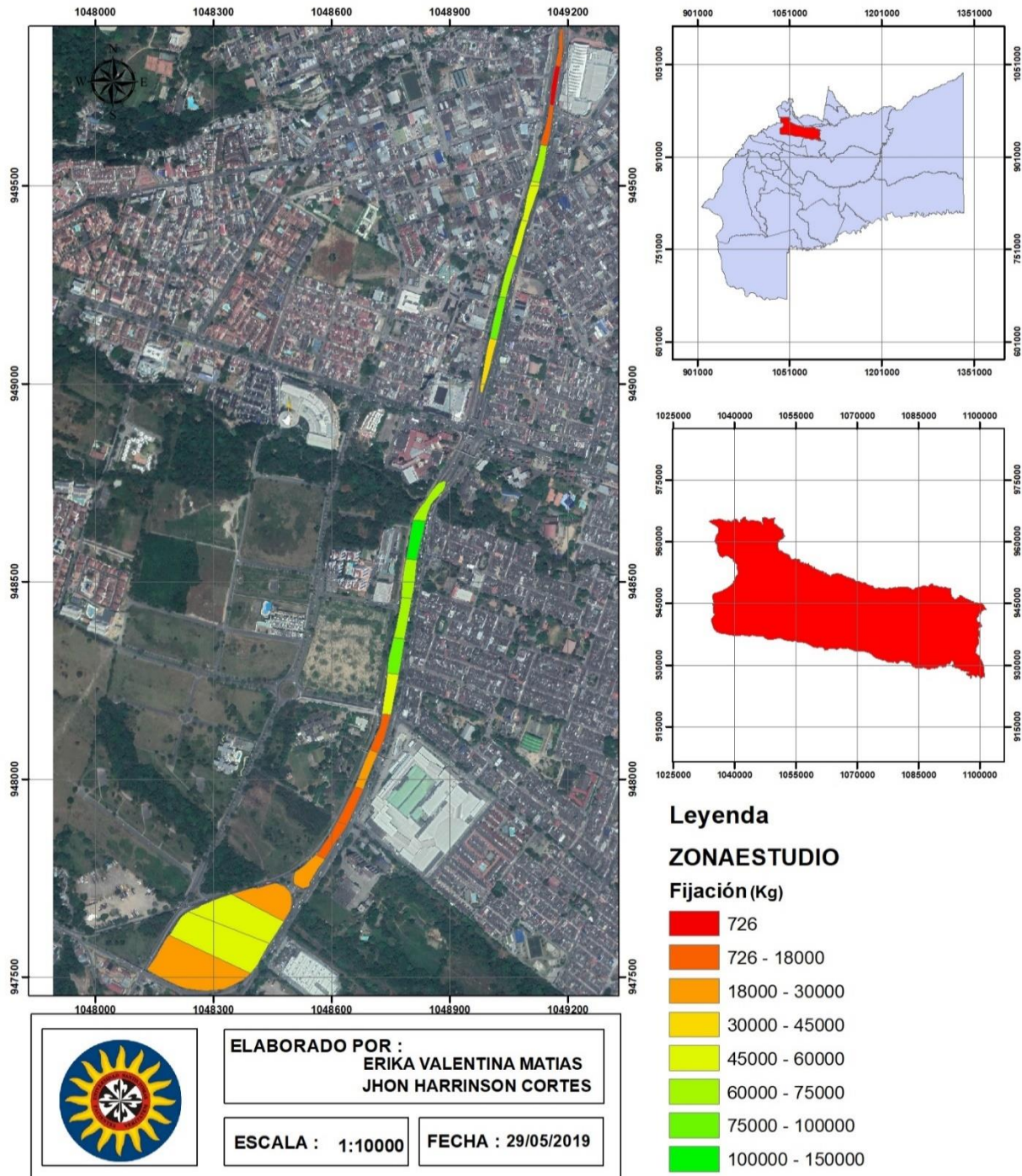


Figura 13. Mapa de la fijación de CO₂ por sección. tomado de Google earth adaptado por (Cortes, H. & Matias E, 2019)

- Especies más representativas por sección

Se determino las especies más abundantes y las que realizan una mayor fijación de CO₂ y producción de O₂ por sección de la zona estudiada, esto con el fin de proyectar estos servicios en un tiempo de 10 años y analizar su capacidad potencial. En la siguiente tabla se identifican las especies seleccionadas por sección:

Tabla 14. Especies más representativas por secciones

Sección	Especie	Abundancia absoluta	Abundancia relativa	CO ₂ fijado (kg)	% fijación en la sección	O ₂ liberado (kg)
1	<i>Roystonea regia</i>	25	59,50%	1881,49	7,88%	1367,12
	<i>Erythrina poeppigiana</i>	4	9,52%	7159,06	29,99%	5201,86
2	<i>Roystonea regia</i>	57	38,00%	4808,85	7,79	3494,16
	<i>Tabebuia rosea</i>	6	4,00%	7685,60	12,45%	5584,45
3	<i>Roystonea regia</i>	89	56,68%	8254,18	14,84%	6070,25
	<i>Tabebuia rosea</i>	9	5,73%	13426,48	24,13%	9755,84
4	<i>Roystonea regia</i>	40	28,37%	3637,09	13,62%	2642,75
	<i>Anadenanthera peregrina</i>	4	2,84%	7566,66	28,33%	5498,03
5	<i>Albizia guachapele</i>	3	27,27%	5256,54	22,47%	3819,47
	<i>Parkia pendula</i>	1	9,09%	12763,18	54,56%	9273,88
6	<i>Roystonea regia</i>	4	36,36%	440,80	2,51%	320,29
	<i>Bauhinia picta</i>	2	18,18%	13088,72	74,57%	9510,42
7	<i>Roystonea regia</i>	11	52,38%	528,28	2,94%	327,08
	<i>Bauhinia picta</i>	4	19,04%	10272,66	57,26%	7464,24
8	<i>Jacaranda hesperia</i>	5	33,33%	6695,82	23,91%	4865,26
	<i>Hura crepitans</i>	3	20%	9026,99	32,24%	6556,12
9	<i>Tabebuia rosea</i>	7	77,78%	8300,72	54,87%	6031,40
10	<i>Ficus benjamina</i>	4	50%	54155,75	85,10%	39350,20
11	<i>Ficus benjamina</i>	9	75%	108192,54	95,02%	78614,01
12	<i>Ficus benjamina</i>	5	83%	79951,58	97,11%	58093,79
13	<i>Ficus benjamina</i>	8	61,54%	73563,42	86,14%	53452,08
14	<i>Ficus benjamina</i>	12	60%	122856,86	85,25%	89269,28
15	<i>Ficus Benjamina</i>	8	80%	73794,60	91,92%	53620,05
16	<i>Ficus Benjamina</i>	3	50%	31965,46	85,05%	23226,49
17	<i>Ficus benjamina</i>	10	50%	99890,35	99,06%	72581,54
18	<i>Ficus benjamina</i>	8	100%	75065,12	100,00%	54543,23
19	<i>Ficus benjamina</i>	10	100%	67120,84	100,00%	48720,82
20	<i>Ficus benjamina</i>	8	80%	52192,66	93,67%	37923,82
21	<i>Ficus benjamina</i>	16	94,12%	84147,87	99,89%	61142,86

Tabla 14. (Continuación)

22	<i>Ficus benjamina</i>	3	50%	13570,14	88,61%	9860,23
23	<i>Mangifera indica</i>	1	25%	303,00	41,73%	219,51
24	<i>Licania tomentosa</i>	9	37,50%	15044,23	83,66%	10931,32

Nota: Especies más representativas por abundancia, fijación de CO₂ y producción de O₂ por secciones. Por Cortes & Matias, 2019.

En las primeras 8 secciones se identifican dos especies, la primera es la más representativa por abundancia y la segunda por fijación de CO₂ y producción de O₂, ya que por tener la característica de ser la especie más abundante no implica necesariamente que sea la que más fija este es el caso de la *Roystonea regia*, *Jacaranda hesperia* y *Albizia guachapele*. Las secciones restantes presentan una especie ya que esta cumple con las dos características.

- Afluencia peatonal

El conteo de la afluencia peatonal se llevó a cabo en cada sección planteada ya que esto permitía tener una buena visibilidad evitando errores en el conteo, se obtuvo que en la zona frecuentan entre semana un aproximado de 8953 personas y los fines de semana de 4234 personas. En la Tabla 15 se identifican los resultados por sección:

Tabla 15. Afluencia peatonal por sección

Sección	Entre semana	Fin de semana	Total semana	Promedio día
1	310	177	487	70
2	308	294	602	86
3	301	250	551	79
4	308	188	496	71
5	165	99	264	38
6	211	82	293	42
7	235	118	353	50
8	210	94	304	43
9	318	135	453	65
10	501	208	709	101
11	269	105	374	53
12	351	151	502	72
13	241	104	345	49
14	360	133	493	70
15	373	140	513	73

Tabla 15. (Continuación)

16	240	114	354	51
17	258	121	378	54
18	464	190	654	93
19	346	151	497	71
20	486	217	703	100
21	516	255	771	110
22	986	384	1370	196
23	611	276	887	127
24	585	253	838	120
Total	8953	4234	13187	

Nota: Se identifica la cantidad de personas por sección y el promedio día determinado a partir del conteo en las tres franjas horarias mencionadas anteriormente. Por Cortes & Matias, 2019.

