

Estimación de captura de carbono en parques urbanos del corregimiento de Rufina Alfaro, Panamá

Carbon sequestration estimation in urban parks in the Rufina Alfaro district, Panama City

Isabella V. García-Zuleta^{1*}, Manuel A. García-González¹, Nathalia Tejedor-Flores²⁻³, Mitzi Cubilla-Montilla³⁻⁴

¹Programa Jóvenes Científicos, Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT)

²Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH), Universidad Tecnológica de Panamá (UTP)

³Sistema Nacional de Investigación (SNI)

⁴Departamento de Estadística y Centro de Investigación y Consultoría Estadística (CICE), Universidad de Panamá

*Autor de correspondencia: isabella.garcia@utp.ac.pa

RESUMEN. El Dióxido de Carbono (CO₂) ha tomado importancia en esta década, grandes cantidades de este gas tóxico se almacenan en la atmósfera, alterando la vida cotidiana de las personas y contribuyendo al calentamiento global. Esta investigación se enfocó en realizar una estimación de carbono de la biomasa en tres parques del corregimiento Rufina Alfaro, Ciudad de Panamá. Se elaboró un inventario de parques y biomasa, la estimación de captura de carbono, se realizó a través de un inventario forestal; logrando identificar las especies de árboles y los parques con mayor captura de carbono. Para la divulgación de los resultados hacia los miembros de la comunidad, se crearon códigos QR, los cuales fueron colocados en cada árbol, con información sobre la especie, la familia y la captura de carbono. El área de estudio se delimitó con la aplicación Google Earth, y para la identificación de las especies de los árboles, se utilizó la herramienta PictureThis. Para el cálculo de la biomasa aérea y la estimación de captura de carbono, se empleó el método indirecto de Weissert, 2014. El inventariado de estos tres parques nos dio un total de 162 árboles, se encontraron 11 especies y 10 familias de árboles. La estimación de captura de carbono total fue de 8,884.88 kg toneladas. Los resultados de esta investigación son una herramienta útil, para que los tomadores de decisiones de la comunidad puedan elaborar mejores medidas de conservación y promuevan mejores prácticas para el desarrollo sostenible de los parques urbanos..

Palabras clave. *Biomasa, Captura de Dióxido de Carbono, Dióxido de Carbono, Parques Urbanos.*

ABSTRACT. Carbon Dioxide (CO₂) has gained importance in the last decade; large quantities of this toxic gas are stored in the atmosphere, altering the daily life of people and contributing to global warming. Due to the above, this research focused on estimating the carbon in the biomass present in the trees of three parks in the Rufina Alfaro district, Panama City, and an inventory of parks and biomass was also elaborated. The estimation of biomass carbon sequestration was carried out through a forest inventory, where the tree species were identified, as well as the parks within the township with the highest carbon sequestration. To disseminate the results to community members and decision-makers, QR codes were created and placed on each tree, with information on the species, family, and carbon sequestration of the tree. The study area was delimited with the Google Earth application and the PictureThis tool was used to identify the species. With these data we proceeded to calculate the biomass area and the estimate of carbon sequestration, using the indirect method of Weissert, 2014. The biomass inventory of these 3 parks gave us a total of 162 trees. A total of 11 species and 10 tree families were obtained. The carbon sequestration estimate is 8,884.88 kg tons. The results of this research are a useful tool for decision-makers to develop better conservation measures for urban parks or to promote better practices for the sustainable development of urban communities.

Keywords. *Biomass, Carbon Dioxide storage, Carbon Dioxide, Urban parks.*

Citación: I. García, M. García, N. Tejedor y M. Cubilla, "Estimación de captura de carbono en parques urbanos del corregimiento de Rufina Alfaro, Panamá", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 20, no. 2, pp. (0), 2024.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 20 de noviembre de 2023. **Recibido con correcciones:** 20 de marzo de 2024. **Aceptado:** 20 de marzo de 2024.

DOI.

