



ARTICULO ORIGINAL

Biomasa área y secuestro de dióxido de carbono por las principales especies arbóreas diversas del casco urbano, Pichanaqui, Perú

Biomass area and carbon dioxide sequestration by the main diverse tree species in the urban area of Pichanaqui, Peru

Leidy Geliza Osorio Medina ^{1*} , Lincoln Werner Porta Ñacayauri ¹ 

RESUMEN

Las especies arbóreas en entornos urbanos ofrecen servicios ecológicos esenciales, como la eliminación de contaminantes del aire y la captura de dióxido de carbono (CO₂). Este análisis examinó la capacidad de secuestro de CO₂ de diversas especies arbóreas en la zona urbana de Pichanaqui. Se aplicó un método no destructivo-indirecto utilizando un modelo alométrico para estimar la biomasa aérea y el contenido de carbono de las especies. La normalidad de los datos fue analizada y se empleó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney con un nivel de significancia del 5%. Los resultados indicaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en la biomasa aérea y la captura de CO₂ entre las cuatro especies predominantes: *Ficus benjamina*, *Delonix regia*, *Terminalia catappa* y *Cedrela odorata*. En particular, *D. regia* mostró la mayor biomasa aérea (34.31 ton) y la mayor captura de CO₂ (45.29 ton). Estos hallazgos son cruciales para desarrollar estrategias de planificación urbana sostenible y seleccionar especies vegetales que contribuyan significativamente a la reducción de gases de efecto invernadero en áreas urbanas en expansión.

Palabras clave: vegetación urbana; biomasa aérea; captura de dióxido de carbono; Selva Central.

ABSTRACT

Tree species in urban environments play a fundamental role in providing important ecological services, such as the removal of air pollutants and carbon dioxide (CO₂) sequestration. The objective of this study was to evaluate the CO₂ sequestration capacity of various tree and shrub species in the urban area of Pichanaqui. A non-destructive, indirect method was used, applying an allometric model to estimate both the aboveground biomass and carbon content of the analyzed species. Data normality was assessed, and the non-parametric Mann-Whitney test was applied with a significance level of 5%. The study results revealed statistically significant differences ($p < 0.05$) in aboveground biomass and CO₂ capture among the four most abundant species: *Ficus benjamina*, *Delonix regia*, *Terminalia catappa* and *Cedrela odorata*. Specifically, *D. regia* was notable for having the highest aboveground biomass (34.31 tons) and the greatest CO₂ capture (45.29 tons). These findings offer valuable insights for developing strategies in sustainable urban planning and for selecting plant species that can play a crucial role in significantly reducing greenhouse gas emissions in expanding urban areas.

Keywords: urban vegetation; plant biomass; carbon dioxide sequestration; Selva Central.

¹ Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa, Pichanaqui, Perú.

*Autor de correspondencia.
E-mail:
72425190@uniscjsa.edu.pe

Recibido: 14 de junio de 2024
Aprobado: 20 de julio de 2024
Publicado: 30 de julio de 2024

Para citar este artículo:

Osorio Medina L., Porta Ñacayauri L. (2024). Biomasa área y secuestro de dióxido de carbono por las principales especies arbóreas diversas del casco urbano, Pichanaqui, Perú. *Yotantsipanko*, 4(1), 51-74. <https://doi.org/10.54288/yotantsipanko.v4i1.43>



Introducción

El deterioro de la calidad del aire es uno de los retos ambientales más significativos que impactan a las ciudades a nivel global, provocando un aumento de partículas en suspensión y gases de efecto invernadero (GEI), perturbando la estabilidad energética del sistema climático y siendo estas las principales causas del cambio climático (Cárdenas, 2015; Stewart et al., 2021). En la actualidad, el 56% de la población mundial se concentra en áreas urbanas y se proyecta que para el año 2050 esta cifra se duplicará (Banco Mundial, 2022; Torres, 2023).

La contaminación atmosférica en las ciudades se origina principalmente por la quema de biomasa y residuos sólidos, combustión de combustibles fósiles cuyas emisiones contribuyen significativamente al aumento del material particulado (PM), dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y óxido de azufre (SO) (Solano, 2019; Barahona y Cargua, 2023).

Para el Perú, en el 2019 las emisiones netas del país alcanzaron los 210 404.42 Gg, de las cuales el 76% (159 395.34 Gg) correspondió al CO₂, representando una parte significativa de todas las emisiones de GEI (MINAM, 2023). Por lo tanto, las acciones dirigidas a mitigar los efectos de la contaminación atmosférica dentro de las ciudades son de suma importancia, ya que favorecen la circulación del aire y facilitan la

captura, retención y absorción de contaminantes (Barra, 2019).

Uno de los servicios ambientales que ofrece la vegetación es el secuestro de carbono de la atmósfera, proceso conocido como fijación de carbono, el cual contribuye a reducir la cantidad de gases de efecto invernadero (Escobedo et al., 2008; Díaz, 2020). En ese sentido, las especies arbóreas pueden absorber CO₂ a través de la fotosíntesis (Caiza, 2021); a medida que los árboles crecen, almacenan carbono en su biomasa (que incluye troncos, ramas y hojas) almacenándolo durante muchos años, incluso décadas o siglos, dependiendo de la vida útil del árbol (Satacreu, 2022). Adicionalmente, los bosques y las especies arbóreas proporcionan otros servicios ambientales, como la conservación de la biodiversidad, la protección del suelo y agua (Martínez et al., 2021; Hua et al., 2022).