En la siguiente grafica se identifica el promedio de afluencia peatonal entre semana y fines de semana

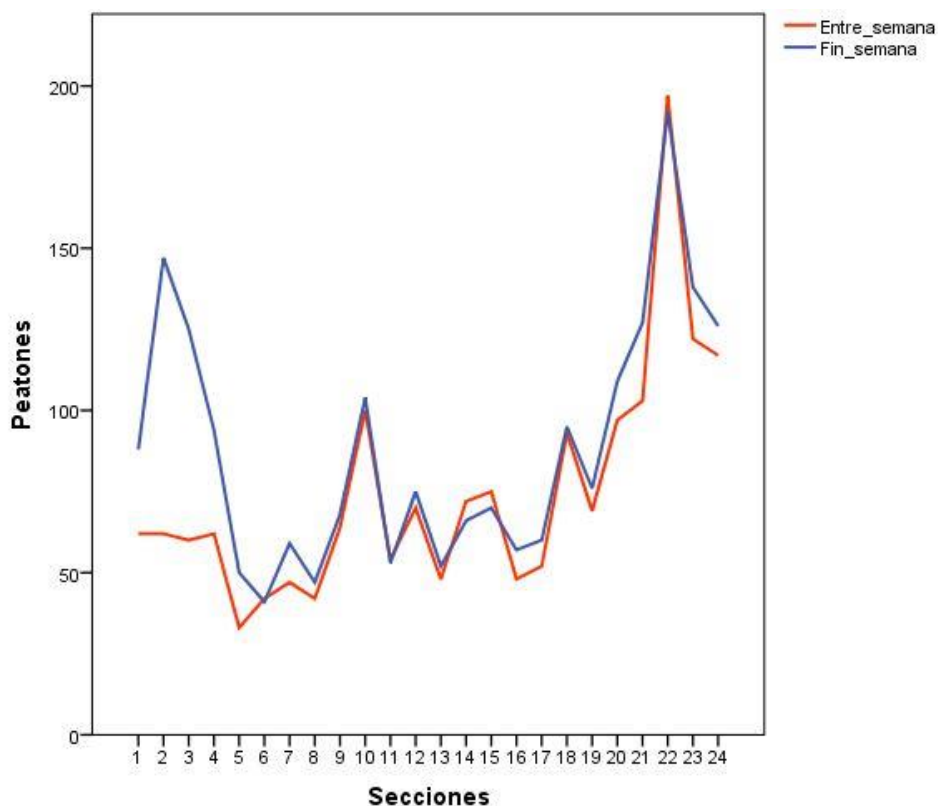


Figura 14. Promedio de afluencia peatonal entre semana y fines de semana. Por Cortes & Matias, 2019.

Se pudo identificar que en el parque los Fundadores que corresponden a las primeras 4 secciones, en las franjas horarias de 6:00 a 8:00 am es visitado principalmente por personas que realizan alguna actividad física tanto entre semana como los fines de semana en promedio esta

recibe una cantidad de 22 personas, la franja de 12:00 a 2:00 pm fue la menos activa del día con un promedio de 19 personas a estas horas generalmente se contaban peatones que utilizaban el parque para llegar a otro destino y la franja de 3:00 a 5:00 pm fue la más activa con un promedio de 47 personas, dado que en esta franja el parque es empleado como un elemento de esparcimiento, ocio y juego. En cuanto a la Alameda de la Av. 40 que corresponde a las secciones comprendidas entre la 5 y la 24, es frecuentado por personas que principalmente requieren llegar a otro lugar. En la figura 14 se identifica que la diferencia más significativa se encuentra en las primeras 4 secciones, esto debido a que los fines de semana existe una mayor afluencia de personas al ser días de descanso, siendo el parque visto como un elemento de confort, bienestar, esparcimiento y diversión.

- Balance fijación CO₂, producción de O₂ y liberación de CO₂, necesidad de O₂.

Para términos del presente proyecto la necesidad de O₂ y la liberación de CO₂ solo se tomó por el tiempo del conteo (10 minutos), ya que no se conoce el tiempo exacto de permanencia de las personas en la zona de estudio. A continuación, se realiza los cálculos necesarios para hallarlo:

- Aire inhalado en 1 minuto

$$7 \frac{ml}{kg} * 60kg = 420ml * 15 = 6300 \frac{ml \text{ aire}}{min}$$

- Oxígeno inhalado en los 10 minutos de conteo

$$6300 \frac{ml \text{ aire}}{min} * 5,6\% * 10 \text{ min} = 3520 \text{ ml O}_2$$

$$0,00352 \text{ m}^3 * 1,429 \frac{kg}{m^3} (\text{densidad O}_2) = 0,00503 \text{ kg O}_2 = 5,03 \text{ gr O}_2$$

- CO₂ exhalado en los 10 minutos de conteo

$$6300 \frac{ml \text{ aire}}{min} * 4\% * 10 \text{ min} = 2520 \frac{ml \text{ CO}_2}{min}$$

$$0,00252 \text{ m}^3 * 1,976 \frac{kg}{m^3} (\text{densidad CO}_2) = 0,00498 \text{ kg CO}_2 = 4,97 \text{ gr CO}_2$$

En las siguientes tablas se especifica el balance por CO₂ y O₂ junto con la efectividad de cada sección:

Tabla 16. Balance de O₂ en las secciones establecidas

Secciones	Necesidad O ₂ /año (Kg)	Liberación de O ₂ /año (kg)	Balance	Eficiencia
1	127,9	963,6	835,7	753,4%
2	158,1	2330,8	2172,6	1474,0%
3	144,9	2260,0	2115,1	1559,6%
4	130,3	1078,0	947,8	827,6%
5	69,4	999,8	930,4	1440,6%
6	77,0	1104,9	1027,9	1435,7%
7	92,7	763,5	670,9	824,0%
8	79,9	1196,7	1116,8	1497,4%
9	119,0	646,6	527,7	543,6%
10	186,4	2719,9	2533,5	1458,8%
11	98,3	4866,7	4768,4	4953,3%
12	131,9	3518,9	3387,0	2667,9%
13	90,6	3650,0	3559,3	4027,4%
14	129,5	6159,8	6030,3	4757,8%
15	134,7	3431,2	3296,5	2546,8%
16	92,9	1588,7	1495,8	1709,6%
17	99,4	4310,2	4210,8	4337,6%
18	171,9	3208,4	3036,6	1866,9%
19	130,7	2865,9	2735,2	2192,5%
20	184,9	2381,5	2196,6	1288,2%
21	202,6	3600,6	3397,9	1777,1%
22	360,2	654,5	294,3	181,7%
23	233,2	31,0	-202,2	13,3%
24	220,2	769,0	548,8	349,3%

Nota: balance entre la necesidad de O₂ de los usuarios de la zona de estudio con la liberación de O₂ por el arbolado, se identifica donde existe déficit. Por Cortes & Matias, 2019.

Tabla 17. Balance CO₂ en las secciones establecidas

Secciones	Emisión CO ₂ /año (kg)	Fijación CO ₂ /año (kg)	Balance	Eficiencia
1	126,1	1326,1	1200,1	1051,8%
2	155,9	3429,4	3273,5	2200,0%
3	142,9	3091,0	2948,1	2163,7%
4	128,4	1483,6	1355,2	1155,4%
5	68,4	1376,0	1307,5	2011,2%
6	75,9	1032,5	956,6	1360,9%
7	91,4	1055,3	964,0	1155,2%
8	78,8	1647,2	1568,4	2090,8%
9	117,3	889,9	772,6	758,9%
10	183,8	3743,3	3559,5	2036,6%
11	96,9	6697,8	6600,9	6915,1%
12	130,0	4842,9	4712,9	3724,5%
13	89,3	5023,3	4933,9	5622,5%
14	127,6	8477,4	8349,8	6642,1%
15	132,8	4722,2	4589,4	3555,5%
16	91,6	2210,9	2119,3	2413,4%
17	98,0	5931,9	5833,9	6055,5%
18	169,4	4415,6	4246,2	2606,3%

Tabla 17. (Continuación)

19	128,9	3948,3	3819,4	3064,0%
20	182,2	3277,5	3095,3	1798,4%
21	199,7	4955,3	4755,5	2480,9%
22	355,1	900,8	545,7	253,7%
23	229,9	42,7	-187,2	18,6%
24	217,0	1057,7	840,7	487,4%

Nota: balance entre la liberación de CO₂ de los usuarios de la zona de estudio con la fijación de CO₂ por el arbolado, se identifica donde existe déficit. Por Cortes & Matias, 2019.

