



DOI: 10.29298/rmcf.v16i89.1550

Artículo de Investigación

## **Valoración económica de los servicios ecosistémicos de dos espacios abiertos de la ciudad de Pampas, Huancavelica, Perú**

### **Economic valuation of ecosystem services in two open spaces in *Pampas city, Huancavelica, Peru***

Jairo Edson Gutiérrez-Collao<sup>1\*</sup>, Frank Alex Chahuaylacc De La Cruz<sup>1</sup>, Lizeth Nayely Juñuruco Pituy<sup>1</sup>, Nataly Lujan Huamani<sup>1</sup>, Elvia Luzmila Torres Flores<sup>1</sup>, Yhimy Yhon Huayllani Agui<sup>2</sup>, Christian Edinson Murga-Tirado<sup>3</sup>, Ronald Julian Chihuan Quispe<sup>4</sup>

Fecha de recepción/Reception date: 8 de enero de 2025.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 4 de abril de 2025.

<sup>1</sup>Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo. Perú.

<sup>2</sup>Escuela de Formación Profesional de Agronomía, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Perú.

<sup>3</sup>Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Continental. Perú.

<sup>4</sup>Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo. Perú.

\*Autor para correspondencia; correo-e: jairo.gutierrez@unat.edu.pe

\*Corresponding author; e-mail: jairo.gutierrez@unat.edu.pe

#### **Resumen**

La vegetación urbana cumple un rol esencial en las ciudades por los servicios ecosistémicos que otorga y por contribuir en la mitigación del cambio climático. En ese sentido, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la vegetación urbana de dos espacios abiertos de la ciudad de Pampas, localizada en la región de Huancavelica, Perú, con el propósito de conocer los servicios ecosistémicos y determinar su valoración económica. Se aplicó un inventario forestal al 100 % en cada espacio abierto; posteriormente se realizó el procesamiento de los datos mediante el uso del *software i-Tree® Canopy*. Se identificaron 227 individuos de nueve familias y nueve especies en los dos espacios abiertos, 920 individuos ha<sup>-1</sup>, 22.69 Mg de carbono almacenado con un secuestro de carbono de 0.90 Mg año<sup>-1</sup>. La escorrentía total evitada fue 9.77 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>. Se calculó una cobertura arbórea de 8 966.94 m<sup>2</sup>, que se refleja en 1.14 m<sup>2</sup> de factor de área verde por habitante. Se concluye que la ciudad de Pampas se ubica por debajo del umbral sugerido por la ONU (9 m<sup>2</sup> de área verde por habitante). Asimismo, se evidencia que es importante analizar y dar mantenimiento a las áreas verdes para garantizar una mejor calidad de vida.

**Palabras clave:** Ciudad verde, contaminantes del aire, escorrentía evitada, secuestro de carbono, valor económico, vegetación urbana.

**Abstract**

Urban vegetation is essential for cities due to its ecosystem services and for contributing to climate change mitigation. In this sense, the objective of this research was to evaluate the urban vegetation of two open spaces in the city of *Pampas*, located in the region of *Huancavelica*, Peru, and to determine the ecosystem services and their economic value. A 100 % forest inventory was carried out in each open space; the data were then processed using the i-Tree® Canopy software. 227 individuals from nine families and nine species in the two open spaces were identified, 920 individuals ha<sup>-1</sup>, and 22.69 Mg of carbon stored, with a carbon sequestration of 0.90 Mg yr<sup>-1</sup>. The total avoided runoff was 9.77 m<sup>3</sup> yr<sup>-1</sup>. A tree cover of 8 966.94 m<sup>2</sup> was calculated, which is reflected in a green area factor of 1.14 m<sup>2</sup> per inhabitant. The authors conclude that *Pampas* city is below the threshold suggested by the UN (9 m<sup>2</sup> of green area per inhabitant). Furthermore, it is important to analyze and maintain the green areas in order to guarantee a better life quality.