Con la expansión urbana debido al aumento poblacional y la disminución de áreas verdes, se anticipa que las islas de calor en las áreas urbanas aumenten las temperaturas en las zonas centrales (US EPA, 2023). Ante ello, es crucial considerar estrategias para mantener y incrementar la eficiencia de captura de carbono en entornos urbanos a través de la vegetación arbórea, aunque su eficacia puede verse limitada por factores relacionados con la infraestructura (edificios, carreteras y otros elementos), así como por los materiales de construcción

(concreto y asfalto) y el diseño urbano (Correa et al., 2003; Mansilla, 2015; Arceo et al. 2023; US EPA, 2023).

El distrito de Pichanaki, ubicado en la provincia de Chanchamayo en la selva central de la región de Junín, se caracteriza por el desarrollo de actividades socioeconómicas agrícolas, ganaderas y turísticas, lo que contribuye a un crecimiento económico notable (Revatta et al., 2021). El aumento poblacional ha impulsado el desarrollo intensivo de actividades de transporte, construcción y servicios, resultando en la generación de emisiones y contaminantes en el aire (INEI, 2017). Además, los factores atmosféricos están intrínsecamente relacionados con la presencia y la dinámica de los gases contaminantes en la atmósfera, influyendo en la dispersión, transformación y concentración de estos contaminantes (García, 2016), siendo un riesgo para la salud humana (Espinoza & Molina, 2014).

Diversos autores han empleado diversas ecuaciones alométricas que les han permitido evaluar la concentración de CO₂, biomasa aérea y el volumen de los árboles en función de sus características o rasgos funcionales de las especies (Martínez et al., 2021), lo que abre la posibilidad de cuantificar la captura de carbono de la vegetación arbórea urbana en lugares poco estudiados como Pichanaki. Es fundamental realizar más investigaciones sobre los bosques urbanos en países de ingresos bajos y medianos,

particularmente en áreas que experimentan un rápido crecimiento. Esto es esencial para mejorar la planificación urbana y fomentar la inversión internacional en soluciones naturales (Reynolds, 2017).

El objetivo de este estudio es evaluar el secuestro de CO₂ de especies arbóreas en el casco urbano de Pichanaki, mediante el método no destructivo o indirecto, aplicando el modelo alométrico propuesto por Higuchi y Carvalho (1994) para aportar una comprensión más profunda del papel que desempeñan estas especies en la mitigación del cambio climático y complementar el desarrollo sostenible para maximizar los beneficios ecológicos y sociales que ofrecen a la comunidad (Ortiz, 2020).

Materiales y métodos

Área de estudio

Este estudio se realizó en el área urbana de la ciudad de Pichanaqui (Figura 1), ubicada en la selva central del Perú, bajo las estribaciones de la Cordillera Oriental de los Andes. Esta ciudad se encuentra a una altitud de 525 m s. n. m. y abarca una extensión de 123.6 hectáreas, con una población de 68,551 habitantes (INEI, 2017).

Pichanaqui presenta un clima tropical húmedo, con temperaturas que oscilan entre 15°C y 30°C. Durante las épocas soleadas, la temperatura puede alcanzar hasta 30°C, con una media anual de 22°C. La precipitación media anual en el

distrito es de 1730 mm, con una humedad relativa promedio del 78% (Quispe, 2020; García, 2019).

La topografía del área es mayormente plana, con algunas ondulaciones a lo largo de la avenida

marginal y terrenos con pendientes pronunciadas. Es importante señalar que el crecimiento poblacional de Pichanaqui es espontáneo, resultado de la dinámica de la urbanización (Quispe, 2020).