A partir del balance realizado por secciones se puede apreciar que los individuos forestales cumplen en su mayoría con los requerimientos de los usuarios directos, incluso presentándose eficiencias hasta de más del 6000%, igualmente se identifica que en la única sección que existe un déficit tanto en la fijación de CO₂ y la liberación de O₂ es la 23, considerando que esta cuenta solo con 4 individuos forestales y es la segunda sección con la mayor cantidad de afluencia peatonal. Generalmente en los inventarios de emisiones solo considera el CO₂ emitido por fuentes de combustión, estas frecuentemente se cuantifican por factores de emisión y con datos sobre el combustible, dependiendo de la disponibilidad de los datos y la representatividad de los factores suele ser una metodología bastante exacta, sin embargo no se tiene en cuenta otros flujos de emisión como la respiración humana, siendo un componente importante y en crecimiento que se debería considerar en especial en las ciudades densamente pobladas, además tampoco se tiene en cuenta el CO₂ emitido por la respiración de los árboles (Velasco, y otros, 2013). En un estudio en Singapur se analizó el flujo que realiza el CO₂ de un distrito, se pudo demostrar que la respiración humana aporta el 17% de las emisiones de totales, como se demuestra en la figura 15 (Velasco, y otros, 2013).

Con el presente proyecto al incluir la generación de CO₂ que emiten las personas por la respiración y su necesidad de O₂, se pretendía evaluar la capacidad que tiene la zona para suministrar este servicio, ante los balances demostrados anteriormente se puede decir que cumple satisfactoriamente, aunque no es una cifra muy representativa es un flujo que se debe considerar teniendo en cuenta el crecimiento poblacional del municipio de Villavicencio, en un futuro se recomienda que se lleven a cabo estudios dirigidos a estimar la cantidad de CO₂ que emiten las fuentes móviles y fijas de esta manera completando los flujos de CO₂ que se generan en la zona de influencia y evaluando la capacidad que tiene el arbolado del parque los Fundadores y la Alameda de la Av 40.

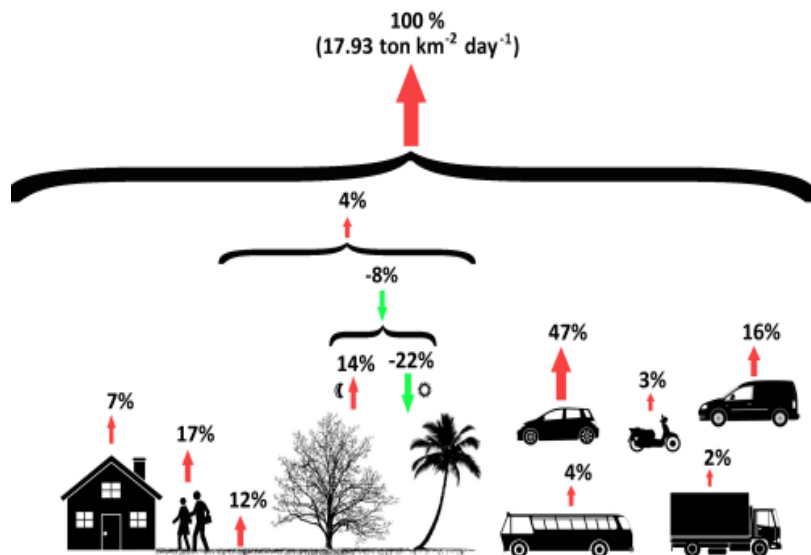


figura 15. Flujo de CO₂ en un distrito de Singapur. (Recuperado de “The role of vegetation in the CO₂ flux from a tropical urban neighbourhood”, por E. Velasco, M. Roth, S. H. Tan, M. Quak, S. D. A. Nabarro & L. Norford. Singapur, 2013.)

- Proyección de la fijación de CO₂ y la producción de O₂

A partir de las especies más representativas (Tabla 14), se proyectaron los servicios ecosistémicos estudiados mediante el incremento medio anual (IMA) para un periodo de 10 años, para las palmas la variable a utilizar fue la altura total y para los árboles el DAP, en cuanto a la edad de los individuos arbóreos se utilizó la fecha de inauguración del parque los Fundadores y la Alameda de la Av. 40 que corresponden al año 2001 y 2002 respectivamente (Villavicencio I. d., 2013), por lo tanto, la edad de los individuos oscilarían entre 17 y 18 años. En la Tabla 18 se identifica el IMA promedio por especie y la proyección de la fijación de CO₂ y producción de O₂.

Tabla 18. Proyección de la fijación de CO₂ y la producción de O₂ para las especies más representativas

Sección	Especie	IMA Palmas (m)	IMA Árboles (cm)	Carbono almacenado en 10 años (kg)	CO ₂ eq fijado en 10 años (kg)	O ₂ producido en 10 años (kg)	CO ₂ eq fijado hasta el 2018 (kg)	O ₂ producido hasta el 2018 (kg)
1	<i>Roystonea regia</i>	6,21	—	165,95	609,02	442,52	1881,49	1367,12
	<i>Erythrina poepigiana</i>	—	32,62	2120,16	7780,98	5653,76	7159,06	5201,86
2	<i>Roystonea regia</i>	6,48	—	399,12	1464,76	1064,32	4808,85	3494,16
	<i>Tabebuia rosea</i>	—	24,83	1285,27	4716,95	3427,39	7685,6	5584,45
3	<i>Roystonea regia</i>	6,73	—	654,08	2400,46	1744,2	8254,18	6070,25
	<i>Tabebuia rosea</i>	—	23,3	1852,58	6798,97	4940,22	13426,48	9755,84
4	<i>Roystonea regia</i>	6,17	—	267,91	983,23	714,43	3637,09	2642,75
	<i>Anadenanthera peregrina</i>	—	23,27	877,72	3221,25	2340,6	7566,66	5498,03
5	<i>Albizia guachapele</i>	—	26,53	928,79	3408,65	2476,77	5256,54	3819,47
	<i>Parkia pendula</i>	—	70,78	2536,25	9308,04	6763,33	12763,18	9273,88
6	<i>Roystonea regia</i>	7,68	—	34,59	126,96	92,25	440,8	320,29
	<i>Bauhinia picta</i>	—	37,65	1639,33	6016,32	4371,53	13088,72	9510,42
7	<i>Roystonea regia</i>	3,5	—	37,21	136,56	99,22	528,28	327,08
	<i>Bauhinia picta</i>	—	26,51	1065,86	3911,7	2842,29	10272,66	7464,24
8	<i>Jacaranda hesperia</i>	—	24,45	1312,01	4815,07	3498,69	6695,82	4865,26
	<i>Hura crepitans</i>	—	42,74	2437,49	8945,61	6499,99	9026,99	6556,12

Tabla 18. (Continuación)

9	<i>Tabebuia rosea</i>	—	23,64	1563,48	5737,96	4169,27	8300,72	6031,4
10	<i>Ficus benjamina</i>	—	70,95	9422,06	34578,97	25125,5	54155,75	39350,2
11	<i>Ficus benjamina</i>	—	58,71	16032,61	58839,69	42753,63	108192,54	78614,01
12	<i>Ficus benjamina</i>	—	74,59	13088,08	48033,26	34901,55	79951,58	58093,79
13	<i>Ficus benjamina</i>	—	51,2	10460,12	38388,65	27893,66	73563,42	53452,08
14	<i>Ficus benjamina</i>	—	58,55	19255,54	70667,85	51348,12	122856,86	89269,28
15	<i>Ficus benjamina</i>	—	52,27	10030,9	36813,39	26749,06	73794,6	53620,05
16	<i>Ficus benjamina</i>	—	64,89	5939,58	21798,27	15838,89	31965,46	23226,49
17	<i>Ficus benjamina</i>	—	63,78	19029,58	69838,55	50745,54	99890,35	72581,54
18	<i>Ficus benjamina</i>	—	57,09	12034,63	44167,07	32092,33	75065,12	54543,23
19	<i>Ficus benjamina</i>	—	51,75	12227,62	44875,38	32606,99	67120,84	48720,82
20	<i>Ficus benjamina</i>	—	52,25	9993,85	36677,43	26650,27	52192,66	37923,82
21	<i>Ficus benjamina</i>	—	49,91	18229,27	66901,41	48611,38	84147,87	61142,86
22	<i>Ficus benjamina</i>	—	49,42	3368,16	12361,15	8981,76	13570,14	9860,23
23	<i>Mangifera indica</i>	—	13,91	51,25	188,09	136,67	303	219,51
24	<i>Licania tomentosa</i>	—	21,95	1747,88	6414,71	4661	15044,23	10931,32
Total			—	179922,97	660926,36	480237,1	1072607,54	779331,85

Nota: Proyección de los servicios ecosistémicos estudiados de las especies más representativas en la zona de estudio. Por Cortes & Matias, 2019.