**Key words:** Green city, air pollutants, avoided runoff, carbon sequestration, economic value, urban vegetation.

## Introducción

La urbanización y las densidades altas de población imponen limitaciones que resultan en la pérdida de los servicios ecosistémicos (Sousa et al., 2025), los cuales son beneficios proporcionados por la naturaleza para el bienestar de los seres humanos (agua, aire limpio, recreación y alimentos), y que contribuyen al valor económico (Nulkar, 2024) y a la calidad de vida (Avendaño-Leadem et al., 2020), convirtiéndose en una base esencial para tomar decisiones en relación al desarrollo sostenible (Chen et al., 2024; Kirby et al., 2025); que incluye procesos físicos, químicos y biológicos, además de mejorar la productividad y la sostenibilidad (González-Hernández et al., 2023; Pardo et al., 2022).

La valoración de los servicios ecosistémicos considera dificultades y problemas actuales urgentes como la contaminación, el cambio climático, la gestión participativa y la gestión de los ecosistemas (Zandebasiri et al., 2023). Los valores de los servicios ecosistémicos se clasifican en valores de uso directo, de uso indirecto y de no uso

(Shahimoridi *et al.*, 2024). Al respecto, la vegetación urbana participa y proporciona beneficios directos e indirectos (Pérez *et al.*, 2024; Riondato *et al.*, 2020).

La valoración económica de los servicios ecosistémicos es fundamental en un contexto marcado por el rápido deterioro ambiental asociado al avance del desarrollo económico (Arango *et al.*, 2023), por lo que es importante para optimizar su gestión, garantizar su uso eficiente y fomentar su conservación (García-Ventura *et al.*, 2020).

El valor intrínseco de la vegetación dificulta la determinación de los servicios ecosistémicos que ofrece la infraestructura verde; por tal razón, *i-Tree Eco* es un soporte de acceso abierto que desarrolló el Servicio Forestal de los Estados Unidos de América para analizar áreas boscosas urbanas, a través de variables específicas (composición de especies, área foliar y la salud), la relación y el impacto del desarrollo ecológico, la sociedad y la economía (Lin *et al.*, 2020; Martínez-Trinidad *et al.*, 2021; Riondato *et al.*, 2020).

La valoración económica de los servicios ecosistémicos de los espacios abiertos de la ciudad de Pampas se justifica por la necesidad de reconocer y cuantificar los beneficios que estos espacios verdes aportan a la población. A pesar de la creciente urbanización, los espacios abiertos desempeñan un papel crucial en la sostenibilidad ambiental, el bienestar social y el desarrollo económico de la ciudad. Por tal motivo, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la vegetación urbana de dos espacios abiertos de la ciudad de Pampas, ubicada en la región de Huancavelica, Perú, con el propósito de conocer los servicios ecosistémicos y determinar su valoración económica.

## **Materiales y Métodos**

### **Área de estudio**

El área de estudio se encuentra entre las coordenadas geográficas (WGS 84 zona 18 sur) del centro del distrito de  $12^{\circ}23'56''$  S y  $74^{\circ}52'00''$  O, a 3 372 m de altitud; clima moderado lluvioso y templado, con un invierno seco templado en el día y gélido en la noche, cuya temperatura varía entre 12 y 14 °C, descendiendo hasta -2 °C (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi], 2022) (Figura 1). La investigación se efectuó en dos espacios abiertos urbanos (Parque Ecológico y Plaza Principal) de la ciudad de Pampas, provincia Tayacaja, región Huancavelica, sierra del Perú (Figura 2). El Parque Ecológico tiene 1 500 m<sup>2</sup> de área y la Plaza Principal 965 m<sup>2</sup>.