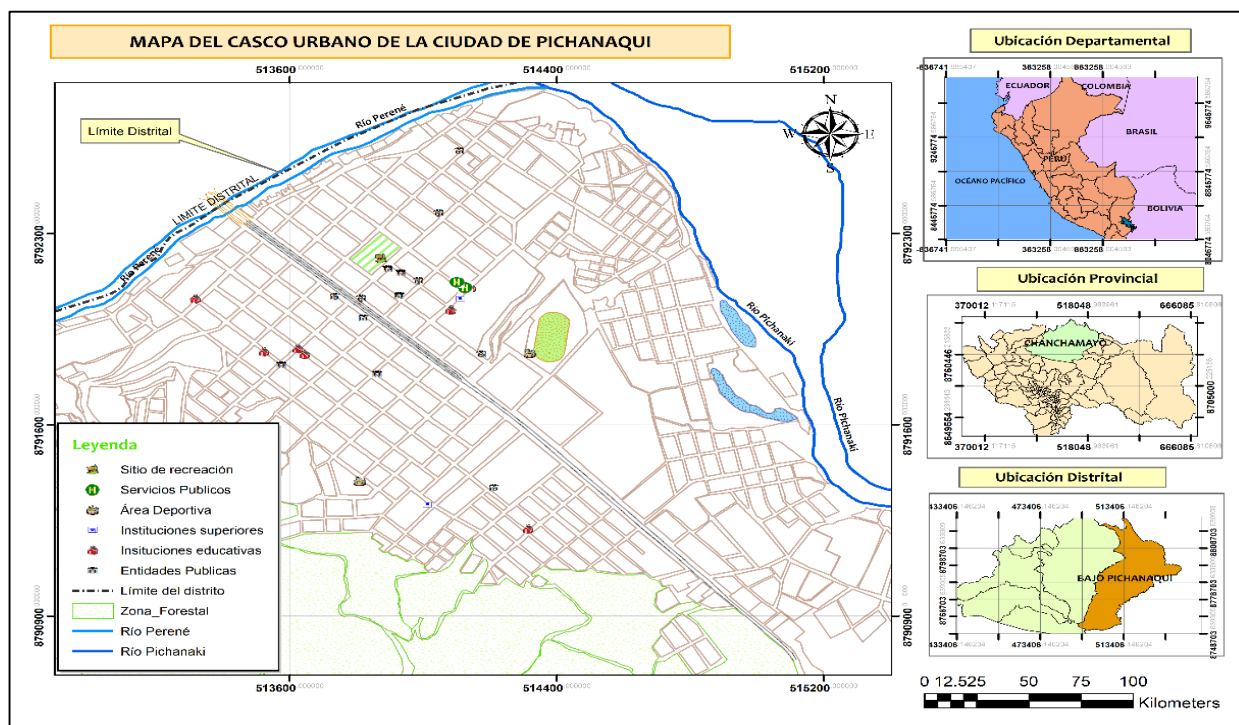


Figura 1. Casco urbano de la ciudad de Pichanaqui, ubicado en la selva central de la región Junín, Perú

Inventario forestal del arbolado urbano

El inventario forestal del arbolado se llevó a cabo en julio de 2021, y la población de la investigación está compuesta por todos los individuos forestales presentes en el área urbana del distrito de Pichanaqui.

Para realizar el inventario forestal, se utilizó el método de muestreo intencional, seleccionando estratégicamente parcelas de estudio que reflejaran la diversidad de la vegetación. La identificación de las especies arbóreas se realizó

mediante la consulta de recursos especializados, tales como el "Manual para la Identificación Botánica de Especies Forestales de la Amazonía Peruana" y el "Anuario Forestal y de Fauna Silvestre 2022". Además, se validó la identificación con el conocimiento de personas locales, quienes son capaces de reconocer las especies a través de características morfológicas como los frutos y las hojas, utilizando fotografías como apoyo.

El muestreo fue no probabilística dirigida a todos los árboles con un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor a 10 cm y una altura mayor a 3 m. Se incluyeron únicamente aquellos individuos que presentaban un fuste recto y estaban libres de daños evidentes.

Parámetros medidos

- **Diámetro a la altura de pecho (DAP)**

El DAP se determinó midiendo la circunferencia del tronco a una altura de 1.30 m sobre el nivel del suelo. Sin embargo, en el caso de árboles grandes que presentaban bambas o aletones, troncos con irregularidades, fue necesario medir el DAP a una altura superior a 1.30 m. Una vez obtenidos estos valores, se utilizó la siguiente ecuación para calcular el DAP, de acuerdo con las directrices establecidas por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2015):

$$DAP = LC/\pi$$

Donde: LC= longitud de circunferencia, π (pi) = (3,1416)

Esta ecuación permite transformar la medida de circunferencia a diámetro, asegurando así la consistencia y exactitud en los cálculos de biomasa y en la estimación del carbono almacenado en los árboles evaluados.

- **Altura**

Para estimar la altura de cada árbol, se utilizó un clinómetro en combinación con una cinta métrica (wincha) para medir la distancia

horizontal entre el operador y el árbol. La altura se calculó aplicando la siguiente ecuación:

$$h = (H_1 + H_2) \times \frac{L}{20}$$

Donde: h = altura total (m); L = lectura que marca el clinómetro; H_1 = distanciamiento entre la altura del operador y el árbol (m); H_2 = altura del operador (1.53 m).

- **Biomasa aérea**

Para calcular la biomasa aérea, se empleó la siguiente ecuación alométrica propuesta por Higuchi y Carvalho (1994):

$$BAT = a \times DAP^b \times h^c$$

Donde: BAT = biomasa aérea total (kg); DAP = diámetro a la altura del pecho (cm); h = altura total del árbol (m); a = 0,026; b = 1,529; c = 1,747.

- **Biomasa radicular:** Para este cálculo, se consideró que la biomasa radicular es equivalente al 20% del peso de la biomasa aérea (MacDicken, 1997). Esta relación posibilita la estimación de la biomasa radicular en función de la biomasa aérea obtenida previamente.

$$BR = BAT \times 0.20$$

Donde: BR = biomasa radicular (kg); Ba = biomasa aérea (kg).

- **Biomasa verde total:** Se procedió a calcular el peso verde de la biomasa total mediante la suma de la biomasa aérea y la biomasa radicular (Muñoz y Córdova, 2020). Esta suma proporciona una estimación integral de la biomasa vegetal presente.

$$BVT = BAT + BR$$

Donde: BVT = biomasa verde total (kg); Ba = biomasa aérea (kg); BR = biomasa radicular (kg).

