

Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

Arbolado urbano y calidad de vida: El caso de la Ciudad de Guatemala de la
Asunción

Partida presupuestal 4.8.63.0.34

DIGI-AP15-2022

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

Coordinador: Fernando José Castillo Cabrera
Investigador: Mervin Emanuel Pérez Pérez
Auxiliar de Investigación: Alicia Eufragio Blanco

Guatemala de la Asunción, 30 de Enero de 2023

Autoridades

Dra. Alice Burgos Paniagua
Directora General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

M.Sc. Andrea Rodas
Coordinadora del Programa de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

Autores

Fernando José Castillo Cabrera. Coordinador

Mervin Emanuel Pérez Pérez. PhD. Investigador

Alicia Elena Eufragio Blanco. Auxiliar de investigación II

Colaboradores:

Emily Sofía Car Calán. Tesista Escuela de Biología

Giuliana Mariel Martini Palma. Tesista Escuela de Biología

Gerardo Antonio Cotzoyay Patzán. Epesista. Facultad de Agronomía

María Chavarría. Dirección de Medio Ambiente. Municipalidad de Guatemala

Ana Isabel Sánchez. Dirección de Medio Ambiente. Municipalidad de Guatemala

Marco Urrutia. Dirección de Medio Ambiente. Municipalidad de Guatemala

Beatriz Ramírez. Dirección de Medio Ambiente. Municipalidad de Guatemala

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación (Digi), 2022. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria 4.8.63.0.34 con código AP15-2022 en el Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente.

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.



Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación



1. Índice general	
1. Índice general	3
2. Resumen y palabras claves	6
3. Introducción.....	8
4. Planteamiento del problema	9
5. Delimitación en tiempo y espacio	11
5.1. Delimitación en tiempo	11
5.2. Delimitación espacial	11
6. Marco teórico.....	11
7. Estado del arte	13
8. Objetivos.....	14
8.1. General	14
8.2. Específicos	14
9. Hipótesis	15
10. Materiales y métodos.....	15
10.1. Enfoque de la investigación	15
10.2. Metodología	15
10.3. Recolección y procesamiento de la información.....	15
10.4. Técnicas e instrumento.....	17
10.5. Análisis de los Datos	18
11. Resultados y Discusión.....	23
11.1. Resultados	23
11.1.1. Estado actual del arbolado urbano	23
Tabla 1. Especies de árboles con mayor valor de importancia (VI) para Guatemala de la Asunción.....	23
Tabla 2 Riesgo fitosanitario para los árboles en Guatemala de la Asunción.....	24
Tabla 3. Riesgo físico para los árboles en Guatemala de la Asunción.....	24
11.1.2. Estructura y Composición del arbolado urbano.....	25
Tabla 4. Estructura del arbolado urbano y número de especies por dominio público o privado.....	26

11.1.3. Distribución espacial del arbolado urbano.....	27
Figura 2. Número de árboles muestreados en cada uso del suelo.....	28
Figura 4. Dominio de los árboles muestreados	29
11.1.4. Estimación de los beneficios del arbolado urbano.....	29
11.1.4.1. Remoción de contaminantes.....	29
11.1.4.2. Secuestro y Almacenamiento de Carbono.....	30
11.1.4.3. Producción de Oxígeno	30
Tabla.5. Especies de árboles de mayor producción de oxígeno en Guatemala de la Asunción.....	30
11.1.4.4. Prevención de escorrentía.....	31
11.1.4.5. Valores relativos de los servicios ecosistémicos	31
Tabla 6. Valores relativos de los Servicios ecosistémicos de la ciudad de Guatemala de la Asunción.	31
11.1.4.6. Servicios ecosistémicos y comparación entre dominio público y privado.....	32
Tabla 7. Servicios ecosistémicos generados por el arbolado urbano de acuerdo con su dominio público o privado.	32
Figura 5. Carbono acumulado por árbol evaluado en Ciudad de Guatemala.....	33
Figura 6. Carbono secuestrado por árbol evaluado en Ciudad de Guatemala	34
Figura 7. Escorrentía evitada por árbol evaluado en Ciudad de Guatemala	35
Figura 8. Oxígeno producido por árbol evaluado en Ciudad de Guatemala.....	36
11.2. Discusión de resultados.....	38
11.2.1. El estado del arbolado urbano actual en la Ciudad de Guatemala de la Asunción.....	38
11.2.2. Estructura y composición del arbolado urbano de la Ciudad de Guatemala de la Asunción.....	40
11.2.3. La distribución de los árboles en la Ciudad de Guatemala de la Asunción.....	41
11.2.4. Los beneficios suministrados por el arbolado urbano de la ciudad de Guatemala de la Asunción.....	42
12. Conclusiones.....	45
13. Referencias	46
14. Apéndices	59
15. Aspectos éticos y legales	94

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

16. Vinculación.....	94
17. Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual.....	94
18. Aportes de la propuesta de investigación a los ODS:.....	95
19. Orden de pago final	96
20. Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación	96
21. Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario	97
22. Visado de la Dirección General de Investigación	97

2. Resumen y palabras claves

La infraestructura verde urbana también conocida como tejido verde urbano es un elemento indispensable en el espacio urbano que caracteriza a las ciudades con sus imaginarios, identidades y relaciones con la naturaleza. Este tejido verde tiene en los árboles sus componentes principales y claves para la calidad de vida urbana. En la ciudad de Guatemala de la Asunción existen vulnerabilidades ambientales que pueden ser mitigadas a través de los árboles urbanos.

En este estudio se aplicó la metodología de i-Tree Eco para la estimación de cinco beneficios secuestro y almacenamiento de carbono, prevención de escorrentía, remoción de contaminantes y producción de oxígeno, que suministran los árboles a la calidad de vida de los habitantes de la ciudad. Se evaluó además el estado actual, su composición y estructura y la distribución de los árboles muestreados.

Se analizaron 200 parcelas donde se identificaron 118 especies de árboles, 57% nativas y un 43% son introducidas. Los árboles muestreados tienen un patrón agrupado, y hubo prevalencia de árboles en usos del suelo viario, recreativo y de protección. El estado del arbolado urbano presenta un 62% de estado sano en su condición de riesgo fitosanitario mientras que un 54% presenta un estado medio de riesgo físico. Los servicios ecosistémicos suministrados por los árboles en la ciudad son 433.6 Tm/año de contaminantes removidos, 832.6 miles de Tm de carbono almacenado, 43.55 miles Tm carbono secuestrado, 108.6 miles de Tm/año de oxígeno producido y una escorrentía evitada de 1.486 millones de metros cúbicos de agua al año. Estos resultados resaltan la importancia del arbolado urbano como una estrategia funcional para resolver la problemática ambiental en la Ciudad de Guatemala y mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Palabras Claves: Servicios ecosistémicos, ecología urbana, tejido verde urbano, arbolado urbano, iTreeEco

Abstract and keywords

Urban green fabric also known as green infrastructure is a remarkable element of cities. Across the globe, trees are the main components of this urban fabric and are key to meaningful quality of life in the city. Guatemala City faces many environmental challenges which could negatively affect physical and mental health and can be mitigated by benefits provided from urban trees. Therefore, in this study, i-Tree Eco methodology was conducted to assess 5 benefits provided by urban trees: carbon sequestration and storage, pollutant removal, avoided runoff and production of oxygen. Evaluation of current state, composition and structure and distribution pattern of trees were also done.

From 200 measured plots, 118 species were identified of which 57% were native and 43 % introduced. Clustered patterns were revealed for the measured trees, and they were found mainly in transport, recreational and protective land uses. Phytosanitary risk was healthy in 62% and physical risk was medium in 54% of the trees respectively. Ecosystem services of urban trees showed a contribution of 433.6 Tm/y of Remove of pollutants, 832.6 thousand Tm of carbon storage, 3.55 thousands of Tm of carbon sequestration, 108.6 thousands of Tm/y of Oxygen production, and 1.486 million of m³/y of water for Avoided Runoff.

Key words: Ecosystem services, urban ecology, urban green fabric, urban trees, iTreeEco

3. Introducción

Guatemala es un país megadiverso (Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP, 2014), que presenta alto grado de deforestación por la continua presión antropogénica en forma de expansión urbana y agrícola/ganadera. La expansión urbana es un factor asociado a la deforestación de bosques tropicales (Defries et al., 2010). De hecho, el área metropolitana de Guatemala tiene una expansión anual del 4.4% (Municipalidad de Guatemala, 2008), que obedece, entre otras cosas, a la migración y alta densidad poblacional. Este patrón podría incrementarse a largo plazo ya que se espera un incremento de la población a nivel de país para el 2050 (Instituto Nacional de Estadística, 2015). Esta tendencia a ciudades más pobladas y grandes tendrán como resultado la continua pérdida de cobertura vegetal, generando pérdida de la biodiversidad y su función, con impactos nocivos en la vida de los residentes. Por ejemplo, menor cobertura verde y mayor infraestructura gris incrementa la temperatura generando “islas de calor” en el ambiente urbano (Méndez-Lázaro et al., 2018).

Además, las ciudades concentran o están cercanas a focos de contaminación que incrementa la concentración de material particulado y otros gases dañinos a la atmósfera del ambiente urbano. Por lo tanto, un ambiente con poco tejido verde incrementa el desarrollo de enfermedades respiratorias y cardíacas, e incrementa la probabilidad de enfermedades de la piel en la población, principalmente los más vulnerables como niños y ancianos (Méndez-Lázaro et al., 2018). El tejido verde está asociado al embellecimiento de la ciudad y en mejorar la calidad de vida del residente (Kabisch & van den Bosch, 2017).

Sin embargo, los servicios ecosistémicos urbanos son diversos ya que capturan y remueven contaminantes atmosféricos, reducen la escorrentía pluvial por intercepción de agua de lluvia y filtración (Nowak et al., 2006; Nowak & Dwyer, 2007); amortiguan los ambientes termales en la ciudad (Méndez-Lázaro et al., 2018) y ayudan a remover dióxido de carbono de la atmósfera (Strohbach & Haase, 2012). Por estas razones, el conocer la calidad y cantidad de áreas verdes y su arbolado ha sido una de las prioridades de las grandes ciudades a nivel mundial.

En nuestro contexto de país, los estudios en este tema son escasos y se han centrado en el área metropolitana, principalmente barrancos (García, 2011; Ixcot et al., 2007; Kraker-Castañeda et al., 2013; Monterroso et al., 2014; Rodríguez, 2013; Santizo, 2017), o en ciudades con alto impacto turístico como Quetzaltenango y Antigua Guatemala (Castillo et al., 2013; García-Polo, Castillo-

Cabrera, Vega, 2013). El más reciente trabajo es un informe que muestra el déficit de árboles para la Ciudad de Quetzaltenango, así como la composición y riqueza de la vegetación en la ciudad (Castillo et al., 2021).

El objetivo de esta propuesta es evaluar el estado actual (estructura, composición, distribución y servicios ecosistémicos) de la infraestructura verde en la ciudad de Guatemala, a través de la herramienta iTree Eco (Nowak et al., 2008). Esta metodología ha sido altamente utilizada en ciudades de zonas templadas (Gopalakrishnan et al., 2018; Martin et al., 2012; Nowak et al., 2018; Nowak & Crane, 2002) y tropicales (Bauer et al., 2016; Escobedo & Nowak, 2009; Escobedo et al., 2006, 2008; Pérez et al., 2019).

Esto nos permitiría contar con métodos estandarizados para estimar la estructura y servicios ecosistémicos de la infraestructura verde de la ciudad. Esta propuesta pretende, como meta a largo plazo, enfocar el ambiente urbano como uno que promueva la conservación de la diversidad (The Nature Conservancy, 2018) a través de los datos recopilados en campo. Además, queremos que los resultados aquí generados sean utilizados para la formulación (normativa y/o reglamentación) de espacios verdes dentro de la ciudad.

4. Planteamiento del problema

La urbanización modifica de manera importante los componentes naturales del paisaje lo que implica impactos en los procesos ecológicos o la interrupción de estos (Niemelä et al., 2011). La presencia de un tejido verde urbano también conocido como infraestructura verde, es una de las intervenciones que permite disminuir el impacto negativo de la urbanización. Los beneficios de la naturaleza o servicios ecosistémicos han sido reconocidos como fundamentales para la vida humana (Millenium Ecosystem Assessment, (MEA) 2005). En la ciudad, dichos beneficios materiales e inmateriales son suministrados por los distintos espacios que forman el tejido verde urbano y son imprescindibles para el residente urbano. Los servicios ecosistémicos en general están relacionados con la calidad de vida (Bruley et al., 2021).

Hablamos entonces de la provisión de alimentos y agua (Chichilnisky & Heal, 1998; Folke et al., 1997), de la regulación de la temperatura en la ciudad y el control de contaminantes atmosféricos (McPherson et al., 1994; Nowak et al., 2006); de los beneficios para la salud mental y física asociados

a actividades de recreación y al fortalecimiento de la cohesión social (Van den Berg et al., 2010). Finalmente, miles de especies ocupan los refugios, hábitats y alimentos que ofrecen estos espacios verdes incluyendo especies que están bajo alguna categoría de amenaza (Melles et al., 2003). Por lo tanto, la integración de elementos verdes en ciudades y el fortalecimiento del tejido verde, no solo es algo deseable a nivel social y ecológico, sino que también resulta ser una ventaja en términos económicos (Elmqvist et al., 2015).

La reducción de estos espacios y la conjunta pérdida de servicios ecosistémicos puede exacerbar uno de los problemas socio ecológicos de la ciudad de Guatemala como lo es el deterioro ambiental urbano (Castillo-Cabrera & Haase, 2018). Ese problema se ve reflejado en la percepción ciudadana cuando la población citadina experimenta cierta vulnerabilidad que se ha visibilizado mediante reportajes de los principales medios del país. Por ejemplo, las continuas ondas de calor experimentadas a lo largo del país (Gándara, 2016; Pérez Marroquín, 2017; Toc, 2017) ha resaltado la importancia y beneficios del arbolado urbano, porque los ciudadanos buscan la sombra de árboles para mitigar la sensación de calor (Girósan Marcos, 2012). Los medios de comunicación escrita también dirigen esfuerzos para visualizar la problemática de la contaminación atmosférica de las ciudades, identificando las fuentes de contaminación y su relación con enfermedades respiratorias recurrentes en la población (Alfaro, 2013; Gordillo, 2018), el efecto de estos contaminantes y su relación con la muerte infantil (Agence France-Presse (AFP), 2018), y que Guatemala presenta uno de los valores más altos a nivel regional de contaminantes atmosféricos (EFE, 2016).

Considerando que la ciudad de Guatemala presenta vulnerabilidades ambientales que podrían tener una implicación negativa en la salud del ciudadano urbano, esta propuesta tuvo como finalidad evaluar cómo el estado actual del tejido verde urbano contrarresta estos efectos negativos a través de los servicios ecosistémicos que provee y contribuye a la calidad de vida de los habitantes. Los resultados obtenidos estiman cuánto y cuáles son los beneficios que brinda el tejido verde urbano y se espera que estos resultados optimicen los procesos de planificación urbana, la creación de nuevos diseños de espacios urbanos, la generación de normativas y reglamentos adecuados, el fortalecimiento del tejido verde existente y mantener visible la importancia que tiene dicho tejido verde en la calidad de vida de los habitantes que cohabitan el paisaje urbano de la ciudad de Guatemala.

5. Delimitación en tiempo y espacio

5.1. Delimitación en tiempo

El estudio se realizó durante el 2022. Se realizaron talleres de capacitación para las personas que colaboraron en las colectas y levantamiento de información en campo. De Mayo a Noviembre se levantaron las parcelas, y posteriormente se envió la información para análisis en la red de internet en la página del software i-Tree.

5.2. Delimitación espacial

El estudio fue realizado dentro de los límites de la ciudad de Guatemala de la Asunción (Municipio de Guatemala). Específicamente, se colectó información en los espacios del tejido verde urbano, tanto en áreas privadas como públicas.

6. Marco teórico

Para el 2050, alrededor del 60% de la población vivirá en ciudades (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, y Population Division, 2017), con un incremento poblacional aproximado de cerca de 5 billones para el 2030 (Seto et al., 2012). Esta expansión urbana viene acompañada de pérdida en la productividad de ecosistemas remanentes por reducción de hábitat, disminución de biomasa y función de estos (Seto et al., 2012), además de una baja en los servicios ecosistémicos (Karjalainen et al., 2010).

Sin embargo, las proyecciones actuales de expansión urbana vienen acompañadas de alta demanda de los servicios ecosistémicos perdidos por esta conversión. Por lo tanto, la inversión en el tejido verde urbano es algo deseable a nivel social y ecológico, además de ventajoso en términos económicos (Elmqvist et al., 2015). Desde este punto de vista, las herramientas enmarcadas en los aspectos teóricos de la ecología urbana y las ciencias forestales son aptas para el reto del estudio del tejido verde urbano.

En ecología urbana se pueden distinguir dos vertientes principales de sus estudios (Pickett, et al., 2001). La <<ecología en la ciudad>> y la <<ecología de la ciudad>>. La primera consiste en estudiar diversos componentes del ambiente físico urbano como el relieve y la topografía, el clima,

los suelos, la vegetación y la fauna. Mientras que la segunda, quiere entender la ciudad como un ecosistema a una escala mayor incorporando aspectos sociales, económicos y culturales. En el caso de la silvicultura urbana, es el árbol y el conjunto de éstos en la ciudad los objetos de estudio, tanto para evaluar aspectos estructurales (cantidad, condición, edad, tamaño, etc.) como de manejo y plantación (Miller et al., 2015). La propuesta de investigación, al usar la metodología i-Tree, se insertó como una aplicación de la ecología urbana y las ciencias forestales urbanas.

En el caso de los servicios ecosistémicos urbanos, hay distintas clasificaciones (MEA, 2005; Díaz et al., 2018) y podemos tener como ejemplo la producción de alimento, generalmente, a pequeña escala para consumo familiar (Folke et al., 1997), el suministro de agua a nivel de cuenca hidrográfica (Chichilnisky & Heal, 1998), la reducción de ruido (Pathak, Tripathi, y Mishra, 2007), la regulación de temperatura y purificación del aire (McPherson et al., 1994), disminución de la escorrentía pluvial (Bolund & Hunhammar, 1999), tratamiento de agua (Karathanasis, Potter, y Coyne, 2003), regulación del clima global por almacenaje, secuestro de carbono (McPherson & Simpson, 1999).

Así mismo están los servicios asociados al uso de espacios verdes para el desarrollo de actividades que mejoren el estado físico y mental de los residentes (Van den Berg et al., 2010), aspectos cognitivos como ejemplos para educación ambiental (Barthel et al., 2010) y el incremento del valor en las propiedades por su acceso a áreas verdes o por tener espacios verdes (Cho et al., 2008). Finalmente, otro aspecto importante es que sirven de refugio para muchas especies de animales (Melles et al., 2003; Rodrigues et al., 2018). Los servicios ecosistémicos listados anteriormente resaltan la importancia del tejido verde urbano, por lo tanto, el estudio de éste y su valoración ecológica y económica supone una prioridad para encaminarse por condiciones de sustentabilidad y resiliencia en las comunidades urbanas.

Diferentes herramientas han sido utilizadas para evaluar y estimar los servicios ecosistémicos a nivel global. Una de estas se refiere al programa iTree creado por el Servicio Forestal de los Estados Unidos, un programa gratuito y de libre acceso, utilizada para evaluar los bienes y servicios del arbolado en ecosistemas urbanos bajo diferentes plataformas como: iTree Eco, iTree Canopy, iTree Hydro, entre otras). El programa iTree Eco es el que mejor se adapta a un formato internacional y que funciona con la integración de dos juegos de datos, el primero refiere a las mediciones que se realizan en campo y el segundo a datos climáticos y de contaminantes atmosféricos. Esta metodología es

estandarizada y ha sido altamente utilizada en ciudades de zonas templadas (Gopalakrishnan et al., 2018; Martin et al., 2012; Nowak et al., 2018; Nowak & Crane, 2002) y en menor proporción en ciudades tropicales (Bauer et al., 2016; Escobedo & Nowak, 2009; Escobedo et al., 2006, 2008; Pérez et al., 2019). Sin embargo, su uso es cada vez más frecuentes en ciudades tropicales para estimar servicios asociados a la regulación de temperatura, mejorar la calidad del aire a través de la remoción de contaminantes atmosféricos, mitigación contra el cambio climático a través del secuestro y almacenaje de bióxido de carbono, la reducción de emisiones de carbono mediante el ahorro de energía eléctrica en residenciales (ejemplo, árboles reducen el uso de energía eléctrica para calefacción o aire acondicionado), así como la de funcionar como una guía que dirija el desarrollo y planificación de la infraestructura verde, ya sea a nivel de ciudad o escalas más pequeñas.

7. Estado del arte

Las ciudades tienen un rol importante en el acceso a la tecnología y al empleo, pero también presentan problemas ambientales que afectan la condición de vida y salud de los residentes (Escobedo & Nowak, 2009). El acceso, calidad y cantidad del tejido verde urbano está muy asociado a estas variables, por lo que su estudio es una prioridad para garantizar mejores condiciones de vida. De esta forma entonces, el uso de metodologías que nos permita cuantificar el tejido verde urbano y los servicios ecosistémicos asociados, son necesarios para contar con una línea base que genere estrategias de planificación urbana, así como también en la formulación de normas y reglamentos de áreas verdes dentro del paisaje urbano.

i-Tree es un conjunto de herramientas creado por el Servicio Forestal de los Estados Unidos (www.itreetools.org) para evaluar diferentes aspectos de la infraestructura verde en ciudades. Para esta propuesta utilizaremos la herramienta i-Tree Eco. Esta herramienta ha sido utilizada en la región metropolitana de Santiago, Chile, para evaluar el efecto de heterogeneidad espacial en la remoción de contaminantes atmosféricos (Escobedo & Nowak, 2009), en el análisis del manejo de áreas públicas desde una perspectiva socioeconómica (Escobedo et al., 2006), y el análisis de costo beneficio en las políticas de la reducción de contaminantes atmosféricos de la ciudad de Santiago (Escobedo et al., 2008).

También ha sido utilizada para evaluar la diversidad de árboles en los bosques urbanos y periféricos en ciudades del sureste de los Estados Unidos (Blood, *et al.*, 2016); para relacionar los efectos de las “islas de frescura” (*cool island effect*) con la composición de especies en parques de la ciudad de Changzhou, China (Wang, Cheng, Xi, Yang, y Zhao, 2018); además de ser utilizada para cuantificar la reducción de carbono y contaminantes atmosféricos por parte del estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo tanto a nivel de ciudad (Martin *et al.*, 2012; Nowak *et al.*, 2018) como de país (Gopalakrishnan *et al.*, 2018; Nowak & Crane, 2002; Nowak *et al.*, 2006; Nowak, Greenfield, Hoehn, & Lapoint, 2013).

Adicionalmente, los datos estructurales del arbolado urbano estimados con i-Tree Eco también han sido utilizados para generar modelos de hábitat potencial para especies de aves (Lerman *et al.*, 2014). Recientemente i-tree se utilizó para el área metropolitana de Santo Domingo, República Dominicana, evaluando los servicios ecosistémicos del arbolado urbano (Bauer *et al.*, 2016; Pérez *et al.*, 2019). Otro aspecto relevante actualmente, son los impactos negativos por el cambio climático, estos estudios señalan que el tejido verde urbano juega un papel prominente para la adaptación y mitigación en las ciudades por el secuestro y almacenamiento de carbono. (Nero *et al.*, 2017; Yu, *et al.*, 2017; Sun, *et al.*, 2019). Por lo tanto, la versatilidad de los datos recopilados con i-Tree Eco son valiosos para el análisis del tejido verde urbano a nivel de ciudad o país.

8. Objetivos

8.1. General

Evaluar la contribución del tejido verde urbano a la calidad de vida en la Ciudad de Guatemala de la Asunción.

8.2. Específicos

- Caracterizar el estado actual del arbolado del tejido verde urbano en la ciudad de Guatemala de la Asunción.
- Determinar la estructura y composición de especies del arbolado del tejido verde urbano en la ciudad de Guatemala de la Asunción

- Identificar la distribución espacial del arbolado del tejido verde urbano en la ciudad de Guatemala de la Asunción
- Estimar los beneficios ecológicos y monetarios del tejido verde urbano en la ciudad de Guatemala de la Asunción.

