

Servicios ecosistémicos del arbolado urbano en la ciudad de Loja, Ecuador

Ecosystem services of urban trees in the city of Loja, Ecuador

Deicy Lozano ^{1,*}, María Fernanda Macas ¹, Nohemi Jumbo ¹, Paulina Fernández ² y Darwin Pucha ¹

¹ Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

² Carrera de Agronomía, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

* Autor para correspondencia: deicy.lozano@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 13/11/2024

Fecha de aceptación del manuscrito: 28/04/2025

Fecha de publicación: 30/06/2025

Resumen—Los árboles urbanos desempeñan un papel fundamental en la mejora de la calidad de vida en las ciudades, al ofrecer múltiples beneficios ambientales como la regulación del clima local, la provisión de confort térmico y la mitigación del impacto ambiental, contribuyendo así a la sostenibilidad urbana. Sin embargo, persiste un desconocimiento general sobre la provisión de los servicios ecosistémicos (SE) que estos espacios generan. En esta investigación se evaluaron cinco SE: almacenamiento de carbono, producción de oxígeno, hábitat y refugio, calidad del aire, y recreación. Para el almacenamiento de carbono se utilizó una ecuación alométrica basada en el DAP y la densidad de madera. La producción de oxígeno se obtuvo en relación con el carbono secuestrado y los pesos atómicos de carbono y oxígeno. El hábitat y refugio (VHB), se calculó a partir de la densidad de copa (Dc) y perennidad de las hojas (Pn). La calidad del aire se estimó entre la absorción y las emisiones de CO₂. La recreación se evaluó en parques y la percepción de 620 entrevistados. Se registraron 5 111 individuos, 88 especies, 65 géneros y 34 familias. Se identificaron 10 752,20 Mg C año⁻¹; producción de oxígeno 28 672,54 t año⁻¹ y calidad del aire negativa. *Ocotea* sp., *Ficus benjamina*, *Myrcianthes rhopaloides* y *Callistemon lanceolatus* fueron las especies con mayor VHB. En cuanto a la recreación, las especies con mayor abundancia en los parques fueron: *Salix humboldtiana*, *Fraxinus chinensis* y *Jacaranda mimosifolia*. La cuantificación de SE permitió evidenciar un déficit en la cantidad de árboles para la provisión de servicios de regulación lo cual incide en la calidad de aire negativa, sin embargo, en los otros SE el suministro es bueno, lo cual es importante para la planificación de ciudades sostenibles.

Palabras clave—Rasgo funcional, Ecosistema urbano, Cambio climático, Ciudades sostenibles

Abstract—Urban trees play a fundamental role in improving the quality of life in cities by providing multiple environmental benefits, such as regulating the local climate, offering thermal comfort, and mitigating environmental impacts, thereby contributing to urban sustainability. However, there is a general lack of awareness regarding the ecosystem services (ES) these spaces provide. In this research, five ES were evaluated: carbon storage, oxygen production, habitat and shelter, air quality, and recreation. For carbon storage, an allometric equation based on DBH and wood density was used. Oxygen production was calculated in relation to sequestered carbon and the atomic weights of carbon and oxygen. Habitat and shelter (HBV) were calculated from crown density (Dc) and leaf perennality (Pn). Air quality was estimated between CO absorption and emissions. Recreation was evaluated in parks and the perception of 620 interviewees. 5 111 individuals, 88 species, 65 genera, and 34 families were recorded. 10 752.20 Mg C year⁻¹ were identified; oxygen production 28 672.54 t year⁻¹ and negative air quality. *Ocotea* sp., *Ficus benjamina*, *Myrcianthes rhopaloides* and *Callistemon lanceolatus* were the species with the highest HBV. Regarding recreation, the species with the greatest abundance in the parks were: *Salix humboldtiana*, *Fraxinus chinensis* and *Jacaranda mimosifolia*. The quantification of ES allowed to show a deficit in the number of trees for the provision of regulation services which affects the negative air quality, however, in the other ES the supply is good, which is important for the planning of sustainable cities.

Keywords—Functional characteristic, Urban ecosystem, Climate change, Sustainable cities

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas urbanos son elementos fundamentales dentro del entorno de una ciudad, ya que desempeñan un papel crucial en la calidad ambiental urbana (Tovar, 2006). Estos ecosistemas ofrecen una amplia gama de servicios ecosistémicos (SE), que son esenciales para promover

la sostenibilidad de las áreas urbanas (Sorensen et al., 1998). Los SE se definen como los beneficios directos e indirectos que las poblaciones humanas obtienen del funcionamiento de los ecosistemas. Dichas funciones ecológicas se refieren a la capacidad de los procesos y componentes naturales para generar bienes y servicios que satisfacen, de manera directa o indirecta, las necesidades humanas (Constanza et al., 1997;

De Groot *et al.*, 2002; Avendaño *et al.*, 2020). Un arbolado urbano diverso, sano y bien gestionado ofrece una variedad de SE, por ejemplo, producción de oxígeno, refugio a la fauna en las ciudades, reduce las partículas contaminantes en el ambiente, temperaturas, escorrentía superficial y los ruidos de las ciudades (Dobbs *et al.*, 2018, Vásquez, 2016).

Uno de los factores que provocan la disminución de áreas verdes en las ciudades es el crecimiento poblacional, que no solo ha generado graves daños a la salud de la población sino a los ecosistemas (Cabezas, 2021). En los países en vías de desarrollo, el rápido crecimiento de la población urbana no ha estado acompañado del correspondiente aumento en la disponibilidad de bienes y servicios básicos como energía, agua potable limpia, vivienda y saneamiento (FAO, 2016). La urbanización se ha traducido esencialmente en una expansión urbana no planificada, acompañada de pautas de producción y consumo no sostenibles, que conducen, a su vez, a la sobreexplotación de los recursos naturales en las áreas urbanas y sus alrededores (Borelli *et al.*, 2018, Castro *et al.*, 2018).

En América Latina, donde más del 80% de la población vive en zonas urbanas, este crecimiento desordenado, ha ejercido una fuerte presión sobre los ecosistemas urbanos afectando especialmente al arbolado y los bosques urbanos (Corporación Andina de Fomento [CAF], 2018). Como consecuencia, ciudades de países como Uruguay (95,77%), Argentina (92,46%), Brasil (87,79%), Colombia (82,35%) y Ecuador (64,79%), que han experimentado un acelerado crecimiento urbano debido a la migración hacia las ciudades —una tendencia que se mantuvo hasta 2023 y se espera continúe en las próximas décadas (The Global Economy, 2025)—, se han vuelto especialmente vulnerables a los efectos negativos del cambio climático, como sequías, inundaciones, olas de calor y el aumento de la temperatura (Naciones Unidas, 2016; FAO, 2016).

El arbolado urbano es una forma de mitigar este tipo de efectos adversos del cambio climático en los centros poblados (Escobedo *et al.*, 2011); de manera directa, capturan y secuestran carbono por largos periodos, ayudan a la filtración de aguas de escorrentía y minimizan el efecto de las olas de calor suprimiendo las islas de calor con la provisión de sombra y aire fresco bajo su dosel; y de manera indirecta, reducen las emisiones de CO₂, al reducir los consumos de energía necesarios para proveer aire fresco artificial (Vargas-Gómez y Molina-Prieto, 2014).

Los bosques urbanos son considerados herramientas valiosas en el diseño de ciudades modernas y resilientes (Calaza *et al.*, 2018, Wolf, 2017). Sin embargo, la escasa difusión y comprensión sobre el valor ecológico, social y cultural de los bosques urbanos por parte de la población en general ha llevado a un desconocimiento que limita la participación ciudadana en su protección, reduce el respaldo a políticas de conservación y favorece su degradación progresiva. Reconocer y valorar estos entornos como componentes esenciales del bienestar urbano es fundamental para fomentar una relación más consciente y responsable con el entorno natural dentro de las ciudades. Ante esta realidad, es necesario conocer la capacidad de provisión de los servicios ecosistémicos y la percepción de la ciudadanía, además, el manejo del arbolado urbano en las ciudades, con el fin de formular directrices técnicas para la gestión, conservación y uso sostenible de este recurso (Pacha, 2014; Reyes y Gutiérrez, 2010).