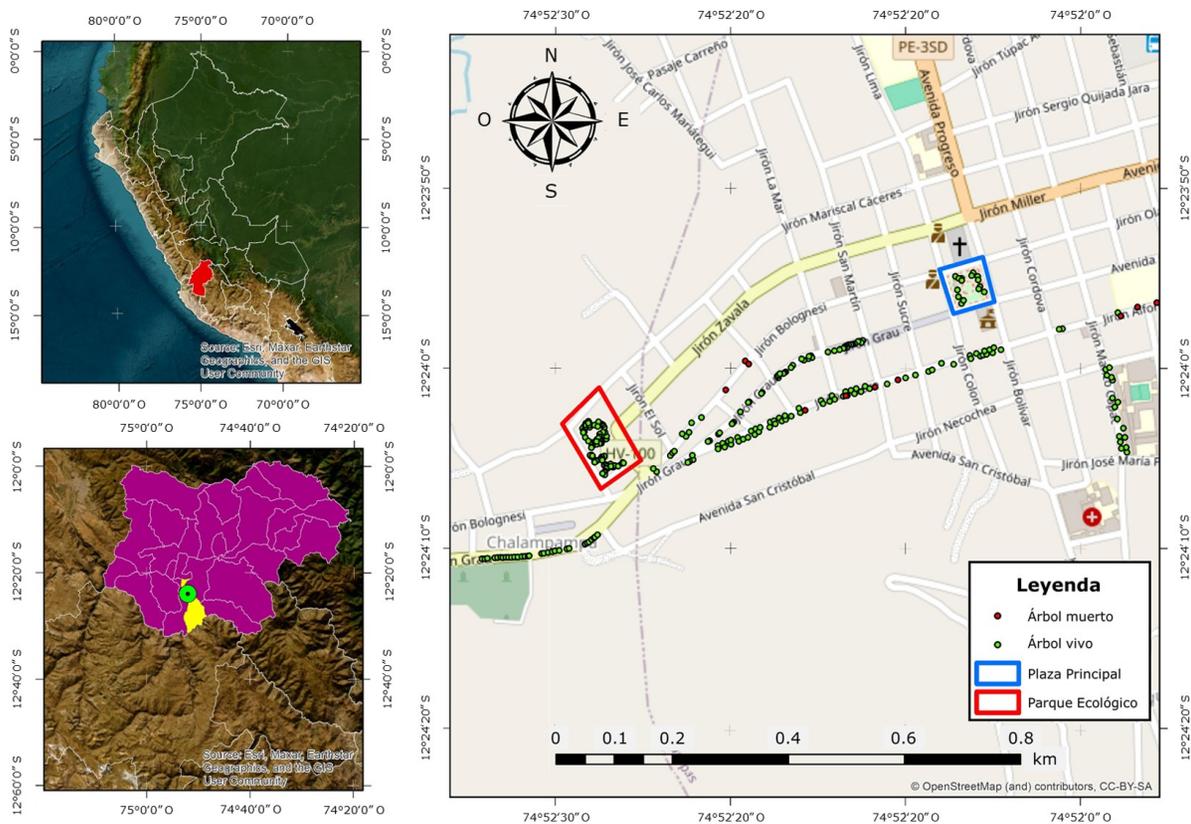


Figura 1. Área de estudio.



A = Plaza Principal; B = Parque Ecológico.

**Figura 2.** Espacios abiertos.

## **Inventario**

Desde agosto de 2024 a diciembre de 2024 se efectuó el inventario al 100 % de la vegetación urbana mediante el uso de la metodología *Visual Tree Assessment* propuesta por la *International Society of Arboriculture* (Calaza & Iglesias, 2016). Asimismo, los datos, como el estado de salud de las copas de los árboles, arbustos y palmeras se registraron siguiendo el manual de soporte *i-Tree* (i-Tree, 2021); se consideraron los siguientes datos: el distrito, la especie por árbol, arbusto o palmera en cada espacio abierto y su número de identificador. La estimación de altura total, del fuste y copa de los árboles, arbustos y palmeras, se obtuvo con un clinómetro *Suunto*<sup>®</sup> modelo PM-5/360PC. El diámetro normal de los árboles y arbustos se midió con una cinta diamétrica *Forestry Suppliers Inc.*<sup>®</sup> modelo 283D/5m, mientras que el diámetro de copa ( $k$ ) con una cinta métrica de 50 m de fibra de vidrio *Truper*<sup>®</sup> modelo TP50ME. Para corroborar la correcta nomenclatura de las especies se empleó la plataforma *Tropicos*<sup>®</sup> (Missouri Botanical Garden, 2022). El material botánico se

identificó con claves dendrológicas (Alanís-Rodríguez et al., 2022) y fue depositado en el Herbario de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