9. Hipótesis

Se esperan diferencias en la estructura, composición y servicios ecosistémicos del tejido verde urbano entre los distintos usos del suelo que definen dominios públicos y privados.

10. Materiales y métodos

10.1. Enfoque de la investigación

Esta propuesta tiene un enfoque cuantitativo.

10.2. Metodología

La metodología utilizada combinó distintos métodos: levantamiento de parcelas forestales donde se recolectan todas las variables requeridas por i-Tree Eco. Trabajo de laboratorio para la identificación y curación de los especímenes colectados, además de la elaboración de la base de datos para i-Tree Eco. Finalmente, análisis computacional en dos variantes: la primera parte conlleva el uso del software i-Tree Eco cuyos algoritmos calculan varios resultados sobre la estructura del arbolado urbano y los servicios ecosistémicos; la segunda variante fue el análisis de la base de datos para evaluar la hipótesis y otros resultados.

10.3. Recolección y procesamiento de la información

El levantamiento de datos en campo se realizó utilizando parcelas circulares de 0.04 ha distribuidas al azar dentro de los límites de la Ciudad de Guatemala, siguiendo la metodología descrita en el manual de i-Tree Eco v6.0 (i-Tree, 2019). El uso de 200 parcelas que fueron utilizadas en el proyecto ha sido sugerido para el análisis en ciudades (i-Tree, 2019; Nowak et al., 2008). Representan un error estándar aproximado del 10% para la ciudad entera, por lo tanto, un error del 10% es aceptable

y suficiente para estimar los servicios ecosistémicos a nivel de la Ciudad de Guatemala. De la misma manera se advierte que la comprensión y utilización de los resultados deben de tomar en cuenta este margen de error.

Las doscientas parcelas fueron mapeadas preliminarmente y verificadas usando sistemas de información geográfico. Las parcelas que se ubicaban en los barrancos (75) fueron descartadas y se propusieron nuevas dentro del espacio público, específicamente en espacios verdes asociados a vías de transporte. Algunas parcelas que se muestrearon se encuentran a orillas de barrancos y están en el límite del uso residencial con el de protección. Se tomaron como de uso protección con la salvedad que están asociados a espacios de vivienda.

Así mismo se verificaron de acuerdo con el mapa de uso del suelo de 2018 (Anexo 1. Castillo-Cabrera, Wellmann & Haase, 2021) cuáles tenían tejido urbano verde dentro de la parcela y se volvieron a verificar en tiempo real mediante Google Earth. Cuando las parcelas no mostraron evidencia de tener alguna superficie verde, éstas fueron ingresadas al iTree sin necesidad de verificar en campo. El resto de las parcelas fueron visitadas para levantar la información requerida por el software. En total 75 parcelas no presentaron superficies verdes y 125 sí.

A nivel de parcela se realizó el siguiente procedimiento: se marcó cada centro de la parcela utilizando un GPS y los límites de la parcela se delimitaron utilizando banderines de colores siguiendo la dirección de cada punto cardinal (N, S, E, O). Seguidamente se calcularon las siguientes variables: (i) porcentaje cobertura de dosel, (ii) porcentaje cobertura de arbustos, (iii) porcentaje área disponible para plantar, (iv) porcentaje uso de suelo, porcentaje cobertura de suelo. En caso la parcela tuviera árboles, entonces se procedió a recolectar la siguiente información a nivel de cada árbol encontrado: (i) especie del árbol, (ii) altura del árbol (total, porción verde, rama más baja), (iii) diámetro a la altura del pecho (dap), (iv) ancho de copa (dos medidas siguiendo la dirección N – S y E – O), (v) porcentaje de muerte regresiva, (vi) porcentaje de copa ausente, (vii) lados de la copa que le da el sol (códigos de 0 – 5), (viii) porcentaje superficie impermeable y arbustiva debajo de la copa, (ix) coordenadas geográficas, (x) observaciones relevantes del árbol (nombre común, usos, entre otros) y estado fitosanitario.

Todos estos datos fueron ingresados a la plataforma i-Tree Eco para poder estimar los servicios ecosistémicos siguientes de acuerdo con los algoritmos integrados en la plataforma: remoción de contaminantes atmosféricos (CO, O₃, NO₂, SO₂, PM_{2.5}), reducción de escorrentía pluvial, producción de oxígeno, almacenamiento y secuestro de carbono. De la misma manera se obtuvieron las estimaciones económicas tipo monetario en quetzales y dólares americanos. En el proyecto iniciado se le indicó a la plataforma que utilizará los datos de clima y contaminantes que se reportan en la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional la Aurora, (que son administradas por NOAA) están vinculadas automáticamente con el programa de i-Tree Eco.

En el laboratorio se fue construyendo la base de datos y se realizó el trabajo de herbario, así como el mapeo de las variables que se podían cartografiar. Todo el trabajo fue llevado a cabo en las instalaciones del Centro de Estudios Conservacionistas (CECON). El trabajo de herbario consistió en la herborización, identificación y montaje de los especímenes. Para ello, inicialmente se colectaron ejemplares de plantas de 30 cm de largo, preferiblemente con estructuras reproductivas. Posteriormente, fueron herborizados en hojas de papel periódico identificadas con el número de colecta y fecha, para luego ser llevadas al proceso de secado (durante una semana). Ya secados los especímenes fueron identificados en las instalaciones del Herbario USCG por medio de claves de identificación taxonómica como Flora de Guatemala, Flora de Mesoamérica, entre otros. Seguidamente, se montaron y cosieron los especímenes en papel especial de herbario, libre de ácido y con medida estándar de 42x29.5 cm. Finalmente, se ingresaron las especies colectadas al Portal de Biodiversidad de Guatemala, se etiquetaron, escanearon e ingresaron a la colección de referencia del Herbario USCG (Portal de Biodiversidad de Guatemala, 2023). Juntamente con el trabajo de Herbario se realizó la búsqueda de información para la realización del catálogo de las especies arbóreas de Ciudad de Guatemala.

10.4. Técnicas e instrumento

Se utilizó un análisis computacional a partir del instrumento denominado i-Tree Eco creado por el Servicio Forestal de los Estado Unidos de América (www.itreetools.org). Es gratuito y su

manejo es relativamente fácil. I-Tree Eco utilizó los algoritmos integrados en su estructura para calcular los servicios ecosistémicos descritos anteriormente. Los datos generados por el reporte de i-Tree Eco se exportaron para ser analizados vía Excel y R.

Los instrumentos y técnicas utilizadas fueron realizadas según las recomendaciones de la metodología del i-Tree Eco. Durante el levantamiento de información fue utilizada una boleta generada por el software de acuerdo con los objetivos del proyecto. Así mismo se utilizaron técnicas ampliamente utilizadas para evaluar variables en estudios forestales y de ecología de plantas como: cintas métricas, cintas diamétricas, cintas de marcaje, clinómetro, hipsómetro, dasímetro. Así mismo como dato extra se agregó a la boleta variables del estado fitosanitario del arbolado (Cordón, 2021).

El análisis de la distribución se realizó con la técnica de sobreposición de capas, a los árboles muestreados se les asignaron los valores de uso del suelo (Castillo-Cabrera et al., 2021) y de zonas de la ciudad. Además, a partir de la base de datos ingresada a i-Tree Eco se obtuvieron los valores sobre condición del árbol y dominio público o privado, con lo cual se pudo analizar la distribución de estas características en función de los árboles evaluados. De igual forma las estimaciones de servicios ecosistémicos suministrados por cada árbol permiten identificar áreas donde se proveen más dichos servicios.

10.5. Análisis de los Datos

Los datos ingresados a la plataforma de i-Tree Eco fueron enviados a su análisis para la estimación de los siguientes servicios ecosistémicos urbanos: Contaminantes atmosféricos removidos por año (CO, NO₂, SO₂, O₃), Volumen de escorrentía evitada por año, cantidad de carbono acumulado en forma de biomasa, cantidad de carbono secuestrado por año y cantidad de oxígeno producido por año. Así mismo se obtuvo la cantidad y valor monetario asociado (promedio y totales) de dichos servicios.

A continuación, se describen las condiciones utilizadas por i-Tree para estimar las cantidades y valores monetarios de cada servicio ecosistémico.

- Remoción de contaminantes

Se utilizaron los datos de la estación climatológica del Aeropuerto de La Aurora y datos de campo. En el caso de la estación se utilizaron datos de 2010 porque eran los datos donde existía información sobre la contaminación, requerida por el software. La estimación que realiza i-Tree Eco se deriva de resistencias del dosel para ozono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno las cuales se basan en un modelo híbrido de modelos de deposición multicapa y hojas largas (Balducchi 1988; Balducchi et al. 1987 en Hirabayashi, 2011; Hirabayashi, 2012, Hirabayashi et al., 2011; Hirabayashi et al., 2012). Las tasas de remoción que utiliza iTree Eco (o velocidades de deposición) para el CO y las PM, se basan en valores promedios obtenidos de literatura ajustados a la fenología de la hoja y el área foliar debido a que dichos contaminantes y su remoción no están directamente relacionados con la transpiración (Bidwell & Fraser 1972; Lovett 1994). La remoción de partículas incorpora una tasa de resuspensión del 50% de regreso a la atmósfera según Zinke (1967).

La actualización de los modelos de calidad del aire que utiliza i-Tree Eco se basa en mejoras en las simulaciones del índice de área foliar, y en el proceso e interpolación de datos de clima y contaminación. En el caso del valor monetario, i-Tree Eco, al ser éste un estudio internacional, estima tanto en valores medianos de externalidad europeos (van Essen, et al., 2011) o en ecuaciones de regresión BenMAP (Nowak, et al.. 2014) que incorporan estimados de población definidos por el usuario. Para este análisis los valores de remoción de contaminantes se calcularon en los siguientes precios: Q11,355 por tonelada métrica de monóxido de carbono, Q79,946 tonelada métrica de ozono, Q79,946 per métrica de dióxido de nitrógeno, Q19,572 por tonelada métrica de dióxido de azufre.

- Secuestro y almacenamiento de Carbono

Para estimar el almacenamiento de carbono i-Tree Eco utiliza la biomasa de cada árbol con ecuaciones de la literatura que utiliza i-Tree ¹ y de las variables medidas en cada árbol. I-Tree Eco ajusta los valores de biomasa utilizando un factor de multiplicación de 0.8. Esto porque los árboles urbanos (en espacios abiertos y con mantenimiento) tienden a tener menos biomasa que los árboles en bosques naturales (Nowak, 1994). La biomasa del árbol en peso seco es convertida en carbono almacenado multiplicando

¹ El lector puede ver estas ecuaciones en la siguiente referencia Nowak (2021)

por 0.5. Para estimar el secuestro bruto de carbono anual, i-Tree añade el valor del crecimiento promedio del diámetro de cada género, condición del árbol y la clase diamétrica, al valor existente del diámetro del árbol.

Los valores utilizados por i-Tree se basan en estimaciones realizadas por la Agencia Estadounidense de Protección del Ambiente (US.EPA). al no tener valores locales (U.S. EPA, 2015a, U.S.EPA, 2015b). Estos valores luego fueron convertidos a Quetzales usando una tasa de cambio definida. En el caso de este análisis, los valores se estimaron utilizando como base Q1,452 por tonelada métrica.

- Producción de Oxígeno

La cantidad de oxígeno producido es estimada por i-Tree Eco de acuerdo con el secuestro de carbono basándose en pesos atómicos utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Liberación neta de O}_2 \text{ (kg/año)} = \text{secuestro neto de C (kg/año)} \times 32/12$$

De acuerdo con Nowak et.al, (2007) la estimación de la tasa neta de secuestro de carbono está relacionada con el crecimiento del árbol donde la muerte de árboles reduce dicha tasa. De esta forma, la descomposición es incluida en el cálculo tanto del secuestro neto de carbono como de la producción neta anual de oxígeno.

- Escorrentía evitada

i-Tree Eco basa este servicio en la interceptación de lluvia por la vegetación, especialmente en la diferencia de la escorrentía anual sin y con vegetación. En este análisis sólo la interceptación realizada por las hojas se tomó en cuenta, aún y cuando las ramas y corteza podrían realizarla también. El valor está basado en el promedio nacional para los Estados Unidos y luego convertido a Quetzales por una tasa de cambio definida. El valor monetario que se utilizó fue de Q18.24 por m³. El valor estadounidense de escorrentía evitada se basa en las guías de forestería comunitaria del servicio forestal de los Estados Unidos (USFS).²

² i-Tree se basa en McPherson et al 1999; 2000; 2001; 2002; 2003; 2006a; 2006b; 2006c; 2007; 2010; Peper et al 2009; 2010; Vargas et al 2007a; 2007b; 2008) .

- Valores relativos de los servicios ecosistémicos

Las estimaciones de los servicios ecosistémicos de secuestro y almacenamiento de carbono, así como remoción de contaminantes i-Tree Eco los evalúa también en términos de su valor relativo equivalente a emisiones de carbono municipales, emisiones de vehículos particulares y emisiones por hogares. En el caso de las emisiones municipales iTree Eco se basa en los valores estadounidenses per cápita del 2010³. Estas emisiones per cápita posteriormente las multiplica por la población de la ciudad para estimar el total de emisiones de carbono de la ciudad.

Para determinar el promedio de emisiones por vehículos, i-Tree Eco utilizó las tasas de emisiones de vehículos ligeros (g/mi) para O, NO_x, VOCs, PM10, SO₂ con valores del 2010 (Bureau of Transportation Statistics 2010; Heirigs, Delaney & Dulla, 2004), PM2.5 para los años 2011-2015 (California Air Resources Board 2013), y de CO₂ para el 2011 (U.S.EPA, 2010) los cuales fueron multiplicados por el promedio de millas recorridas por vehículo en 2011 (Federal Highway Administration 2013).

En el caso de las emisiones de hogares, i-Tree Eco se basa en los promedios de uso de electricidad (kWh), de gas natural (Btu), de combustibles fósiles (Btu), de keroseno (Btu), de LPG (Btu) y de leña (Btu) por hogar para el 2009 (Energy Information Administration 2013; Energy Information Administration 2014). Las emisiones de CO₂, SO₂, y NO_x en kWh, provenientes de plantas eléctricas, i-Tree Eco utiliza como fuente a Leonardo Academy (2011). Las emisiones de monóxido de carbono (kWh), asume que un tercio del 1% de las emisiones de carbono son monóxido. (Energy Information Administration 1994). Las emisiones de CO₂, SO₂, y NO_x en Btu derivados de gas natural, propano, butano (el promedio representa LPG), combustibles #4 y #6 (promedio para representar combustible fósil y keroseno) de Leonardo Academy (2011). Las emisiones de CO₂ en Btu derivadas de leña son de Energy Information Administration (2014). Las emisiones de CO_x, NO_x y

³ i-Tree Eco utiliza datos del Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC) de 2010 y cuya información se encuentra en transición a un repositorio del Departamento Estadounidense de Energía (DOE) llamado: Environmental Science Data Infrastructure for a Virtual Ecosystem (ESS-DIVE por sus siglas en inglés) <https://ess-dive.lbl.gov/>

SOx en Btu, están basadas en las emisiones totales y la quema de leña (toneladas) según British Columbia Ministry (2005) y la Georgia Forestry Commission (2009).

Para evaluar la hipótesis planteada, se utilizaron los datos que identificaban a cada árbol como parte de dominio público o privado que se fueron recolectando durante la fase de campo y se compararon entre sí. Adicionalmente, los mapas generados fueron creados utilizando el programa ArcGIS (ESRI, 2021). El Valor de Importancia (VI) se calculó mediante una suma del porcentaje de población y el porcentaje del área foliar. Los valores más altos son las especies que dominan la estructura del arbolado urbano.

11. Resultados y Discusión

11.1. Resultados

11.1.1. Estado actual del arbolado urbano

El estado actual del arbolado urbano se reporta en dos formas con relación a características de los árboles estudiados y de su estado fitosanitario. El arbolado urbano de la ciudad de Guatemala de la Asunción se estima en más de 3 millones de árboles en el espacio público y privado, excluyendo los barrancos. La cobertura arbórea estimada a nivel de ciudad fue de 32% aproximadamente con una densidad de 134 árboles por hectárea. La ciudad está dominada por coberturas de suelo tipo edificios y asfalto con 24.8% y 17.5%, respectivamente, y que refieren a superficies impermeables

En términos de área foliar, la ciudad posee aproximadamente 554.4 km². Las especies que más contribuyen con este valor son *Corymbia torelliana*, *Cupressus lusitanica*, y *Jacaranda mimosifolia*. Las especies que dominan en términos de Valores de Importancia fueron estimadas a partir del porcentaje de población y el porcentaje de área foliar. Las diez especies con mayor importancia se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Especies de árboles con mayor valor de importancia (VI) para Guatemala de la Asunción

Especie	% Población	% Área foliar	VI
<i>Corymbia torelliana</i>	5.6	17.8	23.4
<i>Casuarina equisetifolia</i>	12.7	5.9	18.6
<i>Cupressus lusitanica</i>	6.5	10.9	17.4
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	7.2	7.2	14.4
<i>Quercus sp.</i>	5.8	5.1	10.9
<i>Ligustrum lucidum</i>	4.4	4.9	9.3
<i>Magnolia champaca</i>	5.1	1.1	6.2
<i>Fraxinus uhdei</i>	2	3.5	5.5
<i>Tabebuia rosea</i>	3.1	2.2	5.3
<i>Taxodium mucronatum</i>	1.5	3.4	4.9

En términos del estado fitosanitario, del total de árboles muestreados (ver Tabla 2) 665 árboles presentaron riesgo bajo, siendo las especies: *Casuarina equisetifolia*, *Jacaranda mimosifolia* y *Cupressus lusitanica*, las mayormente representadas bajo esta categoría. La especie *Casuarina*

equisetifolia también se vio representada en riesgo medio, junto a *Quercus sp.* y *Magnolia champaca* debido a que presentaban alguna plaga o enfermedad. Asimismo, las especies que presentaron un riesgo alto fueron *Corymbia torelliana*, *Jacaranda mimosifolia* y *Ligustrum lucidum*.

Tabla 2 Riesgo fitosanitario para los árboles en Guatemala de la Asunción

Condición Fitosanitaria	Escala	No. árboles	Especies**
Sano	Bajo	665	CE, JM, CL
Plagado/Enfermo	Medio	371	QQ, CE, MC
Muerto	Alto	31	CT, JM, LL
Árboles sin información*		6	

*Número de árboles de los cuales no se tomaron los datos fitosanitarios debido a que no se contaba con la escala de riesgo fitosanitario. **Especies CE: *Casuarina equisetifolia*, JM: *Jacaranda mimosifolia*, CL: *Cupressus lusitánica*, QQ: *Quercus sp.*, MC: *Magnolia champaca*, CT: *Corymbia torelliana*, LL: *Ligustrum lucidum*.

Como parte complementaria al riesgo fitosanitario se muestra en la Tabla 3 la condición física de los árboles. Con riesgo físico medio aparece el 54% de los árboles representados mayormente por *Casuarina equisetifolia* y *Jacaranda mimosifolia*, seguidamente se reportaron con riesgo físico bajo las especies *Quercus sp.* y *Casuarina equisetifolia*. Por otro lado, se reportaron 42 árboles en escala alta, representados por *Corymbia torelliana*, y *Magnolia champaca*, especies que se encontraron mayormente con daño en el tronco y ramas.

Tabla 3. Riesgo físico para los árboles en Guatemala de la Asunción

Condición Física	Escala	No. Árboles	Especies**
Sano	Bajo	447	QQ, CE
Inclinado/sinuoso/bifurcado	Medio	578	CE, JM
Muerto	Alto	42	CT, MC
Árboles sin información*		6	

*Número de árboles de los cuales no se tomaron los datos fitosanitarios debido a que no se contaba con la escala de riesgo físico. **Especies CE: *Casuarina equisetifolia* QQ: *Quercus sp.* *Casuarina equisetifolia*, JM: *Jacaranda mimosifolia*, CT: *Corymbia torelliana*, MC: *Magnolia champaca*.

11.1.2. Estructura y Composición del arbolado urbano

A nivel de ciudad la estructura del arbolado urbano tiene una distribución diamétrica dominada por árboles entre 15.2 - 30.5 cm de DAP. Aproximadamente el 15% de los árboles presentan DAP menores a 10 cm y menos del 5% de los árboles muestreados presentan DAP mayores a 76 cm. El DAP promedio a nivel de ciudad es de 18.6 cm. El rango de altura es muy variable, desde árboles con altura de 1.5 m hasta árboles grandes con alturas que alcanzan los 34 m. Los árboles mayores a 30 m de altura refieren al género *Quercus* y especies como *Corymba torelliana* y *Eucalyptus globulus*; mientras que los árboles con alturas menores a 5 m están las siguientes especies: *Bahinia purpurea*, *Eriobotrya japonica*, *Schinus terebinthifolia*, *Ehretia tinifolia*, *Syzigium jambos*, entre otras. Estas especies son representativas también de los extremos descritos para la variable de diámetro.

En la Tabla 4 se describen las variables estructurales y de número de especies por dominio, es decir, público o privado. Estos valores representan promedios e incluyen parcelas con y sin árboles, por lo tanto, estos valores pueden ser bastante bajos para alguna de las variables evaluadas. El dominio público en general presenta mayor número de especies, árboles y tallos, así como árboles con mayor promedio de DAP y altura, que consecuentemente se traduce en mayor cobertura de dosel.

La composición del arbolado urbano es de 118 especies, de éstas un 57% son nativas y un 43% son introducidas. De las introducidas, 21% son nativas de Norteamérica y un 18% son originarias de Asia. Las especies de árboles más frecuentes en el arbolado urbano de la ciudad son: *Casuarina equisetifolia* (12.7%), *Jacaranda mimosifolia* (7.2 %) y *Cupressus lusitanica* (6.5%); reconocidos por sus nombres comunes como Casuarina, Jacaranda y Ciprés, respectivamente. Otras especies son menos comunes representando menos del 5% de las especies reportadas como por ejemplo: *Ligustrum lucidum* (4.4%, Trueno), *Citharexylum donnell-smithii* (3.1%, Coralillo), *Tabebuia rosea* (3.1%, Matilisguate), *Fraxinus uhdei* (2%, Fresno). El resto de las especies podrían considerarse poco frecuentes en el paisaje urbano, pero representan el 44% de la población.