Los servicios ecosistémicos del arbolado urbano, como la captura de carbono, producción de oxígeno, provisión de hábitat, recreación y mejora de la calidad del aire, no han sido cuantificados ni valorados de manera integral en Loja, lo que limita su incorporación efectiva en la gestión urbana (CAF, 2018). En contraste, existen experiencias internacionales que demuestran el potencial de estas evaluaciones para mejorar la planificación ambiental urbana. En Bogotá (Colombia), estudios como el de Montes-Pulido y Forero (2021) han cuantificado servicios de regulación y culturales en parques urbanos, evidenciando desigualdades socioespaciales en su provisión. Asimismo, el caso de la Plaza Alhambra evaluó soluciones basadas en la naturaleza implementadas en el espacio público, mostrando beneficios ecológicos y sociales significativos (Ramírez *et al.*, 2022). En Barcelona (España), se aplicó el modelo *i-Tree Eco* para valorar cómo los bosques urbanos contribuyen a la purificación del aire y a la mitigación del cambio climático, aportando información clave para las políticas de sostenibilidad urbana (Baró *et al.*, 2014). Por lo tanto, en esta investigación el objetivo fue evaluar el valor funcional ecológico de la provisión de cinco servicios ecosistémicos del arbolado urbano en la ciudad de Loja.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio fue realizado en los principales parques y avenidas de la ciudad de Loja (Figura 1). La ciudad de Loja está ubicada en el cantón y provincia de Loja en la Región Sur del Ecuador entre las latitudes Sur: -3,99313 y -79,20422, tiene una superficie de 6 038,88 ha, está ubicada en un rango altitudinal entre 2 100 a 2 700 msnm (Cornejo y Zorrilla, 2013; Pucha *et al.*, 2023). Posee un clima Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo con una temperatura media anual de 15 °C y sus valores de precipitación fluctúan alrededor de los 900 mm/año, con una humedad relativa media del aire del 75% (PNUMA *et al.* 2007; PDOT GADM Loja, 2021).

Muestreo y levantamiento de información

Los servicios ecosistémicos estimados fueron: i) almacenamiento de carbono, ii) producción de oxígeno, iii) hábitat y refugio, iv) calidad del aire, y v) recreación (Tabla 1). Este estudio se basó en una muestra de 5 111 árboles $\geq$ DAP_{5cm} en parques y avenidas de la zona norte, centro y sur de la ciudad de Loja, sin considerar las palmas. A continuación, se describe la metodología de cada uno de los servicios ecosistémicos estudiados.

Almacenamiento de carbono

Para calcular el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea del arbolado urbano se utilizó la base de datos del inventario forestal del proyecto de investigación 17-DI-FARNR-2021: “Dinámica de crecimiento y servicios ecosistémicos del arbolado urbano de la ciudad de Loja” desarrollado por la Universidad Nacional de Loja. La estimación de la biomasa arbórea fue calculada aplicando la ecuación alométrica de Chave *et al.*, (2014) el cual es un método no destructivo para estimar la biomasa total de un árbol. Esta ecuación consideró las variables independientes como la densidad

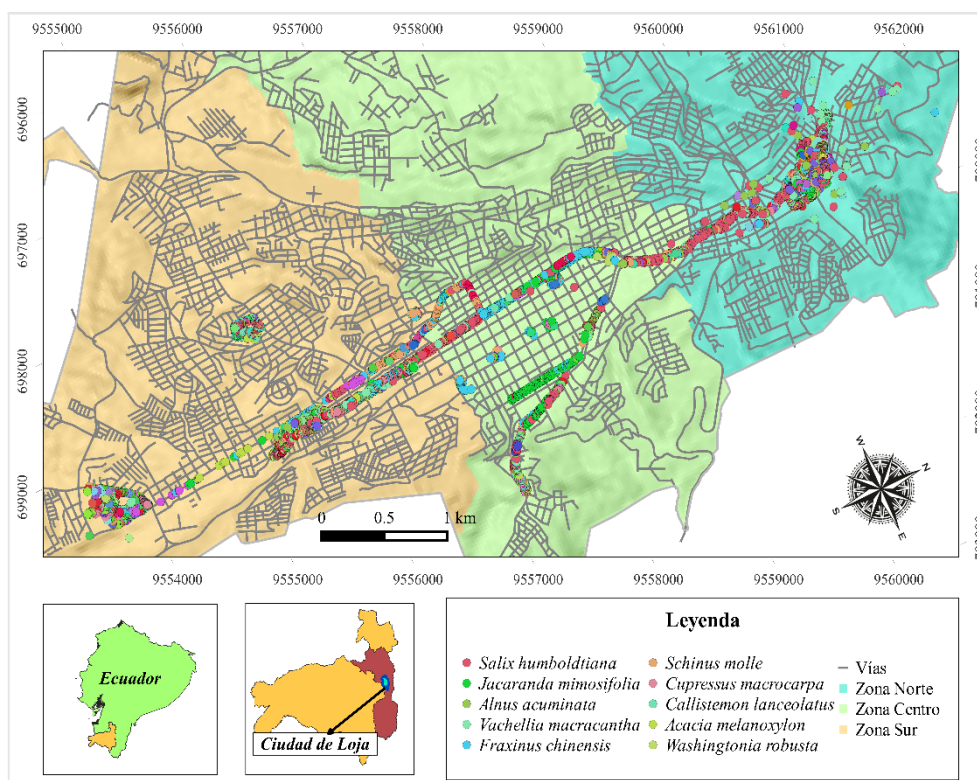


Fig. 1: Área de estudio del arbolado urbano de la ciudad de Loja, Ecuador

de la madera por especie y el diámetro del árbol. La mayoría de los valores de densidad de la madera fueron obtenidos de la base de datos global de densidad de madera (Zanne et al., 2012) y la densidad de madera de las especies que no se encontró en dicha base de datos se la obtuvo del estudio realizado por Cartuche (2022). A continuación, se presenta la fórmula para el cálculo de la biomasa.

$$B = \exp \left(-1,803 - 0,976 \times E + 0,976 \times \ln(\rho) + 2,673 \times \ln(\text{DAP}) - 0,0299 \times [\ln(\text{DAP})]^2 \right) \quad (1)$$

donde: B = Biomasa (kg); ρ = Densidad de la madera (g cm^{-3}); E = Factor de estrés ambiental; ln = Logaritmo natural; DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm).

A partir de los datos obtenidos de la estimación de la biomasa fue determinado el almacenamiento de carbono por medio de la siguiente ecuación (Brown et al., 1986):

$$C = 0,47 \times B \quad (2)$$

donde: C = Almacenamiento de carbono en t ha^{-1} ; 0,47 = Factor de conversión de biomasa para carbono; B = Biomasa forestal en t ha^{-1}

Producción de oxígeno

Para determinar la producción de oxígeno de un árbol durante un año se tomó en cuenta la cantidad de carbono almacenado en la biomasa, para ello se aplicó la metodología de Salisbury y Ross (1978) que establece que la producción neta de oxígeno de los árboles se basa en la cantidad de oxígeno producido durante la fotosíntesis menos la cantidad de oxígeno consumido durante la respiración de las plantas.

$$\text{Fotosíntesis} = n\text{CO}_2 + n\text{H}_2\text{O} + \text{luz} \rightarrow (\text{CH}_2\text{O}) + n\text{O}_2 \quad (3)$$

$$\text{Respiración} = (\text{CH}_2\text{O})_n + n\text{O}_2 \rightarrow n\text{CO}_2 + n\text{H}_2\text{O} + \text{energía} \quad (4)$$

De esta manera, la cantidad de oxígeno producido por el arbolado urbano fue estimada a partir de la captura de carbono en base a los pesos atómicos:

$$\text{Producción neta de O}_2 \text{ (kg/ao)} = \text{Carbono secuestrado en la biomasa (kg/ao)} \times \frac{32}{12} \quad (5)$$

Hábitat y refugio

La evaluación del hábitat y refugio se desarrolló considerando el inventario forestal del proyecto de investigación 17-DI-FARNR-2021: *Dinámica de crecimiento y servicios ecosistémicos del arbolado urbano de la ciudad de Loja*. Para lo cual se determinó la densidad de la copa (Dc) y perennidad de follaje (Pn) de cada árbol según su potencial para proporcionar hábitat y refugio de avifauna (VHB). Para la densidad de la copa se usó una escala ordinal de 1 a 3, colocando el mayor valor (3) a las especies con copa más densa; y para la perennidad de follaje se tomaron en cuenta tres clases: caducifolias (1), subperennifolias (2), y perennifolias (3). Después, se calculó los valores de las clases de cada rasgo con el fin de que la clase subsecuente de densidad del follaje tenga tres veces el valor de la clase anterior, y para las especies perennifolias y subperennifolias 2 y 3 veces el valor de las especies caducifolias. Además, todos los valores se ponderaron con un factor $i = 100/27$, de tal manera que puedan expresarse en el intervalo de la escala ordinal (Casanoves et al., 2011). La ecuación para determinar el valor de hábitat y refugio fue:

$$\text{VHB} = 3 d D c^{-1} \times P n \times i \quad (6)$$

donde: VHB= valor de hábitat y conectividad de avifauna

na silvestre; Dc= densidad de la copa; Pn= perennidad del follaje; factor $i = 100/27$.