- **Biomasa seca total:** Se calculó el peso verde de la biomasa total utilizando la ecuación propuesta por Muñoz y Córdova (2020). Este enfoque proporciona un marco preciso para la estimación de la biomasa vegetal en los estudios ecológicos.

$$BST = BVT - \frac{BVT \times 40}{100}$$

Donde: BST = biomasa seca total (kg); BVT = biomasa verde total (kg).

- **Stock de carbono**

La biomasa seca total se multiplicó por 0.5, considerando la siguiente fórmula (Penman et al., 2003):

$$C = BST \times 0.50$$

Donde: C = stock de carbono (kg); BST = biomasa seca total (kg).

- **Secuestro de CO**

Para estimar la cantidad de CO₂ secuestrado, se multiplicó el stock de carbono, expresado en toneladas, por el factor *kr* (Muñoz y Córdova, 2020).

$$CO_2 = \frac{\left(C \times \frac{44}{12}\right)}{1000}$$

Donde: CO₂ = Cantidad de dióxido de carbono capturado en toneladas de CO₂; 44/12 = Fracción que se emplea para la conversión de carbono en toneladas de CO₂, es un valor constante obtenido por el peso molecular del CO₂ (44) y el peso atómico del carbono (12) (IPCC, 2006); C = Carbono Total (tC).

Análisis estadístico

Los datos se analizaron estadísticamente para obtener promedios, variaciones y distribución de la biomasa y captura de carbono en el ámbito urbano, además para la visualización de los resultados se elaboraron mapas que ilustran la distribución de los árboles en la zona urbana, así como su contribución potencial a la captura de carbono.

Se empleó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov. Dado que los datos no siguieron una distribución paramétrica, se procedió a aplicar la prueba de Kruskal-Wallis para determinar las diferencias significativas entre las distintas especies arbóreas a través del programa R versión 4.2.2.

Resultados

Se evaluaron un total de 100 árboles en el área urbana, cuya composición de especies se presenta en la Tabla 1. La especie más

abundante fue *Delonix regia* con 41 individuos, seguida de *Terminalia catappa* con 29 individuos, *Ficus benjamina* con 14 individuos y *Cedrela odorata* con 9 individuos.

Tabla 1

Especies arbóreas identificadas del casco urbano de Pichanaqui, Chanchamayo, Perú

Nombre científico	Nombre común	Cantidad
<i>Ficus benjamina</i> L.	Ficus	14
<i>Delonix regia</i>	Flamboyán	41
<i>Terminalia catappa</i>	Almendro	29
<i>Syzygium malaccense</i>	Manzana de agua	3
<i>Inga feuillei</i>	Pacay	1
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro americano	9
<i>Mangnifera indica</i> L	Mango	1
<i>Acacia senegal</i>	Goma arábica	1
<i>Ceiba pentandra</i>	Ceiba	1

Biomasa aérea, carbono almacenado, CO₂ secuestrado

Tabla 2

Biomasa aérea, carbono almacenado, CO₂ secuestrado de las especies arbóreas situadas en el sector urbano de Pichanaqui, Chanchamayo, Perú.

Especies	Biomasa aérea total (t)	Carbono Total (tC)	Secuestro de CO ₂ (tCO ₂)
<i>Cedrela odorata</i>	3.78	1.36	5.00
<i>Delonix Regia</i>	34.31	12.35	45.28
<i>Ficus benjamina</i> L.	3.61	1.30	4.78
<i>Terminalia catappa</i>	4.61	1.66	6.09
<i>Syzygium malaccense</i>	1.45	0.52	1.91
<i>Inga feuillei</i>	0.39	0.14	0.52
<i>Mangnifera indica</i> L	0.64	0.23	0.85
<i>Acacia senegal</i>	1.45	0.52	1.92
<i>Ceiba pentandra</i>	2.25	0.81	2.98

La biomasa aérea de los árboles está compuesta por los componentes hoja, rama y fuste, y sus proporciones varían tanto según la especie como en función del tamaño de los árboles. Los resultados indican que la especie *D. regia*

registra mayor cantidad de biomasa aérea, sumando un total de 34.31 toneladas, captura 45.28 toneladas de CO₂. *T. catappa*, que presenta 4.62 toneladas de biomasa aérea y captura 6.09 toneladas de CO₂.

Tabla 3

Biomasa aérea y captura de carbono de las especies arbóreas más abundantes (promedio ± DE) de Pichanaqui, Chanchamayo, Perú.

	<i>Ficus benjamina L.</i>	<i>Delonix regia</i>	<i>Terminalia catappa</i>	<i>Cedrela odorata</i>
Biomasa Aérea Total (t)	0.26±0.48	0.84±0.54	0.16±0.17	0.42±0.28
Secuestro de CO₂ (tCO₂)	0.34±0.63	1.1±0.71	0.21±0.22	0.56±0.37

Los resultados indican que *D. regia* exhibe la biomasa aérea total más alta, con un promedio de 0.84 ± 0.54 toneladas, así como el mayor secuestro de dióxido de carbono (CO₂), con un valor medio de 1.1 ± 0.71 toneladas de CO₂.