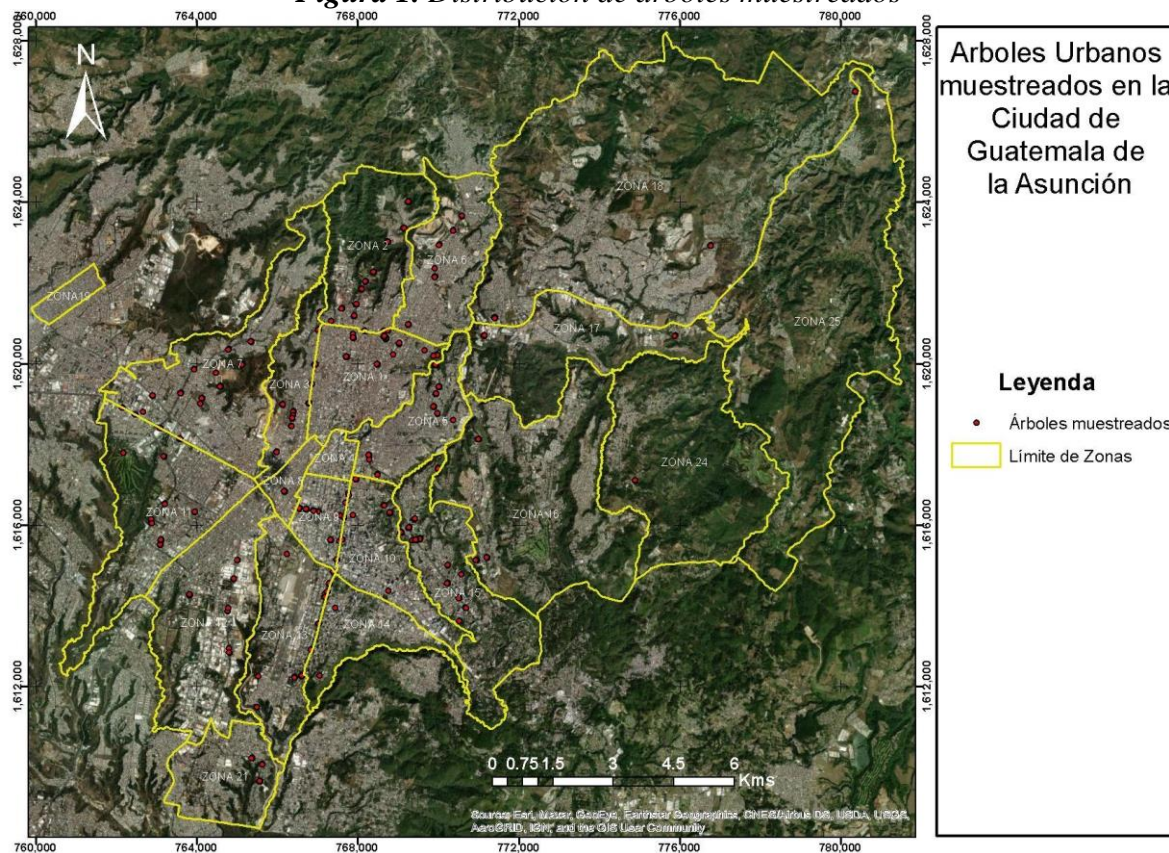
Tabla 4. Estructura del arbolado urbano y número de especies por dominio público o privado

Variable	Privado	Público
Especies promedio	1	2
Árboles promedio	2	6
Tallos promedio	4	8
DAP promedio (cm)	5.4	29.0
Altura promedio (m)	1.6	7.1
Cobertura dosel promedio (m2)	8.4	52.6

11.1.3. Distribución espacial del arbolado urbano

En función de las parcelas realizadas al azar y de las parcelas utilizadas para compensar las que fueron retiradas por haberse ubicado en los barrancos se evaluaron 1073 árboles. La distribución espacial de los mismos se observa en la Figura 1.

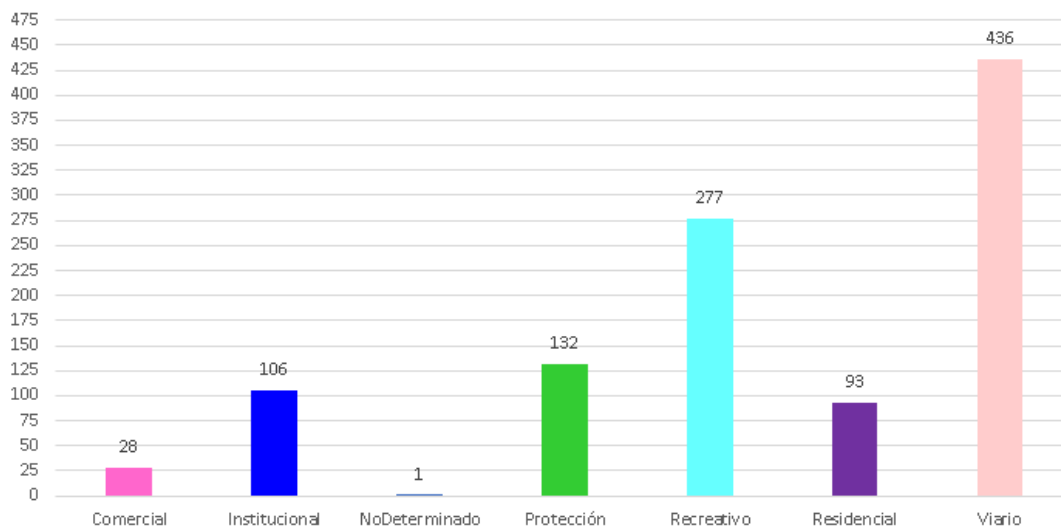
Figura 1. Distribución de árboles muestreados



En relación con la zona donde se ubican los árboles muestreados, la mayoría se muestreó en zonas 15, 1, 2, 11 y 5 (porcentajes arriba de 7%). Otras zonas presentaron porcentajes entre 3 y 7 del total de árboles y finalmente, existen zonas (4, 19 y 25) que no tuvieron muestreo.

De acuerdo al uso del suelo publicado por Castillo-Cabrera et al., (2021) los árboles muestreados se distribuyeron en distintos usos, siendo el uso viario en donde se tomaron los datos de más árboles (40%), seguido de recreativo (26%) y protección (12%). En la Figura 2 se muestra la ubicación de los árboles por uso del suelo.

Figura 2. Número de árboles muestreados en cada uso del suelo



En relación con la distribución por el dominio (público o privado) los árboles fueron muestreados predominantemente en el dominio público (817) y solamente un aproximado de 23 % en dominio privado (256). En la figura 3 se muestran las ubicaciones de los árboles en dominio privado y público.

Figura 3. Distribución de árboles muestreados por uso del suelo

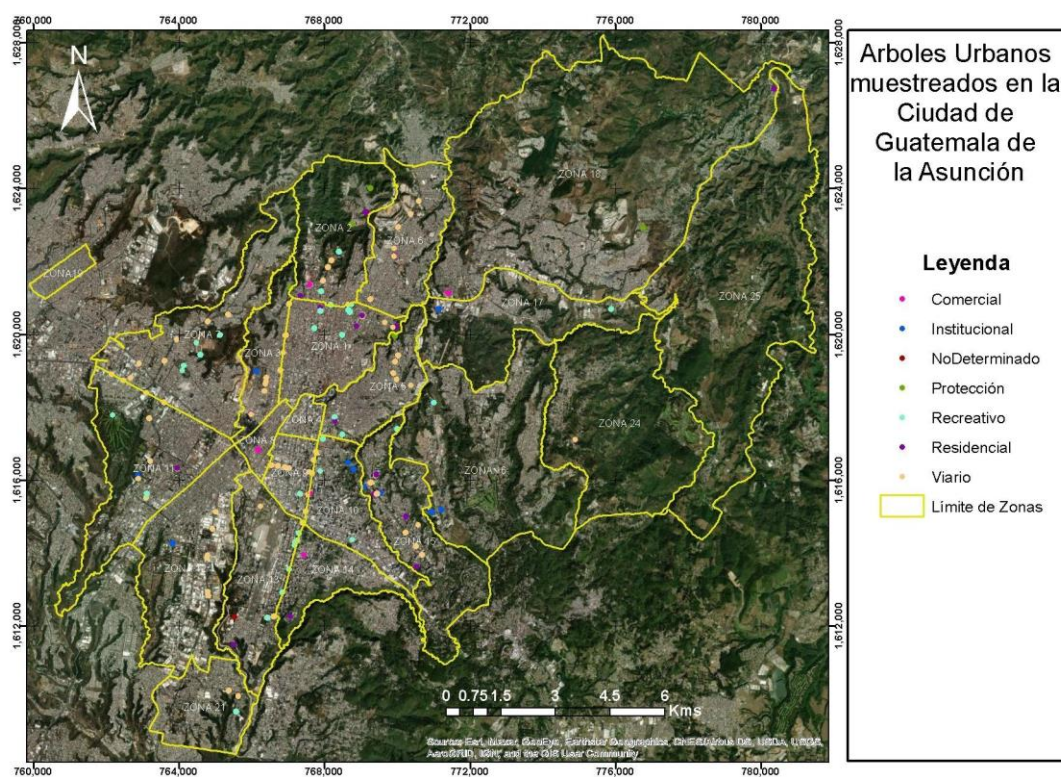
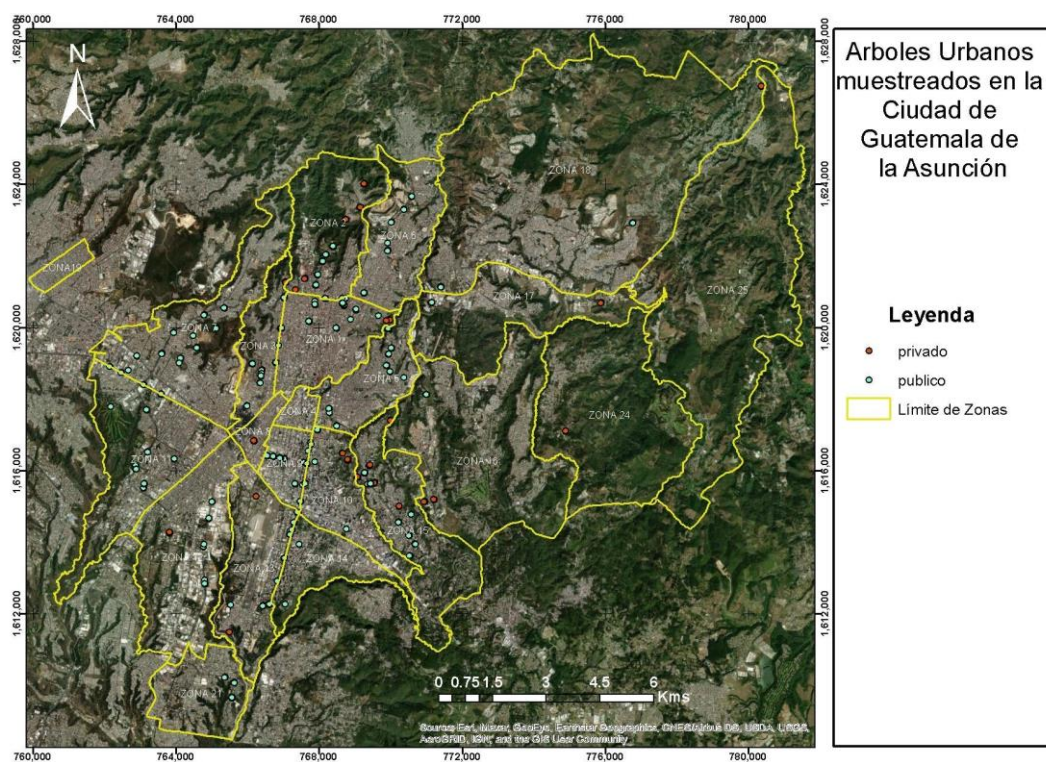


Figura 4. Dominio de los árboles muestreados



11.1.4. Estimación de los beneficios del arbolado urbano

Los beneficios del arbolado urbano que se estimaron usando la herramienta i-Tree Eco son: remoción de contaminantes del aire, almacenamiento de carbono, secuestro de carbono, producción de oxígeno y escorrentía evitada. Se calcularon los valores de los beneficios incluyendo estimaciones monetarias (en Quetzales). Tomar en cuenta que los estimados de servicios ecosistémicos refieren a la totalidad de árboles estimados para la ciudad de Guatemala y la población reportada, valores que se obtuvieron a partir de los árboles reportados y medidos a nivel de parcelas.

11.1.4.1. Remoción de contaminantes

Se estimó que el arbolado urbano de la ciudad de Guatemala de la Asunción removió 433.6 Toneladas métricas de contaminantes del aire al año con un valor asociado de 30.8 millones de quetzales. Entre los contaminantes removidos se encuentran el ozono (O_3), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO_2) y dióxido de azufre (SO_2).

Asociado a este tema, está la emisión de compuestos orgánicos volátiles -COV- que se relacionan como precursores para la formación de ozono. Se estimaron 851.5 toneladas métricas de COV repartidos en 475.1 toneladas métricas de isoprenos y 376.4 toneladas métricas de monoterpenos. Las especies que más COV emitieron (41% del total) fueron *Corymbia torrelliana* y *Quercus sp.*

11.1.4.2. Secuestro y Almacenamiento de Carbono

El carbono secuestrado bruto del arbolado de la ciudad es de aproximadamente 43.55 miles de toneladas métricas al año y un valor monetario asociado de 63.3 millones de Quetzales. El secuestro de carbono neto es de 40.72 miles de toneladas métricas.

Los árboles de la ciudad almacenaron un estimado de 833,000 toneladas métricas de carbono con un valor asociado de 1.21 millardos de Quetzales. De todas las especies *Corymbia torrelliana* almacena más (19%) y *Casuarina equisetifolia* (24.8%) la que más secuestra.

11.1.4.3. Producción de Oxígeno

El arbolado urbano produce un estimado de 108.6 miles de T de oxígeno por año. Las especies con mayor producción fueron:

Tabla.5. Especies de árboles de mayor producción de oxígeno en Guatemala de la Asunción.

Especie	Oxígeno (miles de toneladas métricas)
<i>Casuarina equisetifolia</i>	27.5
<i>Corymbia torelliana</i>	15.55
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	7.03
<i>Cupressus lusitanica</i>	6.82
<i>Quercus sp.</i>	4.22
<i>Ligustrum lucidum</i>	4
<i>Taxodium mucronatum</i>	3.82
<i>Fraxinus uhdei</i>	3.3
<i>Eucalyptus globulus</i>	3.12
<i>Tabebuia rosea</i>	3.03

11.1.4.4. Prevención de escorrentía

En relación con prevenir la escorrentía o evitarla, los árboles y arbustos de la ciudad de Guatemala de la Asunción redujeron ésta por un estimado de 1.49 millones de metros cúbicos por año. El valor asociado a este servicio es de 27 millones de Quetzales. Las especies que mayormente evitan la escorrentía a nivel de ciudad son: *Corymbia torelliana*, *Cupressus lusitanica*, *Jacaranda mimosifolia*, *Casuarina equisetifolia*.

11.1.4.5. Valores relativos de los servicios ecosistémicos

Los valores relativos de las estimaciones de los servicios ecosistémicos de secuestro y almacenamiento de carbono, así como remoción de contaminantes se muestran comparados con su equivalente a emisiones de carbono municipales, emisiones de vehículos particulares y emisiones por hogares.

Tabla 6. Valores relativos de los Servicios ecosistémicos de la ciudad de Guatemala de la Asunción

<i>Servicio Ecosistémico</i>	<i>Valores equivalentes a</i>	
Almacenamiento de Carbono	Cantidad de carbono emitido	69 días
	Emisiones anuales de carbono	649,000 automóviles
	Emisiones anuales de carbono	266,000 hogares unifamiliares
Remoción de CO	Emisiones anuales de CO	73 automóviles
	Emisiones anuales de CO	201 hogares unifamiliares
Remoción de NO ₂	Emisiones anuales de NO ₂	7,420 automóviles
	Emisiones anuales de NO ₂	3,340 hogares unifamiliares
Remoción de SO ₂	Emisiones anuales de SO ₂	670,000 automóviles
	Emisiones anuales de SO ₂	1770 hogares unifamiliares
Secuestro anual de Carbono	Cantidad de carbono emitido	3.6 días
	Emisiones de carbono	34,000 automóviles
	Emisiones de carbono	13,900 en hogares unifamiliares

Como se observa en la Tabla anterior, los beneficios suministrados por el arbolado urbano y en extensión por el tejido verde urbano de la ciudad de Guatemala de la Asunción, mitigan efectos nocivos como las emisiones tanto de hogares como vehículos. Finalmente, de acuerdo con los valores por árbol proporcionados por i-Tree Eco, la distribución de los beneficios evaluados en este estudio se presentan en las figuras 5 a 9. En ellas se puede observar cómo cada árbol contribuye con distintas cantidades de los servicios ecosistémicos en distintos espacios de la ciudad.

11.1.4.6. Servicios ecosistémicos y comparación entre dominio público y privado

En general el dominio público presenta mayor cantidad y calidad de los servicios ecosistémicos evaluados. Los árboles localizados en lugares públicos acumulan y secuestran mayor cantidad de carbono, evitan mayor volumen de escorrentía, producen mayor cantidad de oxígeno y remueven más contaminantes atmosféricos por año.

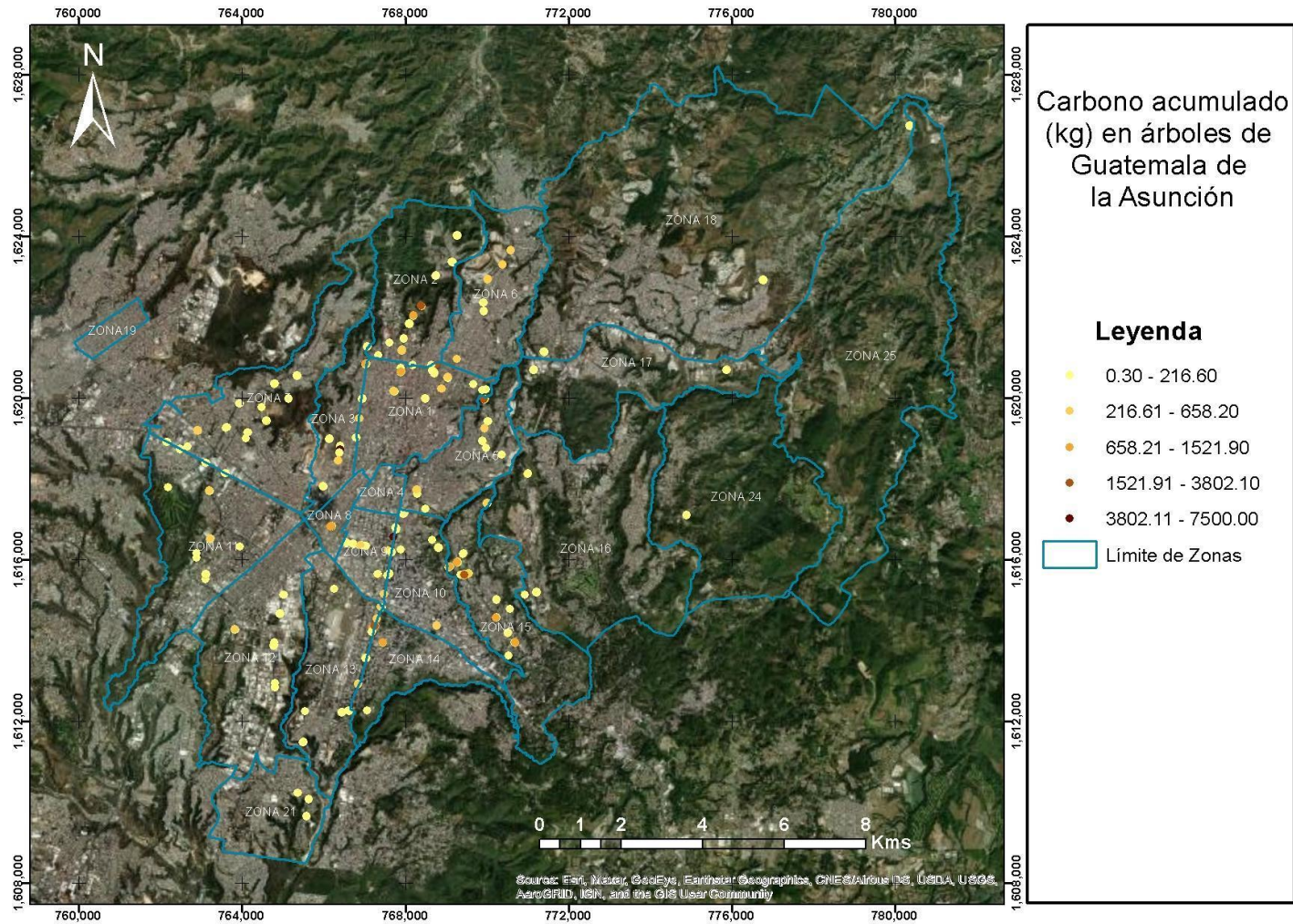
Tabla 7. Servicios ecosistémicos generados por el arbolado urbano de acuerdo con su dominio público o privado.

Servicios ecosistémicos	Privado	Público
Carbono acumulado (Kg)	42,047.9	250,228.0
Carbono secuestrado (Kg/año)	2,480.1	12,810.2
Escorrentía evitada (m ³ /año)	79.8	385.4
Oxígeno (Kg/año)	6,612.7	34,157.6
Contaminantes atmosféricos(g/año)	23,205.6	111,417.3

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

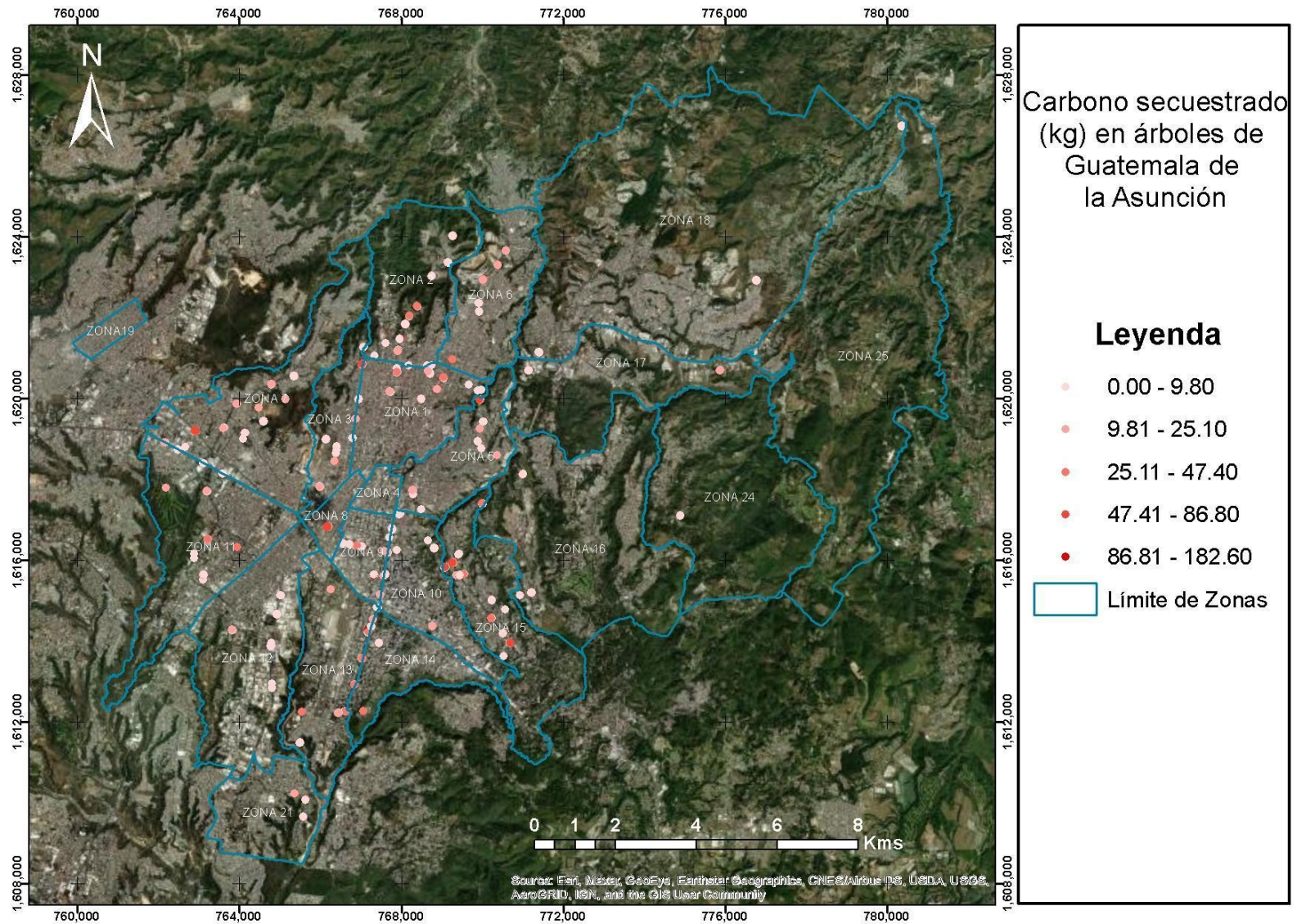
Figura 5. Carbono acumulado por árbol evaluado en Ciudad de Guatemala



Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

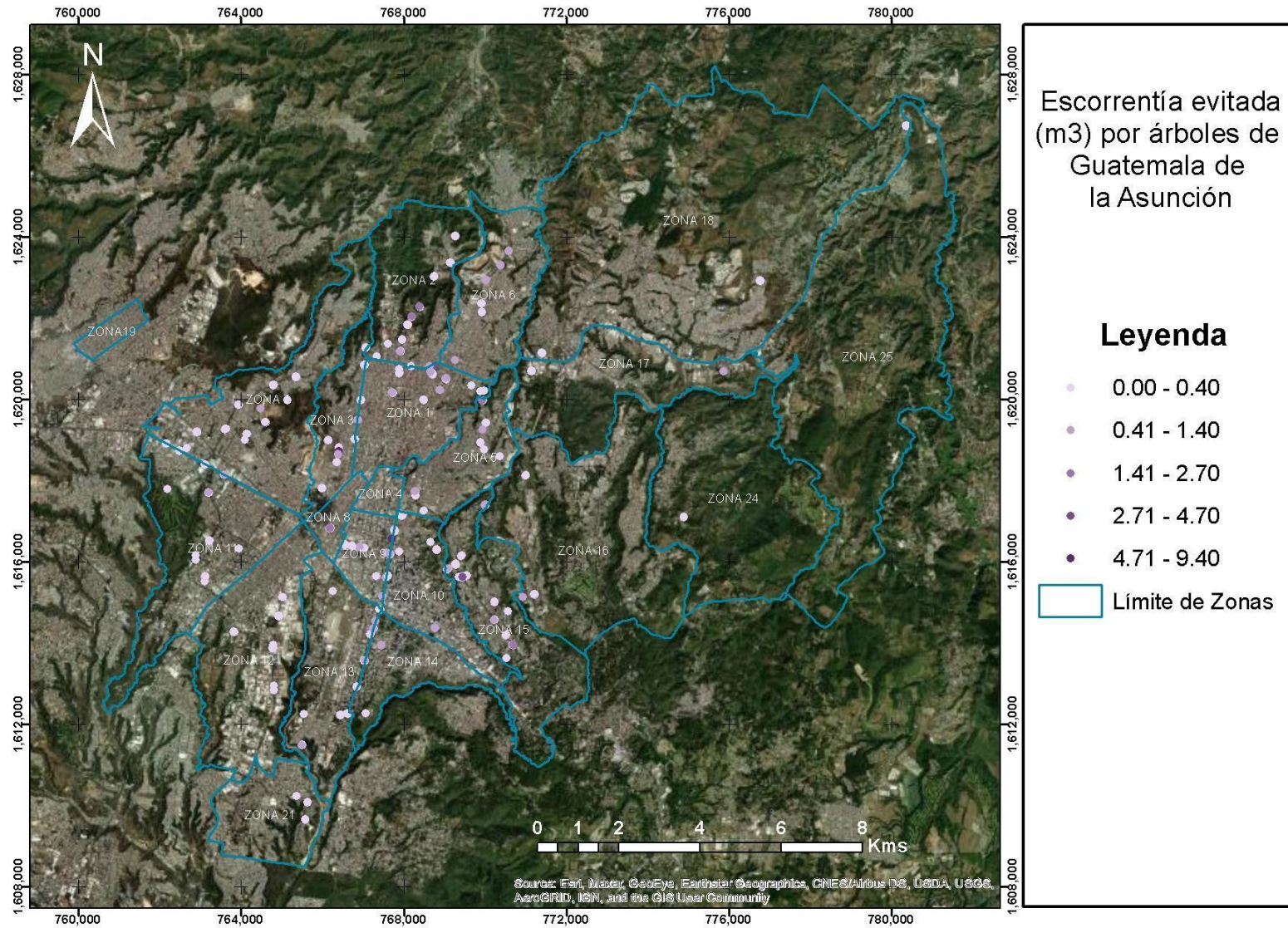
Figura 6. Carbono secuestrado por árbol evaluado en Ciudad de Guatemala



Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

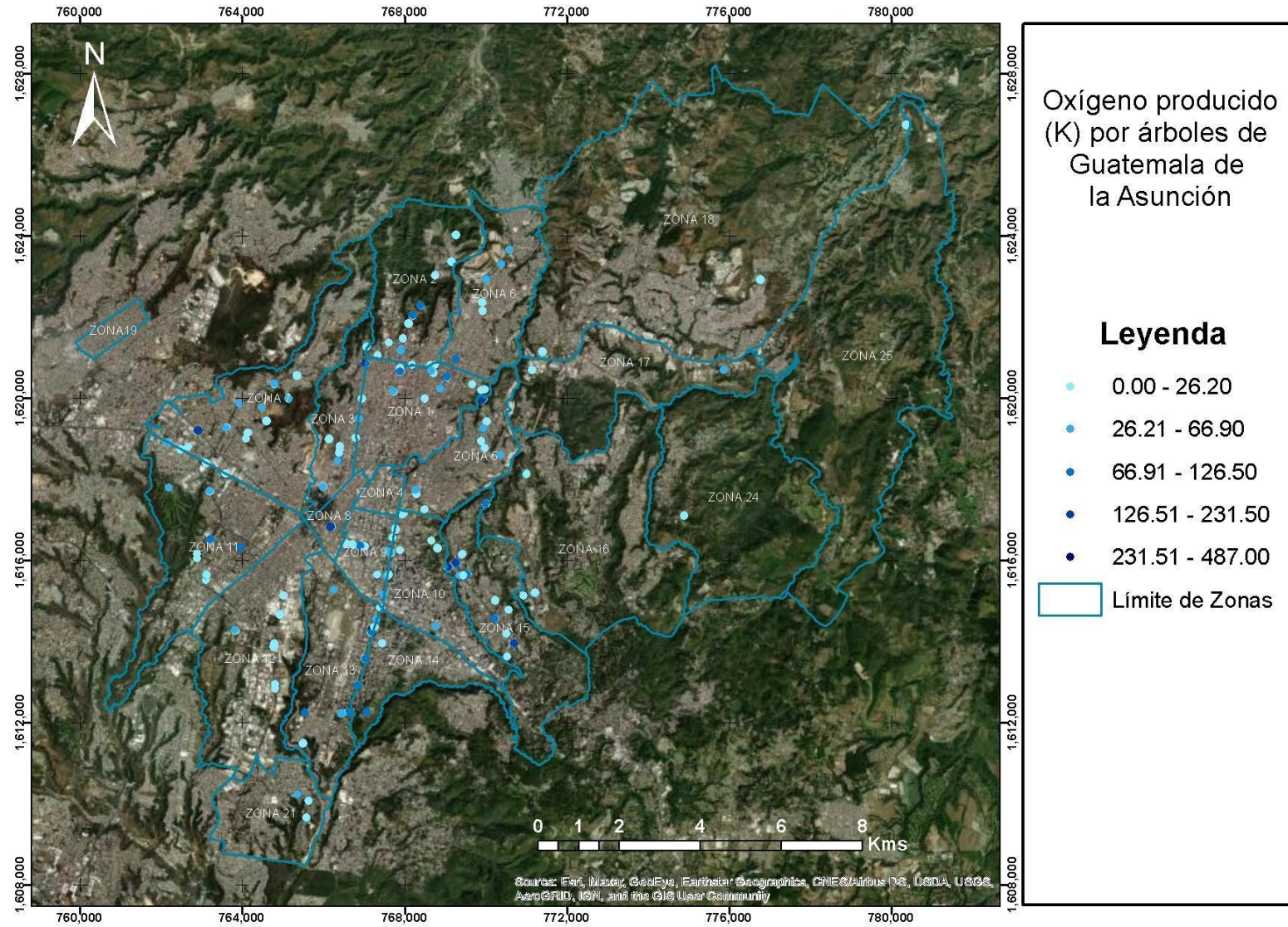
Figura 7. Escorrentía evitada por árbol evaluado en Ciudad de Guatemala



Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

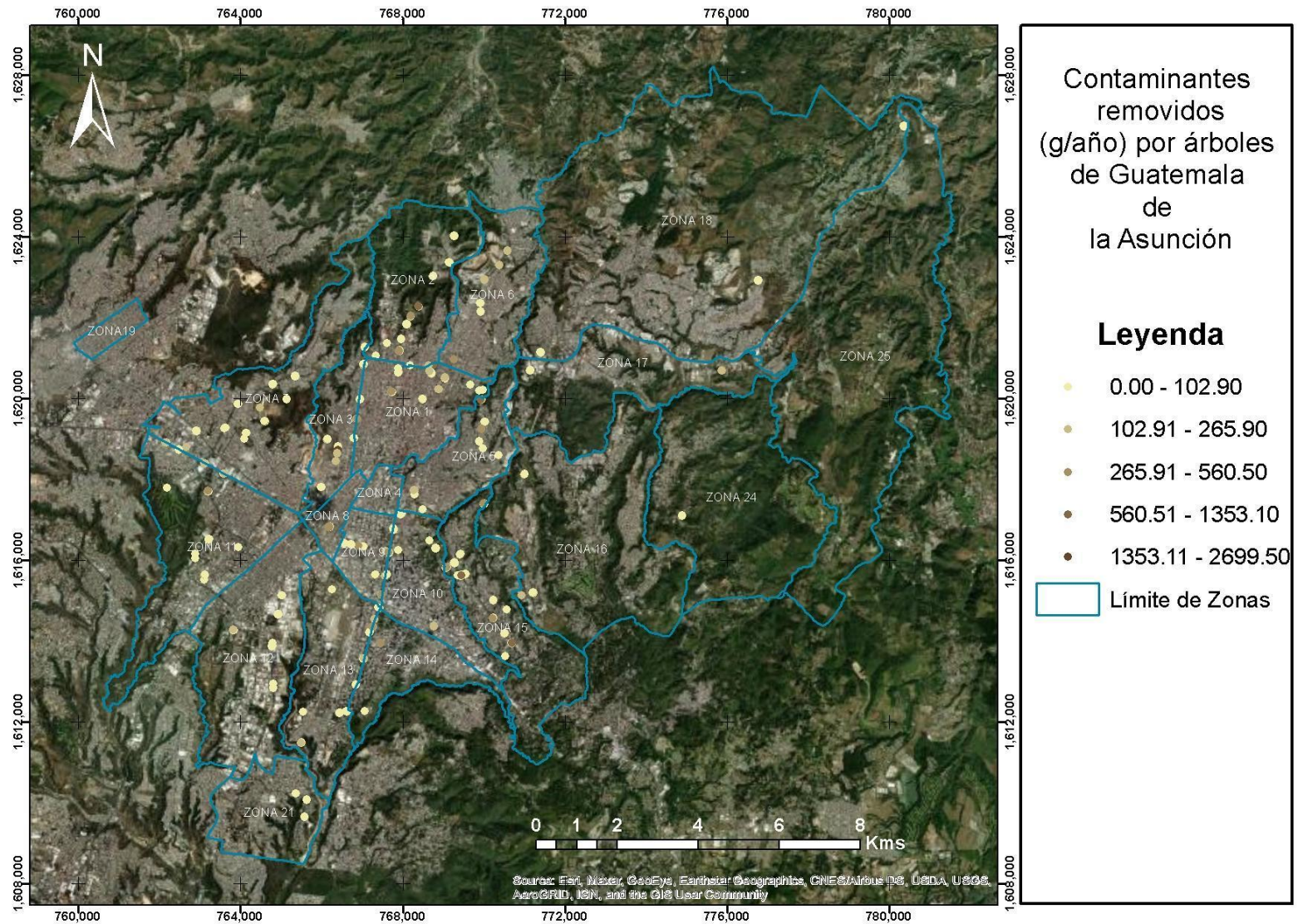
Figura 8. Oxígeno producido por árbol evaluado en Ciudad de Guatemala



Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Figura 9. Contaminantes Removidos por árbol evaluado en Ciudad de Guatemala



11.2. Discusión de resultados

11.2.1. El estado del arbolado urbano actual en la Ciudad de Guatemala de la Asunción

Las estimaciones reportadas por i-Tree Eco para la ciudad, consideramos que sobreestiman el número de árboles presentes en el espacio urbano (aproximadamente 3 millones). De acuerdo con datos de la Municipalidad (2014), en un levantamiento a partir de ortofotos, se estimaron 64,178 en la ciudad sin considerar los barrancos. Como fue basado en fotointerpretación, los árboles en barrancos son difíciles de separar individualmente por traslape de las copas. Es posible que tomando en cuenta los barrancos el número estimado por i-Tree pueda acercarse con mayor precisión. Sin embargo, es importante mencionar que las estimaciones que realiza i-Tree son bastante precisas, y que para la muestra evaluada (200 parcelas) se espera un 10% de error (i-Tree, 2021).

Aproximadamente un tercio del área de la ciudad está cubierta de árboles, esto es ligeramente inferior al 40% reportado recientemente (Castillo-Cabrera et al., 2021). Sin embargo, los autores utilizaron una imagen de alta resolución espacial (1m) y es de 2018. Es posible que el valor de 32% esté dentro de lo esperado. Este valor no es adecuado para comparar con otras ciudades, dado que el contexto ecológico y los lineamientos de planificación para el arbolado son distintas en cada ciudad (iTree, 2021). Sin embargo, el indicador de árbol por hectárea nos puede dar una idea de cómo se encuentra Guatemala de la Asunción, respecto a otras ciudades.

La densidad de árboles encontrada para la ciudad de Guatemala (134 árboles/ha) es bastante similar a los valores reportados para ciudades templadas como Washington, DC (121 árboles/ha) y Hartford, CT (124.6 árboles/ha). Comparando estos valores con otras ciudades del trópico, la densidad en Ciudad de Guatemala es similar a la reportada para el área Metropolitana del Valle de Aburrá, Colombia con 133 árboles/ha (Arroyave-Maya et al., 2019) y es mayor a la reportada en cada una de las tres circunscripciones de la Ciudad de Santo Domingo, República Dominicana. Las densidades en estos distritos estuvieron en un rango entre 42-90 árboles/ha (Meléndez-Ackerman et al., 2022). De la misma manera, es también mayor a la reportada para la ciudad de Mérida, Yucatán que fue de 40-117 árboles/ha (de la Concha et al., 2017).

En el caso de centros o áreas urbanas en Centroamérica el valor sigue siendo mayor que en un sector viario de San Salvador que tiene 35 árboles/ha (Aguilar-Rincán et al., 2022) al igual que en el de cuatro parques de San José, Costa Rica que reportan 115 árboles/ha (Sánchez et al., 2022). Estos valores no son completamente comparables puesto que, en el caso de El Salvador y Costa Rica, las áreas urbanas evaluadas fueron bastante menores en comparación con Guatemala. Estudios con mayor número de parcelas darán probablemente, valores distintos. Se resalta el hecho que ya se realizan estudios aplicando la herramienta i-Tree Eco para otras ciudades Centroamericanas.

Con relación al estado de salud, en general los árboles muestreados tienen una condición fitosanitaria y física buena. Sin embargo, faltaría evaluar cuáles otras condiciones ambientales podrían afectar al arbolado de Ciudad de Guatemala. En diferentes ciudades se ha reportado que la salud de los árboles urbanos está influenciada por el entorno urbano, el cual no suele ofrecer condiciones que permitan el crecimiento y desarrollo adecuado de las especies. Aunado a ello se encuentra el deterioro por manejo y los daños mecánicos ocasionados por los ciudadanos, lo cual facilita el establecimiento de plantas parásitas, hongos e insectos que agudizan el riesgo físico y fitosanitario de las especies arbóreas (Mazurek & Nowik, 2018; Zaragoza et al., 2015).

Para el arbolado urbano de la Ciudad de Guatemala también se registraron estas condiciones, principalmente en el fuste y el follaje de los árboles, los cuales presentaron plagas por hongos, muérdago e insectos, así como heridas y protuberancias (Ver apéndice 4). De hecho, la municipalidad cuenta con una cuadrilla contratada para realizar podas a los árboles con presencia de muérdago, esto incrementa los costos de mantenimiento del arbolado urbano de la ciudad, por lo que es importante identificar las especies arbóreas que son más propensas a estas plantas parásitas y sustituirlas por especies nativas resistentes y con mayor beneficio, tanto para los ciudadanos como para la biodiversidad.

Del total de 1,073 árboles, las especies con mayor riesgo fitosanitario fueron *Corymbia torelliana*, *Jacaranda mimosifolia* y *Ligustrum lucidum*, las cuales principalmente se encontraron dañadas por plagas de insectos y hongos. Mientras que en el aspecto físico *C. torelliana* y *Magnolia champaca* presentaron un riesgo alto, mientras que *Jacaranda mimosifolia* y *Casuarina equisetifolia* reportan un riesgo medio, presentando protuberancias, heridas y bifurcaciones. Estos resultados no coinciden con lo reportado por Monroy (2018) quien registró los individuos de estas especies mayormente en

estado fitosanitario sano, pero, para las especies *Ligustrum lucidum* y *Jacaranda. mimosifolia*, *Magnolia. champaca* y *Casuarina equisetifolia*, reporta algunos individuos en estado “decrépito y muertos”. Sin embargo, dicho estudio únicamente se realizó en lugares públicos de la zona 9 de la ciudad, por lo que nuestros resultados reflejan la salud de los árboles con una mayor muestra y representatividad del estado del arbolado a nivel de ciudad.

Por otro lado, el aspecto físico con registros predominantes de riesgo en estado alto y medio (620 individuos) podría contribuir a que aumente el riesgo fitosanitario. Por ejemplo, mediante la presencia de heridas grandes y planas aumenta la probabilidad de que los árboles sean colonizados por hongos patógenos (Mazurek & Nowik, 2018). Una de las primeras medidas de prevención que se puede implementar es la protección de los árboles contra daños mecánicos, realizar podas con la debida atención, desinfectar las herramientas a utilizar para cortar, así como fomentar una cultura ciudadana que proteja el arbolado urbano y posea una gestión urbana integral (Bethancourt & Castro, 2021; Mazurek & Nowik, 2018).

11.2.2. Estructura y composición del arbolado urbano de la Ciudad de Guatemala de la Asunción

Con base a los resultados sobre la estructura del arbolado de la ciudad de Guatemala, más del 60% de los árboles corresponden a individuos jóvenes representados en árboles de porte pequeño o mediano (DAP < 30 cm), mientras que los árboles adultos de mayor porte o senescentes son menos comunes a nivel de ciudad. Estos resultados son bastante parecidos a la estructura reportada en los parques de Texcoco en México, y al arbolado urbano de Santo Domingo en República Dominicana en donde más del 60% de los individuos presentan diámetros menores a 30 cm (Martínez-Trinidad et al., 2021, Meléndez-Ackerman et al. 2022). La alta presencia de individuos con diámetros relativamente bajos puede representar la resiliencia del arbolado urbano ante el eventual reemplazo o muerte de individuos senescentes (Martínez Sánchez et al., 2021), un manejo que puede estar relacionado al esfuerzo de la municipalidad de Guatemala y vecinos organizados por mantener y preservar las áreas verdes de la ciudad.

La composición de especies en ciudades del trópico está mayormente representada por especies introducidas. En Santo Domingo, República Dominicana, las especies introducidas alcanzaron un

72.2% de las especies reportadas (Meléndez-Ackerman et al 2022), en Texcoco, México, el 60% de las especies son introducidas (Martínez-Trinidad et al., 2021), mientras que, en Fontibón en Bogotá, Colombia, las especies introducidas alcanzan el 81% de la población arbórea (Martínez Sánchez et al., 2021). Sin embargo, en la ciudad de Guatemala, las especies dominantes son las nativas con un 56%. Esto puede estar relacionado a los siguientes factores: (i) la presencia de barrancos que contienen bosque natural y que puede ser la fuente de propágulos para las especies reportadas a nivel de ciudad; (ii) que las parcelas con mayor densidad y número de especies se localizan en zonas de barrancos transformados en parques ecológicos, o en propiedades privadas cercanas a barrancos; (iii) que las especies tradicionalmente utilizadas en los programas de reforestación y restauración son nativas como el ciprés, fresno, manzanote, ceibas, caobas, entre otras; (iv) o que la municipalidad ha iniciado con la propagación de especies nativas en viveros para luego distribuirlos entre los habitantes que los soliciten, o a través de jornadas de reforestación que llevan a cabo durante la época lluviosa.

De hecho, muchos de los individuos juveniles observados en distintos puntos de la ciudad han sido sembrados en parques y camellones centrales (calles y avenidas) por personal de la municipalidad en jornadas de educación ambiental y programas de reforestación. Sin embargo, las especies introducidas son las más dominantes y comunes en el paisaje urbano de la ciudad de Guatemala.

11.2.3. La distribución de los árboles en la Ciudad de Guatemala de la Asunción

Los árboles muestreados en la ciudad tienen un patrón más asociado al espacio público por dos razones: i) con la remoción de las parcelas que se localizaban en barrancos y que fueron sustituidas por otras en espacios verdes con similar cobertura arbórea, se priorizaron espacios públicos de uso viario y recreativo (calles, avenidas y parques, plazas); ii) el algoritmo que se utilizó para seleccionar al azar las parcelas no ubicaron ninguna en varios sectores de algunas zonas donde no se muestreó o las parcelas no presentaron cobertura arbórea. En el caso de las de dominio privado en áreas residenciales, al borde de áreas de uso de protección, algunos árboles se clasificaron así debido al uso de la cartografía oficial del POT de la Municipalidad (2008), que mantiene a los barrancos como zonas G0.

El predominio de árboles en uso viario y recreativo obedece a aspectos de manejo y disponibilidad de los espacios adecuados para el establecimiento de dichos árboles. En el caso viario, elementos como

aceras anchas, redondeles, camellones brindan espacio suficiente para el arbolado. En el caso del uso recreativo, aquí se consideran parques, plazas, centros deportivos, estos son elementos donde también existe espacio suficiente para la arborización.

La distribución de árboles en dominio público y privado, a primera vista resalta el espacio público como un sitio por excelencia para la instalación de árboles. Sin embargo, en la ciudad ha estado ocurriendo en varias décadas una “privatización” de espacios públicos cuando algunas colonias cerraron sus accesos para cualquier ciudadano (Bravo, 2007) y algunos árboles públicos terminan siendo privados. En este estudio se procedió a categorizar los árboles en calles y avenidas como de dominio público al igual que en usos institucionales (escuelas, iglesias, etc). Esta es una razón para la gran diferencia en los árboles evaluados en dominio público con respecto al dominio privado.

11.2.4. Los beneficios suministrados por el arbolado urbano de la ciudad de Guatemala de la Asunción

La calidad de vida en la ciudad de Guatemala de la Asunción está relacionada con los beneficios que se reciben de la vegetación en general y de los árboles en particular. Las estimaciones de los beneficios obtenidos del arbolado urbano muestran la gran contribución a esta calidad de vida al remover un aproximado de 433 toneladas métricas de sustancias nocivas para la salud. El valor encontrado para Guatemala es mayor en comparación con otras ciudades como Santo Domingo, Valle de Aburrá y Mérida (Arroyave-Maya et al., 2019; de la Concha et al., 2017; Meléndez-Ackerman et al., 2022), probablemente porque Guatemala de la Asunción tiene mayor cobertura de árboles, o mayor población, o por la probabilidad que exista mayor nivel de contaminación. Además, la abundancia de especies con un índice de área foliar alto como *Corymbia torreliana*, *Casuarina equisetifolia* y *Cupressus lusitanica* presentes en la ciudad podrían explicar el valor alto en Guatemala. No obstante, la posibilidad de absorción y adsorción de contaminantes depende de otros factores como la textura y localización de los árboles, la morfología de la copa, la estructura de la hoja, y del contexto urbano (Bottalico et.al, 2016). Se requiere profundizar en estos factores para estimar las mejores especies en remover contaminantes.

De acuerdo con estudios previos la calidad del aire en Ciudad de Guatemala ha tenido niveles por encima de los permitidos por la OMS (Oliva, 2010) lo cual podría ser un factor de riesgo para la salud.

De hecho, a nivel mundial la contaminación del aire es una amenaza global a la salud (World Health Assembly WHA, 2015) y para el 2019 se estimó que la misma es el cuarto mayor factor nivel 2 relacionado con las muertes en hombres y mujeres a nivel global (Global Burden of Disease (GBD), 2020). En ciudad de Guatemala, las fuentes de contaminación del aire en la ciudad provienen predominantemente, de la combustión de motores y de polvo de agricultura e industria (Shendell & Naher, 2002) y esto destaca el papel de los árboles como una solución basada en la naturaleza para la remoción de estos contaminantes. La planificación urbana del arbolado puede ser una estrategia para mejorar la calidad del aire (Gouveia et al., 2021) aunque también se requiere el mejoramiento y tecnificación del monitoreo del aire (Riojas-Rodríguez et al., 2016).