Estimación de la calidad del aire

Para la estimación de la calidad del aire se tomó en cuenta la producción y absorción de gases dentro de la ciudad. Las emisiones de gases de efecto invernadero fueron cuantificadas a partir de los valores dióxido de Carbono (CO₂) del transporte terrestre particular de personas, información otorgada por la Comisión de tránsito de Loja para el año 2023. Para realizar el balance entre la producción y absorción fue utilizada la fórmula propuesta por López Huertas, (2019):

$$Abs = B \times Cc \quad (7)$$

$$Ems = V \times EmsP \quad (8)$$

$$CA = Abs - Ems \quad (9)$$

donde: Abs = Absorciones de CO₂; B = Bosque en áreas verdes medido en hectáreas; Cc = Capacidad de captura del bosque en toneladas por año; Ems = Emisiones de CO₂; V= número de vehículos; EmsP= Emisiones promedio de los vehículos; CA= Calidad del aire.

Recreación

Para evaluar este servicio ecosistémico se describieron las preferencias de recreación en la población de la ciudad de Loja mediante la aplicación de las 620 entrevistas. Las preguntas sobre la recreación estuvieron orientadas a la recopilación de información del conocimiento de las áreas verdes, tiempo de permanencia y preferencias de zonas de recreación de la población en estudio. Así mismo, se identificó las especies con mayor abundancia en los parques de la ciudad de Loja.

Análisis de datos

Para comparar los servicios ecosistémicos entre las zonas norte, centro, y sur de la ciudad se realizaron histogramas de distribución de frecuencias de las especies con mayor acumulación de carbono del arbolado urbano. Así mismo, histogramas de las especies con mayores índices de valor de hábitat y refugio. Posteriormente, se comparó las variables acumulación de carbono y producción de oxígeno del arbolado urbano mediante el análisis de varianza (ANOVA) no paramétrico de Kruskal Wallis (al no cumplir con el supuesto de normalidad) y el test de comparación de medias de Wilcoxon con ajuste de Bonferroni, los resultados se presentan en gráficos de barras para cada una de las variables. Los análisis se realizaron mediante el uso del software de hojas de cálculo Microsoft Excel y el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2011).

RESULTADOS

En el arbolado de la ciudad de Loja fueron registrados 5111 individuos ≥ 5 cm DAP que corresponde a 88 especies, 65 géneros, 34 familias con hábitos de crecimiento de árboles y arbustos, excepto palmas. La familia Fabaceae fue la más

rica con 17 especies identificadas, seguida por Myrtaceae con 11 sp. Por su parte, las familias Bignoniaceae, Moraceae y Rosaceae registraron 5 especies cada una. (Tabla 2).

Almacenamiento y almacenamiento de carbono

El almacenamiento de carbono estimado en el arbolado urbano de la ciudad de Loja fue de 10 752,20 Mg C (Tabla 3). En el sector centro de la ciudad se cuantificó en total 4099,68 Mg C en norte 3 232,06 Mg C y en el sur 3 420,46 Mg de carbono en los árboles. El centro de la ciudad de Loja presentó la mayor acumulación de carbono en el arbolado urbano de las avenidas, mientras que la menor acumulación de carbono fue estimada en los parques (Tabla 3).

En la ciudad de Loja el almacenamiento de carbono por árbol fue de 2,10 Mg/árbol. Al comparar el almacenamiento de carbono entre los árboles urbanos de las zonas norte, centro y sur de la ciudad se obtuvo diferencias estadísticas ($p < 0,0001$) (Figura 2). Los árboles del centro almacenan la mayor cantidad de carbono con 2,90 Mg/árbol en comparación con los árboles del norte y sur de la ciudad (Figura 2).

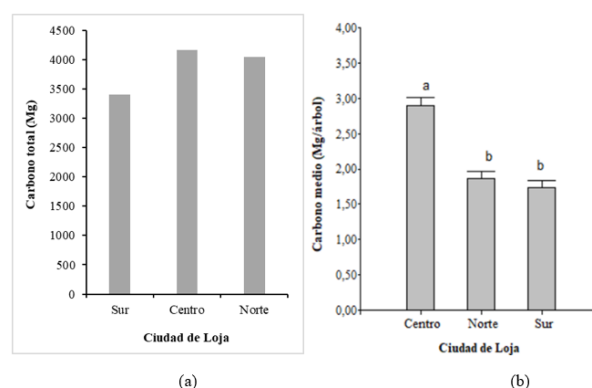


Fig. 2: Almacenamiento de carbono en los árboles urbanos: a) almacenamiento total de carbono en las zonas norte, centro y sur de la ciudad de Loja b) carbono medio por árbol

Salix humboldtiana (sauce), con una acumulación de 1 339,12 Mg de carbono, y *Schinus molle* (molle), con 479,65 Mg, fueron las especies arbóreas con mayor acumulación de carbono. En contraste, las especies con menor acumulación fueron *Alnus acuminata*, con 67,29 Mg, y *Muntingia calabura*, con 27,37 Mg en la ciudad de Loja (Figura 3).

Producción de oxígeno

La producción de oxígeno en la ciudad de Loja fue de 28 672,54 t O₂, con mayor producción de oxígeno en las avenidas. En cuanto a las zonas, el centro se destacó en la producción de oxígeno con 10 932,49 t O₂ (Tabla 4).

En la ciudad de Loja la producción de oxígeno por árbol fue 5,6 Mg O₂, notándose una diferencia estadística ($p < 0,0001$) entre las zonas norte, centro y sur de las avenidas y parques. El arbolado de la zona del centro en media aportó la mayor producción de oxígeno por árbol con 7,73 Mg O₂; además, los árboles de los parques del centro producen la mayor cantidad de oxígeno, en promedio 10,52 Mg O₂ por árbol (Figura 4).

Salix humboldtiana (sauce), con una producción de

Tabla 1: Resumen de los métodos aplicados para estimar los servicios ecosistémicos evaluados en el arbolado urbano de la ciudad de Loja

Servicio ecosistémico	Rasgo funcional	Ecuaciones	Referencia
Almacenamiento de carbono	Densidad de la madera (g/cm^3) Diámetro a la altura del pecho (cm)	$AGB = \exp(-1,803 - 0,976E + 0,976\ln(p) + 2,673\ln(DAP) - 0,0299(\ln(DAP))^2)$	Chave <i>et al.</i> , 2014
Producción de oxígeno	Carbono secuestrado en la biomasa (t/año)	$PO = \text{Carbono secuestrado en la biomasa} \times \frac{32}{12}$	Salisbury y Ross, 1978
Hábitat y refugio	Densidad de la copa Perenidad de la copa	$VH = (Dc^{-1}) \times Pn \times i$	Casanoves <i>et al.</i> , 2011
Calidad de aire	Carbono secuestrado en la biomasa (t/año) Emisiones de CO_2	$Abs = B \times Cc$ $Ems = V \times EmsP$ $CA = Abs - Ems$	López Huertas, 2019
Recreación	Especies sobresalientes Frecuencia especies	Entrevistas	Hernández Santoyo <i>et al.</i> , 2013

Tabla 2: Composición florística del arbolado urbano de la ciudad de Loja.