La media de biomasa aérea de *D. regia* es de 0.84 toneladas, con una desviación estándar de 0.54 toneladas. Esto sugiere que los valores de

biomasa aérea total pueden variar entre 0.30 toneladas ($0.84 - 0.54$) y 1.38 toneladas ($0.84 + 0.54$). Asimismo, el secuestro de CO₂ presenta una media de 1.1 toneladas y una desviación estándar de 0.71 toneladas, lo que implica que los valores de secuestro de CO₂ pueden fluctuar entre 0.39 toneladas de CO₂ ($1.1 - 0.71$) y 1.81 toneladas de CO₂ ($1.1 + 0.71$).

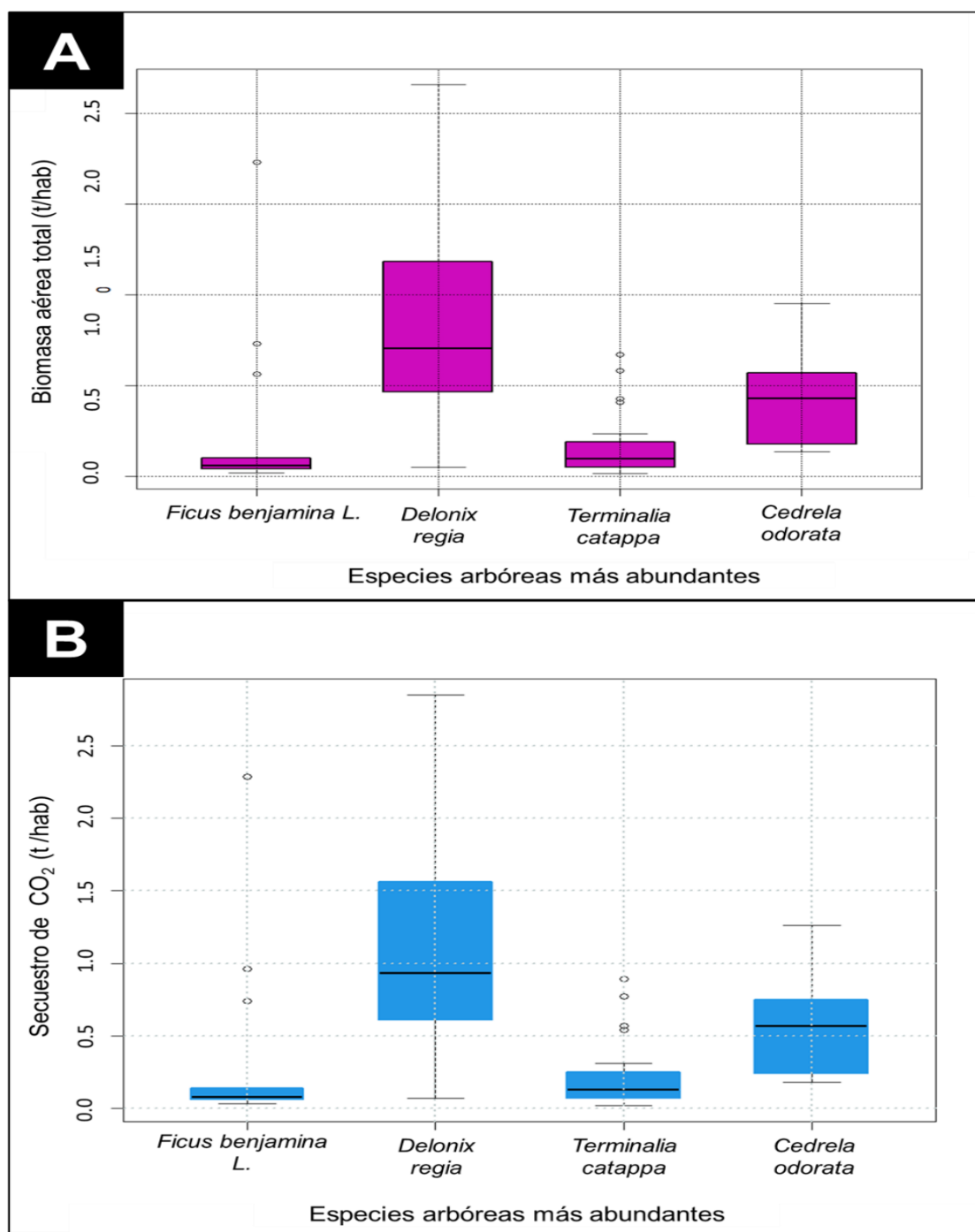


Figura 2. Cantidad de biomasa aérea total (A) y Cantidad de captura de CO₂ (B) de las especies arbóreas más abundantes

En la figura 2A y 2B, *T. catappa* y *F. benjamina* presentaron diferencias significativas con *D. regia* en biomasa área y captura de CO₂ ($p < 0.05$). *D. regia* presentó un mejor promedio de altura total (12.01 m) y diámetro a la altura de pecho

(0.48 m); sin embargo, se encontró con una menor cantidad de copa debido a la menor cantidad de hojas por su proceso fenológico, dado que se evaluó en otoño.

Por otro lado, *F. benjamina* y *T. catappa* mostraron una mejor formación de copa y una cantidad mínima de hojas caídas; a pesar de esto, *D. regia* registro una mayor biomasa aérea total con un promedio de 0.83 t/hab.