Los beneficios asociados al secuestro y almacenamiento de carbono contribuyen a contrarrestar las emisiones y los efectos del cambio climático al estar considerados como mecanismos de adaptación y mitigación (Nero et al., 1997). Es reconocido que los árboles en la ciudad contribuyen local y regionalmente a disminuir los impactos del cambio climático. Sin embargo, literatura reciente muestra que los árboles y la vegetación urbana podrían ser limitados en reducir las emisiones de GEI vía el secuestro de carbono (Velasco et al., 2016). La evidencia es poca según estos autores y se requieren más esfuerzos en investigar cuánto pueden los árboles urbanos secuestrar y almacenar carbono junto con los suelos donde se asientan.

La producción de oxígeno de los árboles en Ciudad de Guatemala es de 108 mil toneladas al año. Este valor es el resultado de la resta del oxígeno consumido en la respiración, de la producción realizada en la fotosíntesis y por lo tanto está estrechamente relacionado al secuestro y acumulación de carbono (Nowak, et al., 2007). Con este valor, los árboles de la ciudad producen lo suficiente como para el consumo anual de oxígeno de 354,207⁴ personas o el 58% de la población adulta (>20 años) de la ciudad según el último censo (INE, 2020).

Tres especies son las que producen más oxígeno *Casuarina equisetifolia*, *Corymbia torrelliana* y *Jacaranda mimosifolia* en la ciudad, aunque son 18 especies las que producen más de mil toneladas métricas. Dado que la producción de oxígeno depende del número de árboles, salud, y la tasa de crecimiento y clases diamétricas, los beneficios dentro de la propia ciudad no son homogéneos

⁴ Valor de 0.84kg/día según Perry & LeVan (2003) citado en Nowak et al., (2003).

(Nowak, et al., 2007). Es importante mencionar que la producción de oxígeno no es tan significativa en términos ecológicos derivado del volumen estable del oxígeno en la atmósfera y de la producción del mismo en ambientes acuáticos (Nowak et al., 2007). Sin embargo, es importante resaltar que existe esta producción de oxígeno y que en buena medida es utilizada por otros organismos también.

Uno de los problemas generados por la urbanización es la creación de superficies impermeables que alteran el ciclo hidrológico con efectos negativos como el aumento de escorrentía superficial y la disminución de la infiltración del agua (Wessolek, 2008). Los árboles en la ciudad de Guatemala de la Asunción, previenen esta escorrentía en al menos 1.49 millones de m³ de agua. El volumen estimado es con base a la intercepción que hacen las hojas cuando ocurre un evento de lluvia, por lo tanto, este servicio puede estar subestimado pues no incluye lo que pueda interceptar las ramas y troncos de los árboles.

En relación con los valores monetarios asociados a estos beneficios proporcionados por los árboles, el estimado anual de los servicios es de 101.2 millones de Quetzales para el conjunto de secuestro de carbono, escorrentía evitada y remoción de contaminantes. A eso le podemos agregar 1.21 millardos por el carbono acumulado en los árboles.

Utilizando el valor de 101.2 millones se observa que es superior al monto destinado al tema de medio ambiente en general en el presupuesto 2022 de la Municipalidad de Guatemala (Municipalidad de Guatemala, 2021). Sin embargo, habría que confirmar cuánto es la inversión real que realiza el municipio en aspectos relacionados directamente al arbolado urbano y biodiversidad con el fin de tener una comparación y establecer cuánto se gasta en casa árbol en comparación de cuánto se recibe.

En términos de planificación municipal, es importante resaltar que las especies introducidas son importantes proveedoras de servicios ecosistémicos, en parte por sus características biológicas, pero también por ser dominantes ante las nativas. Esto no significa que se apoye el seguir sembrándolas, sino que el número de especies e individuos nativos debe aumentar para tener menos presencia de introducidas. De igual manera, tampoco se debe ver completamente mal a las especies introducidas puesto que su adaptación al entorno urbano y presencia, posibilitan el suministro de estos servicios.

La importancia de tener especies nativas radica en la disponibilidad de recursos (hábitat y alimento) para la fauna silvestre nativa. Estas especies nativas (ej. *Ceiba* y *Coralillo*, entre otras) proveen de hábitat, follaje, polen, néctar, frutos y semillas para insectos, aves y murciélagos y otros seres vivos .

12. Conclusiones

- El arbolado urbano de la Ciudad de Guatemala de la Asunción brinda una serie de servicios ecosistémicos que apoyan a la calidad de vida del residente a través de la captura y secuestro de carbono, remoción de contaminantes atmosféricos, reducción de la escorrentía y producción de oxígeno, servicios que se traducen en más de 50 millones de quetzales.
- El estado del arbolado urbano de la ciudad de Guatemala de la Asunción en general es de árboles con una condición fitosanitaria y física buena. Sin embargo, algunas medidas de prevención y manejo se deben planificar.
- La composición de especies que conforman el arbolado urbano de la Ciudad de Guatemala es de 118 especies con predominio de nativas (57%), pero a nivel de paisaje urbano dominan las especies introducidas (mayores valores de índice de importancia). Este resultado es contrario a lo reportado para otras ciudades del trópico en donde la riqueza se compone mayormente de especies introducidas.
- La distribución de diámetros en la Ciudad de Guatemala de la Asunción está dominada por individuos con diámetros menores a 30 cm (considerados en la literatura como individuos juveniles), lo que sugiere un arbolado resiliente ante la eventual sustitución de árboles de mayor porte o senescentes.
- El dominio público brinda mayor cantidad y calidad de servicios ecosistémicos en comparación con el dominio privado. Esto se relaciona a que en sitios públicos presentan mayor riqueza de especies, mayor número de tallos, así como la presencia de árboles más altos y con mayores diámetros.
- El arbolado urbano de la ciudad de Guatemala de la Asunción es un importante elemento en el tejido verde urbano. Es fundamental que las acciones municipales relacionadas a este tema puedan tener más información para tomar mejores decisiones tanto en la generación de un plan de arbolado urbano como de un plan de acción local de biodiversidad.

- Los SE aportan en términos de valor monetario el equivalente a 1.26 veces el valor asignado por el presupuesto municipal de 2022 para el tema de ambiente en general.

13. Referencias

- Agence France-Presse AFP. (29 de Octubre de 2018). La contaminación atmosférica provoca la muerte de 600 mil niños cada año, advierte la OMS. *El Periodico*. <https://elperiodico.com.gt/salud/2018/10/29/la-contaminacion-atmosferica-provoca-la-muerte-de-600-mil-ninos-cada-ano-advierete-la-oms/>
- Aguilar-Rincán, K., Cruz-Cruz, M., Salmerón-Rodríguez, N., Castaneda-Romero, L., & Tejada-Asencio, J. (2022). Caracterización, servicios ecosistémicos del arbolado y lineamientos generales para la arborización en aceras de la ciudad de San Salvador, El Salvador. *Revista Agrociencia*, 5(21), 54–66.
- Alfaro, R. (14 de Noviembre de 2013). Causas y efectos de la contaminación ambiental en Guatemala. *La Hora*. Retrieved from <https://lahora.gt/hemeroteca-lh/causas-y-efectos-de-la-contaminacion-ambiental-en-guatemala/>
- Arroyave-Maya, M., Posada-Posada, M., Nowak, D. & Hoehn, R. (2019). Remoción de contaminantes atmosféricos por el bosque urbano en el valle de Aburrá. *Colombia Forestal*, 22(1), 5-16. <http://dx.doi.org/10.14483/2256201X.13695>
- Baldocchi, D. (1988). A multi-layer model for estimating sulfur dioxide deposition to a deciduous oak forest canopy. *Atmospheric Environment* (1967), 22(5), 869-884.
- Baldocchi, D. D., Hicks, B. B., & Camara, P. (1987). A canopy stomatal resistance model for gaseous deposition to vegetated surfaces. *Atmospheric Environment* 21(1), 91-101.
- Barthel, S., Folke, C., & Colding, J. (2010). Social–ecological memory in urban gardens: retaining the capacity for management of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 20(2), 255–265.
- Bauer, J., Pérez, M. E. & Olivero, S. (2016). *iTree urban forest assessment in Santo Domingo's Colonial City*. Santo Domingo, Dominican Republic.
- Bethancourt, F. A. B., & Castro, F. F. (2021). Evaluación del estado fitosanitario y de riesgo del bosque urbano de Colón, Panamá. *Revista Semilla del Este*, 1(2), 49-63.
- Blood, A., Starr, G., Escobedo, F., Chappelka, A., & Staudhammer, C. (2016). How do urban forests

- compare? Tree diversity in urban and periurban forests of the southeastern US. *Forests*, 7, 120. <https://doi.org/10.3390/f7060120>
- Bottalico, F., Chirici, G., Giannetti, F., De Marco, A., Nocentini, S., Paoletti, E., Salbitano, F., Sanesi, G., Serenelli, Ch. & Travaglin, D. (2016). Air pollution removal by green infrastructures and urban forests in the city of Florence. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 8: 243 – 251.
- Bravo, M. A. (2007). Proceso de urbanización, segregación social, violencia urbana y “barrios cerrados” en Guatemala 1944–2002. CEUR. Universidad de San Carlos (231 pp.).
- British Columbia Ministry of Water, Land, and Air Protection. (2005). *Residential wood burning emissions in British Columbia*. British Columbia. https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/air/reports-pub/wood_emissions.pdf
- Bureau of Transportation Statistics. (2010). *Estimated National Average Vehicle Emissions Rates per Vehicle by Vehicle Type using Gasoline and Diesel Table 4-43*. Bureau of Transportation Statistics. <https://www.bts.gov/content/estimated-national-average-vehicle-emissions-rates-vehicle-vehicle-type-using-gasoline-and>
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29, 293–301.
- Bruley, E., Locatelli, B. & Lavorel, S. (2021). Nature’s contributions to people: coproducing quality of life from multifunctional landscapes. *Ecology and Society* 26(1):12. <https://doi.org/10.5751/ES-12031-260112>
- California Air Resources Board. (2013). *Methods to Find the Cost-Effectiveness of Funding Air Quality Projects. Table 3. Average Auto Emission Factors*. CA: California Environmental Protection Agency, Air Resources Board. <https://ww2.arb.ca.gov/>
- Castillo, F., García, J., López, A., & Celada, M. (2013). Los servicios ecosistémicos urbanos en las ciudades de Quetzaltenango y la Antigua Guatemala. Guatemala: Dirección General de Investigación. DIGI. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Castillo-Cabrera, F. & D. Haase. (2018). Guatemala City: A socio-ecological profile. *Cities* <http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2017.09.015>
- Castillo, F., Jiménez, J., & A. López. (2021). Evaluación de la Vegetación como herramienta para la Sustentabilidad Ambiental de Zonas Urbanas: Caso de Estudio Ciudad de Quetzaltenango

(Proyecto FODECYT 13-2012). CONCYT. SENACYT.

- Castillo-Cabrera, F., Wellmann, T. & D. Haase. (2021). Urban Green Fabric Analysis Promoting Sustainable Planning in Guatemala City. *Land* <https://doi.org/10.3390/land10010018>
- Chichilnisky, G., & Heal, G. (1998). Economic returns from the biosphere. *Nature*, 391, 629–630. <https://doi.org/10.1038/35481>
- Cho, S.-H., Poudyal, N., y Roberts, R. (2008). Spatial analysis of the amenity value of green open space. *Ecological and Economics*, 66(2–3), 403–416.
- CDIAC. (2010). *Carbon Dioxide Information Analysis Center 2010*. Carbon Dioxide Information Analysis Center. <https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/#>
- CONAP. (2014). *Informe Nacional de Cumplimiento a los Acuerdos del Convenio sobre la Diversidad Biológica*. Guatemala. Retrieved from www.serviprensa.com
- Cordón, P.R. (2021). La parcela fitosanitaria: Una herramienta estratégica al servicio de la administración forestal (documento inédito)
- DeFries, R. S., Rudel, T., Uriarte, M., & Hansen, M. (2010). Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. *Nature Geoscience*, 3, 178–181. <https://doi.org/10.1038/ngeo756>
- De la Concha, H., Roche, L., & A. García. (2017). *Inventario del arbolado urbano de la ciudad de Mérida*. Ayuntamiento de Mérida.
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., Molnár, Z., Hill, R., Chan, K. M. A., Baste, I. A., Brauman, K. A., Polasky, S., Church, A., Lonsdale, M., Larigauderie, A., Leadley, P. W., van Oudenhoven, A. P. E., van der Plaats, F., Schröter, M., Lavorel, S., Aumeeruddy-Thomas, Y., ... Shirayama, Y. (2018). Assessing nature's contributions to people *Science* 359(6373), 270–272. <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>
- EFE. (2016, May 12). Guatemala figura entre las ciudades más contaminadas. *Prensa Libre*. <https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/ciudad-de-guatemala-figura-entre-las-mas-contaminadas-de-latinoamerica>
- Elmqvist, T., Setälä, H., Handel, S. N., van der Ploeg, S., Aronson, J., Blignaut, J. N., ... de Groot, R. (2015). Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.05.001>
- Energy Information Administration. (1994). *Energy Use and Carbon Emissions: Non-OECD*

- Countries*. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy. <https://www.eia.gov/>
- Energy Information Administration. (2013). *CE2.1 Fuel consumption totals and averages, U.S. homes*. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy. <https://www.eia.gov/>
- Energy Information Administration. (2014). *CE5.2 Household wood consumption*. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy. <https://www.eia.gov/>
- Escobedo, F. J., & Nowak, D. J. (2009). Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest. *Landscape and Urban Planning*, 90, 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.021>
- Escobedo, F. J., Nowak, D. J., Wagner, J. E., De la Maza, C. L., Rodríguez, M., Crane, D. E., & Hernández, J. (2006). The socioeconomics and management of Santiago de Chile's public urban forests. *Urban Forestry and Urban Greening*, 4, 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2005.12.002>
- Escobedo, F. J., Wagner, J. E., Nowak, D. J., De la Maza, C. L., Rodriguez, M., & Crane, D. E. (2008). Analyzing the cost effectiveness of Santiago, Chile's policy of using urban forests to improve air quality. *Journal of Environmental Management*, 86, 148–157. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.11.029>
- Federal Highway Administration. (2013). *Highway Statistics 2011*. Washington, DC: Federal Highway Administration. <https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/statistics.cfm>
- Department of Transportation. Table VM-1.
- Folke, C., Jansson, A., Larsson, J., & Costanza, R. (1997). Ecosystem appropriation by cities. *Ambio*, 26(3), 167–172.
- Gándara, N. (2016, April 17). Ola de calor eleva venta de ventiladores. *Prensa Libre*. Retrieved from <https://www.prensalibre.com/economia/calor-motiva-venta-de-aire>
- García, M. (2011). Registros de diversidad biológica asociada al barranco de Ciudad Nueva en la Zona 2 de la Ciudad de Guatemala. *Ciencia y Conservación*, 2, 20–23.
- García-Polo, J. Castillo-Cabrera, F. & J. J. Vega. (2016). Índice de diversidad biológica urbana de la ciudad de La Antigua Guatemala. *Revista Ciencia, Tecnología y Salud*, 3(1), 65–79. <https://doi.org/10.36829/63CTS.v3i1.107>

- Georgia Forestry Commission. 2009. *Biomass Energy Conversion for Electricity and Pellets Worksheet*. Dry Branch, GA: Georgia Forestry Commission. <https://gatrees.org/>
- Girósan Marcos, É. O. (2012, December 28). Ola de calor afecta ciudad Tecún Umán. *Prensa Libre*. https://www.prensalibre.com/san_marcos/Ola-afecta-ciudad-Tecun-Uman_0_836916343.html
- Global Burden of Disease GBD (2020). 2019 Risk Factors Collaborators. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet* 396, 1223–1249.
- Gopalakrishnan, V., Hirabayashi, S., Ziv, G., & Bakshi, B. R. (2018). Air quality and human health impacts of grasslands and shrublands in the United States. *Atmospheric Environment*, 182, 193–199. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.03.039>
- Gordillo, I. (2018, July 25). ¿Cuáles son las zonas con mayor contaminación en la ciudad? *Publinews*. Retrieved from <https://www.publinews.gt/gt/noticias/2018/07/25/zonas-con-mayor-contaminacion.html>
- Gouveia N, Kephart J.L., Dronova I, McClure L., Granados J.T., Betancourt R.M., O’Ryan A.C., Texcalac-Sangrador J.L., Martinez-Folgar K., Rodriguez D., & Diez-Roux A.V. (2021). Ambient fine particulate matter in Latin American cities: Levels, population exposure, and associated urban factors. *Science of Total Environment* 10;772:145035. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145035
- Heirigs, P. L., Delaney, S. S. & Dulla, R. G. (2004). *Evaluation of MOBILE Models: MOBILE6.1 (PM), MOBILE6.2 (Toxics), and MOBILE6/CNG*. Sacramento, CA: National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board. [https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/notesdocs/25-25\(7\)_fr.pdf](https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/notesdocs/25-25(7)_fr.pdf)
- Hirabayashi, S. (2011). *Urban Forest Effects-Dry Deposition (UFORE-D) Model Enhancements*. I-Tree. <https://www.itreetools.org/eco/resources/UFORE-D%20enhancements.pdf>
- Hirabayashi, S. (2012). *i-Tree Eco Precipitation Interception Model Descriptions*. i-Tree. <https://www.itreetools.org/tools/i-tree-eco>
- Hirabayashi, S., Kroll, C. N., & Nowak, D. J. (2011). Component-based development and sensitivity analyses of an air pollutant dry deposition model. *Environmental Modelling y Software*, 26(6), 804-816.
- Hirabayashi, S., Kroll, C. N., & Nowak, D. J. (2012). i-Tree eco dry deposition model

- descriptions. *Citeseer: Princeton, NJ, USA*.
- Instituto Nacional de Estadística. (2019). XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda. Resultados Censo 2018. Guatemala. www.ine.gob.gt
- iTree. (2019). *i-Tree Eco user's manual*. Syracuse. Retrieved from www.itreetools.org
- Ixcot, L. C., Acevedo, M., Barrios, M., Cano, E., Castillo, N., Enriquez, H., & Quiñonez, J. (2007). Diversidad biológica en el Departamento de Guatemala. Informe Final Proyecto FODECYT 29-2006. Guatemala, Guatemala: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Kabisch, N., & Van den Bosch, M. (2017). Urban green spaces and the potential for health improvement and environmental justice in a changing climate. En: N. Kabisch, H. Korn, J. Stadler, y A. Bonn (Eds.), *Theory and Practice of Urban Sustainability Transitions* (First edition, pp. 207–220). Switzerland: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5>
- Karathanasis, A. D., Potter, C. L., & Coyne, M. S. (2003). Vegetation effects on fecal bacteria, BOD, and suspended solid removal in constructed wetlands treating domestic wastewater. *Ecological Engineering*, 20, 157–169. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(03\)00011-9](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(03)00011-9)
- Karjalainen, E., Sarjala, T., & Raitio, H. (2010). Promoting human health through forests: overview and major challenges. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 15, 1–8. <https://doi.org/10.1007/s12199-008-0069-2>
- Kraker-Castañeda, C., Echeverría-Tello, J. L., Cajas-Castillo, J. O., Briones, S., Trujillo-Sosa, L. A., Hernández, M. J., Barahona-Fong, R., Leiva-González, E.M., Grajeda, A.L., Calderón-Quiñonez, A.P., Salguero, E., Pérez, S, López, J.E. & Martínez, J. (2013). Programa para la conservación de los murciélagos de Guatemala (PCMG): 10 años de experiencias de investigación, educación ambiental y conservación. *Ciencia y Conservación*, 4, 41–49.
- Leonardo Academy. (2011). *Leonardo Academy's Guide to Calculating Emissions Including Emission Factors and Energy Prices*. Madison, WI: Leonardo Academy Inc. <https://www.leonardoacademy.org/newsandevents/leo-recent-publications/reports/344-leonardo-academys-g>
- Lerman, S. B., Nislow, K. H., Nowak, D. J., DeStefano, S., King, D. I., & Jones-Farrand, D. T. (2014). Using urban forest assessment tools to model bird habitat potential. *Landscape and Urban Planning*, 122, 29–40. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.10.006>
- Martin, N. A., Chappelka, A. H., Loewenstein, E. F., & Keever, G. J. (2012). Comparison of carbon

- storage, carbon sequestration, and air pollution removal by protected and maintained urban forests in Alabama, USA. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*, 8(3), 265–272. <https://doi.org/10.1080/21513732.2012.712550>
- Martínez Sánchez, K., K. S., Vanegas Casas, O. S., & Serrato Suárez. (2021). Evaluación de los servicios ecosistémicos del arbolado urbano de la localidad de Fontibón mediante iTree. *Revista Científica ITTPA*, 2, 43-56.
- Martínez Trinidad, T., P., Hernández López, S. F., López-López, L., & Mohedano Caballero. (2021). Diversidad, estructura y servicios ecosistémicos del arbolado en cuatro parques de Texcoco mediante iTree Eco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12, 202-223.
- Mazurek, J., & Nowik, K. (2018). Pests and diseases of urban trees: Biosecurity recommendations. Trees for Europe's Green Infrastructure. Piotr Lakomy.
- McPherson, E. G., Nowak, D. J., & Rown, A. R. (1994). *Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago urban forest climate project*. Radnor, PA.
- McPherson, E. G., & Simpson, J. R. (1999). *Carbon dioxide reduction through urban forestry: guidelines for professional and volunteer tree planters*. Albany, CA, USA: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station.
- McPherson, E. G. (2000). *Tree guidelines for coastal southern California communities*. Local Government Commission.
- McPherson, E. G., Simpson, J. R., Peper, P. J., Xiao, Q., Pittenger, D. R., & Hodel, D. R. (2001). Tree guidelines for inland empire communities. *Sacramento, CA*. Local Government Commission.
- McPherson, E. G., Maco, S. E., Simpson, J. R., Peper, P. J., Xiao, Q., VanDerZanden, A. M., & Bell, N. (2002). *Western Washington and Oregon Community tree guide: benefits, costs, and strategic planting*. International Society of Arboriculture, Pacific Northwest Chapter.
- McPherson, E. G. (2003). *Northern Mountain and Prairie community tree guide: Benefits, costs, and strategic planting*. Center for Urban Forest Research, USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station.
- McPherson, E. G., Simpson, J. R., Peper, P. J., Gardner, S. L., Vargas, K. E., Maco, S. E., & Xiao, Q. (2006a). *Coastal plain community tree guide: benefits, costs, and strategic planning*. USDA Forest Service General Technical Report PSW-GTR-201.

- McPherson, E. G., Simpson, J. R., Peper, P. J., Maco, S. E., Gardner, S. L., Cozad, S. K., & Xiao, Q. (2006b). *Midwest community tree guide: benefits, costs, and strategic planting*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-199. Albany, CA: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station.
- McPherson, E. G., Simpson, J. R., Peper, P. J., Gardner, S. L., Vargas, K. E., Maco, S. E. & Xiao, Q. (2006c). *Piedmont community tree guide: benefits, costs, and strategic planting*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-200. Albany, CA: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station.
- McPherson, E. G., Simpson, J. R., Peper, P. J., Gardner, S. L., Vargas, K. E. & Xiao, Q. (2007). *Northeast community tree guide: benefits, costs, and strategic planting*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-202. Albany, CA: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station.
- McPherson, E. G., Simpson, J. R., Peper, P. J., Crowell, A. M., & Xiao, Q. (2010). *Northern California coast community tree guide: benefits, costs, and strategic planting*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-228. Albany, CA: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press. Washington.
- Melles, S., Glenn, S., & Martin, K. (2003). Urban bird diversity and landscape complexity: species-environment associations along a multiscale habitat gradient. *Ecology and Society*, 7(1), 5. Retrieved from <http://www.consecol.org/vol7/iss1/art5>
- Méndez-Lázaro, P., Muller-Karger, F. E., Otis, D., McCarthy, M. J., & Rodríguez, E. (2018). A heat vulnerability index to improve urban public health management in San Juan, Puerto Rico. *International Journal of Biometeorology*, 62, 709–722. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1319-z>
- Miller, R. W., Hauer, R. J. & Werner, L. P. (2015). *Urban Forestry. Planning and managing Urban Greenspaces*. 3d edition. Waveland Press. IL. USA.
- Monroy, A. S. (2018). Propuesta de manejo de la cobertura arbórea en la zona nueve de la Ciudad de Guatemala. (Tesis de grado). Universidad Rafael Landívar.
- Monterroso, R., Villatoro, J., & Mazariegos, E. (2014). Análisis estratégico de potencialidad y

economía territorial de los barrancos del Municipio de Guatemala como herramienta para la sostenibilidad en los asentamientos humanos. Guatemala: Dirección General de Investigaciones. Municipalidad de Guatemala. (2008). Plan de Ordenamiento Territorial. Regulación POT-COM-030-2008 del Consejo Municipal de la Municipalidad de Guatemala. Guatemala: Municipalidad de Guatemala.