Zona	Familia	Género	Especies
Centro			
Avenidas	22	34	39
Parques	15	22	23
Sur			
Avenida	23	32	34
Campus UNL	25	41	52
Parques	20	28	31
Norte			
Parque	29	47	59

Tabla 3: Cuantificación del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono en la ciudad de Loja.

Zona	Abundancia (# ind.)	DAP (cm)	Carbono total (Mg)	Media Carbono (Mg/árbol)
Centro	1414	42,50	4099,68	2,90
Avenida	1256	41,82	3476,19	2,77
Parque	158	47,93	623,49	3,95
Sur	1866	30,83	3232,06	1,73
Avenida	558	34,85	1380,34	2,47
Campus UNL	456	35,31	1009,41	2,21
Parque	852	25,81	842,31	0,99
Norte	1831	34,34	3420,46	1,87
Parque	1831	34,34	3420,46	1,87
Total	5111	35,31	10752,20	2,10

Tabla 4: Estimación de la producción de oxígeno en las zonas centro, norte y sur, y en avenidas y parques, de la ciudad de Loja, Ecuador.

Zona	Abundancia (# ind.)	Carbono total (Mg)	Producción total O_2 (t)	Media de Producción O_2 (t/árbol)
Centro	1414	4099,68	10932,49	7,73
Avenida	1256	3476,19	9269,84	7,38
Parque	158	623,49	1662,65	10,52
Sur	1866	3232,06	8618,82	4,62
Avenida	558	1380,34	3680,89	6,60
Campus UNL	456	1009,41	2691,77	5,90
Parque	852	842,31	2246,16	2,64
Norte	1831	3420,46	9121,23	4,98
Parque	1831	3420,46	9121,23	4,98
Total	5111	10752,20	28672,54	5,61

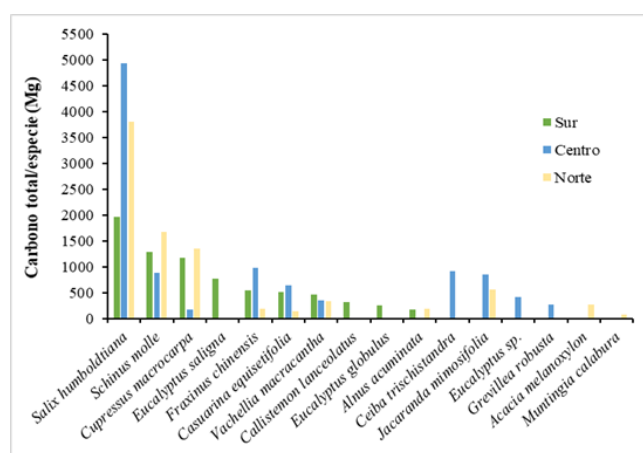


Fig. 3: Acumulación de carbono total (Mg) por cada especie en las zonas: norte, centro y sur de la ciudad de Loja, Ecuador

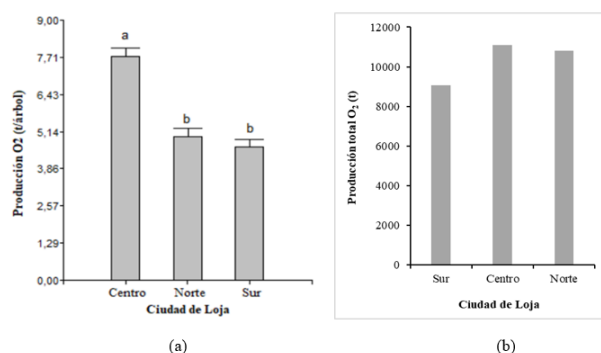


Fig. 4: Comparación de la producción de oxígeno (a) por árbol y (b) total, entre las zonas norte, centro y sur de la ciudad de Loja

3.570,98 t de O_2 , y *Schinus molle* (molle), con 1.279,05 t de O_2 , fueron las especies arbóreas con mayor generación de oxígeno. En contraste, *Alnus acuminata* y *Muntingia calabura* fueron las especies con menor producción de oxígeno en la ciudad de Loja (Figura 5).

Hábitat y refugio

En la zona sur *Ocotea* sp., *Ficus benjamina* (ficus) y *Myrcianthes rhopaloides* (arrayán negro) fueron las especies que tuvieron mayor potencial para el servicio ecosistémico de hábitat y refugio porque son especies perennifolias con follaje

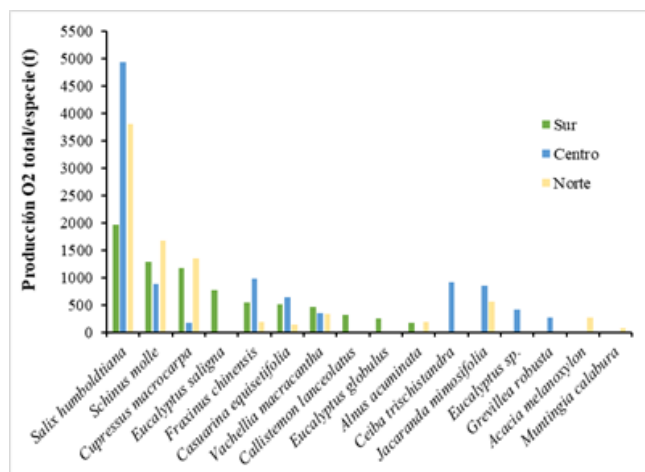


Fig. 5: Producción de oxígeno total (Mg) por cada especie en las zonas: norte, centro y sur de la ciudad de Loja, Ecuador

denso. Mientras que en el centro de la ciudad fueron *Ficus benjamina* (ficus) y *Callistemon lanceolatus* (cepillo chino), y en la zona norte fueron todas las especies las que presentaron homogeneidad para brindar hábitat y refugios especialmente para la avifauna (Figura 6).

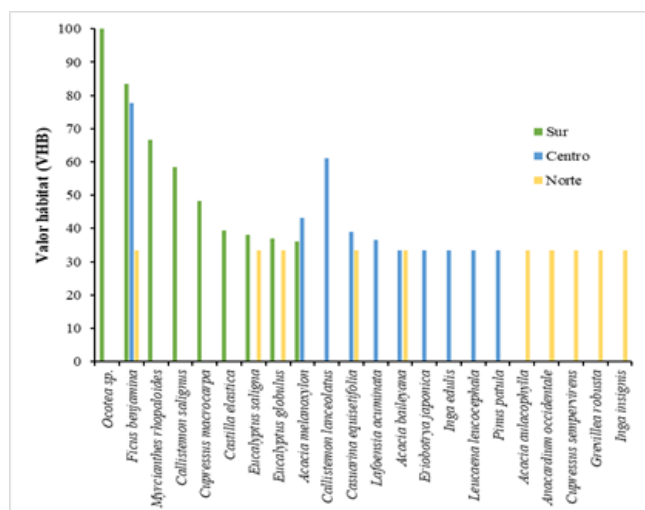


Fig. 6: Valor funcional del hábitat y refugio (VHB) de las especies forestales en la zona norte, centro y sur de la ciudad de Loja, Ecuador

Recreación

Las especies con mayor abundancia en los parques de la ciudad fueron: *Salix humboldtiana* (sauce), *Fraxinus chinensis* (fresno) y *Jacaranda mimosifolia* (arabisco), debido a que son especies con gran altura y tiene copa frondosa (Figura 7).

Salix humboldtiana (sauce), *Alnus acuminata* (aliso) y *Vachellia macrocarpa* (faique) fueron las especies con mayor abundancia en los parques: Jipiro, Daniel Álvarez, Parque de la música y Peñón del Oeste. Mientras que, *Fraxinus chinensis* (fresno), *Schinus molle* (molle) y *Jacaranda mimosifolia* (arabisco) fueron las más abundantes en los parques: San Sebastián, Central, Simon Bolivar, infantil “Bernabé Luis”, “Los Molinos”, y Lineal La Tebaida.