En el periodo de 10 años las especies más representativas de cada sección van a tener un almacenamiento de carbono de 179,92 ton, una fijación total de CO₂ de 660,9 ton y una liberación de O₂ de 480,2 ton. La especie *Ficus benjamina* va a realizar el 88,3% de esta fijación total con 583,94 ton, la *Roystonea regia* siendo la especie más abundante en 6 secciones va a realizar una fijación total de 5,72 ton lo cual equivale al 0,86%. La *Parkia pendula* como se ha identificado anteriormente es la segunda especie que más fija en la zona de estudio, considerando que en esta proyección solo posee 1 individuo, en 10 años va a realizar una fijación de 9,30 ton es decir el 1,4% de la fijación total. Para el año 2028 la fijación total de CO₂ sería de 1733 ton y la producción de O₂ sería de 1259 ton.

10 Discusión de resultados

Con la metodología desarrollado fue posible obtener los resultados que inicialmente se habían propuesto ya que permitió dar datos promedios de la fijación de CO₂ y la producción de O₂ esto, haciendo uso de diferentes herramientas disponibles, como las ecuaciones alométricas, que fueron realizadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales (IDEAM), lo cual permitía tener características más acertadas a la zona de estudio, ya que en diferentes estudios hacían uso de ecuaciones que habían sido desarrolladas en otros países como en Estados Unidos, incluso en estudios de Colombia. Igualmente, es importante aclarar que la ecuación escogida para los árboles posee tres variables independientes (altura total, DAP y densidad básica), ya que esto generó una estimación más precisa, en un estudio realizado por J. Chave et al, en donde analizó las ecuaciones alométricas desarrolladas para el trópico, pudo determinar que los predictores más importantes de la biomasa en orden decreciente son: DAP, densidad específica de la madera, altura total y tipo de bosque (Chave, y otros, 2005).

Por otro lado, se generó un valor agregado al haber hallado la densidad básica de la madera de manera experimental, teniendo en cuenta que dos árboles con la misma estructura, pero distinta densidad van a mostrar diferentes cantidades de biomasa (Chou & Gutiérrez, 2012). Así mismo, esta variable se ve influenciada por diferentes factores como lo es la especie, edad, condiciones ambientales, meteorológicas y calidad del suelo, como se mencionó anteriormente (Vázquez, Zamora, García, & Ramírez, 2015). En comparación con las densidades teóricas, se puede decir que el 76% de las especies presentan unos datos similares a los teóricos, entre las especies que presentaron mayor similitud se encuentran *Tabebuia rosea*, *Albizia saman* y *Spondias mombin*, aquellas especies que presentaron los valores más alejados fueron *Brownea ariza*, *Melicoccus bijugatus* y *Tabebuia aurea*. Aunque la ecuación alométrica escogida para las palmas presentaba solo una variable independiente, la cual es altura total se pudo demostrar que el DAP no es una variable significativa para la fijación de CO₂ de esta forma de vida, ya que una palma de una clase diamétrica de 35-55 cm y una de 55-75 cm no presentan variaciones importantes en los valores de fijación, la variable más significativa para la estimación de biomasa en las palmas es la altura total (Quintero, Duque, Álvarez, García, & Ordoñez, 2011).

El software i-Tree ECO fue una herramienta importante para la ejecución del proyecto, ya que permitió hacer una estimación de la fijación del CO₂ bajo variables que no se consideran en las ecuaciones alométricas entre estas: especie, salud de la copa, exposición solar y uso del suelo. En cuanto a la disponibilidad de especies, el programa posee 8326 ejemplares, para el caso del proyecto fue necesario hacer uso del género para algunos casos y la familia solo para un caso, al no encontrar la especie. Se evidenció que existe una diferencia significativa entre los datos arrojados por las ecuaciones alométricas y el software, siendo este último el que generó un dato de fijación de CO₂ más elevado, esto puede deberse a que se incluyeron variables distintas en las dos estimaciones (salud de la copa, exposición solar y uso del suelo), además no se tiene conocimiento del funcionamiento del software y los procesos que ejecuta para realizar la estimación y por ser una herramienta desarrollada en otro país este posee características propias del arbolado urbano de esa zona.

La fijación de CO₂ total de la zona de estudio fue de 1281,67 ton, según su área, la fijación por hectárea sería de 122,43 ton. Comparando esta fijación con otros parques urbanos entre estos: parque principal de Itagüí-Antioquía con 188,5 ton/ha (Mejía, 2016), parque urbano de Iquitos Perú con 14,52 ton/ha (Coquinche, 2016), parques urbanos de Tijuana México con 15,7 ton/ha (Madrid, 2016) y parque urbano de Valladolid España con 44,151 ton/ha (Stampa, 2016), se puede decir que la zona de estudio proporciona de una manera significativa este servicio ecosistémico, pero es importante resaltar que existe una gran diferencia entre la fijación que realiza el parque los Fundadores y la Alameda de la Av. 40, las cuales corresponden a 27,30 ton/ha y 252,07 ton/ha respectivamente, esta diferencia se debe principalmente a que el parque está conformado en un 75,61% por palmas y como se ha evidenciado mediante el estudio esta forma de vida no presenta una fijación de CO₂ representativa. La fijación tan alta que tiene la Alameda se debe a que está compuesta en su mayoría por la especie *Ficus benjamina*, la especie más representativa en la zona de estudio, realiza el 73,03% de la fijación total y según la proyección realizada de las especies más representativas mediante el incremento medio anual esta va a realizar el 88,43% con 583,94 ton, en los próximos 10 años, si esta especie fuera eliminada esto considerando los problemas que ha generado por su sistema de raíces en el acueducto, alcantarillado y redes telefónicas, la fijación de la zona de estudio sería tan solo de 345,2 ton.

La generación de O₂ al igual que la fijación de CO₂ es un servicio ecosistémico que el arbolado de la zona de estudio suministra significativamente al estar directamente relacionados, la zona genera 51,73 ton anualmente, supliendo la necesidad por parte de sus usuarios directos satisfactoriamente. Esta cantidad de O₂ emitido anualmente puede llegar a suplir la necesidad de 195 personas en un periodo total de un año. Este servicio ecosistémico permite limpiar el aire del CO₂ emitido por las fuentes móviles y fijas, en las ciudades este contaminante puede llegar a tener valores altos, generando un riesgo para la salud pública, de esta manera se resalta la importancia de tener zonas oxigenantes dentro de las urbanizaciones.

11 Conclusiones

Se logró llevar a cabo el inventario de los individuos forestales que presentaban un DAP igual o superior a 15 cm en la zona de estudio, con un total de 723. Identificándose: especie, DAP, altura total, salud de la copa, exposición solar y densidad básica de la madera. Se identificó que se distribuyen en 48 especies de las cuales el 41,66% son introducidas, así mismo existe una dominancia por parte de las especies *Roystonea regia* y *Ficus benjamina* las cuales representan el 46,61% de los individuos totales, siendo estas dos especies introducidas. El 55,19% de los individuos son palmas y el 92,4% se encuentran distribuidas en el parque los Fundadores, de estas se destaca la *Roystonea regia* con 233 individuos, seguida por la *Adonidia merrillii* con 51. En cuanto a los árboles se observó que la especie *Ficus benjamina* posee una dominancia con 104 individuos seguida de la *Tabebuia rosea* con 46. Así mismo, las especies presentaron un DAP promedio de 48,18 cm y una altura de 10,71 m, además según la salud de la copa el 70,8% de los individuos se encuentran en un buen estado.

Se determinó por medio del método volumen verde por unidad de peso seco la densidad básica de la madera por especie, encontrándose que el 76% de las especies presentaron datos cercanos a los teóricos, entre estas *Ficus elástica*, *Tabebuia rosea* y *Spathodea campanulata*. A través de las comparaciones realizadas con diferentes bases de datos se pudo demostrar que la densidad básica de la madera varía y esto puede deberse a distintos factores entre estos la especie, edad, condiciones ambientales y meteorológicas, estado del individuo entre otros. Considerando lo anterior se puede concluir la importancia que tiene determinar esta variable para el caso de estudio en particular, ya que arroja un dato más cercano a las condiciones locales.