Al comparar *F. benjamina* y *T. catappa* con la especie *C. odorata*, este último presentó un mayor promedio de altura (28.75 m) y diámetro a la altura de pecho (0.47 m), lo que generaba diferencias significativas ($p < 0.05$). Cabe resaltar

que estas tres especies contaban con pérdidas mínimas de hojas.

Al comparar los promedios de biomasa aérea de *F. benjamina* con *T. catappa*, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). De igual manera, al comparar *D. regia* con *C. odorata*, tampoco se identificaron diferencias relevantes ($p > 0.05$), debido a que *C. odorata* tenía un mayor promedio de altura y *D. regia* presentaba un promedio de DAP.

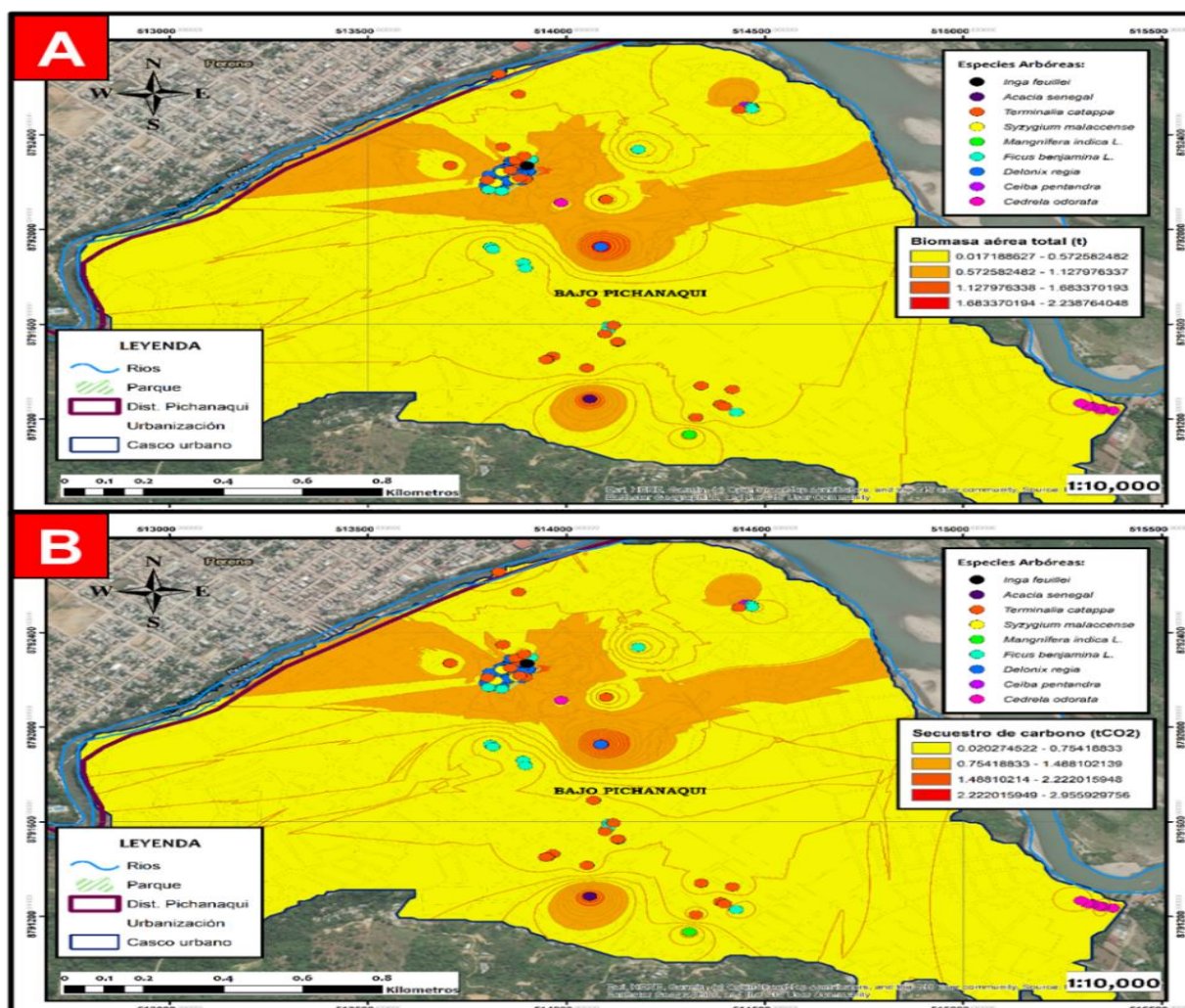


Figura 3. Mapa de calor que muestra la biomasa aérea total (A) y la cantidad de captura de CO₂ (B) de diversas especies de árboles en el área urbana de Pichanaqui.

La mayor concentración de biomasa aérea se encuentra en el parque Juan Valer Sandoval, donde las especies arbóreas como *F. benjamina*, *D. regia*, ciertas variedades de *T. catappa* e *Inga feuillei* presentan valores que oscilan entre 1.50 t hasta 4.19 t (Figura 4A). Asimismo, este parque también evidencia la mayor captura de CO₂, con las mismas especies arbóreas que capturan entre 2.75 t y 7.69 t de CO₂ (Figura 4B).