## **Concentración poblacional**

Se relacionó la cantidad de personas que habitan en el distrito de Pampas (7 839 habitantes) y el área urbana que ocupan (74.6 km<sup>2</sup>) para obtener la concentración poblacional por kilómetro cuadrado dentro de las zonas urbanas (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2025).

## **Factor de área verde por habitante**

Se determinó la relación entre el área (km<sup>2</sup>) de la vegetación arbórea urbana de los espacios abiertos evaluados y el área de la ciudad de Pampas (km<sup>2</sup>) para registrar el factor de área verde por habitante (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015).

## **Análisis de los datos recopilados**

Se utilizó el soporte *i-Tree*<sup>®</sup> *Canopy* (i-Tree, 2021), procesándose posteriormente en un proyecto por cada espacio abierto para realizar un inventario y análisis de la cobertura de vegetación urbana, a través del uso de imágenes satelitales o fotos aéreas, y combinar datos estadísticos para estimar la cobertura de árboles. Asimismo,

se empleó información del Senamhi (2022) para los datos climáticos. Se consideró la vegetación urbana con alturas mayores a 2 m y diámetros superiores a 3 cm a 1.30 m de altura desde el suelo. Previo al análisis en el soporte *i-Tree*<sup>®</sup> *Canopy* se excluyeron los árboles, arbustos y palmeras cuya altura de fuste (solo tronco) superara a la altura de copa, debido a que el soporte *i-Tree*<sup>®</sup> *Canopy* no reconoce dicha vegetación.

En *i-Tree*<sup>®</sup> *Canopy* se eligieron los servicios ecosistémicos: contenido de carbono y escorrentía evitada. Adicionalmente, se identificaron las clases de coberturas para los árboles, arbustos, herbáceas (incluye césped y hierbas), superficies impermeables (áreas donde el agua no puede infiltrarse como caminos, edificios, etc.), suelo desnudo (áreas sin cobertura vegetal como terrenos no cultivados o no urbanizados, expuestos al aire libre), y agua (áreas cubiertas por agua como ríos, lagos, o estanques).

De acuerdo con el soporte *i-Tree*<sup>®</sup> *Canopy* (i-Tree, 2021), las estimaciones de secuestro de carbono anual están en función a 0.306 kg de carbono o 1.122 kg de CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>; mientras que la cantidad de carbono almacenado es de 7.685 kg de carbono, o 28.178 kg de CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>. El valor económico se expresa en dólares, a razón de US \$0.19 kg<sup>-1</sup> de C o US \$0.05 kg<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> (i-Tree, 2021). La escorrentía evitada a través de las estimaciones hidrológicas está en función a valores de kL m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>, y el valor económico de acuerdo con el soporte *i-Tree*<sup>®</sup> está expresado en dólares como US \$kL<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Para las clases de cobertura en la contaminación se consideran valores de g m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>, y el valor económico de acuerdo con el soporte *i-Tree*<sup>®</sup> se expresa en US \$g<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (monóxido de carbono varía de US \$0 a \$0.107, el dióxido de nitrógeno de US \$0 a \$0.423, el ozono de US \$0 a \$5.094, el dióxido de azufre de US \$0 y \$0.912, las PM2.5 de US \$0.03 y \$0.266, y el PM10 de US \$0.01 y \$2.043).