Se obtuvo que los tres tratamientos utilizados para estimar la fijación de CO₂ presentan diferencias significativas entre estos según el análisis de varianza, además se identificó que el tratamiento 3 que corresponde al software arroja datos más elevados en comparación a las ecuaciones alométricas, esto puede ser debido a que se consideran otras variables como la especie, salud de la copa, exposición solar y uso del suelo. Además, hay que resaltar la importancia que tuvo haber realizado esta estimación bajo tres tratamientos, ya que permitió obtener datos de

fijación bajo diferentes variables logrando integrar distintos elementos que son importantes para estimar la biomasa, arrojando datos más reales a las condiciones del arbolado de la zona de estudio.

De acuerdo con los resultados encontrados la especie que realiza la mayor fijación de CO₂ es la *Ficus benjamina* con 936,4 ton es decir el 73,03% de la fijación total, seguida de la especie *Tabebuia rosea* con 63,5 ton y la especie *Bauhinia picta* con 38,1 ton. Las especies que realizan la mayor fijación en promedio son la *Ficus benjamina* con 9 ton/individuo, *Parkia pendula* con 6,4 ton/individuo y *Spondias mombin* con 4,6 ton/individuo. Es importante resaltar que de las 20 primeras especies que fijan más en promedio el 80% son nativas. Se evidencio que, aunque las palmas ocupan el 55,19% de los individuos totales, fijan solo 26,2 ton con 399 individuos, es decir el 2.04% de la fijación total, por lo que se puede concluir que esta forma de vida no realiza un aporte significativo en el control de la contaminación en las ciudades. Los individuos forestales de la zona de estudio han producido un total de 920,78 ton de O₂ y anualmente producen 51,73 ton, se destacan las mismas especies mencionadas anteriormente en la fijación de CO₂ al estar directamente relacionados. Además, se puede concluir que las secciones de la zona de estudio cumplen en su mayoría con los requerimientos de los usuarios directos en términos de la tasa de respiración, solo en una sección la 23 se identificó que no cumple con los requerimientos de O₂ y la fijación del CO₂ emitido, esto debido a que presenta solo 4 individuos forestales, es importante resaltar que existen eficiencias hasta de más del 6000%. Aunque el factor de emisión por respiración de los usuarios directos sea población flotante o residente de un sector no se considera en la mayoría de los inventarios de emisión, se debería considerar sobre todo en aquellas ciudades que presentan un alto crecimiento poblacional como es el caso del municipio de Villavicencio.

De acuerdo con la proyección realizada por medio del incremento medio anual para las especies más representativas se puede concluir, que estas tienen un gran potencial para fijar CO₂ y producir O₂ ya que van a fijar 660,3 ton y van a producir 479,7 ton. En esta proyección se destaca nuevamente la especie *Ficus benjamina* ya que va a realizar el 88,4% de la fijación total en 10 años con 583,9 ton, y la *Roystonea regia* siendo la más abundante en 6 secciones solo va a fijar 5,72 ton es decir el 0,86%. Finalmente, se concluye que la zona de estudio posee una buena capacidad potencial en la actualidad y en un horizonte de tiempo de 10 años para proporcionar estos servicios ecosistémicos aun considerando que gran parte de sus individuos son palmas, si esta forma de vida tuviera una menor abundancia y existiera una abundancia mayor por parte de

los árboles el parque los Fundadores y la Alameda de la Av. 40 serían un sumidero de carbono más significativo dentro del municipio.

12 Recomendaciones

- De acuerdo al estudio se recomiendan las siguientes especies para la plantación en suelos urbanos según el criterio de fijación de CO₂ y producción de O₂: *Parkia pendula*, *Cedrela odorata*, *Albizia guachapele*, *Pithecellobium dulce*, *Tabebuia rosea*, *Cassia grandis*, Estas especies mencionadas son nativas.
- Se recomienda según los resultados obtenidos que no se realicen plantaciones masivas de palmas ya que estas presentaron una fijación baja en comparación con los árboles, así mismo si se va a generar plantaciones de esta forma de vida se considere la especie *Mauritia flexuosa* palma moriche ya que esta es nativa y puede proporcionarle alimento a la fauna urbana.
- Se recomienda determinar la densidad básica de la madera en el laboratorio dado que no es un proceso complejo, para aquellos casos en los que es permitido sacar las muestras, se tienen árboles en buenas condiciones y disponibilidad de laboratorio ya que esto aporta un dato más cercano a las condiciones de la zona estudiada. Para aquellos casos que no se puede realizar este proceso se puede hacer uso de la densidad teórica que se encuentra en las diferentes bases de datos.
- Se recomienda hacer uso del Hipsómetro laser para la toma de las alturas sobre todo en áreas abiertas poco densas, ya que es un equipo muy práctico, que permite realizar el muestreo rápidamente en comparación de otros equipos como el Clinómetro.
- Se recomienda que las entidades públicas tengan como criterio para la plantación y también para tala la fijación de CO₂ y la producción de O₂ que realiza el arbolado, cómo se mencionó en el estudio la especie *Ficus benjamina* es la que mayor fija, pero esta ha presentado problemas por su sistema de raíces, por lo que se recomienda que no se considere para plantaciones urbanas o en caso omiso que se haga un estudio previo en el suelo para que no se generen obstrucciones con las redes del alcantarillado o del gas domiciliario.
- Se recomienda realizar estudios encaminados a desarrollar ecuaciones alométricas para arbolado urbano en específico, ya que en bibliografía existe no se han realizado, esto

considerando las talas que se realizan en las ciudades por problemas fitosanitarios, por problemas de raíces por la obstrucción en el alcantarillado, en las redes de gas domiciliario y otros.

- El uso del software i-Tree ECO se recomienda para estimar la fijación de CO₂ principalmente de palmas, ya que las ecuaciones alométricas para esta forma de vida por lo general cuentan con una sola variable la cual es la altura total. En cuanto a los árboles al proporcionar la densidad básica de la madera, se está otorgando un dato característico de la especie, por lo que se recomienda el uso de ecuaciones alométricas para este caso. En esta misma línea se recomienda la generación de software para estimar el valor del arbolado urbano con características propias de Colombia.
- Se recomienda realizar estudios en donde se establezca un balance entre la cantidad de CO₂ emitido por fuentes móviles, el emitido por la respiración de los árboles y por la respiración humana, de esta manera considerando los diferentes flujos y comparando la capacidad que tiene la el arbolado de la zona de estudio.
- Se recomienda que los procesos de solicitud de información sean mucho más rápidos y efectivos ante la Secretaría de Medio Ambiente de Villavicencio, considerando que la información de las especies se obtuvo 6 meses después de haber realizado la solicitud.
- Por último, se recomienda aumentar la presencia de la policía de Villavicencio en la zona de estudio ya que se evidencio la venta y el consumo de sustancias psicoactivas.

13 Bibliografía

- Agricultura, O. d. (10 de Noviembre de 2016). *FAO*. Obtenido de *FAO*: <http://www.fao.org/zhc/detail-events/en/c/454543/>
- Agudelo, P. A. (2014). Los parques lineales como estrategia de recuperación ambiental y mejoramiento urbanístico de las quebradas en la ciudad de Medellín: estudio de caso parque lineal La Presidenta y parque lineal La Ana Díaz. *Trabajo de grado para optar al título de Magister en Estudios Urbano - Regionales*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 01 de Abril de 2018, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/12865/1/43221903.2014.pdf>
- Álvarez, E., Benítez, D., Velásquez, C., & Cogollo, Á. (Diciembre de 2013). Densidad básica del fuste de árboles del bosque seco en la costa caribe de Colombia. Santa Marta, Colombia: Revista Intropica.
- Canales, C. G. (Noviembre de 2002). Beneficios del Arbolado Urbano. *Ensayo Doctoral*. España. Recuperado el 28 de Octubre de 2018, de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/24578/1/Beneficios%20del%20arbolado%20urbano.pdf>
- Cancino, J. (2018). Dendometría básica. *Universidad de Cundinamarca*. Fusagasugá, Colombia. Recuperado el 2018 de Mayo de 1, de http://repositorio.udec.cl/bitstream/handle/11594/407/Dendrometria_Basica.pdf?sequence=1
- Castillo, G. (18 de Diciembre de 2013). Indicadores ambientales de espacio público en Bogotá. *Trabajo de fin para obtener el título de Máster en Sostenibilidad*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado el 2018 de Abril de 15, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/20822/Mem%C3%B2ria%20-%20Ginna%20Alexandra%20Castillo.pdf>
- Castro, M. L. (2011). Pavimentos permeables como alternativa de drenaje urbano. Bogota.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., . . . Yamakura, T. (11 de Marzo de 2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Ecosystem Ecology*. Recuperado el http://scholar.google.com.co/scholar_url?url=https://www.researchgate.net/profile/Alejandro_Aguilar17/post/I_wish_to_calculate_the AGB_and_carbon_stock_in_a_25_1_ha_plots_in_lowland_mid-elevation_submontane_and_Montane_forest_in_Cameroon/attachment/59d63e