Municipalidad de Guatemala (2014). Árboles en la ciudad. Capa digital de puntos.

Municipalidad de Guatemala (2021). Acuerdo del Consejo Municipal COM-58-2021

Nero, B., Callo-Conhaa, D., Anningb, A., & M.Denicha. (2017). Urban green spaces enhance climate change mitigation in cities of the global south: the case of Kumasi, Ghana. *Procedia Engineering*, 198, 69 – 83

Niemelä, J., Breuste, J., Elmqvist, T., Guntenspergen, G., James, P. & N. McIntyre. (2011). Introducción. En: Niemelä, J. (Ed). *Urban ecology. Pattern, Processes and Applications*. Oxford University Press. Reino Unido. Pag. 1-4

Nowak, D. J., Bodine, A. R., Hoehn, R. E., Ellis, A., Hirabayashi, S., Coville, R., Novem Auyeung, D.S, Falxa, N., Hallet, R.A., Johnson, M.L., Stephan, E., Taggart, T. & Endreny, T. (2018). *The urban forest of New York city*. Newtown Square, PA. <https://doi.org/10.2737/NRS-RB-117>

Nowak, D. J. (1994). Air pollution removal by Chicago's urban forest. *Chicago's urban forest ecosystem: Results of the Chicago urban forest climate project*, 63-81.

Nowak, D. J. & Crane, D. E. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, 116, 381–389.

Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry and Urban Greening*, 4, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007>

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

Nowak, D. J. & Dwyer, J. F. (2007). Understanding the Benefits and Costs of Urban Forest Ecosystems. In J.E. Kuser (Ed.), *Urban and Community Forestry in Northeast* (2nd. Ed., pp. 25–46). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4191-2_2

Nowak, D. J., Greenfield, E. J., Hoehn, R. E., & Lapoint, E. (2013). Carbon storage and sequestration

- by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution*, 178, 229–236. <https://doi.org/8710.1016/j.envpol.2013.03.019>
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental pollution*, 193, 119-129.
- Nowak, D. J. (2021). Understanding i-Tree:2021 Summary of Programs and Methods. Northern Research Station. General Technical Report NRS-200-2021.107 <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/63636#:~:text=i%2DTree%20is%20a%20suite,environmental%20quality%20and%20human%20health>.
- Pathak, V., Tripathi, B., & Mishra, V. (2007). Dynamics of traffic noise in a tropical city Varanasi and its abatement through vegetation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 146(1–3), 67–75.
- Oliva, P. (2010). Deterioro de la calidad del aire en la ciudad de Guatemala, un aspecto ambiental que limita el desarrollo sostenible. *Revista Científica*, 18(1), 1–10. <https://doi.org/10.54495/Rev.Cientifica.v18i1.163>
- Peper, P. J., McPherson, E. G., Simpson, J. R., Vargas, K. E., & Xiao, Q. (2009). *Lower Midwest community tree guide: benefits, costs, and strategic planting*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-219. Albany, CA: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station.
- Peper, P. J., McPherson, E. G., Simpson, J. R., Albers, S. N., & Xiao, Q. (2010). *Central Florida community tree guide: benefits, costs, and strategic planting*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-230. Albany, CA: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station.
- Pérez, M. E., Meléndez-Ackerman, E., Bonilla, S., Bauer, J., Volcán, M., Pou, A., Caballero, C., Cortés, L., Arendt, W., Munoz, T. & Nowak, D. (2019). Urban forest assessment in Dominican Republic. Bethesda: International Forestry Working Group Newsletter, International Society of Tropical Foresters. https://doi.org/10.5555/al.ap.upwta.3_165
- Pérez Marroquín, C. (2017, Marzo 29). Ola de calor afecta a Guatemala. *Prensa Libre*. Retrieved from <https://www.prensalibre.com/ciudades/guatemala/guatemala-enfrenta-la-primera-ola-de-calor-del-ao>
- Perry, J.L. & M.D. LeVan. (2003). Air Purification in Closed Environments: Overview of Spacecraft Systems. U.S. Army Natick Soldier Center. <http://nsc.natick.army.mil/>

jocotas/ColPro_Papers/Perry-LeVan.pdf

- Pickett, S.T.A., Cardenasso, M.I., Grove, J.M., Nillon, C.H., Pouyat, R., Zipperer, W.C. & R. Costanza. (2001). Urban Ecological Systems: Linking Terrestrial Ecological, Physical, and Socioeconomic components of Metropolitan Areas. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32, 127-157.
- Portal de Biodiversidad de Guatemala. (2023). *Inventario de Especies: Listados de Plantas*. Portal de Biodiversidad de Guatemala. <https://biodiversidad.gt/portal/checklists/index.php>
- R Core Team. (2018). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for statistical computing. Retrieved from <https://www.r-project.org/>.
- Riojas-Rodríguez H., Soares da Silva A., Texcalac-Sangrador J.L. & Moreno-Banda G.L. (2016) Air pollution management and control in Latin America and the Caribbean: implications for climate change. *Revista Panamericana de Salud Pública* 40(3):150–59.
- Rodrigues, A. G., Borges-Martins, M., & F. Zilio. (2018). Bird diversity in an urban ecosystem: the role of local habitats in understanding the effects of urbanization. *Iheringia Série Zoologia*, 108, e2018017. <https://doi.org/10.1590/1678-4766e2018017>
- Rodríguez, A. Y. (2013). *El manejo de los espacios abiertos para mejorar la ciudad: Servicios ecosistémicos de los barrancos de la Ciudad de Guatemala*. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Santizo, A. (2017). Dualidad Naturaleza y Ciudad. El potencial de los barrancos para la regeneración urbana del espacio público en Guatemala. Universidad Politécnica de Valencia.
- Sánchez, G. Cercas, J. F., & L. Orozco-Aguilar. (2022). Cuantificación de los servicios ecosistémicos en 10 parques urbanos de San José. *Ambientico* 281(9): 66-73.
- Seto, K. C., Guneralp, B., & L. R. Hutyrá. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>
- Strohbach, M. W., & D. Haase. (2012). Above-ground carbon storage by urban trees in Leipzig, Germany: Analysis of patterns in a European city. *Landscape and Urban Planning*, 104, 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.10.001>
- Sun, Y., Shuan, X. & Sh. Zhao. (2019) Valuing urban green spaces in mitigating climate change: A citywide estimate of aboveground carbon stored in urban green spaces of China's Capital. *Global*

Change Biology 25:1717–1732. DOI: 10.1111/gcb.14566

The Nature Conservancy. (2018). *Nature in the Urban Century. A global assessment of where and how to conserve nature for biodiversity and human wellbeing*. Arlington, Virginia, US.

Toc, M. (2017, April 4). Ola de calor eleva temperatura por arriba de los 40°C. *Prensa Libre*. <https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/ola-de-calor-eleva-temperatura-por-arriba-de-40-grados-en-guatemala>

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, & Population Division. (2017). *World Population Prospects 2017*.

U.S. Environmental Protection Agency. (2010). *Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards*. U.S. Environmental Protection Agency. EPA-420-R-10-012a. [Climate Change | US EPA](#)

United States Environmental Protection Agency (EPA). (29 de noviembre de 2015a). *2015 U.S.EPA International Decontamination Research and Development Conference*. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=310425yLab=NHSRCyfedorg_id=1253ysubject=Homeland%20Security%20Researchyview=descysortby=pubDateYearyszowcriteria=1ycount=25

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2015). *The social cost of carbon*. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). [Climate Change | US EPA](#)

Van den Berg, A. E., Maas, J., Verheij, R. A., & P.P Groenewegen. (2010). Green space as a buffer between stressful life events and health. *Social Science y Medicine*, 70, 1203–1210. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2010.01.002>

Van Essen, H., Schrotten, A., Otten, M., Sutter, D., Schreyer, C., Zandonella, R., Maybach, M. & Doll, C. (2011). External costs of transport in Europe. *CE Delft and Infras and Fraunhofer ISI, Netherlands*.

Vargas, K. E., McPherson, E. G., Simpson, J. R., Peper, P. J., Gardner, S. L., & Xiao, Q. (2007a). *Temperate Interior West community tree guide: benefits, costs, and strategic planting*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-206. Albany, CA: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station.

- Vargas, K. E., McPherson, E. G., Simpson, J. R., Peper, P. J., Gardner, S. L. & Q. Xiao. (2007b). *Temperate Interior West community tree guide: benefits, costs, and strategic planting*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-206. Albany, CA: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station.
- Vargas, K. E. (2010). *Tropical community tree guide: benefits, costs, and strategic planting*. DIANE Publishing.
- Velasco, E., Matthias, R., Norford, L. & L.T. Molina. (2016). Does urban vegetation enhance carbon sequestration? *Landscape and Urban Planning*, 148. 99-107. DOI:10.1016/j.landurbplan.2015.12.003
- Wang, X., Cheng, H., Xi, J., Yang, G., & Zhao, Y. (2018). Relationship between park composition, vegetation characteristics and cool island effect. *Sustainability*, 10, 0. <https://doi.org/10.3390/su10030587>
- World Health Assembly, 68. (2015). Health and the environment: addressing the health impact of air pollution. World Health Organization <https://apps.who.int/iris/handle/10665/253237>
- Yu, Z., Guo, X, Jørgensen, G. & H. Vejre. (2017). How can urban green spaces be planned for climate adaptation in subtropical cities? *Ecological Indicators* 82:152–162 <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.002>.
- Zaragoza, A.Y., Cetina, V. M., López, M. A., Chacalo, A., de la Isla, M. D. L., Alvarado, D., & H. González. (2015). Identificación de daños en el arbolado de tres parques del Distrito Federal. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(32), 63-82.
- Zinke, P. J. (1967). Forest interception studies in the United States. *Forest hydrology*, 137-161.

14. Apéndices

Apéndice 1. Boleta de campo utilizada.

i-Tree Eco v6 sample plot data sheet

Check when plot is completed

Sheet _____ of _____

Initials : _____

Plot Information

Plot ID:	Stratum:	GPS Coordinates	Date:	Crew:	Plot Size:
		Lat.			
		Long.			

Plot Address:

Plot Contact Name: _____ Contact Type or Title: _____

Phone #: _____ Email: _____

Plot or Access Notes: _____

Plot Tree Cover (%)	Shrub Cover (%)	Plantable Space (%)	Per. of Plot Measured (%)

Did this Plot have any Trees? (Y/N): _____ Permanent stake used? (Y/N) _____

Photo ID(s):

Reference Objects: Determine reference objects/landmarks, and if needed, an alternative Tree Measurement Point (TMP) to the plot center. Provide tree DBH and species info if a tree was used as a reference object.

Ref. Object 1: direction _____ distance: _____ DBH _____
Object description:

Ref. Object 2: direction _____ distance: _____ DBH _____
Object description:

Ref. Object 3: direction _____ distance: _____ DBH _____
Object description:

Check the reference object that served as an alternative tree measurement point (TMP) if used:

Object 1: _____ Object 2: _____ Object 3: _____

Last updated – 11 Nov 2019

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

i-Tree Eco v6 sample plot data sheet

Sheet _____ of _____

Ground cover (% of plot covered by)

Bare Soil	Bldg.	Cement	Duff/ Mulch	Grass	Herbs	Other Imper.	Rock	Tar	Unmain. Grass	Water

i-Tree Eco v6 sample plot data sheet

Sheet _____ of _____

Plot Sketch Area or Additional Comments:

Actual Land Use

Actual Land Use:	Percent of plot:
Actual Land Use:	Percent of plot:
Actual Land Use:	Percent of plot:
Actual Land Use:	Percent of plot:

Shrubs

ID	Species	Height	% of shrub area	% Missing	Comments
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

Last updated – 11 Nov 2019

Last updated – 11 Nov 2019

Apéndice 3. Toma de datos en campo.



Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-



Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-



Apéndice 4. Riesgo fitosanitario y físico en el arbolado urbano.



Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-





Apéndice 5. Conflicto de banquetas y cableado con el arbolado urbano.



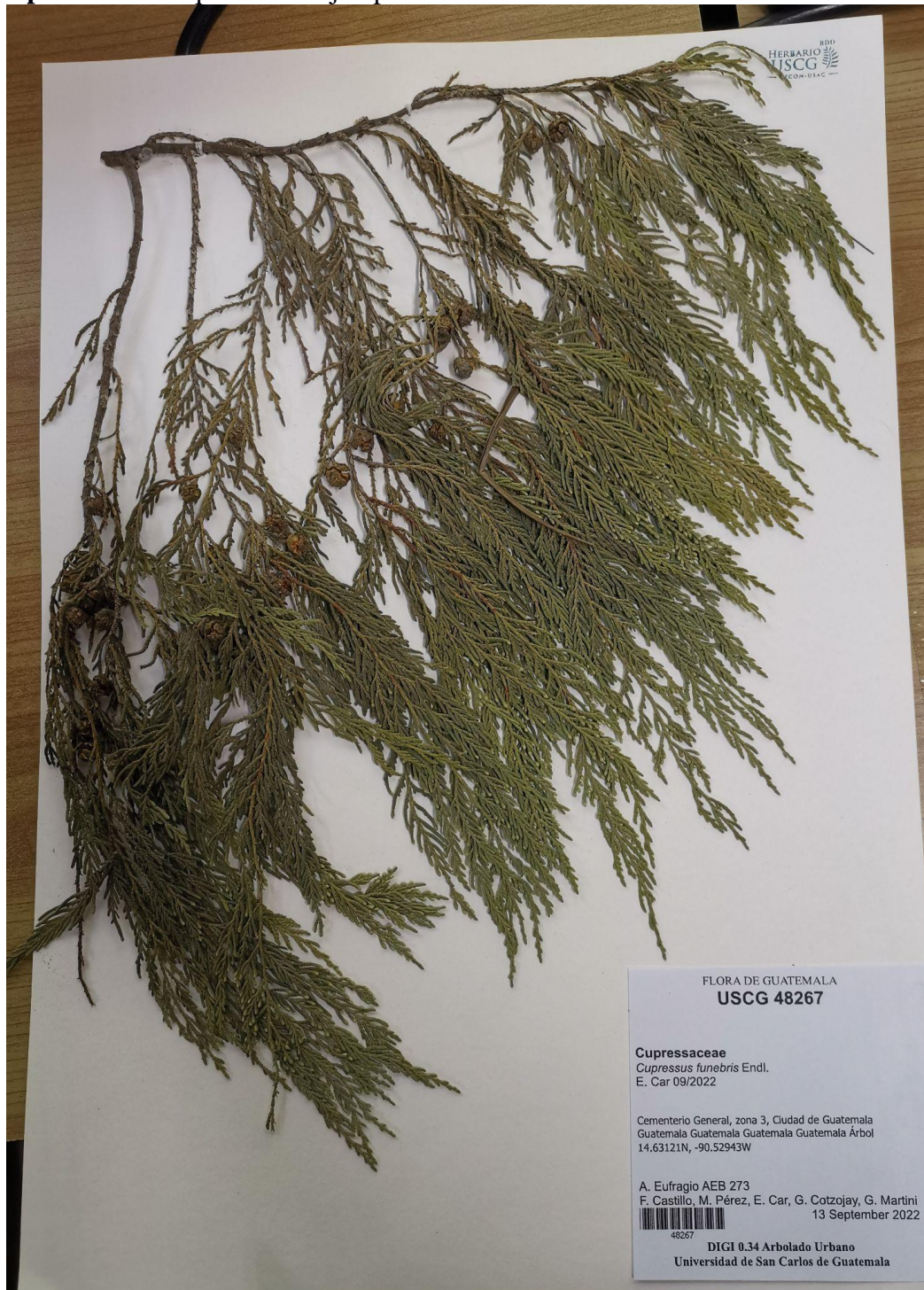
Apéndice 6. Colecta y herborización de plantas.



Apéndice 7. Secado y montaje de plantas colectadas.



Apéndice 8. Etiquetado de ejemplares.



Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Apéndice 9. Ingreso de especímenes al Portal de Biodiversidad de Guatemala.

Biodiversidad de Guatemala Edit: x +

biodiversidad.gt/portal/collections/editor/occurrenceeditor.php

USAC, CECON, Herbario USCG (USAC:USCG)

Inicio >> Manejo de Colecciones >> Vista Pública >>

15 of 91

Datos de Ocurrencia | Historia de Determinación | Imágenes | Recursos Enlazados | Admin

Información de Colector

Catalog Number: 48295 | Tag Name (optional): | Additional Identifier Value: |

Collector / Observer: A. Eufragio | Number: AEB301 | Date: 2022-10-13 | Duplicates: Búsqueda Automática

Associated Collectors: M. Pérez, F. Castillo, E. Car, G. Martini, G. Cotzajay | Verbatim Date: |

Última Identificación

Scientific Name: *Rhamnus capreifolia* | Autores: Schtdl. |

Calificación de Identificación: | Familia: Rhamnaceae |

Identified By: J. Jimenez | Date Identified: 2022-11-23 |

Localidad

País: Guatemala | State/Provincia: Guatemala | County: | Municipality: Guatemala | ID de Localidad: Parcela 151

Localidad: Parque Municipal La Asunción Zona 5


Security: Seguridad no aplicada | Desactivar Búsqueda de Localidad

Latitude: 14.63977 | Longitude: 90.49409 | Uncertainty: | Datum: | Verbatim Coordinates: |

Elevation in Meters: | Verbatim Elevation: | Depth in Meters: | Profundidad Litera: |

Procesamiento de Etiquetas

Zoom? | Rotar: L <-> R | Res. Media | Res. Alta



Analizar Imagen con OCR

Opciones

OCR imagen completa

OCR con análisis

Imagen 1 de 1

Biodiversidad de Guatemala Ver: x +

biodiversidad.gt/portal/collections/editor/occurrenceabledisplay.php

USAC, CECON, Herbario USCG (USAC:USCG)


Inicio >> Manejo de Colecciones >> Ver Tabla de Ocurrencias

| 1-91 de 91 registro |

ID Symbiota	Institution Code (override)	Collection Code (override)	Owner Code (override)	Catalog Number	Family	Scientific Name	Author	Collector	Number	Associated Collectors	Event Date	Verba Date
445035	USAC	USCG		48318	Bromeliaceae	<i>Tillandsia filifolia</i>	Schtdl. & Cham.	A. Eufragio	AEB324	M. Pérez, F. Castillo, E. Car, G. Martini, G. Cotzajay	2022-11-10	
445034	USAC	USCG		48317	Urticaceae			A. Eufragio	AEB323	M. Pérez, F. Castillo, E. Car, G. Martini, G. Cotzajay	2022-11-10	
445033	USAC	USCG		48316	Fagaceae	<i>Quercus pedunculans</i>	Née	A. Eufragio	AEB322	M. Pérez, F. Castillo, E. Car, G. Martini, G. Cotzajay	2022-11-10	
445032	USAC	USCG	USAC	48314	Asteraceae	<i>Eremosis trifosculosa</i>	(Kunth) Gleason	A. Eufragio	AEB 320	M. Pérez, F. Castillo, E. Car, G. Martini, G. Cotzajay	2022-11-09	
445031	USAC	USCG	USAC	48313	Moraceae	<i>Ficus microcarpa</i>	L. fil.	A. Eufragio	AEB319	M. Pérez, F. Castillo, E. Car, G. Martini, G. Cotzajay	2022-06-09	
445030	USAC	USCG	USAC	48312	Moraceae	<i>Ficus microcarpa</i>	L. fil.	A. Eufragio	AEB318	M. Pérez, F. Castillo, E. Car, G. Martini, G. Cotzajay	2022-11-10	
445029	USAC	USCG		48311	Rhamnaceae	<i>Frangula capreifolia</i>	(Schlechtend.) Grubov	A. Eufragio	AEB317	M. Pérez, F. Castillo, E. Car, G. Martini, G. Cotzajay	2022-11-09	
445028	USAC	USCG	USAC	48310	Fabaceae	<i>Diphysa</i>		A. Eufragio	AEB316	M. Pérez, F. Castillo, E. Car, G. Martini, G. Cotzajay	2022-11-09	
445027				48309	Fabaceae	<i>Leucaena diversifolia</i>	(Schtdl.) Benth.	A. Eufragio	AEB315	M. Pérez, F. Castillo, E. Car, G. Martini, G. Cotzajay	2022-11-09	
445026				48308	Euphorbiaceae			A. Eufragio	AEB314	M. Pérez, F. Castillo, E. Car, G. Martini, G. Cotzajay	2022-11-09	
445025				48307	Malpighiaceae	<i>Malpighia glabra</i>	L.	A. Eufragio	AEB313	M. Pérez, F. Castillo, E. Car, G. Martini, G. Cotzajay	2022-10-06	
445024				48305	Sapindaceae			A. Eufragio	AEB311	M. Pérez, F. Castillo, E. Car, G. Martini, G. Cotzajay	2022-06-03	
445023				48304	Sapindaceae	<i>Sapindus</i>		A. Eufragio	AEB310	M. Pérez, F. Castillo, E. Car, G. Martini, G. Cotzajay	2022-08-19	
445022				48299	Lamiaceae	<i>Gmelina arborea</i>	Roxb. ex Sm.	A. Eufragio	AEB305	M. Pérez, F. Castillo, E. Car, G. Martini, G. Cotzajay	2022-07-15	
445008	USAC	USCG	USAC	48295	Rhamnaceae	<i>Rhamnus capreifolia</i>	Schtdl.	A. Eufragio	AEB301	M. Pérez, F. Castillo, E. Car, G. Martini, G. Cotzajay	2022-10-13	
445007				48315	Fagaceae	<i>Quercus pedunculans</i>	Née	A. Eufragio	AEB 321	F. Castillo, M. Pérez, E. Car, G. Cotzajay, G. Martini	2022-11-03	03/11/
445006				48294	Rosaceae	<i>Pyracantha crenulata</i>	(D. Don) M. Roemer	A. Eufragio	AEB300	M. Pérez, F. Castillo, E. Car, G. Martini, G. Cotzajay	2022-10-13	
445005				48306	Fabaceae	<i>Lonchocarpus</i>		A. Eufragio	AEB 312	F. Castillo, M. Pérez, E. Car, G. Cotzajay, G. Martini	2022-09-13	13/09/
445004				48303	Fabaceae	<i>Caesalpinia</i>		A. Eufragio	AEB 309	F. Castillo, M. Pérez, E. Car, G. Cotzajay, G. Martini	2022-09-22	22/09/
445003				48302	Fagaceae	<i>Quercus trists</i>	Liebmann	A. Eufragio	AEB 308	F. Castillo, M. Pérez, E. Car, G. Cotzajay, G. Martini	2022-10-27	27/10/
445002				48293	Solanaceae	<i>Cestrum tomentosum</i>	L. fil.	A. Eufragio	AEB299	M. Pérez, F. Castillo, E. Car, G. Martini, G. Cotzajay	2022-10-13	


Apéndice 10. Ejemplo de espécimen con proceso finalizado en Portal de Biodiversidad de Guatemala.

Biodiversidad de Guatemala Detailed Collection Record Information - Google Chrome
biodiversidad.gt/portal/collections/individual/index.php?ocid=445030

 **USAC, CECON, Herbario USCG (USAC:USCG)**

de Catálogo: 48312
ID de Ocurrencia: 14286875-c49d-4f91-af18-af9488fa3062
Taxón: *Ficus microcarpa* L. fil.
Familia: Moraceae
Determinador: J. Jiménez (2022-11-23)
Colector: A. Eufragio
Número: AEB318
Fecha: 2022-11-10
Colectores Adicionales: M. Pérez, F. Castillo, E. Car, G. Martini, G. Cotzoyay
Localidad: Guatemala, Guatemala, Zona 16, Universidad Rafael Landívar
14.5964 -90.4827 WGS84

Imágenes del Especimen



Ejemplar
Autor: Herbario USCG
[Abrir Imagen Mediana](#)
[Abrir Imagen Grande](#)

Derechos de Uso: **CC BY-NC (Attribution-Non-Commercial)**
ID del Registro: 14286875-c49d-4f91-af18-af9488fa3062

Apéndice 11. Taller I: Uso de la herramienta i-Tree para el análisis de los servicios ecosistémicos de áreas verdes en zonas urbanas: ventajas y limitaciones.



Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Apéndice 12. Taller II: Uso de la herramienta i-Tree para el análisis de los servicios ecosistémicos de áreas verdes en zonas urbanas: ventajas y limitaciones, impartido a personal de la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala.



Apéndice 13. Divulgación del proyecto en el Gran Distrito Verde.



Apéndice 14. Divulgación del proyecto en la colonia Granai II.



Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Apéndice 15. Convenio en preparación de firmas de la Universidad de San Carlos de Guatemala y la Municipalidad de Guatemala.

The image shows a screenshot of a PDF document viewer. The document is titled "CONVENIO DE COOPERACIÓN ENTRE LA MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA Y LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA". It features the logos of USAC (Universidad de San Carlos de Guatemala) and Muni Guate (Municipalidad de Guatemala). The text is in Spanish and describes a cooperation agreement between the two entities. The document is displayed in a window titled "VS_CONVENIOCECONFOMATO - Vista protegida". The status bar at the bottom indicates "Página 1 de 3", "2274 palabras", and "Predicciones de texto: activado".

USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Muni Guate
Municipalidad de Guatemala

**CONVENIO DE COOPERACIÓN ENTRE
LA MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA Y LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**


En la ciudad de Guatemala, el día ____ () de ____ de dos mil veintiuno (2021),
NOSOTROS: Por una parte, **RICARDO QUIÑÓNEZ LEMUS** de cincuenta y cuatro (54) años de edad, casado, empresario, guatemalteco, de este domicilio, me identifico con el Documento Personal de Identificación (DPI) con Código Único de Identificación (CUI) mil novecientos noventa y seis espacio ochenta y tres mil ochocientos treinta y dos espacio cero ciento uno (1996 63832 0101), extendido por el Registro Nacional de las Personas (RENAP), comparezco para el otorgamiento del presente Convenio en representación de la **MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA** en mi calidad de **ALCALDE MUNICIPAL DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA**, con fundamento en los artículos cincuenta y dos (52) y cincuenta y tres (53) del Código Municipal, Decreto Número doce guion dos mil dos (12-2002) emitido por el Congreso de la República de Guatemala y sus reformas, personería que acredito con la certificación extendida por el Secretario Municipal de la Municipalidad de Guatemala con fecha veintitrés (23) de enero de dos mil veinte (2020) del acta número cinco guion dos mil veinte (5-2020), correspondiente a la Sesión Extraordinaria celebrada por el Honorable Concejo Municipal de la Municipalidad de Guatemala con fecha quince (15) de enero de dos mil veinte (2020), en donde se hace constar -entre otros puntos- lo siguiente: **a)** El contenido del Acuerdo número uno guion dos mil diecinueve (1-2019) de fecha veintiocho (28) de junio de dos mil diecinueve (2019), emitido por la Junta Electoral del Distrito Central del Departamento de Guatemala, que contiene la adjudicación de los cargos -incluyendo- el del Alcalde Municipal del Municipio de Guatemala, Departamento de Guatemala; y, **b)** La correspondiente juramentación y toma de posesión del cargo. Asimismo conforme lo resuelto por el Honorable Concejo Municipal en Resolución número COM guion ____ guion dos mil veintiuno (COM-____-2021) de fecha ____ () de ____ de dos mil veintiuno (2021), que corresponde a la Sesión Ordinaria celebrada por el Honorable Concejo Municipal el ____ () de ____ de dos mil veintiuno (2021), que contiene el punto ____ () del acta número ____ () en la cual se me faculta expresamente para otorgar y suscribir el presente Convenio. En la calidad con que actuó, señalo como lugar para recibir notificaciones y/o citaciones, la sede de la Municipalidad de Guatemala ubicada en la veintiuna (21ª) calle, seis guion setenta y siete (6-77), zona uno (1), sexto (6º) nivel, Ala Oriente, con atención a la Dirección de Asuntos Jurídicos, quien en adelante se denominará **"LA MUNICIPALIDAD"**; por la otra, **PABLO ERNESTO OLIVA SOTO**, de cuarenta y nueve (49) años de edad, casado, guatemalteco, Licenciado en Química, de este domicilio, me identifico con el Documento Personal de Identificación (DPI) con Código Único de Identificación (CUI) número dos mil trescientos setenta y cuatro espacio sesenta un mil setecientos ochenta y uno espacio cero ciento uno (2374 61781 0101) extendido por el Registro

Página 1 de 3 2274 palabras Predicciones de texto: activado Concentración 100 %

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-


Apéndice 16. Listado de participantes a primer y segundo taller Uso de la herramienta i-Tree para el análisis de los servicios ecosistémicos de áreas verdes en zonas urbanas: ventajas y limitaciones.



Taller
Uso de la herramienta i-Tree para el análisis de los servicios ecosistémicos de áreas verdes en zonas urbanas: ventajas y limitaciones

No.	NOMBRE	INSTITUCIÓN	DPI	TELÉFONO	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA
1	Giuliana Martini	CECON	30133588 50101	5011-2625	giulianamar@hotmail.com	Giuliana M.
2	Emily Car	CECON	2815897390403	31677944	Emilypgdb@gmail.com	Emily
3	Eréndira Aragón	CECON	2434376 410 101	54429621	erendiraaron5@gmail.com	Eréndira
4	Ligia Analy López	NESPRESSO	1700 20177 0101	59332024	analy.lj@gmail.com	Ligia
5	Valeria Barrera	ARNDC	2526 14143 0101	5694 4494	valeria.barrera.del@gmail.com	Valeria
6	Barion Alfredo Leal Quiel	ERMF	2598974261605	57614655	lealbarion@gmail.com	Barion
7	Gabriela María Chacón Rodríguez	FAUSAC/DMA	2995 08153 0101	47026618	gabriela.chacon@gmail.com	Gabriela
8	Andrea del Rosario Velásquez Rivas	Fausac/DMA	3019801040101	476 42343	andreo.velasquez0207@gmail.com	AR

Guatemala, 28 de octubre de 2022



Taller
Uso de la herramienta i-Tree para el análisis de los servicios ecosistémicos de áreas verdes en zonas urbanas: ventajas y limitaciones

No.	NOMBRE	INSTITUCIÓN	DPI	TELÉFONO	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA
9	Dana María Muñoz González	DMA muni/URL	3013013440101	4853 0713	dana.munoz99@gmail.com	Dana
10	Werner Rodrigo Molina Soto	Cecon USAC	3004533459101	30175044	wolinasw@gmail.com	Werner
11	Domingo Francisco Uján Cholotio	AMSCLA E	199907635077	42750752	sig.dica@outlook.com	Domingo
12	Jonathan Reynoso	Grupo Innovaterra	2602 144261712	53736474	jreynoso@grupoinnovaterra.com	Jonathan
13	Ulson González	Colegio Monte María	1470048570101	46746556	proyectoeco@colegio.monte.maria.edu.gt	Ulson
14	Kathya Mejía Fundaeo	Fundaeo	2180752830101	54403022	Kmejiafundaeo@gmail.com	Kell
15						

Informe final proyecto de investigación 2022


Dirección General de Investigación –DIGI-



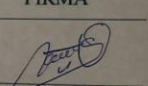
Taller
Uso de la herramienta i-Tree para el análisis de los servicios ecosistémicos de áreas verdes en zonas urbanas: ventajas y limitaciones

No.	NOMBRE	INSTITUCIÓN	DPI	TELÉFONO	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA
1	Maria Chavarrá	DMA-Biología	2592398030101	42852560	mariaacm2990@gmail.com	
2	JHONATAN SSCAN	DMA	1705661960101	40134146	JHONATANSSCAN@G.MATI.COM	
3	ABNER MENDOZA	DMA MUNI GUATEMALA	1917696311710	40040290	abnerrn19@gmail.com	
4	Dante Batres	DMA Parques y Áreas Verdes	2992033360101	52235045	danteguillermo08@gmail.com	
5	Miguel Tejero	DMA	301085450101	55756359	tujaqermiguel@gmail.com	
6	Francisco Fortín	DMA	2281113071001	41277509	franciscofortin.kra@gmail.com	
7	Estefanía Dahinten	DMA-UR	2335533040101	31461593	estefania.daba@gmail.com	
8	Pablo Robison	Cooperativa	2161021330101	50010282	PabloRobison@gmail.com	

Guatemala, 4 de noviembre de 2022



Taller
Uso de la herramienta i-Tree para el análisis de los servicios ecosistémicos de áreas verdes en zonas urbanas: ventajas y limitaciones

No.	NOMBRE	INSTITUCIÓN	DPI	TELÉFONO	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA
9	Axel R. Obaj	Regencia Norte Municipalidad G.	2336862820401	37658000	robertoobaj@gmail.com	
10						
11						
12						
13						

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Apéndice 17. Listado de almuerzos proporcionados al equipo en septiembre y octubre.

Arbolado urbano y calidad de vida: El caso de la Ciudad de Guatemala de la Asunción
AP15-2022 y partida presupuestal 4.8.63.0.34

Guatemala, miércoles 7 de septiembre de 2022.
 Listado de personas que recibieron almuerzos servidos en Avenida Reforma 0-63, zona 10 a las 14:00 horas a estudiantes, tesisistas, esepistas y colaboradores quienes apoyaron en la recolección de datos en de las parcelas en las siguientes zonas de la capital: 4, 9, 10 y 15 por medio de la búsqueda de las coordenadas geográficas y dirección física.

No.	NOMBRE	DPI	TELÉFONO	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA
1	Gerardo Cotzajay	2645933590110	5533-3482	gerardo90cpe@gmail.com	
2	Yansi Figueroa	3013926330101	4223-1555	yansi.figu@gmail.com	
3	Janthan Mendoza	2817608010101	3521-6623	mendoza.jan@guat.	
4	Alicia Eufragio	2392-87169-0101	4167-3778	aliciae1194@gmail.com	
5	Melvin Pérez	3661953281304	3203 7123	pxmolej@gmail.com	
6	Sofia Aldana	3000686970101	42022039	Abigailaldana88@gmail.com	
7	Giuliana Martini	3013353860101	5011-2625	giulianamartini@hotmail.com	Giuliana M.
8	Emily Car	2815897390403	31697944	emycpgd8@gmail.com	

Arbolado urbano y calidad de vida: El caso de la Ciudad de Guatemala de la Asunción
AP15-2022 y partida presupuestal 4.8.63.0.34

Guatemala, jueves 8 de septiembre de 2022.
 Listado de personas que recibieron almuerzos servidos en Avenida Reforma 0-63, zona 10 a las 14:00 horas a estudiantes, tesisistas, esepistas y colaboradores quienes apoyaron en la recolección de datos en de las parcelas en las siguientes zonas de la capital: 4, 9, 10 y 15 por medio de la búsqueda de las coordenadas geográficas y dirección física.

No.	NOMBRE	DPI	TELÉFONO	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA
1	Melvin Pérez	3661953281304	32037123	pxmolej@gmail.com	
2	Alicia Eufragio	2392871690101	4167-3778	aliciae1194@gmail.com	
3	Giuliana Martini	3013353860101	5011-2625	giulianamartini@hotmail.com	Giuliana M.
4	Gerardo Cotzajay	2645933590110	5533-3482	gerardo90cpe@gmail.com	
5	Sofia Aldana	3000686970101	4202-2039	Abigailaldana88@gmail.com	
6	Emily Car	2815897390403	31697944	emycpgd8@gmail.com	
7	Yansi Figueroa	3013926330101	4223-1555	yansi.figu@gmail.com	
8	Laura bamba	2146766090101	55333066	laugamba@gmail.com	

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Arbolado urbano y calidad de vida: El caso de la Ciudad de Guatemala de la Asunción AP15-2022 y partida presupuestal 4.8.63.0.34

Guatemala, lunes 12 de septiembre de 2022.

Listado de personas que recibieron almuerzos servidos en Avenida Reforma 0-63, zona 10 a las 14:00 horas a estudiantes, tesistas, epesistas y colaboradores quienes apoyaron en la recolección de datos en de las parcelas en las siguientes zonas de la capital: 4, 9, 10 y 15 por medio de la búsqueda de las coordenadas geográficas y dirección física.

No.	NOMBRE	DPI	TELÉFONO	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA
1	Sofia Aldana	3000686970101	4202-2039	Sofia.aldana1997@gmail.com	
2	Pablo Cano	2687844260101	54742261	Pcano167@gmail.com	
3	Giuliana Martini	3013358850101	5011-26 25	giulianamartini@hotmail.com	Giuliana M.
4	Gerardo Cotojaj	2645933590110	5533-3482	gerardo90cp@gmail.com	
5	Dana Muñoz	3013013440101	4853-0713	dana.munoz99@gmail.com	M. Gardner
6	Alicia Eufragio	2392871690101	41673778	aliciae1194@gmail.com	
7	Emily Car	281587390403	31697944	emycpgd@gmail.com	
8	Merwin Pérez	3661953281304	32037123	ixmolej@gmail.com	

Arbolado urbano y calidad de vida: El caso de la Ciudad de Guatemala de la Asunción AP15-2022 y partida presupuestal 4.8.63.0.34

Guatemala, martes 13 de septiembre de 2022.

Listado de personas que recibieron almuerzos servidos en Avenida Reforma 0-63, zona 10 a las 14:00 horas a estudiantes, tesistas, epesistas y colaboradores quienes apoyaron en la recolección de datos en de las parcelas en las siguientes zonas de la capital: 4, 9, 10 y 15 por medio de la búsqueda de las coordenadas geográficas y dirección física.

No.	NOMBRE	DPI	TELÉFONO	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA
1	Sofia Aldana	3000686970101	42022039	Sofiaaldana1997@gmail.com	Seeeeell
2	Pablo cano	2687844260101	54742261	Pcano167@gmail.com	
3	Giuliana Martini	3013358850101	5011 26 25	giuliana.martini@hotmail.com	Giuliana M.
4	Emily Car	281587390403	31697944	emycpgd@gmail.com	
5	Gerardo Cotojaj	2645933590110	5533-3482	gerardo90cp@gmail.com	
6	Merwin Pérez	3661953281304	32037123	ixmolej@gmail.com	
7	Alicia Eufragio	2392871690101	41673778	aliciae1194@gmail.com	
8	Laura bombá	2146766090101	55333066	laugambá@gmail.com	

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Arbolado urbano y calidad de vida: El caso de la Ciudad de Guatemala de la Asunción AP15-2022 y partida presupuestal 4.8.63.0.34

Guatemala, miércoles 21 de septiembre de 2022.

Listado de personas que recibieron almuerzos servidos en Avenida Reforma 0-63, zona 10 a las 14:00 horas a estudiantes, tesistas, epesistas y colaboradores quienes apoyaron en la recolección de datos en de las parcelas en las siguientes zonas de la capital: 4, 9, 10 y 15 por medio de la búsqueda de las coordenadas geográficas y dirección física.

No.	NOMBRE	DPI	TELÉFONO	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA
1	Giuliana Martini	3013358850101	5011-2625	giulianamartini@hotmail.com	Giuliana M.
2	Gerardo Cotzajay	2645933590110	5533-3482	gerardo900@gmail.com	
3	Dana Muñoz	3013013440101	4853-0713	dana.munoz99@gmail.com	Méjdarúa
4	GUSTAVO GONZÁLEZ	3000844980101	302582262	gustavogonzalezbiologia@gmail.com	
5	Emily Car	2815897390403	3169 7944	emycpgd8@gmail.com	
6	Mervin Pérez	3661953281309	32037123	ixmolej@gmail.com	
7	Alicia Eufragio	2392871690101	4167-3778	aliciae1194@gmail.com	
8	Laura bamba	2146766090101	55333066	laugamba@gmail.com	

Arbolado urbano y calidad de vida: El caso de la Ciudad de Guatemala de la Asunción AP15-2022 y partida presupuestal 4.8.63.0.34

Guatemala, jueves 22 de septiembre de 2022.

Listado de personas que recibieron almuerzos servidos en Avenida Reforma 0-63, zona 10 a las 14:00 horas a estudiantes, tesistas, epesistas y colaboradores quienes apoyaron en la recolección de datos en de las parcelas en las siguientes zonas de la capital: 4, 9, 10 y 15 por medio de la búsqueda de las coordenadas geográficas y dirección física.

No.	NOMBRE	DPI	TELÉFONO	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA
1	Dana Muñoz	3013013440101	4853-0713	dana.munoz99@gmail.com	Méjdarúa
2	Alicia Eufragio	2392871690101	4167-3778	aliciae1194@gmail.com	
3	Mervin Pérez	3661953281309	32037123	ixmolej@gmail.com	
4	Emily Car	2815897390403	31697944	emycpgd8@gmail.com	
5	Giuliana Martini	3013358850101	5011-2625	giulianamar@hotmail.com	Giuliana M.
6	Gerardo Cotzajay	2645933590110	5533-3482	gerardo900@gmail.com	
7	Laura bamba	2146766090101	55333066	laugamba@gmail.com	
8	Maria Chauric	2542398630101	42852560	mariacm2990@gmail.com	

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Arbolado urbano y calidad de vida: El caso de la Ciudad de Guatemala de la Asunción
AP15-2022 y partida presupuestal 4.8.63.0.34

Guatemala, miércoles 28 de septiembre de 2022.
Listado de personas que recibieron almuerzos servidos en Avenida Reforma 0-63, zona 10 a las 14:00 horas a estudiantes, tesisistas, epesistas y colaboradores quienes apoyaron en la recolección de datos en de las parcelas en las siguientes zonas de la capital: 4, 9, 10 y 15 por medio de la búsqueda de las coordenadas geográficas y dirección física.

No.	NOMBRE	DPI	TELÉFONO	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA
1	Dante Badias	2992 0836 0101	5223 5045	danteguillermo08@gmail.com	
2	Mervin Pérez	3661953281304	32037123	ixmolej@gmail.com	
3	Emily Car	2815897390403	31697944	emycggd@gmail.com	
4	Alicia Eufragio	2392871690101	4167-3778	aliciae1194@gmail.com	
5	Gerardo Cotzajay	2645433590110	55333482	gerardo90@gmail.com	
6	Giuliana Martini	3013 35885 0101	5011 - 26 25	giulianamartini@hotmail.com	Giuliana M.
7	Laura bamba	2146 76609 0101	5533 3066	laugamba@gmail.com	
8	María Chavarria	2542398030101	4285 2560	maria.cm.299@gmail.com	

Arbolado urbano y calidad de vida: El caso de la Ciudad de Guatemala de la Asunción
AP15-2022 y partida presupuestal 4.8.63.0.34

Guatemala, jueves 29 de septiembre de 2022.
Listado de personas que recibieron almuerzos servidos en Avenida Reforma 0-63, zona 10 a las 14:00 horas a estudiantes, tesisistas, epesistas y colaboradores quienes apoyaron en la recolección de datos en de las parcelas en las siguientes zonas de la capital: 4, 9, 10 y 15 por medio de la búsqueda de las coordenadas geográficas y dirección física.

No.	NOMBRE	DPI	TELÉFONO	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA
1	Gerardo Cotzajay	2645433590110	55333482	gerardo90@gmail.com	
2	Giuliana Martini	3013 35885 0101	5011 - 26 25	giulianamar@hotmail.com	Giuliana M.
3	Mervin Pérez	3661953281304	32037123	ixmolej@gmail.com	
4	Emily Car	2815897390403	31697944	emycggd@gmail.com	
5	Alicia Eufragio	2392871690101	4167-3778	aliciae1194@gmail.com	
6	Laura bamba	2146 76609 0101	5533 3066	laugamba@gmail.com	
7	María Chavarria	2542398030101	4285 2560	mchavarria13@miunq.edu.gt	
8	Sofía Aldra	3000686970101	4202-2039	sofiagilabona87@gmail.com	

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación -DIGI-

Arbolado urbano y calidad de vida: El caso de la Ciudad de Guatemala de la Asunción
AP15-2022 y partida presupuestal 4.8.63.0.34

Guatemala, lunes 17 de octubre de 2022.
Listado de personas que recibieron almuerzos servidos a estudiantes, tesisistas, epesistas y colaboradores quienes apoyaron en la recolección de datos de las parcelas en diferentes zonas de la ciudad capital por medio de la búsqueda de las coordenadas geográficas. Los almuerzos fueron entregados en Avenida Reforma 0-63 zona 10 a las 14:00 horas.

No.	NOMBRE	DPI	TELÉFONO	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA
1	Alicia Eufragio	2392871690101	4167-3778	aliciae1194@gmail.com	
2	Emily Car	2815897390403	37697944	emycpgd8@gmail.com	
3	Giuliana Martini	3013358850101	5011-2625	giulianamar@hotmail.com	Giuliana M.
4	Mervin Pérez	3661953281309	32037123	ixmolej@gmail.com	
5	Gerardo Cotzajm	2645933590110	5533-3482	gerardo900@gmail.com	
6	Pablo Cano	2687844260101	54742261	Pcano167@gmail.com	
7	Fernando Castillo	1907016230101	32956289	castillo.fernando@usac.edu.gt	
8	Sofía Aldana	30006876970101	4202-2039	AldanaSofia18@gmail.com	Sooooo

Arbolado urbano y calidad de vida: El caso de la Ciudad de Guatemala de la Asunción
AP15-2022 y partida presupuestal 4.8.63.0.34

Guatemala, martes 18 de octubre de 2022.
Listado de personas que recibieron almuerzos servidos a estudiantes, tesisistas, epesistas y colaboradores quienes apoyaron en la recolección de datos de las parcelas en diferentes zonas de la ciudad capital por medio de la búsqueda de las coordenadas geográficas. Los almuerzos fueron entregados en Avenida Reforma 0-63 zona 10 a las 14:00 horas.

No.	NOMBRE	DPI	TELÉFONO	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA
1	Emily Car	2815897390403	37697944	emycpgd8@gmail.com	
2	Alicia Eufragio	2392871690101	41673778	aliciae1194@gmail.com	
3	Giuliana Martini	3013358850101	50112625	giulianamar@hotmail.com	Giuliana M.
4	Mervin Pérez	3661953281309	32037123	ixmolej@gmail.com	
5	Gerardo Cotzajm	2645933590110	5533-3482	gerardo900@gmail.com	
6	Pablo Cano	2687844260101	54742261	Pcano167@gmail.com	
7	Sofía Aldana	30006876970101	4202-2039	AldanaSofia18@gmail.com	Sooooo
8	Fernando Castillo	1907016230101	32956289	castillo.fernando@usac.edu.gt	

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Arbolado urbano y calidad de vida: El caso de la Ciudad de Guatemala de la Asunción AP15-2022 y partida presupuestal 4.8.63.0.34

Guatemala, miércoles 19 de octubre de 2022.

Listado de personas que recibieron almuerzos servidos a estudiantes, tesisistas, epesistas y colaboradores quienes apoyaron en la recolección de datos de las parcelas en diferentes zonas de la ciudad capital por medio de la búsqueda de las coordenadas geográficas. Los almuerzos fueron entregados en Avenida Reforma 0-63 zona 10 a las 14:00 horas.