Copyright: 2024 I. García, M. García, N. Tejedor y M. Cubilla. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

1. Introducción

La influencia humana en el sistema climático es clara, y las emisiones antropogénicas recientes de Gases de Efecto Invernadero (GEI) son las más altas de la historia [1-3]. Los cambios climáticos recientes han tenido impactos generalizados en los sistemas humanos y naturales. La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido y el nivel del mar se ha elevado [4-7].

En la actualidad el cambio climático es una situación que cada día afecta más en la vida personal del ser humano [13-14]. Uno de los mayores componentes al cambio climático son las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂). Debido al constante aumento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera, las investigaciones en todo lo concerniente al cambio climático se hacen prioritarias para todos los países. El 70% de este CO₂ es emitido por las áreas urbanas [10-12] y esto puede aumentar aún más debido a que la población con los años aumenta y se prevé que para el año 2050 la población que reside en las áreas urbanas suba un 66.4%, por lo cual es importante saber con exactitud y precisión cómo es el aumento de estas emisiones de CO₂ provenientes de estas áreas, para así tomar las acciones requeridas en cuanto a estas estimaciones [13][15-17].

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) [18][19], de la cual Panamá forma parte desde su ratificación mediante la Ley No. 10 de 12 de abril de 1995, tiene como objetivo «la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático» y define el cambio climático como «cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables».

En el año 2016, Panamá ratifica el Acuerdo de París a través de la Ley No. 40 [20], en donde unos de los requisitos obligatorio de este acuerdo, es informar periódicamente los inventarios de GEI. Tan solo en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (COP26) realizada en el año 2021 Panamá clasificó como país carbono negativo [21], algo que coloca al país, como un país sumidero. Para saber estos datos fue muy importante el inventario nacional de GEI,

en donde abarcaron información que va desde 1997 hasta 2017. Con esto Panamá debe seguir recolectando información anualmente para determinar si Panamá seguirá o no siendo un país sumidero o carbono negativo, por lo tanto, la importancia de hacer inventarios, especialmente en las áreas urbanas, ya que, en Panamá, actualmente, no hay un registro de evaluación cuantitativa de la captura de carbono de la biomasa de los parques urbanos.

De lo anterior descrito, surge la pregunta de investigación de este proyecto: ¿cuánto es la captura de carbono de la biomasa en los parques del corregimiento de Rufina Alfaro, Ciudad de Panamá (2022)?.

2. Materiales y Métodos

Para poder investigar los distintos parques del corregimiento de Rufina Alfaro, se decidió delimitar el área de estudio la cual contiene una superficie total de 9.6 km², con las coordenadas 9°04'12"N 79°27'27"O / 9.0699, -79.4575 ubicadas con la herramienta de Google Earth. Para la escogencia de los parques se realizaron varios recorridos mediante la metodología de observación, debido a que no se logró ubicar un inventario de parques en las fuentes consultadas, como la página web de Municipio de San Miguelito y la página web de la Junta Comunal de Rufina Alfaro. Se estableció por el método de simple muestreo que, de un total de 10 parques, solo 3 contienen una cantidad mayor o igual a 10 árboles, mediante un conteo simple, con la excepción de un parque que contenía esa cantidad de árboles, pero se excluyó debido al poco acceso y a su cercanía a una planta de tratamiento de aguas residuales, lo cual lo hacía poco seguro la obtención de datos.

Los parques seleccionados son:

- Parque Recreativo Brisas del Golf
- Parque Jesús Benavides
- Parque Central de Brisas del Golf

Para hacer la selección de los árboles que se incluirá en la lista de inventario de biomasa del parque, se tomó en cuenta únicamente aquellos que tenían más de 10 cm de diámetro altura pecho (DAP), aquellos que tenían por debajo de esta medición o que estuvieran fuera del área delimitada, ya sea en las aceras o los estacionamientos del parque, no fueron incluidos a el inventario, no se tomó en cuenta biomasa subterránea ni muerta, únicamente biomasa área que cumpliera con los requisitos.

El tipo de método que se escogió es un estudio estadístico descriptivo, ya que esta investigación se base

en estimaciones tanto de la biomasa como de la captura de carbono. Para estimar la biomasa existen dos métodos, el más preciso, pero más destructivo es cortar el árbol, pesar en seco sus partes y determinar con la suma de cada sección la cantidad de carbono almacenado, y es considerado el método más costoso. El otro método, que es más común y menos destructivo contra el ecosistema es la aplicación de ecuaciones [22][23].