- Chou, S. W., & Gutiérrez, E. E. (16 de septiembre de 2012). Ecuación para estimar la biomasa arbórea en los bosques tropicales de Costa Rica. Tecnología en Marcha. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835699.pdf>
- Clavijo, T. C. (Noviembre de 2007). Evaluación de los servicios ecosistémicos prestados por los árboles al campus de la Pontificia Universidad Javeriana, (Bogotá, Colombia). *Trabajo de Grado Para Optar Por el Título en: ECOLOGÍA*. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Obtenido de http://oab2.ambientebogota.gov.co/apc-aa-files/57c59a889ca266ee6533c26f970cb14a/arboles_campus.pdf
- Coquinche, K. C. (2016). Secuestro de CO₂ y producción de O₂ en árboles urbanos de la AV. Abelardo Quiñones - Distrito San Juan Bautista, Loreto – Perú, 2016. *Para optar al título de: Ingeniero en Ecología de Bosques Tropicales*. Perú: escuela de formación profesional de ingeniería en ecología de bosques tropicales.
- Corzo, G. T. (Julio de 2007). Manejo del arbolado urbano en Bogotá. Bogotá, Colombia: Territorios. Recuperado el 13 de Noviembre de 2018, de <http://www.redalyc.org/pdf/357/35701709.pdf>
- Corzo, G. T. (13 de Abril de 2013). Aproximación a la silvicultura urbana en Colombia. *Universidad Nacional de Colombia*. Bogotá, Colombia: Bitácora Urbano Territorial. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/bitacora/article/view/119-136>
- Dominguez, J., Jungmann, R., Miranda, M., Vargas, A., Irrázabal, R., & Peña, R. (2009). Forestación urbana, una alternativa real para combatir la contaminación ambiental. Chile. Obtenido de <https://politicaspublicas.uc.cl/wp-content/uploads/2015/02/forestacion-urbana-una-alternativa-real-para-combatir-la-contaminacion-ambiental.pdf>
- EAFIT. (03 de 10 de 2017). *EAFIT*. Obtenido de EAFIT: <http://www.eafit.edu.co/investigacion/noticias/Paginas/eafit-barrera-para-la-contaminacion.aspx>
- ECO, i.-T. (2017). i-Tree ECO Manual de toma de datos. México. Recuperado el 20 de Marzo de 2019, de https://www.itreetools.org/resources/lang/es/03_Manual_de_campo_para_toma_de_datos_i-Tree_ECO.pdf
- Escobedo, F. J., Kroeger, T., & Wagner, J. E. (01 de Septiembre de 2011). Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. Estados Unidos: ELSEVIER. Recuperado el 10 de Abril de 2018, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749111000327>
- FINDETER, F. d. (Noviembre de 2016). Plan de Acción de Villavicencio. *Villavicencio Sostenible*. Villavicencio, Colombia. Obtenido de https://issuu.com/findetersa/docs/plan_de_acci_n_villavicencio
- Frutos, P. d., & Esteban, S. (2009). Estimación de los beneficios generados por los parques y jardines urbanos a través del método de valoración contingente. España: Urban Public

- Economics Review. Recuperado el 23 de Octubre de 2018, de <http://www.redalyc.org/pdf/504/50412489001.pdf>
- Giraldo, D., Rodriguez, V., Sarmiento, M., & Borralho, N. (3 de Julio de 2014). Estimación indirecta de la densidad de la madera mediante el uso de pilodyn en la selección de clones de Eucalyptus pellita F. Muell. Colombia Forestal. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v17n2/v17n2a05.pdf>
- Guarín, O., Delgado, J., Suanch, O., Mantilla, N., Gualdrón, S., & Moreno, M. (2014). Determinación de dióxido de carbono en parques de la ciudad de Bucaramanga. Bucaramanga, Colombia: Teoría y praxis investigativa. Obtenido de <http://revia.areandina.edu.co/ojs/index.php/Pp/article/view/406/439>
- Humboldt, M. d. (2017). *Biodiversidad y servicios ecosistémicos en la planificación y gestión ambiental urbana*. Colombia: Instituto de Investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt.
- IDEAM. (2019). Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc>
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & Cancillería. (2016). *Inventario nacional y departamental de gases de efecto invernadero*. Bogotá DC: Puntoaparte Bookvertising.
- Imaña, J., & Encinas, O. (2008). *Epidometría Forestal*. Brasilia: Universidad de Brasilia. Recuperado el 30 de Abril de 2018, de http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9740/1/LIVRO_EpidometriaForestal.pdf
- J.Davies, H., J.Doick, K., D.Hudson, M., & KateSchreckenber. (Julio de 2017). Challenges for tree officers to enhance the provision of regulating ecosystem services from urban forests. Gran Bretaña, Reino Unido: Environmental Research. Recuperado el 05 de Noviembre de 2018, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935117304942>
- Junta de Andalucía; Unión Europea; Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía. (s.f). Urbanismo, medio ambiente y salud.
- Kirby, K. R., & Potvin, C. (2007). Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. Panamá: Forest Ecology and Management. Obtenido de https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/11974/stri_Kirby_and_Potvin_2007.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Konijnendijk, C. C., Annerstedt, M., Nielsen, A. B., & Maruthaveeran, S. (Enero de 2013). Benefits of Urban Parks, A systematic review. Dinamarca: International Federation of Park and Recreation Administration. Recuperado el 28 de Octubre de 2018, de <https://worldurbanparks.org/images/Newsletters/IfpraBenefitsOfUrbanParks.pdf>

- Leon, S. L., Rosas, M. A., & Bartorila, M. A. (2017). Forestación de calles, su impacto en el microclima urbano. Laguna Nuevo Amanecer, Ciudad Madero, México.
- Livesley, S. J., McPherson, E. G., & Calfapietra, C. (16 de Noviembre de 2015). The Urban Forest and Ecosystem Services: Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale. Estados Unidos: Journal of Environmental Quality. Recuperado el 01 de Noviembre de 2018, de https://www.fs.fed.us/psw/publications/mcpherson/psw_2016_mcpherson001_livesley.pdf
- Lobo, A. d. (2018). *Metodología para la elaboración de indicadores de inserción urbana base para la medición de impactos de la implementación de proyectos del sistema de movilidad urbana sustentable en la Ciudad de México*. México: Cts embarq México.
- Madrid, A. Y. (2016). Estimaciones de captura de los parques y emisiones de CO₂ vehicular en Tijuana, B.C. *Tesis para obtener el grado de maestra en Administración Integral Del Ambiente*. Tijuana, México: El Colegio de la Frontera Norte. Obtenido de <https://www.colef.mx/posgrado/wp-content/uploads/2016/12/TESIS-Dom%C3%ADnguez-Madrid-Ana-Yurendy.pdf>
- Martins, R., & Sousa, R. d. (2014). Perspectivas revista científica Online. Brasil: Perspectivas Online. Recuperado el 2018 de Abril de 01, de Perspectivas revista científica Online: http://seer.perspectivasonline.com.br/index.php/humanas_sociais_e_aplicadas/article/view/541/456
- McPherson, E. G. (Julio de 1998). Atmospheric carbon dioxide reduction by Sacramento's urban forest. Sacramento, Estados Unidos: Journal of Arboriculture. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/ed15/d96bb35a875a7f07cc4e38068ca4e88c0c43.pdf>
- Mejía, M. A. (2016). Naturaleza Urbana: Plataforma de Experiencias. 208. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Obtenido de <http://www.humboldt.org.co/es/estado-de-los-recursos-naturales/item/865-naturaleza-urbana-030516>
- Meneses, M., Herrera, D., & Sierra, F. (13 de Noviembre de 2017). Determinación del potencial de servicios ambientales de la cobertura vegetal del sector 5, “Naranjos Sur” de la Ciudadela Real de Minas. *Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero ambiental*. Bucaramanga, Colombia: Unidades Tecnológicas de Santander. Obtenido de <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/2498>
- Mitra, A., Chaudhuri, T. R., Pal, N., Zaman, S., & Mitra, A. (Mayo de 2017). Oxygen Generation by Dominant Urban Trees: A Case Study from Konnagar Municipality, West Bengal, India.
- MONTIEL, B. L. (2014). caracterización forestal de los parques en la comuna cuatro y cinco como contribución al Plan de Ornato del municipio de Villavicencio. Villavicencio. Obtenido de <https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/20335/5/40440712.pdf>