En las zonas norte y sur de la ciudad de Loja el 47 % y 48 % respectivamente de los entrevistados, mencionaron que

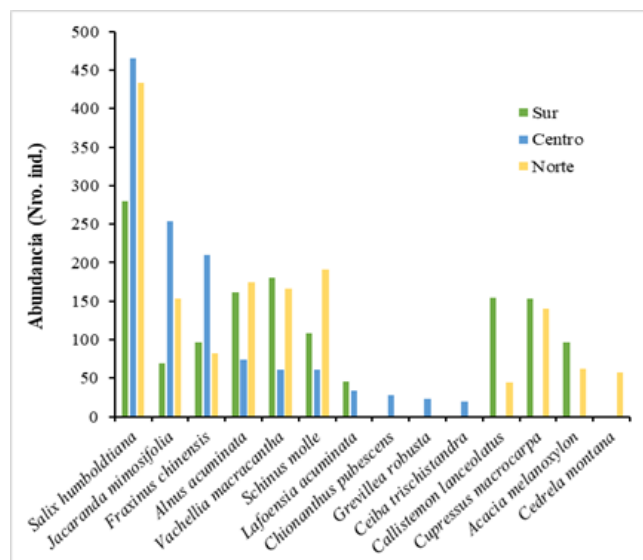


Fig. 7: Especies arbóreas con mayor abundancia en los parques de la zona norte, centro y sur de la ciudad de Loja.

visitan los parques semanalmente. Otros entrevistados, de la zona sur con un 36 % manifiestan que visitan los parques quincenalmente, y un bajo porcentaje indicó que no los visitan frecuentemente (Figura 8a).

El 67 % de los entrevistados indicaron que los parques son muy importantes para brindar recreación en la zona sur de la ciudad de Loja porque les genera una sensación de bienestar y es bueno para la salud, mientras que el 41 % de los entrevistados en la zona norte consideran que los parques son fundamentales para la recreación. El 37 % de los entrevistados señalaron que no los visitan los parques debido a factores tales como: inseguridad, falta de tiempo y mantenimiento de las áreas verdes e infraestructura (Figura 8b).

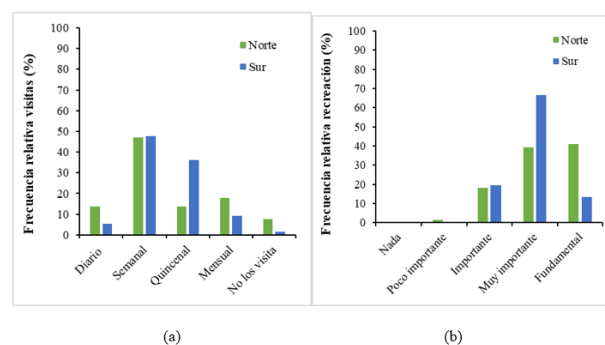


Fig. 8: a) Frecuencia relativa de las visitas a los parques y b) importancia de los árboles para mantener la convivencia y actividades de recreación familiar.

Calidad del aire

La calidad del aire en el sector sur de la ciudad de Loja fue negativa de 112 986,8 CO₂ /Mg (año), es decir, que del total de emisiones de CO₂/Mg (año) solo el 3,95 % es absorbido por los árboles, por tal motivo la calidad del aire es mala en relación de la capacidad de captura de CO₂, por los árboles (Tabla 5).

Tabla 5: Calidad del aire de la ciudad de Loja en función del arbolado urbano.

Capacidad de captura del área verde (Mg)	Emisiones de CO ₂ /Mg (año)	Número de vehículos	Emisiones promedio de los vehículos CO ₂ (Mg/año)	Absorciones (Abs, Mg/año)	Calidad del aire	Porcentaje (%)
51,11	4,2	28 009	117 637,80	4 651,01	-112 986,8	3,95

DISCUSIÓN

En el estudio realizado en el arbolado urbano de la ciudad de Loja se identificaron hasta la fecha de monitoreo (noviembre 2024), 5 111 individuos, distribuidos en 88 especies, 65 géneros y 34 familias los que brindan diversos servicios ecosistémicos (SE): almacenamiento de carbono; producción de oxígeno; hábitat y refugio; recreación; y calidad ambiental. Estos resultados son similares a los expuestos por Jáuregui et al., (2022) en el estudio del arbolado urbano de Guadalajara en lo referente a 89 especies y 33 familias; difiriendo en el número de individuos con 3 325, lo que permite aducir que el arbolado urbano de la ciudad de Loja presenta mayor abundancia, por tanto, brindará mayores beneficios en los SE.

La familia más abundante en esta investigación fue Fabaceae con 17 especies encontradas, esta familia es predominante en la silvicultura urbana en varias ciudades de Latinoamérica debido a su adaptabilidad y diversidad, aseveración basada en lo que argumenta por Alanís et al., (2022) y Elizondo et al., (2018) en sus estudios realizados en el arbolado urbano en México en donde la familia más representativa son las Fabaceae. Aranguren y Gámez (2010) en su estudio en Mérida Venezuela encontraron 42 especies de Fabaceae en áreas urbanas destacando su prevalencia en parques, jardines y plazas.

La importancia de las especies de la familia Fabaceae se extiende más allá del uso ornamental, ya que son usadas también para la alimentación y uso medicinal (Molares y Ladio, 2011). La abundancia de la familia en entornos urbanos puede atribuirse a su versatilidad ecológica, naturaleza conspicua y múltiples estrategias de adaptación (Molares y Ladio, 2011; Aranguren y Luis E. Gámez, 2010).

Almacenamiento de carbono

El carbono presente en la atmósfera se captura por las plantas a través de la fotosíntesis; siendo los árboles los que retienen en mayor cantidad de este gas por unidad de área en comparación con otros tipos de vegetación (IPCC, 2007).

Los volúmenes de captura de carbono en las diferentes zonas donde se encuentra el arbolado dependen de la estructura de la vegetación y de la especie, tamaño, edad, DAP (diámetro a la altura del pecho), cobertura de la copa, estado de conservación y manejo (Arévalo 2021).

En el arbolado urbano de la ciudad de Loja se obtiene un almacenamiento de carbono 10 752,20 Mg en 5 111 individuos con un promedio de 35 cm de diámetro, estos resultados difieren de lo reportado por Castillo et al., (2022) en el estudio de captura de carbono del arbolado de la Universidad de Manabí que obtuvieron un resultado de 5 354,43 t de carbono almacenado en 1200 individuos, siendo que el 80% de árboles no superan los 40 cm de diámetro. Estas diferencias en el almacenamiento de carbono se deben a la densidad de

individuos en cada uno de los estudios. Pompa-García et al., (2023) manifiestan que el clima y ubicación geográfica son factores que no solo limitan la cantidad y diversidad de especies arbóreas, sino su capacidad fotosintética, acumulación de carbono y productividad. En el estudio de Reynolds et al., (2017), se determinó que el almacenamiento de carbono en el arbolado urbano del Valle de Aburrá Colombia fue de 103 820 Mg de CO₂, valores que son diferentes a lo encontrado en nuestra investigación, debido a que en el estudio en Valle de Aburra se consideró a más del área foliar la biomasa abajo del suelo.

La captura de carbono en la zona centro es de 4 099,68 Mg siendo mayor si lo comparamos con el norte (3 232,06) y sur (3 420,45), diferencias que se atribuyen al DAP que es mayor en el centro con 42,50 cm. Investigaciones sobre captura de carbono en árboles demuestran la importancia del diámetro a la altura del pecho (DAP) como factor clave para el almacenamiento de carbono (Sánchez et al., 2021). Cifuentes (2021) argumenta que a medida que el DAP aumenta, también lo hace la biomasa del árbol, lo que resulta en una mayor capacidad para almacenar carbono y que árboles con un DAP > a 30 cm pueden almacenar significativamente más carbono que aquellos con un DAP < 5, esto se debe a que árboles más grandes tienen más tejido vegetal, lo que les permite capturar más CO₂ durante la fotosíntesis; resultado que concuerda con lo alcanzado en esta investigación, ya que a mayor DAP alcanzado por las especies arbóreas en cada zona, mayor la captura de carbono.

En lo referente al almacenamiento de carbono por árbol la zona del centro sigue teniendo mayor almacenamiento con 2,90 Mg/árbol, siendo *Salix humboldtiana* (1 339,12 C/Mg) y *Schinus molle* (479,64 C/Mg) las especies con la mayor acumulación de carbono en los árboles de las zonas centro y sur de la ciudad de Loja. Esto se debe a que son especies que presentan los mayores diámetros.