## Resultados

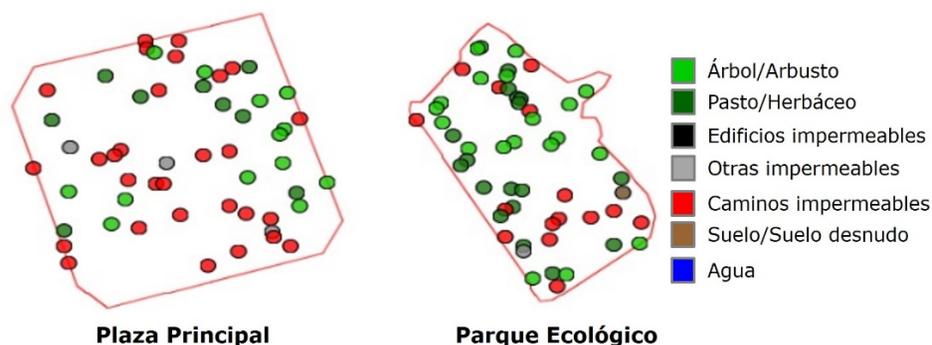
En el Parque Ecológico y Plaza Principal se censaron 229 individuos de vegetación urbana; no obstante, después de excluir aquellos que no eran procesables por el soporte *i-Tree*<sup>®</sup> *Canopy* (2 árboles), se analizaron únicamente 227 individuos de vegetación urbana. Se registraron ocho familias, nueve géneros y nueve especies, de las cuales, a *Prunus lusitanica* L. correspondió 0.44 % del total de individuos inventariados, lo que significa que no hay equidad en la abundancia (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Composición florística en los dos espacios abiertos inventariados en la ciudad de Pampas, Huancavelica, Perú.

Especie	Nombre común	Origen	Abundancia	%
<i>Araucaria columnaris</i> (J. R. Forst.) Hook.	Pino de Nuevo Caledonia	Nueva Caledonia	8	3.5
<i>Fraxinus americana</i> L.	Fresno	EE. UU. y Canadá	30	13.2
<i>Genipa americana</i> L.	Jagua	América	7	3.1
<i>Ligustrum lucidum</i> W. T. Aiton	Aligustre	China, Corea y Japón	120	52.9
<i>Phoenix canariensis</i> Wildpret	Palmera canaria	Islas Canarias	9	4.0
<i>Populus nigra</i> L.	Álamo negro	Península Ibérica	24	10.6
<i>Prunus lusitanica</i> L.	Laurel de jardín	Portugal y España	1	0.4
<i>Sambucus nigra</i> L.	Sauco negro	Alemania	22	9.7
<i>Schinus molle</i> L.	Molle	Perú	6	2.6

Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación.

En la Figura 3 se muestra la distribución de las clases de coberturas en los dos espacios abiertos evaluados.



**Figura 3.** Cobertura arbórea en los dos espacios abiertos evaluados.

En el Cuadro 2 se observa que el Parque Ecológico tuvo mayor área (1 500 m<sup>2</sup>), con los valores más altos para la densidad de vegetación (1 380 individuos ha<sup>-1</sup>), cobertura arbórea (6 127.15±1 390.29 m<sup>2</sup>), cantidad de carbono almacenado (17 439.24±3 094.25 kg, equivalente a 17.44±3.09 t), secuestro de carbono (694.41±123.21 kg año<sup>-1</sup>, equivalente a 0.694±0.123 t año<sup>-1</sup>) y escorrentía evitada (7.51 kL año<sup>-1</sup>, equivalente a 7.51 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>). Al contrario, la Plaza Principal, cuyos registros fueron: área de 965 m<sup>2</sup>, 207 individuos ha<sup>-1</sup>, cobertura arbórea de 2 839.8±606.8 m<sup>2</sup>, carbono almacenado igual a 5 253.7±1 269.7 kg (equivalente a 5.25±1.27 t), secuestro de carbono de 209.2±50.6 kg año<sup>-1</sup> (equivalente a 0.209±0.051 t año<sup>-1</sup>) y una escorrentía evitada de 2.32 kL año<sup>-1</sup> (equivalente a 2.32 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>).