El método seleccionado fue el menos destructivo en este caso también conocido como método indirecto, el cual se trata específicamente en la aplicación de ecuaciones alométricas [22]. Las ecuaciones alométricas, se basan en la relación entre el diámetro a la altura del pecho (1.30 m), el volumen del árbol, la altura del árbol, la densidad de la madera y el estado del árbol entre otros parámetros y varían entre especies [23-26]. En la actualidad es uno de los métodos más usados ya que requieren menos tiempo y sus costos son bajos. Método que se utilizó para poder medir la estimación de CO₂ fueron convirtiendo los cálculos obtenidos de la biomasa aérea a unidades de toneladas métricas de CO₂ por árbol. La biomasa aérea de un árbol se define como la suma de la cantidad total de materia orgánica de hojas, ramas, tronco y corteza [25-27].

Para la estimación de la biomasa de los 3 parques individualmente, se utiliza la ecuación propuesta por Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests [22]. Forma estándar de estimación de biomasa por medio del volumen de un árbol según Chave 2005, la cual requiere de los siguientes datos: DAP (cm), peso específico básico (g/cm³), altura total (metros), especie de los árboles y familia de los árboles. Por último, los datos obtenidos de los cálculos de la biomasa se deben utilizar para sacar la estimación de captura de carbono en donde se utiliza biomasa aérea [30].

Se realizaron giras a los 3 parques seleccionados y a cada árbol que se encontraba en estos se le hacía una medición de su DAP, con una cinta métrica y una cinta secundaria marca Hoteche. Para la medición de la altura de los árboles se usó la aplicación NASA GLOBE Tree, la misma es una aplicación en línea que se centra en medir la altura de los árboles, grabando y enviando los datos recabados a la NASA para, entre otros cometidos, validar las mediciones obtenidas mediante satélites. Una vez anotado el DAP y la altura de un árbol, se procedía a colocarle un cintillo alrededor del tronco junto con su numeración respectiva, para de este modo llevar el

conteo de todos los árboles en el parque y obtener así, la base de datos.

En cuanto a la identificación de la especie de los árboles se utilizaron dos métodos. El primer método se hizo de manera presencial en donde se utilizó la herramienta PictureThis, la cual es una aplicación de enciclopedia de plantas en línea e identificador de plantas, logra identificar plantas con una foto, en donde solo se requiere tomar una foto a la hoja del árbol.

El segundo método que se utilizó en caso de que la aplicación proporcionara datos de árboles muy similares, consistía en tomar una muestra del árbol, ya sea una hoja o una rama caída, se le colocaba otro cintillo con el número y letra del árbol del cual fue extraído para identificarlo correctamente, luego de esto se buscaba y se comparaba según la forma de la hoja en libros especializados tales como: “Guía de crecimiento y sobrevivencia temprana de 64 especies de árboles nativos en Panamá y el Neotrópico” [28] y el libro “Arboles de los Bosques del Canal de Panamá” [29].

Los datos obtenidos en campo de DAP, altura y especie del árbol, analizaron en tablas de Microsoft Excel, una tabla para cada parque, en donde se crearon columnas con los datos del número de muestra, DAP (cm), altura (m), especie de la muestra, familia de la muestra, observaciones, y la densidad de la muestra. Luego de esto, se procedió hacer los cálculos para sacar la estimación de la biomasa usando la ecuación propuesta por Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests [22].

$$B = 0,06 \times d \times ((\pi \times DAP^2) \div 4) \times HT \quad (1)$$

B= biomasa aérea (kg), DAP = diámetro a la altura del pecho (cm), d = densidad básica (g/cm³), HT = altura total (metros).

Finalmente, se realiza la suma total de toda la biomasa de cada parque y con este dato total de la biomasa aérea en kilogramos, se procede a realizar su conversión a CO₂ y de esta manera, estimar la captura de carbono.