Salix humboldtiana y *Schinus molle* son dos especies arbóreas que destacan por su capacidad para acumular carbono, lo que es fundamental en la lucha contra el cambio climático por emisiones de CO₂ (Chacón y Méndez, 2023). *Salix humboldtiana* es una especie de rápido crecimiento, tiene una alta eficiencia de asimilación de carbono, se adapta a diversas condiciones ambientales lo que contribuye para lograr un diámetro considerable y mayor biomasa permitiendo mayor acumulación de carbono (Chacón y Méndez, 2023). *Schinus molle* es una especie es altamente adaptable y tiene una buena capacidad competitiva para captar luz, agua y nutrientes, esto le permite crecer rápidamente, alcanzando alturas significativas en poco tiempo. Esta especie produce una cantidad considerable de biomasa debido a su crecimiento vigoroso y a la producción abundante de hojas y frutos, lo que contribuye a su capacidad para almacenar carbono en el suelo (Chacón y Méndez, 2023).

Los resultados de esta investigación difieren a lo reportado por Farinango (2020) en su investigación en el arbolado urbano de la cabecera cantonal de Otavalo en donde las especies *Cupressus macrocarpa* y *Fraxinus excelsior* son las que almacenan mayor cantidad de carbono, mientras que el arbolado de la ciudad de Loja fueron *Salix humboldtiana* y *Schinus molle*, las cuales son especies exóticas.

Producción de Oxígeno

La producción de oxígeno en el arbolado urbano en la ciudad de Loja es de 28 672,54 Mg O₂, resultado que está en relación con la captura de carbono. Investigaciones indican que existe una fuerte relación entre la producción de oxígeno de un árbol y su capacidad de almacenamiento de carbono. Gaytan et al., (2018) en su investigación denominada árboles consumidores del CO₂ y productores O₂ beneficio para todos, asevera que la cantidad de oxígeno producido por un árbol está directamente relacionada con la cantidad de carbono que secuestra; esto implica que, a mayor almacenamiento de carbono, hay una mayor producción de oxígeno. Matías Barrientos y Cortes Cagüño (2020) en su investigación en Villavicencio, Colombia, encontraron que los árboles de parque fijan cantidades considerables de CO₂ y producen O₂, estos hallazgos subrayan la importancia de los árboles tanto en entornos naturales como urbanos. Este proceso ocurre durante la fotosíntesis, los árboles capturan CO y lo almacenan en forma de biomasa (madera, raíces, hojas) a través del carbono orgánico, al mismo tiempo, liberan oxígeno como subproducto. Según Nowak et al., (2002), los árboles urbanos en los Estados Unidos almacenan millones de toneladas de carbono anualmente, lo que ayuda a mitigar las emisiones de CO en áreas urbanizadas y a mejorar la calidad del aire al aumentar la disponibilidad de oxígeno en la atmósfera.

Las especies que proveen mayor producción de oxígeno son *Salix humboldtiana*, *Schinus molle* y *Fraxinus chinensis*. En un estudio realizado por Cortés y Matías (2019) el arbolado urbano del municipio de Villavicencio Colombia las especies que proporcionan mayor oxígeno son: *Ficus benjamina*, *Parkia pendula*, *Spondias mombin* y *Cedrela odorata*; especies diferentes a las de este estudio; sin embargo, existen coincidencias con la investigación de Hernández et al., (2023) donde reportó que las principales especies productoras de oxígeno en la Laguna San Baltazar México fueron: *Hesperocyparis lusitanica* Mill, *Casuarina equisetifolia* L. *Fraxinus uhdei* Wenz; *Taxodium huegelii* C. Lawson y *Salix humboldtiana* Willd.; en el caso de *Fraxinus* y *Schinus*, géneros botánicos similares a los de esta investigación.

La producción promedio de oxígeno en esta investigación por cada árbol fue de 5,61 Mg O₂, valor que es menor al indicado por Martínez-Trinidad et al., (2021) en un estudio de diversidad y servicios ecosistémicos en cuatro parques de Texcoco de Mora, México, en el que se obtuvo 6 Mg O₂ por cada árbol. En la actualidad se puede evidenciar que la producción de oxígeno en las ciudades no solo es esencial para la salud humana, sino que también desempeña un papel crucial en la creación de entornos urbanos sostenibles y saludables. La promoción de espacios verdes y la conservación de los árboles en entornos urbanos son estrategias clave para garantizar la producción continua de oxígeno y mejorar la calidad de vida en las ciudades.

Hábitat y refugio

Las especies que tienen mayor potencial para el servicio ecosistémico de hábitat y refugio fueron en la zona norte *Ocotea* sp., *Ficus benjamina* (ficus) y *Myrcianthes rhopaloides* (arrayán negro) debido a que son especies perennifolias con follaje denso. Mientras que en el centro de la ciudad *Ficus benjamina* (ficus) y *Callistemon lanceolatus* (cepillo chino), y en la zona sur todas las especies presentaron una homogeneidad para brindar hábitat y refugios, por ejemplo a la avifauna datos que se relacionan con lo acotado por Hernández-Castán et al., (2022) en su estudio en la Laguna de San Baltazar de la ciudad de Puebla México donde las especies *Terminalia catappa*, *Callistemon lanceolatus* y *Acacia dealbata* tienen potencial para brindar hábitat y refugio de avifauna, ya que presentan mayor densidad de copa y perennidad el follaje. Zuñiga et al., (2021) afirma que diversidad juega un papel determinante en la provisión de hábitat para aves y mamíferos que residen en las ciudades y favorecen la conservación de la diversidad biológica, al proveer a la fauna local de hábitat y alimento (Chace y Walsh, 2006; Carbó-Ramírez y Zuria, 2011). Esto indica que el servicio ecosistémico de hábitat y refugio que nos ofrece el arbolado urbano es esencial para: i) mantener la biodiversidad, ya que proporcionan un lugar seguro para anidar y protegerse de los depredadores; ii) control de plagas porque algunas aves desempeñan un papel importante en el control de poblaciones de insectos y roedores, y iii) proporcionan beneficios para la salud mental porque ayudan a reducir el estrés.

El árbol en las ciudades desarrolla funciones ornamentales, paisajísticas y experienciales, constituyendo la expresión de necesidad psicológica de la naturaleza. Aporta equilibrio ecológico, ejerciendo funciones reguladoras y depuradoras de carácter ambiental, abrigo y protección a la fauna y flora, garantizando una mejora de la calidad de vida de los ciudadanos. El árbol forma parte de su patrimonio histórico, artístico e ingrediente inseparable de la puesta en valor y comprensión, configurando el derecho social al paisaje (Villota, 2015).

Recreación

Los parques urbanos brindan servicios ecosistémicos cruciales a los habitantes de las ciudades, incluidos servicios culturales y de regulación. En particular, los servicios ecosistémicos que aportan los parques urbanos pueden medirse a escala local permitiendo ver la perspectiva de los habitantes en relación con indicadores de recreación (Breuste et al., 2013).

Los habitantes de la ciudad de Loja encuestados indican que los parques les generan una sensación de bienestar y salud, por la diversidad de especies con características agradables a la vista de los habitantes como: copa frondosa, floración llamativa; las especies que se destacan son *Salix humboldtiana*, *Fraxinus chinensis* y *Jacaranda mimosifolia*. En un estudio realizado por Chicaiza y Rodríguez (2020) en el parque ecológico “La Perla” situado en la ciudad de Lago Agrio manifestó que las especies *Guarea kunthiana*, *Miconia* sp. y *Nectandra guadaripo* son las más abundantes dada por la preferencia que tienen los habitantes ya que les genera tranquilidad y paz.

Los parques urbanos proporcionan belleza paisajística, es-

pacios para la recreación, brindan oportunidad de contacto con la naturaleza; además aportan servicios ambientales que mitigan la contaminación del aire y reducen el ruido (Dobbs et al., 2011; Escobedo et al., 2011; Zhang y Jim, 2014).