**Cuadro 2.** Variables evaluadas en los dos espacios abiertos de la ciudad de Pampas, Huancavelica, Perú.

Lugar	Área (m <sup>2</sup> )	Densidad (árboles ha <sup>-1</sup> )	Cantidad de individuos	Cobertura arbórea (m <sup>2</sup> )	Carbono almacenado (kg)	Secuestro de carbono (kg año <sup>-1</sup> )	Escorrentía evitada (kL año <sup>-1</sup> )
Plaza Principal	965	207.3	20	2 839.8 ±606.8	5 253.7 ±1 269.7	209.2 ±50.6	2.3 ±0.6
Parque Ecológico	1 500	1 380.0	207	6 127.2 ±1 390.3	17 439.2 ±3 094.3	694.4 ±123.2	7.5 ±1.3
Total	2 465	920.9	227	8 966.9 ±1 997.1	22 692.9 ±4 363.9	903.6 ±173.8	9.8 ±1.9

Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación.

En el Cuadro 3 se muestra que el Parque Ecológico registró mayores valores en cantidad de CO removido ( $242.67 \pm 43.06 \text{ g año}^{-1}$ ),  $\text{NO}_2$  removido ( $959.15 \pm 170.18 \text{ g año}^{-1}$ ),  $\text{O}_3$  removido ( $11\ 560.73 \pm 2\ 051.22 \text{ g año}^{-1}$ ),  $\text{SO}_2$  removido ( $2\ 069.47 \pm 367.19 \text{ g año}^{-1}$ ), cantidad de partículas removidas  $\text{PM}_{2.5}$  ( $603.59 \pm 107.09 \text{ g año}^{-1}$ ) y de partículas  $\text{PM}_{10}$  removidas ( $4\ 653.66 \pm 822.51 \text{ g año}^{-1}$ ). Al contrario, la Plaza Principal tuvo valores menores en cantidad de CO removido ( $73.1 \pm 17.7 \text{ g año}^{-1}$ ),  $\text{NO}_2$  removido ( $288.9 \pm 69.8 \text{ g año}^{-1}$ ),  $\text{O}_3$  removido ( $3\ 482.8 \pm 841.7 \text{ g año}^{-1}$ ),  $\text{SO}_2$  removido ( $623.5 \pm 150.7 \text{ g año}^{-1}$ ), partículas  $\text{PM}_{2.5}$  removidas ( $181.8 \pm 43.9 \text{ g año}^{-1}$ ) y de partículas  $\text{PM}_{10}$  removidas ( $1\ 396.5 \pm 337.5 \text{ g año}^{-1}$ ).

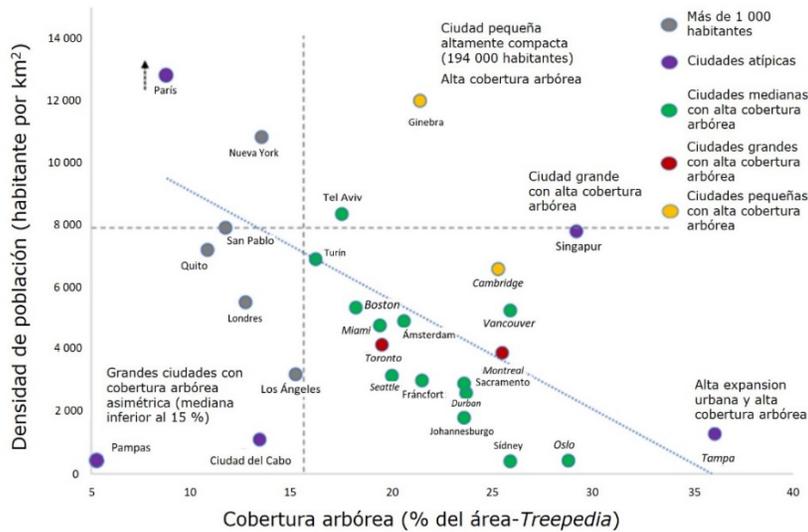
**Cuadro 3.** Contaminantes del aire removidos en los dos espacios abiertos de la ciudad de Pampas, Huancavelica-Perú.