- Mora, E., Ramirez, H., & Torres, A. (15 de Septiembre de 2009). Análisis de las tasas de crecimiento diametral por grupos funcionales de especies arbóreas en un bosque tropical semi-decídúo de Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*. Recuperado el <http://www.ula.ve/ciencias-forestales-ambientales/indefor/wp-content/uploads/sites/9/2016/11/Mora-et-al-Crecimiento.pdf>
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Hirabayashi, S., McGovern, M., & Pasher, J. (2018). Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening* . Recuperado el 03 de Noviembre de 2018, de https://www.fs.fed.us/nrs/pubs/jrnl/2018/nrs_2018_nowak_001.pdf
- Nowak, D. J., Hoehn, R., & Crane, D. E. (2007). Oxygen Production by Urban Trees in the United States. *Estados Unidos: Arboriculture & Urban Forestry*. Obtenido de https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/2007/nrs_2007_nowak_001.pdf
- Nowak, D., Dwyer, J., & Childs, G. (1997). *Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe*.
- Nowak, D., Dwyer, J., & Childs, G. (1997). Los beneficios y costos del enverdecimiento urbano. *Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe*, 17-38. Obtenido de <http://www.corraldebustos.gov.ar/media/archivos/paginas/Beneficios%20y%20costos%20de%20arbolado%20urbano.pdf>
- Nowak, D., Greenfield, E., Hoehn, R., & Lapoint, E. (10 de Marzo de 2013). Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Estados Unidos: Environmental Pollution*. Obtenido de <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1237&context=usdafsfacpub>
- Ochoa, J. M. (Octubre de 1999). La vegetación como instrumento para el control microclimático. *Barcelona, España*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93436/03JMot03de12.pdf>
- Patil, S., Nangare, R., Mane, R., Jadhav, S., Patil, N., & Gavali, D. (2017). Oxygen, hydrogen and light generation using solar tree. *India*.
- Prieto, L. F., & Garzón, B. V. (15 de Diciembre de 2007). Árboles para Villavicencio Especies que fortalecen la Estructura Ecológica Principal. Villavicencio, Colombia: Revista nodo. Recuperado el 19 de Marzo de 2019, de <https://www.google.com/search?q=arboles+para+villavicencio&oq=%C3%A1rboles+para+villavice&aqs=chrome.1.69i57j0.5328j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8#>
- PROVINCIAS, F. E. (2019). Los sumideros de carbono a nivel local. *España: Federación Española de municipios y provincias*. Obtenido de <http://www.redciudadesclima.es/sites/default/files/c2dd700737802664a97469104e56f17d.pdf>
- Quintero, A. N., Duque, D., Álvarez, A., Garcia, E., & Ordoñez, M. (2011). Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia. Bogotá D.C, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales(IDEAM).

- Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13548/Protocolo+para+la+estimaci%C3%B3n+nacional+y+subnacional_1.pdf/11c9d26b-5a03-4d13-957e-0bcc1af8f108
- Rüginitz, M., Chacón, M., & R., P. (2009). Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales-1. ed. Lima, Perú: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF); Consorcio Iniciativa Amazônica (IA). Obtenido de http://www.katoombagroup.org/documents/tools/ICRAF_GuiaDeterminacionCarbono_es.p.pdf
- Shahidan, M. F., Shariff, M. K., Jones, P., Salleh, E., & Abdullah, A. M. (2010). A comparison of *Mesua ferrea* L. and *Hura crepitans* L. for shade creation and radiation modification in improving thermal comfort.
- Stampa, J. S. (2016). Análisis y cuantificación del carbono almacenado en los parques y jardines de la ciudad de Valladolid. *Para optar al título en: Master en Ingeniería de Montes*. España: Universidad de Valladolid.
- Stigsdotter, U. K., Ekholm, O., Schipperijn, J., Toftager, M., Kamper, F., & Randrup, T. B. (22 de Abril de 2010). Health promoting outdoor environments - Associations between green space, and health, health-related quality of life and stress based on a Danish national representative survey. Dinamarca: Scandinavian Journal of Public Health. Recuperado el 28 de Octubre de 2018, de <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1403494810367468>
- Torres, D. R. (Agosto de 2006). Sistemas de producción forestal . *Unidad II Evaluación de los recursos forestales*. México: Universidad Autónoma Chapingo . Recuperado el 01 de Mayo de 2018, de http://www.rivasdaniel.com/Articulos/Unidad_II_Evaluacion.pdf
- Trujillo, J. M., Torres, M. A., & Santana, E. (2 de Marzo de 2011). La palma de Moriche (*Mauritia flexuosa* L.f.) un ecosistema estratégico. Villavicencio: Orinoquia. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v15n1/v15n1a07.pdf>
- Vargas, A., & Roldán, P. (4 de Septiembre de 2017). Ni muy cerca ni muy lejos: parques urbanos y bienestar subjetivo en la ciudad de Barranquilla, Colombia. (L. d. Economía, Ed.) Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia . Recuperado el 23 de Octubre de 2018, de <http://www.scielo.org.co/pdf/le/n88/0120-2596-le-88-00183.pdf>
- Vázquez, O. G., Zamora, E. M., García, E., & Ramírez, J. A. (Junio de 2015). Densidad básica de la madera de dos pinos y su relación con propiedades edáficas. México: Madera bosque.
- Velasco, E., Roth, M., Tan, S. H., Quak, M., Nabarro, S. D., & Norford, L. (20 de Marzo de 2013). The role of vegetation in the CO₂ flux from a tropical urban neighbourhood. Singapur: Atmospheric Chemistry and Physics (ACP). Obtenido de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.648.4283&rep=rep1&type=pdf>
- Villavicencio, A. M. (2015). POT. *Plan de Ordenamiento Territorial Municipio de Villavicencio Componente General*. Villavicencio. Obtenido de

http://www.villavicencio.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/POT_2015_Componente%20General%20POT.pdf

Villavicencio, I. d. (Julio de 2013). Inventario de atractivos turísticos del municipio de Villavicencio. Villavicencio. Obtenido de <http://www.turismovillavicencio.gov.co/site/docs/Inventario%20turistico%202014.pdf>

Yang, J., McBride, J., Zhou, J., & Sun, Z. (12 de Enero de 2005). The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. 3(2). Beijing, China: Urban Forestry & Urban Greening. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866704000226>

14 Anexos

Anexo A. Prueba de Tukey por especie de árboles, por autores.

<i>Anadenanthera peregrina</i>			<i>Erythrina poeppigiana</i>			<i>Tabebuia aurea</i>		
Especie	Diferencias medias	(p)	Especie	Diferencias medias	(p)	Especie	Diferencias medias	(p)
Tratamientos			Tratamientos			Tratamientos		
T1-T2	591,63	0,37	T1-T2	127,15	0,996	T1-T2	227,03	0,8
T1-T3	421,95	0,6	T1-T3	3073,61	0,149	T1-T3	645,16	0,4
T2-T3	169,68	0,92	T2-T3	3200,77	0,129	T2-T3	872,2	0,1
<i>Caesalpinia peltophoroides</i>			<i>Ficus elastica</i>			<i>Licania tomentosa</i>		
Especie	Diferencias medias	(p)	Especie	Diferencias medias	(p)	Especie	Diferencias medias	(p)
Tratamientos			Tratamientos			Tratamientos		
T1-T2	250,98	0,959	T1-T2	45,7	0,984	T1-T2	453,02	0,5
T1-T3	24,88	0,9996	T1-T3	36,79	0,989	T1-T3	303,2	0,7
T2-T3	226,10	0,967	T2-T3	82,49	0,948	T2-T3	756,27	0,2
<i>Hura crepitans</i>			<i>Cedrela odorata</i>			<i>Brownea ariza</i>		
Especie	Diferencias medias	(p)	Especie	Diferencias medias	(p)	Especie	Diferencias medias	(p)
Tratamientos			Tratamientos			Tratamientos		
T1-T2	597,02	0,910	T1-T2	382,90	0,940	T1-T2	192,73	0,5
T1-T3	2886,43	0,137	T1-T3	895,40	0,733	T1-T3	26,67	0,9
T2-T3	2289,42	0,273	T2-T3	1270,3	0,562	T2-T3	166,06	0,6
<i>Tabebuia rosea</i>			<i>Ceiba pentandra</i>			<i>Bauhinia picta</i>		
Especie	Diferencias medias	(p)	Especie	Diferencias medias	(p)	Especie	Diferencias medias	(p)
Tratamientos			Tratamientos			Tratamientos		
T1-T2	26,45	0,996	T1-T2	436,44	0,737	T1-T2	1001,2	0,5
T1-T3	731,93	0,049	T1-T3	3591,79	0,015	T1-T3	162,27	0,9
T2-T3	705,47	0,061	T2-T3	4029,23	0,011	T2-T3	838,93	0,6
<i>Parkia pendula</i>			<i>Ficus benjamina</i>			<i>Pithecellobium dulce</i>		
Especie	Diferencias medias	(p)	Especie	Diferencias medias	(p)	Especie	Diferencias medias	(p)
Tratamientos			Tratamientos			Tratamientos		
T1-T2	1099,53	0,959	T1-T2	276,07	0,929	T1-T2	634,05	0,9
T1-T3	2769,33	0,774	T1-T3	6658,06	0,000	T1-T3	696,36	0,9
T2-T3	1669,8	0,909	T2-T3	6381,98	0,000	T2-T3	1330,42	0,7
<i>Jacaranda hesperia</i>			<i>Albizia guachapele</i>			<i>Eugenia malaccensis</i>		
Especie	Diferencias medias	(p)	Especie	Diferencias medias	(p)	Especie	Diferencias medias	(p)
Tratamientos			Tratamientos			Tratamientos		
T1-T2	389,86	0,923	T1-T2	526,9	0,862	T1-T2	184,12	0,6
T1-T3	1188,65	0,487	T1-T3	988,39	0,598	T1-T3	415,8	0,1