Respecto al análisis de los datos, se inicia con un enfoque descriptivo que detalla los principales indicadores obtenidos; adicionalmente se realiza un Análisis de Varianza (ANOVA), para determinar si existe diferencia o no entre la biomasa de los tres parques; y también para determinar la diferencia de la biomasa según las especies y familias presentes en los parques. En consecuencia, se establecen las siguientes hipótesis:

Hipótesis 1 (H1): Existe diferencia significativa en los niveles de biomasa entre los tres parques.

Hipótesis 2 (H2): Existe diferencia significativa en los niveles de biomasa según el tipo de especie.

Hipótesis 3 (H3): Existe diferencia significativa en los niveles de biomasa según familias de árboles.

3. Resultados y discusión

Antes de pasar a detallar los detalles descriptivos que se encontraron en esta investigación, se desea destacar lo siguiente. Mediante la creación de un código QR con el Generador QR-COD (ver Figura 1 y 2) se tiene un repositorio de toda la información obtenida durante este estudio. El link es abierto para el acceso de la comunidad en general. Mediante el escáner del código QR (Figura 1), se puede obtener información sobre el nombre científico del árbol, el nombre común de la especie, la familia a la cual pertenece el árbol, las características físicas del árbol, su tronco y flora si contiene, la cantidad de captura de CO₂, la cantidad de la especie en el parque y los países de donde es nativo (Figura 2).



Figura 1. Ejemplo de Código QR.

Fuente: Elaboración propia, con información de Google y otros autores.



Figura 2. Ejemplo de contenido dentro de código QR.

Fuente: Elaboración propia, con información de Google y otros autores.

3.1. Análisis Descriptivo

En la Tabla 1, se muestra los resultados más relevantes encontrados en cada uno de los parques.

Tabla 1. Comparación de los resultados obtenidos de los tres parques.

Factores	Parque Recreativo Brisas de Golf	Parque Jesús Benavides	Parque Central Brisas del Golf
Cantidad de Biomasa	108	38	16
Biomasa aérea (kg.)	1,171,452.01	367,537.13	154,275.38
Inventario de Especies	6	6	5
Especies predominantes	<i>Ficus benjamina</i> (22)	<i>Arecáceas</i> (Palmeras) (14)	<i>Pterocarpus indicus</i> (5)
	<i>Pterocarpus indicus</i> (70)	<i>Tabebuia rosea</i> (16)	
Especies con mayor captura de CO ₂ (toneladas)	<i>Cecropia obtusifolia Bertol</i> (178,526.21)	Árbol de la seda (114,260.81)	<i>Ficus benjamina</i> (39,926.83)
	<i>Polyalthia longifolia</i> (114,882.32)	<i>Ficus benjamina</i> (40,566.93)	<i>Pterocarpus indicus</i> (14,193.20)
Mayor captura de CO ₂ (toneladas)	6,971.52 (1p)	1,347.63 (2p)	565.67 (3p)

La cantidad de árboles encontrada por parque son: Parque Recreativo Brisas del Golf con 108 árboles, Parque Jesús Benavides con 38 árboles y Parque Central Brisas del Golf con 16 árboles. En total la cantidad de árboles de los tres parques juntos es de 162 árboles (Tabla 1).

En el inventario de biomasa en el Parque Recreativo Brisas del Golf se encontraron 6 especies de árboles distintas. A continuación, se mencionará las especies encontradas y su cantidad de árboles: *Casuarina equisetifolia* con 7 árboles, *Cecropia obtusifolia Bertol* con 1 árbol, *Delonix regia* con 4 árboles, *Ficus benjamina* con 22 árboles, *Polyalthia longifolia* con 4 árboles y *Pterocarpus indicus* con 70 árboles (Tabla 1).

En el inventario de biomasa en el Parque Central Brisas del Golf se encontraron 5 especies de árboles distintas: Árbol de seda con 4 árboles, *Arecaceas* (Palmeras) con 2 árboles, *Ficus Benjamina* con 1 árbol, *Pterocarpus indicus* con 5 árboles y *Tabebuia rosea* con 4 árboles (Tabla 1).