Estudios realizados en diferentes ciudades han demostrado que el arbolado urbano presente en parques ofrece oportunidades recreativas, alivio del estrés y mejora del bienestar mental (Gómez y Ballinas, 2022); Madeira y Pivoto, 2023). Las investigaciones indican que los visitantes reconocen que parques que presentan árboles brindan un servicio ecosistémico, en particular de recreación para el ocio familiar, la contemplación de la naturaleza y las actividades físicas (Madeira y Pivoto, 2023).

El arbolado urbano presente en parques en la ciudad de Loja desempeña un papel crucial en la generación de recreación en áreas verdes, no solo mejora la calidad visual y estética, sino que también contribuye a la salud física y mental de quienes disfrutan de estos espacios de recreación. La planificación y conservación adecuadas de áreas verdes con árboles son esenciales para maximizar estos beneficios recreativos.

Calidad del aire

La calidad del aire de la ciudad de Loja se encuentra en una situación deficiente con base en la relación de almacenamiento de CO₂ y producción de O₂, ya que el arbolado urbano solo absorbe el 3,95 % de las emisiones de CO₂ que genera la población. De acuerdo con un estudio realizado por Guallpa (2023) menciona que la absorción de carbono por parte de los espacios verdes, como parques o áreas con vegetación, solo cubre el 0,5 % de las emisiones de CO₂ producidas por la población. La principal causa para que esto suceda es el crecimiento indiscriminado del parque automotor, especialmente de vehículos particulares. El aumento en el número de vehículos, especialmente aquellos que utilizan combustibles fósiles, puede contribuir significativamente a la emisión de contaminantes atmosféricos que afectan la calidad del aire. Por tal motivo, la presencia de árboles en las ciudades desempeña un papel esencial en la mejora y mantenimiento de la calidad del aire, contribuyendo a la salud de los ecosistemas urbanos. Esto se realiza mediante diversos factores como: la fotosíntesis y producción de oxígeno, absorción de contaminantes, reducción de temperaturas, bienestar y salud mental, etc.

Los árboles urbanos desempeñan un papel importante en la mejora de la calidad del aire en las ciudades. Estudios realizados en Santiago de Chile, Madrid, España y Ciudad Juárez, México han demostrado que la vegetación urbana puede ayudar a reducir los contaminantes atmosféricos, en particular las partículas en suspensión y el ozono (O₃) (Criollo et al., 2016; Guerrero, 2014). Sin embargo, la calidad del aire varía según la especie de árbol y las condiciones ambientales. En Madrid, ciertas especies frondosas mostraron síntomas de estrés por ozono, especialmente en áreas irrigadas (Guerrero, 2014). La distribución y composición de los bosques urbanos también afectan su capacidad de purificación del aire, como se demostró en Fuenlabrada, España (Lozano, 2004). Si bien los árboles urbanos generalmente contribuyen positivamente a la calidad del aire, algunas especies pueden aumentar la formación de ozono a través de emisiones de compuestos orgánicos volátiles biogénicos (Criollo et al., 2016). Por lo

tanto, la selección y gestión cuidadosas de las especies de árboles urbanos son cruciales para maximizar los beneficios de la calidad del aire en las ciudades.

CONCLUSIONES

El arbolado urbano de la ciudad de Loja se caracteriza por una notable diversidad de especies, entre las que destacan *Salix humboldtiana*, *Schinus molle* y *Jacaranda mimosifolia* por su alta abundancia y significativa provisión de servicios ecosistémicos. Los parques urbanos representan espacios clave para el servicio de recreación, donde especies como *Salix humboldtiana*, *Fraxinus chinensis* y *Jacaranda mimosifolia*, con sus copas frondosas y gran altura, generan una sensación de bienestar en la población. Asimismo, *Ficus benjamina*, *Myrcianthes rhopaloides* y *Callistemon lanceolatus* presentan un alto potencial para la provisión de hábitat en parques y avenidas. No obstante, uno de los principales desafíos identificados es la calidad del aire, ya que solo el 3,95 % de las emisiones de CO₂ es absorbido por el arbolado, lo que indica un déficit en este servicio de regulación. A pesar de ello, el arbolado urbano contribuye significativamente a la mitigación del cambio climático mediante el almacenamiento de 10 752,20 Mg de carbono y una producción media de 5,6 Mg de O₂ por árbol, siendo *Salix humboldtiana* y *Schinus molle* las especies con mayor aporte en la captura de carbono y generación de oxígeno.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional de Loja por el financiamiento para el desarrollo del proyecto 17-DI-FARNR-2021, al personal técnico del Laboratorio de Dendrocronología de Maderas Tropicales, y a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Forestal por el soporte en la aplicación de las encuestas de la percepción de los servicios ecosistémicos. A la ciudadanía de Loja por la participación en las encuestas de la presente investigación.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: DL y DP; metodología: DL y MFM; análisis formal: DL; investigación: DL, DP, NJ, PF, MFM; curación de datos: DL y DP; redacción — preparación del borrador original: DL, NJ, PF; redacción — revisión y edición: DL, NH, PF; visualización: DL, NJ, PF; supervisión: DL, NJ, PF. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito. Deicy Lozano: DL. María Fernanda Macas: MFM. Nohemi Jumbo: NJ. Paulina Fernández: PF. Darwin Pucha: DP.

FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue financiado por la Universidad Nacional de Loja, bajo resolución 17-DI-FARNR-2021 del proyecto de investigación: “Dinámica de crecimiento y servicios ecosistémicos del arbolado urbano de la ciudad de Loja”

REFERENCIAS

- Alanis, E., Mora, A., Molina, M., Gárate, H., & Sigala, J. (2022). Urban tree characterization in the downtown area of Hualahuises, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(73).
- Aranguren, S., & Gámez, A. (2010). Estructura, composición y diversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. *Biology, Environmental Science, Agricultural and Food Sciences*.
- Arévalo, W., & Alcántara, (2021). Cobertura arbórea y captura de dióxido de carbono en los parques urbanos. *Revista Institutos de Investigación Mineras y Metalúrgicas*.
- Avendaño-Leadem, D. F., Cedeño-Montoya, B. C., & Arroyo-Zeledón, M. S. (2020). Integrando el concepto de servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial. *Revista Geográfica de América Central*, (65), 63-90.
- Baró, F., Chaparro, L., Gómez-Baggethun, E., Langemeyer, J., Nowak, D. J., & Terradas, J. (2014). Contribution of ecosystem services to air quality and climate change mitigation policies: The case of urban forests in Barcelona, Spain. *AMBIO*, 43(4), 466–479. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0507-x>
- Borelli, S., Conigliaro, M., & Pineda, F. (2018). Los bosques urbanos en el contexto global. *Unasylva*, 69(1), 3-10.
- Cabezas, L. (2021). Diseño de ordenanza municipal para el control y protección del arbolado urbano y áreas verdes en el cantón Riobamba, como estrategia de mitigación al cambio climático y desarrollo sostenible [Tesis de maestría, Universidad Internacional SEK].
- CAF (Corporación Andina de Fomento). (2018). Bosques urbanos y espacios verdes: Recursos arbóreos para ciudades sostenibles y resilientes. CAF. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1324>
- Calaza, P., Carriñanos, F., Escobedo, F., Schwab, J., & Tovar, G. (2018). Crear paisajes urbanos e infraestructura verde. *Unasylva*, 69(1), 11-21.
- Carbó-Ramírez, P., & Zuria, I. (2011). The value of small urban greenspaces for birds in a Mexican city. *Landscape and Urban Planning*, 100(3), 213-222.
- Chacón, C., & Méndez, M. (2023). Evaluación de diversidad, captura de carbono y material particulado de las especies forestales ornamentales en la zona urbana de Gualaceo. [Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad de Cuenca, Azuay, Ecuador].
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M.S., Delitti, W.B.C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P.M., Goodman, R.C., Henry, M., Martínez-Yrizar, A., Mugasha, W.A., Muller-Landau, H.C., Mencuccini, M., Nelson, B.W., Ngomanda, A., Nogueira, E.M., Ortiz-Malavassi, E., Péliissier, R., Ploton, P., Ryan, C.M., Saldarriaga, J.G., y Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20, 3177-3190. <https://doi.org/10.1111/gcb.12629>
- Chicaiza, K., & Rodríguez, F. (2020). Valoración económica de los servicios ambientales del parque ecológico recreacional la Perla. *GEOESPACIAL*, 17(1), 39-58.
- Costanza, R., De Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S., & Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28, 1-16.
- Cornejo Diego & Zorrilla María. (2013). Análisis de vulnerabilidad del cantón Loja. 1(2), 1–130.
- Corporación Andina de Fomento. (2018). Bosques urbanos y espacios verdes: Recursos arbóreos para ciudades sostenibles y resilientes. CAF. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1324>
- Criollo, C., Assar, C., Cáceres, L., y Préndez, B. (2016). Arbolado urbano, calidad del aire y afecciones respiratorias en seis comunas de la provincia de Santiago, Chile. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, 32(2), 77-86.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- De Groot, R., Wilson, M. & Boumans, R. (2002). Typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41, 393-408.
- Dobbs, A., Eleuterio, A., Montoya, J., & Kendal, D. (2018). Beneficios de la silvicultura urbana y periurbana. *Unasylva*, 69(1), 22-29.
- Dobbs, C., Escobedo, F. J., & Zipperer, W. C. (2011). A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landscape and Urban Planning*, 99(3-4), 196-206.
- Elizondo, C., Elizondo, N., Rodríguez, E., Pequeño, M., & Mora, A. (2018). Estructura, composición y diversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(48).
- Escobedo, F. J., Kroeger, T., & Wagner, J. E. (2011). Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental Pollution*, 159(8-9), 2078-2087.
- FAO. (2016). Impactos de los choques climáticos en el bienestar: evidencia de Uganda. Roma.
- Farinango, J. (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].
- Gaytán, R., Nava, A., Pérez, J., & Reza, P. (2018). Árboles consumidores del CO2 y productores de O2: Beneficio para todos. *Tesis de pregrado, Laureate International Universities*.
- Gómez, M., & Ballinas, M. (2022). Percepción de servicios ecosistémicos de parques urbanos en Tuxtla Gutiérrez. *Espacio I + D, Innovación más Desarrollo*, 11(30).
- Gualpa, L. (2023). Análisis del almacenamiento de carbono en los espacios verdes del área urbana del cantón La Troncal [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador].
- Guerrero, C. (2014). Urban trees and atmospheric pollutants in big cities: Effects in Madrid. *Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid*.
- Hernández, J., Cuesta, E., Ortiz, B., & Rosano, E. (2023). Servicios ecosistémicos del arbolado urbano en la Laguna de San Baltazar, Puebla, mediante el uso del software i-Tree. *Revista Ciencia Ergo-Sum*, 30(2).
- Hernández Santoyo, A., Casas Vilardell, M., León Sánchez, M. A., Caballero, R., y Pérez León, V. E. (2013). La