T2-T3	798,79	0,716	T2-T3	1515,29	0,310	T2-T3	599,93	0,0
<i>Leucaena leucocephala</i>			<i>Platypodium elegans</i>			<i>Albizia saman</i>		
Especie	Diferencias medias	(p)	Especie	Diferencias medias	(p)	Especie	Diferencias medias	(p)
Tratamientos			Tratamientos			Tratamientos		
T1-T2	68,09	0,999	T1-T2	182,38	0,892	T1-T2	69,08	0,9
T1-T3	1283,26	0,816	T1-T3	1,77	1,000	T1-T3	584,69	0,1
T2-T3	1351,35	0,799	T2-T3	180,61	0,894	T2-T3	652,78	0,0
<i>Melicoccus bijugatus</i>			<i>Mangifera indica</i>			<i>Guarea trichilioide</i>		
Especie	Diferencias medias	(p)	Especie	Diferencias medias	(p)	Especie	Diferencias medias	(p)
Tratamientos			Tratamientos			Tratamientos		
T1-T2	36,96	0,995	T1-T2	95,24	0,983	T1-T2	85,74	0,9
T1-T3	109,26	0,959	T1-T3	794,32	0,327	T1-T3	311,35	0,4
T2-T3	146,23	0,929	T2-T3	889,56	0,252	T2-T3	397,09	0,3
<i>Spathodea campanulata</i>			<i>Cecropia engleriana</i>			Otras especies		
Especie	Diferencias medias	(p)	Especie	Diferencias medias	(p)	Especie	Diferencias medias	(p)
Tratamientos			Tratamientos			Tratamientos		
T1-T2	12,04	0,998	T1-T2	25,63	0,985	T1-T2	33,64	0,9
T1-T3	506,84	0,222	T1-T3	108,81	0,783	T1-T3	897,77	0,6
T2-T3	518,19	0,210	T2-T3	134,45	0,693	T2-T3	931,41	0,6

Nota: Prueba de tukey para cada especie, se señala los tratamientos escogidos para cada especie, considerando un valor de $\alpha=0,05$, para aquellas especies que tienen 1 individuo se llevó a cabo la prueba de tukey en conjunto, ya que no se puede realizar solo con un dato por tratamiento.

Anexo B. Análisis de varianza por especie de palmas, por autores.

Especie	Prom T1	Prom T3	P Value
<i>Roystonea regia</i>	51	119	1,88E-13
<i>Mauritia flexuosa</i>	38	62	1,27E-06
<i>Bismarckia nobilis</i>	48	95	0,000693
<i>Washingtonia robusta</i>	51	104	0,0086
<i>Dypsis lutescens</i>	29	47	0,0105
<i>Ravenala madagascariensis</i>	49	99	0,0141
<i>Phoenicofurcata reclinata</i>	13	10	0,0274
<i>Cycas revoluta</i>	10	46	0,067
<i>Washingtonia filifera</i>	32	42	0,0999
<i>Socratea exorrhiza</i>	39	55	0,221
<i>Adonidia merrillii</i>	22	25	0,455
<i>Elaeis guineensis</i>	31	55	0,5648
<i>Cycas rumphii</i>	20	27	0,651

Nota: Anova por especie identificándose el valor de P y las especies que presentan mayor diferencia entre los dos tratamientos.

Anexo C. Respuesta del radicado de la solicitud de especies ante la Secretaria de Medio Ambiente de Villavicencio




SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE

1300-17.60/Mcc2112

Villavicencio, 21 de agosto de 2018

Doctora
NATALIA MOSQUERA BELTRAN
 Decana Facultad de Ingeniería Ambiental
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
 Sede Villavicencio
 PBX. 6614361
 La Ciudad

Asunto: Solicitud de Información

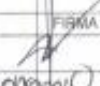
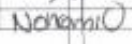
Cordial Saludo,

Por medio de la presente le informamos que hemos recibido su oficio en el cual los estudiantes Erika Valentina Matias y Jhon Harrison Cortes solicitan información de 762 árboles para desarrollar el proyecto de investigación denominado "ESTIMACION DE LA CAPACIDAD POTENCIAL DE FIJACION DE CO₂ Y PRODUCCION DE O₂, COMO SERVICIO ECOSISTEMICO BRINDADOS POR EL PARQUE DE LOS FUNDADORES Y LA ALAMEDA DE LA AVENIDA 40 EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO" la información está siendo consolidada y será enviada a los correos indicados en su solicitud.

Sin otro particular,



Abg. JENNIFER CAROLINA AROCA CAMPO
Secretaria Medio Ambiente

NOMBRES Y APELLIDOS	CARGO	FIRMA
Revisó: Ing. IGNACIO SILVA FLOREZ	Profesional Universitario - Responsable Procedimiento Cpas y Mcc	
Elaboró: MARITZA NOHEMI VASQUEZ	Contratista SEMA	

Cra. 36 No 36 - 48 piso 2. Barrio Barzal (Frente a urgencias de la Clínica Cooperativa)
 Teléfono móvil: 320-8559232. Línea gratuita: 018000113035
 Código Postal: 500001 • www.villavicencio.gov.co • Twitter: @villavoambiente
 Villavicencio, Meta - Página 1 de 1

Anexo D. Respuesta del radicado de permiso para la extracción de muestras ante la Secretaría de Medio Ambiente de Villavicencio

  SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE

1300-17.60/450

Villavicencio, 06 de Marzo 2018

Ingeniera
NATALIA MOSQUERA BELTRÁN
Decana Facultad de Ingeniería Ambiental
Universidad Santo Tomas
La Ciudad



Asunto: Proyecto "ESTIMACION DE LA CAPACIDAD POTENCIAL DE FIJACION DE CO₂ Y PRODUCCION DE O₂ COMO SERVICIO ECOSISTEMICO BRINDADO POR EL ARBOLADO DEL PARQUE LOS FUNDADORES Y LA ALAMEDA DE LA AVENIDA 40 EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO"

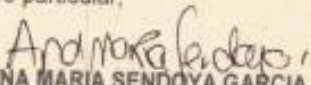
Cordial Saludo,

Secretaria de Medio Ambiente es grato colaborar en el desarrollo de proyectos de investigación que aporten a nuestro municipio, es por esto que de acuerdo a su solicitud presentada con radicado No 424644 de fecha 18 de febrero del 2019, le informamos que de acuerdo al inventario de individuos forestales reportados en el sector de Parque de Los Fundadores y la Alameda de la Avenida 40 tenemos 735 especies forestales con un DAP mayor a 15 cm, y están distribuidos en 37 especies forestales, por tanto, se autoriza la toma de la muestra en un individuo por especie y adicional tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. El individuo forestal objeto de muestra, se encuentre en adecuadas condiciones fitosanitarias y no presente daños físico mecánicos y estructurales.
2. El DAP debe ser igual o mayor a 20 cm.
3. No introducir la barra extractora con ayuda de un martillo u otro utensilio.
4. No es aconsejable tratar o taponar el agujero con ninguna substancia u objeto.

Agradecemos un informe de cuando inicien y finalicen la toma de las muestras de igual forma de los resultados obtenidos.

Sin otro particular,


Ing. ANA MARIA SENDOYA GARCIA
Secretaria Medio Ambiente

NOMBRES Y APELLIDOS	CARGO	FIRMA
Revisó:		
Elaboró: MARITZA NOHEMI VASQUEZ	Contratista SEMA	

Carrera 35 No 36 - 48 piso 2. Barrio Barzal (Frente a urgencias de la Clínica Cooperativa)
Teléfono móvil: 320-8558232. Línea gratuita: 018000113035
Código Postal: 500001 • www.villavicencio.gov.co • Twitter: @villavoambiente
Villavicencio, Meta
Página 1 de 1

Anexo E. Registro fotográfico.