En el inventario de biomasa en el Parque Jesús Benavides se encontraron 6 especies de árboles distintas: Árbol de seda con 2 árboles, *Arecaceas* (Palmeras) con 14 árboles, *Carica papaya* con 4 árboles, *Chionanthus virginicus* con 1 árbol, *Ficus benjamina* con 1 árbol y *Tabebuia rosea* con 16 árboles (Tabla 1).

La biomasa total aérea por parque es: Parque Recreativo Brisas del Golf con 1,171,452.01 (Kg), Parque Jesús Benavides con 367,537.13 (Kg) y Parque

Central Brisas del Golf con 154,275.38 (kg). Entre los tres parques se obtuvo un total de 154,275.35 (kg) de biomasa aérea (Tabla 1).

El porcentaje de las 3 especies que más se encontraron entre los tres parques se puede apreciar en la Figura 3.

En la Figura 3 se aprecia que la muestra más representativa fue *Pterocarpus indicus*, con 46%, seguida de *Ficus benjamina* con 15% y *Tabebuia rosea* con 12%. Las 2 especies que menos se encontraron son la *Cecropia obtusifolia Bertol* y *Chionanthus virginicus* con 1% cada una. El porcentaje de las 3 familias que más se encontraron entre los tres parques se puede apreciar en la Figura 4.

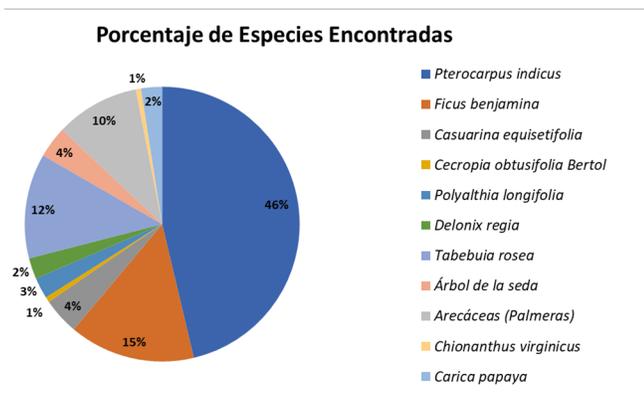


Figura 3. Gráfica pastel con porcentaje de especies encontradas. Fuente: Elaboración propia.

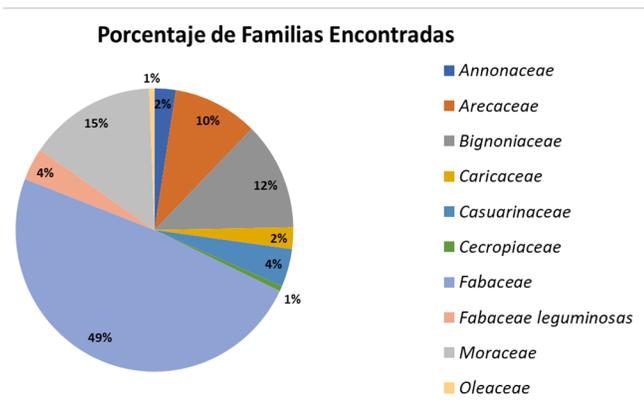


Figura 4. Gráfica pastel con porcentaje de familias encontradas. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4 se muestra que la muestra más representativa es la *Fabaceae* con 49%, le sigue la especie *Moraceae* con 15% y *Bignoniaceae* con 12%. Las 2 especies que menos se encontraron son la *Oleaceae* con 1% y *Cecropiaceae* con 1%.

Las especies con captura de CO₂ más predominantes por parque son: Parque Recreativo Brisas del Golf con

Cecropia obtusifolia Bertol capturando 178,526.21 toneladas y *Polyalthia longifolia* capturando 114,882.32 toneladas; Parque Jesús Benavides con el *Árbol de la seda* capturando 114,260.81 toneladas y *Ficus benjamina* capturando 40,566.93 toneladas; Parque Central Brisas del Golf con *Ficus benjamina* capturando 39,926.83 toneladas y *Pterocarpus indicus* capturando 14,193.20 toneladas. La captura de CO₂ por parque son: Parque Recreativo Brisas del Golf captura 6,971.56 toneladas, Parque Jesús Benavides captura 1,347.63 toneladas y Parque Central Brisas del Golf captura 565.67 toneladas. La captura total de los 3 parques en conjunto es de 8,884.88 toneladas de CO₂.