Discusión

Farinango (2020) señala que se estimó una biomasa de 319.94 t generada por el arbolado urbano en parques, calles y avenidas de la cabecera cantonal de Otavalo, provincia de Imbabura (Ecuador), con una captura total de 159.97 t de CO₂. La especie *Cupressus macrocarpa* aportó el 29% del CO₂ capturado, mientras que las palmeras contribuyeron con apenas el 0.031% de la biomasa, atribuible a su menor densidad.

En nuestro estudio, se determinó que la biomasa aérea total de las especies arbóreas es de 52.53 t, con un secuestro total de 69.35 t de CO₂. La especie con mayor biomasa aérea es *Delonix regia*, que presenta un total de 34.31 t y captura 45.28 t de CO₂, representando el 65.31% de la biomasa aérea total y el 65.32% del secuestro de CO₂. Esto se debe a que se trata de la especie con la mayor población de individuos y el promedio más alto de DAP.

Orellana & Landi (2023), en su investigación en la zona urbana del río Tarqui (Ecuador), indican que, de las cuatro especies analizadas, *Eucalyptus globulus* tiene el mayor potencial de captura, con una capacidad de 13.41 t/hab. Le siguen *Salix humboldtiana* con 1.84 t/hab, *Populus alba* con 0.38 t/hab y, finalmente, *Alnus acuminata* con 0.33 t/hab. Los hallazgos sugieren que el potencial de captura de carbono de los árboles está relacionado con su morfología, que a su vez está influenciada por factores como el sitio edáfico, las condiciones climáticas, las presiones antropogénicas, la topografía y la edad de los árboles.

En nuestra investigación, se observa que la especie con mayor potencial de captura de carbono es *Delonix regia*, con un valor de 1.10 t/hab. La segunda especie es *Cedrela odorata*, con 0.56 t/hab; la tercera, *Ficus benjamina* con 0.34 t/hab; y la cuarta, *Terminalia catappa* con 0.21 t/hab. Estos resultados están influidos por las características morfológicas de cada planta, las cuales pueden alterarse debido a la edad y la etapa fenológica en que se encuentran.

Los resultados de este estudio están en concordancia con las conclusiones de Yang et al. (2015), Velasco et al. (2013), Pimienta et al. (2014), Oltra & Marín (2013) y Therán et al. (2019), quienes afirmaron que los bosques urbanos desempeñan un papel fundamental en la reducción de la contaminación del aire y en la mitigación del efecto de isla de calor. Asimismo, señalaron que la vegetación en áreas urbanas

ayuda a capturar CO₂ durante el día y promueve el enfriamiento del aire local.

El conocimiento adquirido sobre las especies y su capacidad de fijar carbono representa una herramienta valiosa para la planificación de nuevos espacios verdes, como parques y jardines, aunque presenta limitaciones en el cálculo indirecto realizado, los resultados facilitarían la toma de decisiones en el diseño de estos entornos y en la selección de especies arbóreas adecuadas. Esta investigación también

contribuye a futuras evaluaciones del secuestro de carbono, permitiendo identificar fuentes principales de contaminantes y estudiar la cobertura arbórea en la región.

Conclusión

Se cuantificaron 52.540 toneladas de biomasa aérea, 18.914 toneladas de carbono almacenado y 69.35 toneladas de CO₂, secuestrado en la parte céntrica del casco urbano de Pichanaqui.

Contribución de los autores

LGOM obtención de datos, redacción y revisión del artículo.

LWPÑ obtención de datos, redacción y revisión del artículo.

Conflictos de interés

No presenta conflicto de intereses.

Referencias

- Arceo, S., Rivera, M., Díaz, S., & Enríquez, S. (2023). Eliminación de la contaminación por el bosque urbano en Las Palmas, Colima, México. *Madera y Bosques*, 29(1), 1-19.
- Banco Mundial. (2022). *Panorama General del Desarrollo Urbano*. Grupo Banco Mundial.
- Barahona, V. J., y Cargua, N. S. (2023). Cuantificación de la huella de carbono aplicando la norma iso 14064-2019, de la zona del páramo de las abras, microcuenca alta del río Mocha y páramo de Guargualla [Tesis de Pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
- Barra, D. (2019). Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2, 5), mediante el software I-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción [Tesis de Pregrado, Universidad de Chile].
- Caiza, K. D. (2021). Evaluación de la absorción de dióxido de carbono (CO₂) mediante la actividad fotosintética de las especies vegetales de cuatro parques (Vicente león, La Filantropía, San Francisco y La Laguna) de la ciudad de Latacunga [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi].