No.	NOMBRE	DPI	TELÉFONO	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA
1	Emily Car	2815897390403	316 77944	emycpgd8@gmail.com	
2	Giuliana Martini	3013358850101	50112625	giulianamar@hotmail.com	Giuliana M.
3	Mervin Pérez	36619538009	32037123	irmolej@gmail.com	
4	Gerardo (Cato) Jim	2645933590110	5533-3482	gerardo90ce@gmail.com	
5	Pablo Cano	268484460101	54742261	Pcano467@gmail.com	
6	Sofía Aldana	3000686770101	42022039	Aldanaablgail@gmail.com	Selleee
7	Fernando Castillo	190791620101	32956282	castillofernando@usac.edu.gt	
8	Alicia Eufragio	2392871690101	41673778	aliciae1194@gmail.com	

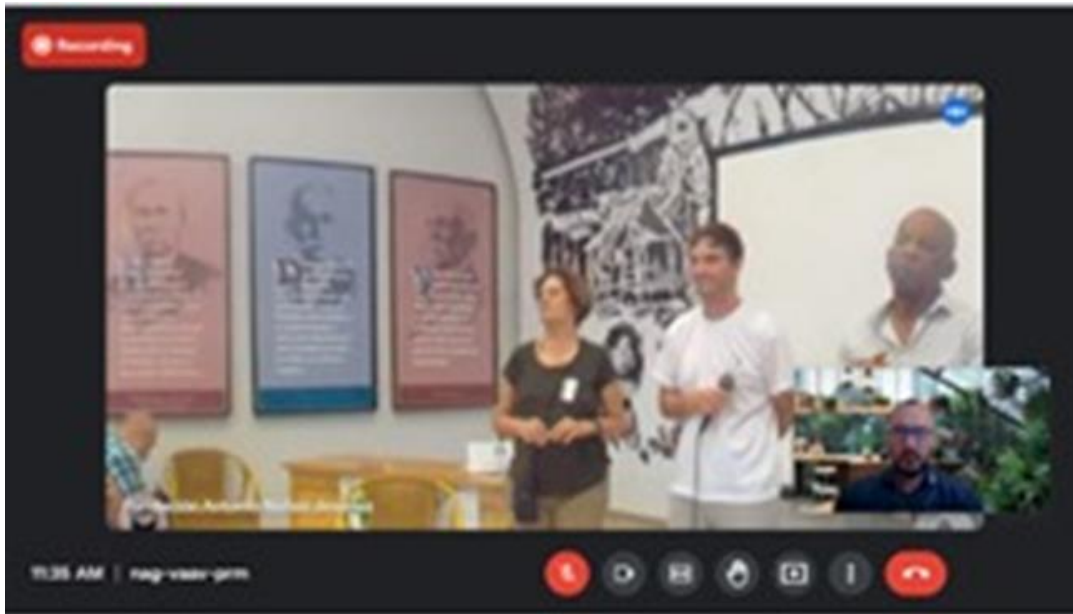
Arbolado urbano y calidad de vida: El caso de la Ciudad de Guatemala de la Asunción AP15-2022 y partida presupuestal 4.8.63.0.34

Guatemala, jueves 27 de octubre de 2022.

Listado de personas que recibieron almuerzos servidos a estudiantes, tesisistas, epesistas y colaboradores quienes apoyaron en la recolección de datos de las parcelas en diferentes zonas de la ciudad capital por medio de la búsqueda de las coordenadas geográficas. Los almuerzos fueron entregados en Avenida Reforma 0-63 zona 10 a las 14:00 horas.

No.	NOMBRE	DPI	TELÉFONO	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA
1	Emily Car	2815897390403	316 77944	emycpgd8@gmail.com	
2	Giuliana Martini	3013358850101	50112625	giulianamar@hotmail.com	Giuliana M.
3	Alicia Eufragio	2392871690101	41673778	aliciae1194@gmail.com	
4	Mervin Pérez	366195381304	32037123	irmolej@gmail.com	
5	Gerardo (Cato) Jim	2645933590110	5533-3482	gerardo90ce@gmail.com	
6	Pablo Cano	268484460101	54742261	Pcano467@gmail.com	
7	Sofía Aldana	3000686770101	42022039	Sofia.Aldana1997@gmail.com	Selleee
8	Fernando Castillo	190791620101	32956289	castillo.fernando@usac.edu.gt	

Apéndice 18. Participación en eventos internacionales del equipo investigador



Presentación del Ph.D Mervin Pérez para Taller Internacional “Hablemos de los árboles urbanos”. Del 5 al 8 de octubre de 2022 Quinta de Los Molinos, La Habana. PANEL 4: Censos y diagnósticos del arbolado urbano, herramientas indispensables.

OEI



ANA CAPILLA CASCO, DIRECTORA DE EDUCACIÓN SUPERIOR Y CIENCIA DE LA ORGANIZACIÓN DE ESTADOS IBEROAMERICANOS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA (OEI)

CERTIFICA:

Que Fernando José Castillo Cabrera ha colaborado en la 3ª edición de la Noche Iberoamericana de los Investigadores®, organizando actividades de divulgación científica. El evento se ha celebrado los días 30 de septiembre y 1 de octubre de 2022, siendo su objetivo visibilizar el trabajo de investigadores e investigadoras, promoviendo así vocaciones científicas.

Que este proyecto es una iniciativa de la OEI que ha querido extender este espacio de divulgación científica a la región Iberoamericana, sumándose así a la Noche Europea de los Investigadores.

Y para que así conste a los efectos oportunos, firma el presente certificado en Madrid a los once días del mes de octubre de dos mil veintidós.



Bravo Murillo, 38 - 28015 Madrid, España - Tel: (+34) 91 504 4302 - educacion_superior@oei.int

Certificado de participación en la Noche Iberoamericana de Investigación. Fernando Castillo

Apéndice 19. Constancia de curso recibido por miembro del equipo en la metodología iTree



Otorgan el presente certificado a:

FERNANDO CASTILLO

Por su participación como asistente en el
Curso i-Tree: Herramienta para el manejo del bosque urbano

Con una duración de 16 horas
Organizado por Programas Internacionales del Servicio Forestal de los Estados Unidos
Realizado entre el 23 de marzo y el 25 de mayo de 2022

Camille McCarthy
Servicio Forestal EE. UU.
Oficina de Programas Internacionales

María del Pilar Arroyave Maya
Servicio Forestal EE. UU.
Oficina de Programas Internacionales



Otorgan el presente certificado a:

ALICIA ELENA EUFRAGIO BLANCO

Por su participación como asistente en el
Curso i-Tree: Herramienta para el manejo del bosque urbano

Con una duración de 16 horas
Organizado por Programas Internacionales del Servicio Forestal de los Estados Unidos
Realizado entre el 10 de agosto y el 28 de septiembre de 2022

Camille McCarthy
Servicio Forestal EE. UU.
Oficina de Programas Internacionales

María del Pilar Arroyave Maya
Servicio Forestal EE. UU.
Oficina de Programas Internacionales

Apéndice 20 Listado de especies de árboles urbanos identificadas en ciudad de Guatemala de la Asunción

No.	Familia	Especie	Origen
1	Fabaceae	<i>Acacia sp.</i>	Introducida
2	Annonaceae	<i>Annona glabra</i>	Nativa
3	Araucariaceae	<i>Araucaria columnaris</i>	Introducida
4	Fabaceae	<i>Bauhinia purpurea</i>	Introducida
5	Asparagaceae	<i>Beaucarnea recurvata</i>	Nativa
6	Nyctaginaceae	<i>Bougainvillea glabra</i>	Introducida
7	Scrophulariaceae	<i>Buddleja sp.</i>	Nativa
8	Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i>	Nativa
9	Fabaceae	<i>Calliandra haematocephala var. haematocephala</i>	Introducida
10	Fabaceae	<i>Calliandra houstoniana</i>	Nativa
11	Apocynaceae	<i>Cascabela thevetia</i>	Nativa
12	Rutaceae	<i>Casimiroa edulis</i>	Nativa
13	Fabaceae	<i>Cassia fistula</i>	Introducida
14	Fabaceae	<i>Cassia grandis</i>	Nativa
15	Moraceae	<i>Castilla elastica</i>	Nativa
16	Casuarinaceae	<i>Casuarina equisetifolia</i>	Introducida
17	Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i>	Nativa
18	Meliaceae	<i>Cedrela tonduzii</i>	Nativa
19	Malvaceae	<i>Ceiba pentandra</i>	Nativa
20	Solanaceae	<i>Cestrum tomentosum</i>	Nativa
21	Arecaceae	<i>Chamaedorea sp.</i>	Nativa
22	Arecaceae	<i>Chamaedorea tepejilote</i>	Nativa
23	Sapotaceae	<i>Chrysophyllum cainito</i>	Introducida
24	Cibotiaceae	<i>Cibotium regale</i>	Nativa
25	Verbenaceae	<i>Citharexylum donnell-smithii</i>	Nativa
26	Rutaceae	<i>Citrus x aurantium</i>	Introducida
27	Rutaceae	<i>Citrus x limon</i>	Introducida
28	Euphorbiaceae	<i>Cnidoscolus aconitifolius</i>	Nativa
29	Rubiaceae	<i>Coffea arabica</i>	Introducida
30	Burseraceae	<i>Commiphora myrrha</i>	Introducida
31	Myrtaceae	<i>Corymbia torelliana</i>	Introducida
32	Cupressaceae	<i>Cupressus funebris</i>	Introducida
33	Cupressaceae	<i>Cupressus lusitanica</i>	Nativa
34	Fabaceae	<i>Delonix regia</i>	Introducida
35	Fabaceae	<i>Diphysa robinoides</i>	Nativa
36	Asparagaceae	<i>Dracaena fragrans</i>	Introducida
37	Arecaceae	<i>Dyopsis lutescens</i>	Introducida
38	Boraginaceae	<i>Ehretia tinifolia</i>	Nativa

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

39	Fabaceae	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Nativa
40	Asteraceae	<i>Eremosis triflosculosa</i>	Nativa
41	Myrtaceae	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Introducida
42	Myrtaceae	<i>Eucalyptus globulus</i>	Introducida
43	Myrtaceae	<i>Eugenia uniflora</i>	Introducida
44	Moraceae	<i>Ficus benjamina</i>	Introducida
45	Moraceae	* <i>Ficus costaricana</i>	Nativa
46	Moraceae	<i>Ficus microcarpa</i>	Introducida
47	Oleaceae	<i>Fraxinus uhdei</i>	Nativa
48	Lamiaceae	<i>Gmelina arborea</i>	Introducida
49	Proteaceae	<i>Grevillea robusta</i>	Introducida
50	Bignoniaceae	<i>Handroanthus ochraceus</i>	Nativa
51	Malvaceae	<i>Heliocarpus americanus</i>	Nativa
52	Araliaceae	<i>Heptapleurum actinophyllum</i>	Introducida
53	Malvaceae	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	Introducida
54	Fabaceae	<i>Hymenaea courbaril</i>	Nativa
55	Fabaceae	<i>Inga edulis</i>	Introducida
56	Fabaceae	<i>Inga vera</i>	Nativa
57	Bignoniaceae	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Introducida
58	Juglandaceae	<i>Juglans pyriformis</i>	Nativa
59	Sapindaceae	<i>Koelreuteria elegans</i>	Introducida
60	Lythraceae	<i>Lagerstroemia indica</i>	Introducida
61	Fabaceae	<i>Leucaena diversifolia</i>	Nativa
62	Oleaceae	<i>Ligustrum lucidum</i>	Introducida
63	Altingiaceae	<i>Liquidambar styraciflua</i>	Nativa
64	Magnoliaceae	<i>Magnolia champaca</i>	Introducida
65	Malpighiaceae	<i>Malpighia glabra</i>	Nativa
66	Rosaceae	<i>Malus domestica</i>	Introducida
67	Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i>	Introducida
68	Myrtaceae	<i>Melaleuca viminalis</i>	Introducida
69	Salicaceae	<i>Olmediella betschleriana</i>	Nativa
70	Araliaceae	<i>Oreopanax xalapensis</i>	Nativa
71	Lauraceae	<i>Persea americana</i>	Nativa
72	Asteraceae	<i>Perymenium grandis</i>	Nativa
73	Arecaceae	<i>Phoenix canariensis</i>	Introducida
74	Arecaceae	<i>Phoenix roebelenii</i>	Introducida
75	Myrtaceae	<i>Pimenta dioica</i>	Nativa
76	Pinaceae	<i>Pinus oocarpa</i>	Nativa
77	Pinaceae	<i>Pinus pseudostrobus</i>	Nativa
78	Cupressaceae	<i>Platycladus orientalis</i>	Introducida
79	Fabaceae	<i>Platymiscium dimorphandrum</i>	Nativa
80	Podocarpaceae	<i>Podocarpus oleifolius</i>	Nativa
81	Rosaceae	<i>Prunus persica</i>	Introducida

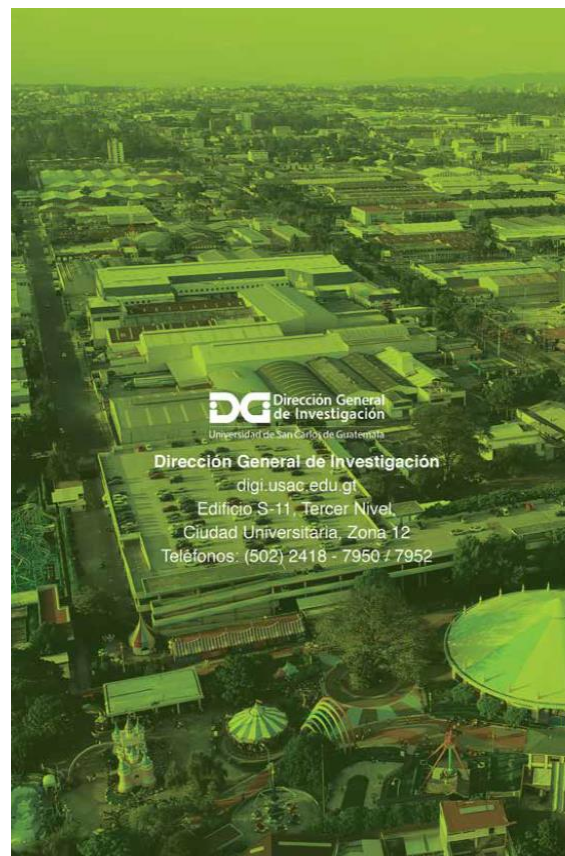
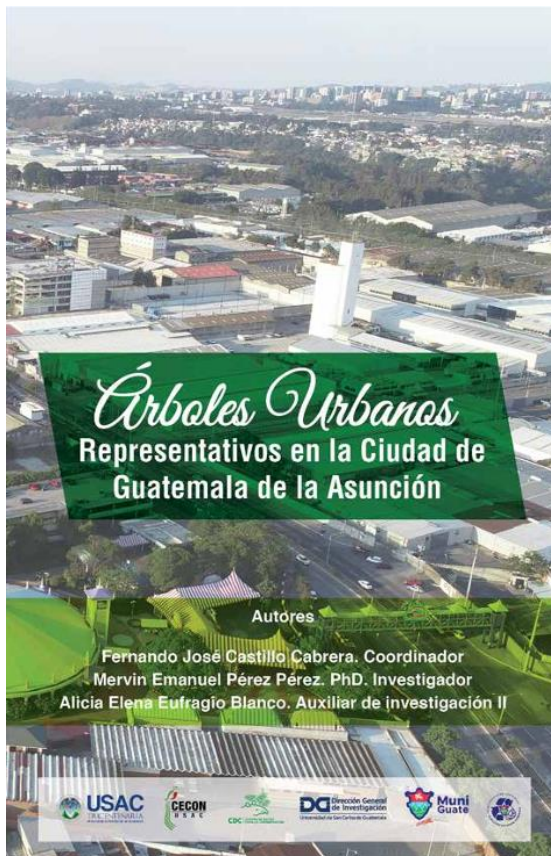
Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

82	Rosaceae	<i>Prunus serotina</i>	Nativa
83	Myrtaceae	<i>Psidium cattleianum</i>	Introducida
84	Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	Introducida
85	Lythraceae	<i>Punica granatum</i>	Introducida
86	Rosaceae	<i>Pyracantha coccinea</i>	Introducida
87	Fagaceae	<i>Quercus castanea</i>	Nativa
88	Fagaceae	<i>Quercus peduncularis</i>	Nativa
89	Fagaceae	* <i>Quercus purulhana</i>	Nativa
90	Fagaceae	<i>Quercus sapotifolia</i>	Nativa
91	Fagaceae	* <i>Quercus skinerii</i>	Nativa
92	Fagaceae	<i>Quercus vicentensis</i>	Nativa
93	Fagaceae	<i>Quercus xalapensis</i>	Nativa
94	Rhamnaceae	<i>Rhamnus capraeifolia</i>	Nativa
95	Rosaceae	<i>Rhaphiolepis bibas</i>	Introducida
96	Arecaceae	<i>Roystonea regia</i>	Nativa
97	Fabaceae	<i>Samanea saman</i>	Nativa
98	Viburnaceae	<i>Sambucus canadensis</i>	Nativa
99	Sapindaceae	<i>Sapindus saponaria</i>	Nativa
100	Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolia</i>	Introducida
101	Simaroubaceae	<i>Simarouba amara</i>	Nativa
102	Simaroubaceae	<i>Simarouba glauca</i>	Nativa
103	Solanaceae	<i>Solanum sp.</i>	Nativa
104	Bignoniaceae	<i>Spathodea campanulata</i>	Introducida
105	Meliaceae	<i>Swietenia macrophylla</i>	Nativa
106	Myrtaceae	* <i>Syzygium cumin</i>	Introducida
107	Myrtaceae	<i>Syzygium jambos</i>	Introducida
108	Myrtaceae	* <i>Syzygium paniculatum</i>	Introducida
109	Bignoniaceae	<i>Tabebuia rosea</i>	Nativa
110	Anacardiaceae	<i>Tapuria sp.</i>	Nativa
111	Cupressaceae	<i>Taxodium distichum</i>	Nativa
112	Bignoniaceae	<i>Tecoma stans</i>	Nativa
113	Combretaceae	<i>Terminalia catappa</i>	Introducida
114	Meliaceae	<i>Trichilia havanensis</i>	Nativa
115	Urticaceae	<i>Urera caracasana</i>	Nativa
116	Arecaceae	<i>Washingtonia filifera</i>	Introducida
117	Salicaceae	<i>Xylosma flexuosa</i>	Nativa
118	Asparagaceae	<i>Yucca gigantea</i>	Nativa

*Especies colectadas e identificadas fuera de las parcelas.

Apéndice 21 Portada y contraportada de la publicación denominada *Árboles Representativos en la ciudad de Guatemala de la Asunción*



15. Aspectos éticos y legales

Todos los miembros del equipo de investigación contaban con licencia de investigación y colecta avalada por el CONAP. Así mismo todos los hogares de ciudadanos donde se recolectó información fueron informados y dieron su consentimiento verbal, la misma situación ocurrió para espacios privados comerciales (Apéndice 2).

16. Vinculación

Esta propuesta se desarrolló en el marco del proceso iniciado para realizar investigación en conjunto entre la Municipalidad de Guatemala con la Dirección de Medio Ambiente y el Centro de Estudios Conservacionistas para realizar investigación conjunta en el tema ambiental de la Ciudad de Guatemala. La experiencia en ecología urbana del CECON junto con la experiencia en gestión y manejo de la DMA facilitaron el trabajo colectivo entre dos sólidas instituciones para realizar investigación con rigor científico, y con la orientación de apoyar y resolver la problemática ambiental de la ciudad a través de la formulación de leyes y normativas que se generen a partir de los resultados obtenidos del presente proyecto. (Apéndice 16 convenio en preparación de firmas).

17. Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual

La estrategia de divulgación tuvo desde el inicio generar un documento a modo de catálogo donde se muestran las especies evaluadas más representativas del arbolado urbano de la ciudad. Este mismo se presenta en formato digital adjunto a la entrega de este informe. Así mismo, se participó en actividades de divulgación a la ciudadanía en una feria ambiental y en una invitación de un colectivo de vecinos en zona 11 además de formar parte de la campaña mediática de la ciudad y su biodiversidad. Por otro lado, los investigadores fueron invitados a participar en charlas en línea donde se expusieron temas vinculados al desarrollo de la investigación.

Otro aspecto importante de la difusión fue el realizar distintos talleres en donde fueron capacitados 23 personas entre estudiantes, profesionales y personal técnico de distintas instituciones en el uso de la herramienta iTree. (Ver apéndices 11, 12 y 16). Finalmente, y para estar en concordancia con la

tendencia de datos abiertos, los especímenes colectados, herborizados, identificados y curados se ingresaron a la colección de plantas del Herbario USCG del Centro de Estudios Conservacionistas y éstos forman parte del Portal de Biodiversidad de Guatemala donde pueden ser accesados libremente por cualquier persona. Para ello además se creó un listado nuevo denominado Árboles Urbanos de Guatemala (Ver Apéndices 9 y 10).

18. Aportes de la propuesta de investigación a los ODS:

Esta investigación contribuye con los siguientes objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de manera directa: ODS 11 Ciudades y comunidades sostenibles donde nuestros resultados permitirán orientar políticas municipales con relación a la creación y fortalecimiento de espacios verdes y de especies de árboles a sembrar en la ciudad. ODS15 Vida de Ecosistemas Terrestres, en este caso, la investigación contribuye a una revalorización de los beneficios (servicios ecosistémicos) de la biodiversidad asociada a los espacios verdes, principalmente los árboles. ODS10 Reducción de las Desigualdades, mostrando las diferencias entre el dominio público y privado sobre los beneficios obtenidos del tejido verde indicamos dónde existe un déficit de tejido verde urbano. La planificación entonces puede tomar cartas en el asunto y realizar actividades para contribuir a la reducción de desigualdades ambientales en la ciudad.

Como situación excepcional por la pandemia del COVID-19 esta investigación contribuyó también con hacer más visibles los beneficios del tejido verde urbano lo que implica generar nuevos valores de este. Esto se suma a la creciente tendencia de resaltar los beneficios de los espacios verdes que conforman este tejido debido a que estos espacios generan formas de liberar el estrés en tiempos de pandemia o de preparación para dichos tiempos (Kleinschroth & Kowarik, 2020) por lo que la propuesta está vinculada también al ODS 3 Salud y Bienestar.

Entre los aportes más destacados están: ser el primer estudio de arbolado urbano y sus servicios ecosistémicos con i-Tree para ciudades de Guatemala y visibilizar aún más el papel importante de los árboles en el suministro de servicios ecosistémicos. A su vez, fruto de la alianza con la Municipalidad de Guatemala, este estudio aporta información clave para la toma de decisiones a nivel municipal sobre la biodiversidad urbana. La divulgación de estos resultados espera seguir concientizando a los



Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

habitantes de la ciudad de Guatemala de la Asunción a promover el cuidado, protección y recuperación del tejido verde urbano y sus árboles. Finalmente, las acciones de capacitación realizadas fueron un espacio para la difusión de la metodología i-Tree Eco que permita ser replicable en otras ciudades del país.

Esta investigación muestra la interdependencia de los espacios verdes urbanos con el bienestar social a través de los servicios ecosistémicos aquí identificados y estimados. Esta visibilización de las contribuciones del arbolado urbano a la sociedad puede facilitar la optimización de normativas para protección y manejo por parte de la Municipalidad de Guatemala. En términos económicos la investigación muestra el impacto económico en términos monetarios de las contribuciones de los árboles a la calidad de vida.

19. Orden de pago final

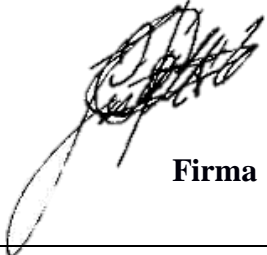
Nombres y apellidos	Categoría (investigador /auxiliar)	Registro de personal	Procede pago de mes (Sí / No)	Firma
Mervin Emanuel Pérez Pérez	Investigador	20031012	Si	
Alicia Eufragio Blanco	Auxiliar de Investigación	20171431	SI	

20. Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación

El Coordinador de proyecto de investigación con base en el *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación*, artículos 13 y 20, deja constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordina ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Fernando José Castillo Cabrera Coordinador del proyecto de investigación	 Firma
Fecha: 30/01/2023	

21. Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 13 y 19 del *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación* otorgo el aval al presente informe final de las actividades realizadas en el proyecto “Arbolado urbano y calidad de vida: El caso de la Ciudad de Guatemala de la Asunción” en mi calidad de Directora del Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas -IIQB-, mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

Vo.Bo. Eunice Enríquez Ph.D. Directora	Firma
Fecha: 30/01/2023	

22. Visado de la Dirección General de Investigación

Vo.Bo. Andrea Rodas M.Sc. Coordinadora PUIRNA	Firma
Fecha: 31/01/2023	

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

<p>Vo.Bo. Ing. Agr. Rufino Salazar Coordinador General de Programas Universitarios de Investigación</p>	<p>Firma</p>
<p>Fecha: 31/01/2023</p>	