3.2. Análisis de Varianza (ANOVA)

Se realizaron tres Análisis de Varianza con el fin de analizar las posibles diferencias entre parques respecto a la Biomasa y las posibles diferencias entre la Biomasa respecto a la especie y la familia del árbol.

La Tabla 2 muestra el análisis de varianza para contrastar la hipótesis H1. Se encontró una relación no significativa ($p > 0,05$). Este resultado pone de manifiesto que no existe diferencias entre las cantidades de biomasa entre los tres parques objeto de estudio, al nivel de significancia de 5%.

Tabla 2. ANOVA de la Biomasa, entre los tres parques.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P-valor
Parque	5.044 e+07	2	25220656	0.052	0.949
Residuales	7.693 e+10	159	483818740		

La Tabla 3 muestra el análisis de varianza para contrastar la hipótesis H2. Se encontró una relación significativa ($p < 0,05$). Este resultado pone de manifiesto que existe diferencia significativa entre las cantidades de biomasa, de acuerdo con las distintas especies, al nivel de significancia de 5%.

Tabla 3. ANOVA de la Biomasa, entre especies de árboles.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P-valor
Parque	1.245 e+010	10	1.24 e+09	2.913	0.0023
Residuales	6.45 e+10	151	4.27 e+08		

La Tabla 4 muestra el análisis de varianza para contrastar la hipótesis H3. Se encontró una relación significativa ($p < 0,05$). Este resultado pone de manifiesto que existe diferencia significativa entre las cantidades de biomasa, de acuerdo con las distintas familias de árboles, al nivel de significancia de 5%.

Tabla 4. ANOVA de la Biomasa, entre familias de árboles

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P-valor
Parque	1.245 e+010	9	1. 673 e+09	3.212	0.0014
Residuales	6.45 e+10	152	4.265 e+08		

4. Conclusiones

Esta investigación logró obtener los datos cuantitativos y cualitativos sobre la captura y cantidad de biomasa, al realizar el primer inventario forestal en los parques urbanos del Corregimiento de Rufina Alfaro y el potencial de almacenamiento de carbono que tiene las especies encontradas, realizando así sus funciones ecosistémicas.

El inventariado de biomasa de estos 3 parques nos dio un total de 162 árboles, de los cuales 108 árboles de 6 especies diferentes pertenecen a el Parque Recreativo Brisas del Golf, 16 árboles de 6 especies diferentes pertenecen a el Parque Central Brisas del Golf y 38 árboles de 5 especies diferentes pertenecen al Parque Jesús Benavides.

Respecto a las hipótesis planteadas, no se observa diferencia significativa en los niveles de absorción de CO₂ entre los parques; pero si se determina que la capacidad de captura de CO₂ varía por especie y también por familia. De esta manera, las especies de árboles que tienen un alto índice de absorción en los parques son *Cecropia obtusifolia Bertol*, *Polyalthia longifolia*, *Árbol de la seda*, *Ficus benamina*, *Pterocarpus indicus* y entre estas 5 especies la que tiene mayor absorción de CO₂ es la *Cecropia obtusifolia Bertol* con un total de 178,526.21 kg toneladas de CO₂ absorbida.

Los resultados de esta investigación se complementan con entrega a los gobiernos locales y con la divulgación a la comunidad mediante el uso de código QR, en los parques objeto de estudio, enfatizando la promoción de su conservación y los beneficios de los mismos para la población urbana. Sin embargo, todavía existen varios desafíos en la conservación de estos parques y en el desarrollo de una infraestructura mediante la aplicación de marcos institucionales orientados a aumentar la conciencia de la importancia de los árboles que se encuentran presentes en los parques urbanos y la obtención de un inventario forestal urbano de Panamá.

El almacenamiento de carbono debería despertar a los administradores y a los responsables políticos para que elaboren estrategias de gestión mediante las cuales aumentaría la diversidad a selección y plantación de las

especies adecuadas como árboles de avenida, la construcción de parques y jardines, la inclusión de árboles en el paisajismo urbano puede mejorar el secuestro de carbono de los bosques urbanos y la producción de otras funciones del ecosistema forestal urbano.