- Cárdenas, Z. V. (2015). Efecto del calentamiento global en la producción de frutales. [Monografía de Pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia].
- Correa, E., Flores, S., & Lesino, G. (2003). Isla de calor urbana: efecto de los pavimentos. Informe de avance. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 7, 25-30.
- Díaz, L. (2020). Estimación de la captura de carbono en dos sistemas agroforestales de café en la provincia de Rioja, San Martín – Perú [Tesis de Pregrado, Universidad Católica Sedes Sapientiae].
- Escobedo, F. J., Wagner, J. E., Nowak, D. J., De la Maza, C. L., Rodriguez, M., y 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(1), 148-157.
- Espinoza, E. P., & Molina, C. E. (2014). Contaminación del aire exterior Cuenca-Ecuador, 2009-2013. Posibles efectos en la salud. Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Cuenca, 32(2), 6-17.
- Farinango, J. N. (2020). Estimación de la captura de carbono del arbolado urbano en la cabecera cantonal de Otavalo, provincia de Imbabura [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica Del Norte].
- García, C. (2019). La Dinámica Urbana y la forma de la Ciudad de Pichanaqui [Tesis de Posgrado, Universidad Nacional del Centro del Perú].
- García, J. L. (2016). Problemática del material particulado en las minas de carbón a cielo abierto en Colombia.
- Higuchi, N., & Andrade, J. (1994). Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: Anais do seminário Emissão por sequestro de CO₂ uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. Rio de Janeiro. 125-153.
- Hua, F., Bruijnzeel, L. A., Meli, P., Martin, P. A., Zhang, J., Nakagawa, S., Miao, X., Wang, W., Mcevoy, C., Peña, J., Brancalion, P., Smith, P., Edwards, D. & Balmford, A. (2022). The biodiversity and ecosystem service contributions and trade-offs of forest restoration approaches. Science, 376(6595), 839-844.
- Infocarbono. (2020). Inventario nacional de gases de efecto invernadero. Ministerio del Ambiente.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use, 4. 1-83.
- Lengua, C. (2023). Perú tiene la peor calidad de aire de Latinoamérica en ránking mundial: San Juan de Lurigancho registra altísimos niveles. Infobae.
- MacDicken KG. (1997). A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. US Forest Carbon Monitoring Program. Winrock International Institute for Agricultural Development. USA.

- Mansilla, A. A. (2015). Antiguo Poblado de Algarrobito ubicado en el Valle del Elqui Chile, y su Patrón Urbano Bioclimático [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid].
- Martínez, K., Vanegas, K., y Serrato, Ó. (2021). Evaluación de los servicios ecosistémicos del arbolado urbano de la localidad de Fontibón mediante i-Tree. *Revista Científica ITTPA*, 2(2), 43-56.
- MINAM. (2023). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2000-2019.
- MINAM. (2015). Guía de inventario de la flora y vegetación. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.
- Muñoz, M., & Córdova, V. (2020). Estimaciones del potencial de captura de carbono en los parques urbanos y emisiones de CO₂ vehicular en Cuenca, Ecuador [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].
- Oltra, C., & Marín, R. (2013). Los retos en la adaptación al cambio climático en entornos urbanos. *Revista de Sociología*, 98(2), 311-330.
- Orellana, A. M., & Landi, E. A. (2023). Estimación de la captura de carbono de la flora arbórea de la ribera del río Tarqui en la zona urbana de la ciudad de Cuenca, Ecuador [Tesis Doctoral, Universidad Autónoma del Estado de México].
- Ortiz, F. (2020). Servicios ecosistémicos y gestión del arbolado urbano en santo domingo, república dominicana [Tesis de Posgrado, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza].
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe K., Wagner F. (2003) Good practice guidance for land use. Land-use change and forestry. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGIES)-IPCC.
- Pimienta, E., Robles, C., Carvajal, S., Muñoz, A., Martínez, C., & León, S. (2014). Servicios ambientales de la vegetación en ecosistemas urbanos en el contexto del cambio climático. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(22), 28-39.
- Quispe, J. L. (2020). Evaluación de la reducción de la contaminación por la implementación del programa de segregación de residuos de residuos sólidos en la ciudad de Pichanaqui, provincia de Chanchamayo periodo 2015-2017 [Tesis de Posgrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva].
- Reynolds, C. C., Escobedo, F. J., Clerici, N., y Zea-Camaño, J. (2017). Does “greening” of neotropical cities considerably mitigate carbon dioxide emissions? The case of Medellin, Colombia. *Sustainability*, 9(5), 1-16.
- Revatta, J., García, C., Damas, G., De la Cruz, B., Hospina, N., Lapa, R., y Ramos, D. (2021). Pichanaqui - Investigación. ISSUU.
- Satacreu, J. (2022). ¡Plántate! Crisis climática, bosques y salud humana. Plataforma Actual.

- Stewart, P., Mirmira, R., Kaiser, U., jefe, e. e., adjuntos, e., y Metabolism, T. J. (2021). Contaminación ambiental, cambio climático y un papel fundamental para el endocrinólogo. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 106(12), 3381-3384.
- Therán, K., Rodriguez, L., Mouthon, S., & Manjarres, J. (2019). Microclima y Confort Térmico Urbano. *Módulo Arquitectura CUC2*, 23(1), 49-88.
- Torres, R. (2023). Propuesta de un sistema de indicadores para medir la sustentabilidad urbana y ambiental en la zona metropolitana de Toluca, Mexico [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].
- US EPA. (2023). Climate Change and Heat Islands. Environmental Protection Agency.
- US EPA. (2023). Efecto isla de calor. Environmental Protection Agency.
- Velasco, E., Roth, M., Tan, H., Quak, S., Nabarro, A., & Norford, L. (2013). The role of vegetation in the CO₂ flux from a tropical urban neighborhood. *Atmosphere Chemical*, 13(20), 10185–10202.
- Yang, J., Chang, Y., y Yan, P. (2015). Ranking the suitability of common urban tree species for controlling PM_{2.5} pollution. *Atmospheric Pollution Research*, 6(2), 267-277.