ciencia económica y el medio Ambiente: un aporte desde la valoración económica ambiental. *Revista Paranaense de Desenvolvimento*, 3(125), 25–38.

López Huertas, M. (2019). Evaluación de los servicios ecosistémicos en la ciudad no planificada: El caso de Quetzaltenango. *REVISTARQUIS*, 9, 129–145.

Lozano, J. (2004). Distribución del arbolado urbano en la ciudad de Fuenlabrada y su contribución a la calidad del aire. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 36(140), 419–427.

Madeira, R., & Pivoto, A. (2023). Parque urbano e serviços ecossistêmicos culturais: Um estudo sobre o parque natural municipal da Lajinha no Município de Juiz de Fora, Minas Gerais. *Revista Eletrônica*, 47.

Martínez-Trinidad, T., Hernández López, P., López-López, S. F., & Mohedano Caballero, L. (2021). Diversidad, estructura y servicios ecosistémicos del arbolado en cuatro parques de Texcoco mediante i-Tree Eco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(67).

Molares, S., & Ladio, A. (2011). The usefulness of edible and medicinal Fabaceae in Argentine and Chilean Patagonia: Environmental availability and other sources of supply. *INIBIOMA, Universidad Nacional del Comahue*.

Montes-Pulido, C. R., & Forero, V. F. (2021). Cultural ecosystem services and disservices in an urban park in Bogotá, Colombia. *Ambiente & Sociedad*, 24, e02945. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200294r1vu202114aoc>

Nowak, D. J., & Crane, D. E. (2002). Almacenamiento y almacenamiento de carbono por árboles urbanos en los EE. UU. *Ambiente Contaminación*, 119, 381–389.

Ordóñez, J. A., Rivera, R., Tapia, M. E., & Ahedo, L. R. (2015). Contenido y captura potencial de carbono en la biomasa forestal de San Pedro Jacuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(32), 7–16.

Pacha, M. J. (2014). Valoración de los servicios ecosistémicos como herramienta para la toma de decisiones: Bases conceptuales y lecciones aprendidas en la Amazonía. *Brasília, Brasil*.

Pompa-García, M., Vivar-Vivar, E. D., Rubio-Camacho, E. A., & Camarero, J. J. (2023). Rates of stemwood carbon accumulation are linked to hydroclimate variability in Mexican conifers. *Forests*, 14(7), 1381.

Pucha, D., Lozano, D., Jumbo, N., Fernández, P., Armijos, A., Macas, M. F., ... & Merino, B. (2023). Caracterización florística y estructura del arbolado urbano de la ciudad de Loja. *Bosques Latitud Cero*, 13(2), 1–22.

Ramírez, A., Gutiérrez, L., Rodríguez, C., & Sánchez, L. (2022). Ecosystem Services Assessment for Urban Nature-based Solutions Implemented in the Public Space: Case Study of Alhambra Square in Bogotá, Colombia. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 867034. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.867034>

Reyes, I., & Gutiérrez, J. (2010). Los servicios ambientales de la arborización urbana: retos y aportes para la sustentabilidad de la ciudad de Toluca. *Quivera*, 12(1).

Reynolds, C., Escobedo, F., Clerici, N., & Zea-Camaño, J. (2017). Does “Greening” of Neotropical Cities Considerably Mitigate Carbon Dioxide Emissions? The Case of Medellín, Colombia. *Sustainability*, 9(5), 1–16.

Salisbury, F., & Ross, C. (1978). *Plant physiology*. Wadsworth Pub. Co.

Sánchez, I., Flores, Y., & León, J. (2021). Captura de carbono en plantación forestal de laurel y sistema agroforestal laurel – café en la Provincia de San Ignacio. *Revista Científica Pakamuros*, 9(4), 160–173.

Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K., & Williams, J. (1998). *Manejo de las áreas verdes urbanas*.

The Global Economy. (2025). Ecuador: Percent urban population. En The Global Economy. Datos del año 2023. https://es.theglobaleconomy.com/Ecuador/Percent_urban_population/

Tovar, G. (2006). Manejo del arbolado urbano en Bogotá. *Colombia Forestal*, 9(19), 187–205.

Vargas-Gómez, O., & Molina-Prieto, L. F. (2014). Arboalizaciones urbanas: Estrategia para mitigar el calentamiento global. *Revista Nodo*, 8(16), 99–108.

Vásquez, A. (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: El caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 63, 63–86.

Villota, M. 2015. El árbol en la ciudad como elemento de identidad urbana. Campaña para poner el arbolado urbano en valor de Victoria Gasteiz. [en línea] Disponible en: <http://www.vitoriagasteiz.org/wb021/contenidosEstaticos/adjuntos/eu/10/46/61046.pdf>

Wolf, K. (2017). Social aspects of urban forestry and metro nature. In F. Ferrini, C. Konijnendijk van den Bosch, & A. Fini (Eds.), *Routledge handbook of urban forestry* (pp. 198–207). Routledge.

Zanne, A., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S., Miller, R., Swenson, N., Wiemann, M., & Chave, J. (2012). GlobalWoodDensityDatabase.

Zhang, H., & Jim, C. Y. (2014). Contributions of landscape trees in public housing estates to urban biodiversity in Hong Kong. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(2), 272–284. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.12.009>

Zuñiga, A. V., Farnum, F., & Murillo, V. (2021). Comparación del estrato arbóreo en fragmentos de bosques urbanos de Margarita, Espinar y Davis, Provincia de Colón, República de Panamá. *Scientia*, 31(1), 17–37.