Finalmente, para complementar esta investigación, se recomienda a futuro estudiar la captura de CO₂ de otros sumideros naturales, como suelo y el mar, por ejemplo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación bajo el Programa de Jóvenes Científicos año 2022.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

CONTRIBUCIÓN Y APROBACIÓN DE LOS AUTORES

I. G. líder del equipo, se encargó de la recolección de datos en campo, el análisis de los datos de campo, del análisis de datos en la parte de ecuaciones alométricas, digitalización de datos, creación de códigos QR y páginas de divulgación, realizó la redacción del artículo, estado del arte y búsqueda de referencias, y se encargó de la preparación del artículo, porcentaje de contribución 85%; N. T. y M. C. se encargaron de parte de la revisión del estado del arte, revisión de datos de campo y revisión de la digitalización de datos, contribuyó a la corrección y revisión del artículo, porcentaje de contribución 10%. M.G. adulto coordinador del proyecto, porcentaje de contribución 5%.

Todos los autores afirmamos que se leyó y aprobó la versión final de este artículo.

REFERENCIAS

- [1] NatGeoES, “¿Qué son los gases de efecto invernadero y cuáles son sus efectos?,” National Geographic, Feb. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/gases-efecto-invernadero-que-son> hacen#:~:text=Los%20gases%20de%20efecto%20invernadero%20ti enen%20efectos%20de%20gran%20alcance
- [2] United Nations, “¿Qué es el cambio climático? | Naciones Unidas,” United Nations, 2022. [Online]. Available: <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>

- [3] A. Caballero, "Efecto invernadero: causas y consecuencias en el clima," *Selectra*, Feb. 11, 2021. [Online]. Available: <https://climate.selectra.com/es/que-es/efecto-invernadero>
- [4] K. Calvin et al., "IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.", Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), julio de 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.59327/ipcc/ar6-9789291691647>.
- [5] A. Ionno, R. Arsenault, M. Troin, J. Martel, F. Brissette. "Impacts of climate change on flood volumes over North American catchments" *Journal of Hydrology*, vol. 630, 130688, Feb. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130688>.
- [6] P. U. Dao, A. G. Heuzard, T. X. Hoa Le, J. Zhao, R. Yin, C. Shang, C. Fan. "The impacts of climate change on groundwater quality: A review" *Science of The Total Environment*, vol 912, Feb 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169241>.
- [7] H. Rodríguez "Los Glaciares Han Perdido 9,6 Billones de Toneladas de Hielo En 50 Años." [Online]. Available: www.nationalgeographic.com.es/ciencia/glaciares-han-perdido-96-billones-toneladas-hielo-50-anos_14140.
- [8] J. Houghton (1995). *Climate Change 1995 The Science of Climate Change*. (L.G. John T. Houghton, Ed) Cambridge University Press. 584.
- [9] M. McGrath and M. Poynting, "El 'inexplicable' calentamiento de los océanos que alarma a los científicos," *BBC News Mundo*, Apr. 25, 2023. Accessed: Feb. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-65388079>
- [10] G. Churkina, "Modeling the carbon cycle of urban systems", *Ecolog. Modelling*, vol. 216, n.º 2, pp. 107–113, agosto de 2008. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.03.006>
- [11] J. Moore y A. D. Jacobson, "Seasonally varying contributions to urban CO₂ in the Chicago, Illinois, USA region: Insights from a high-resolution CO₂ concentration and δ13C record", *Elementa: Sci. Anthropocene*, vol. 3, p. 000052, Junio de 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.12952/journal.elementa.000052>
- [12] D. Satterthwaite. (2008). "Cities' contribution to global warming: notes on the allocation of greenhouse gas emissions." *Environment and Urbanization*, 20(2), 539-549. <https://doi.org/10.1177/0956247808096127>
- [13] IPCC, 2007: *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- [14] E. Dağlı, F. Aktaş Reyhan, A. Şolt Kırca. "Midwives' views about the effects of climate change on maternal and child health: A qualitative study" *Women and Birth*, ISSN 1871-5192, Feb. 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.wombi.2024.02.001>.
- [15] H.C. Ward, S. Kotthaus, C.S.B. Grimmond, A. BJORKEGREN, M. WILKINSON, W.T.J. MORRISON, J.G. EVANS, J.I.L. MORISON, M. IAMARINO, "Effects of urban density on carbon dioxide exchanges: Observations of dense urban, suburban and woodland areas of southern England" *Environmental Pollution*, vol. 198, pp 186-200, March 2015. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.12.031>.
- [16] J. Francisco, Escobedo, Timm Kroeger, John E. Wagner. (2011) "Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices, *Environmental Pollution*" [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.010>.
- [17] O. Bergeron, Ian B, Strachan. "CO₂ sources and sinks in urban and suburban areas of a northern mid-latitude city" *Atmospheric Environment*, vol. 45, no 8, pp 1564-1573, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.12.043>.
- [18] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura "Procesos de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático," *ClimateChange*. [Online]. Available: <https://www.fao.org/climate-change/action-areas/climate-negotiations/es> (accessed Feb. 29, 2024).
- [19] U. Nations, "UN Climate Change Conferences | Naciones Unidas," United Nations. [Online]. Available: <https://www.un.org/es/climatechange/un-climate-conferences>.
- [20] Por la cual se aprueba el Acuerdo de París, hecho en París el 12 de diciembre de 2015. Ley ambiental del 12 de septiembre de 2016. No. 40
- [21] Ministerio de la Presidencia, "Panamá firma la Declaración de Países Carbono Negativo y solicita un mayor esfuerzo global ante el cambio climático.," *Presidencia.gob.pa*, Nov. 02, 2021. [Online]. Available: <https://www.presidencia.gob.pa/Noticias/Panama-firma-la-Declaracion-de-Paises-Carbono-Negativo-y-solicita-un-mayor-esfuerzo-global-ante-el-cambio-climatico-#:~:text=Glasgow%2C%20Escocia>.
- [22] J. Chave et al., "Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests", *Oecologia*, vol. 145, n.º 1, pp. 87–99, junio de 2005. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- [23] S. Brown, "Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer", *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, FAO Forestry Paper - 134*, 1997. [Online]. Available: <https://www.fao.org/3/w4095e/w4095e00.htm>
- [24] J. C. Jenkins, D. C. Chojnacky, L. S. Heath y R. A. Birdsey, "Comprehensive database of diameter-based biomass regressions for North American tree species", U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, Newtown Square, PA, 2004. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.2737/ne-gtr-319>
- [25] M. Garzuglia, M. Saket, "Wood volume and woody biomass: review of FRA 2000 estimates", *FAO, Rome, Forest Resources Assessment WP 68*, junio de 2003. [En línea]. Disponible: <https://www.fao.org/3/ae153e/AE153e00.htm#TopOfPage>
- [26] J. Návar, "Measurement and assessment methods of forest aboveground biomass: A literature review and the challenges ahead." In: Maggy Ndombo Benteke Momba (ed). *Biomass*. Rijeka, Croatia. InTech. pp: 27-64, 2010.
- [27] J. Hernandez-Ramos, et al. "Biomasa aérea y factores de expansión en plantaciones forestales comerciales de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake." *Agrociencia* [online]. vol.51, n.8, pp.921-938, 2017.
- [28] J. S. Hall, M. S. Ashton. *Guía de crecimiento y sobrevivencia temprana de 64 especies de árboles nativos de Panamá y el*

Neotrópico. 1a. ed. Panamá: Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, 2016.

[29] M. Pérez, A. Rolando. *Árboles de los bosques del Canal de Panamá*. 1a. ed. Panamá: Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, 2008.

[30] P. Snowdon, J. Raison, H. Keith, K. Montagu, H. Bi, P. Ritson, P. Grieson, M. Adams, W. Burrows, and D. Eamus. 2001. "Protocol for sampling tree and stand biomass" *National Carbon Accounting System Technical Report*, No. 31, First Draft. Australian Greenhouse Office, Au.114 p.