Lugar	Monóxido de carbono (CO) removido ( $\text{g año}^{-1}$ )	Dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) removido ( $\text{g año}^{-1}$ )	Ozono ( $\text{O}_3$ ) removido ( $\text{g año}^{-1}$ )	Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) removido ( $\text{g año}^{-1}$ )	Material particulado $\text{PM}_{2.5}$ removido ( $\text{g año}^{-1}$ )	Material particulado $\text{PM}_{10}$ removido ( $\text{g año}^{-1}$ )
Plaza Principal	$73.1 \pm 17.7$	$288.9 \pm 69.8$	$3\ 482.8 \pm 841.7$	$623.5 \pm 150.7$	$181.8 \pm 43.9$	$1\ 396.5 \pm 337.5$
Parque Ecológico	$242.7 \pm 43.1$	$959.2 \pm 170.2$	$11\ 560.7 \pm 2\ 051.2$	$2\ 069.5 \pm 367.2$	$603.6 \pm 107.1$	$4\ 653.7 \pm 822.5$
Total	$315.8 \pm 60.7$	$1\ 248.1 \pm 140.0$	$15\ 043.5 \pm 2\ 892.9$	$2\ 692.9 \pm 517.9$	$785.4 \pm 151.0$	$6\ 050.2 \pm 1\ 160.0$

Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación.

Con el valor total de la cobertura arbórea ( $0.00897 \text{ km}^2$ ) y el área que comprende la ciudad de Pampas ( $74.6 \text{ km}^2$ ), se calculó el factor de área verde por habitante, el cual fue de  $1.14 \text{ m}^2$ .

En la Figura 4 se muestra la relación de los datos de 27 ciudades a nivel mundial, de lo cual se concluyó que al disminuir la densidad de población se incrementa la cobertura arbórea.



Fuente: Modificado de Lüttge y Buckeridge (2023).

**Figura 4.** Relación entre la cobertura arbórea (%) y la densidad de población por km<sup>2</sup> en 27 ciudades.

Se calculó el valor económico de los servicios ecosistémicos que aporta la vegetación urbana anualmente en los espacios abiertos de Pampas. En cuanto al valor del carbono almacenado, el Parque Ecológico registró los mayores valores: económico con US \$3 279±582 kg<sup>-1</sup>, cantidad de individuos de vegetación, valor económico de secuestro de carbono con US \$131±23 kg<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, valor económico de escorrentía evitada con US \$18±3 kL<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, y valor económico de contaminantes removidos con US \$58 000±10 000 kg<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Cuadro 4).

**Cuadro 2.** Valor económico en dólares (US \$) que representan los servicios ecosistémicos que aportan los dos espacios abiertos evaluados.

Lugar	VECA (\$ kg <sup>-1</sup> )	VESC (\$ kg <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	VEEE (\$ kL <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	VECR (\$ kg <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
Plaza Principal	988±239	39±10	5±1	17 000±5 000
Parque Ecológico	3 279±582	131±23	18±3	58 000±10 000
Total	4 267±821	170±33	23±4	75 000±15 000

VECA = Valor económico de carbono almacenado; VESC = Valor económico de secuestro de carbono; VEEE = Valor económico de escorrentía evitada; VECR = Valor económico de contaminantes removidos.

## Discusión

La diversidad biológica y sus servicios ecosistémicos que aportan, en general, son esenciales para los seres humanos (Verones & Dorber, 2023), y una de las estrategias para conservar la diversidad biológica es la conservación *in situ*, que se enfoca en la protección de las especies en su hábitat natural (Singh, 2024). Sin embargo, uno de los problemas principales que la afecta es el empleo de especies exóticas (Badii et al., 2015). En Pampas, 77.8 % de las especies de vegetación urbana en los dos espacios abiertos evaluados son exóticas que requieren medidas para su gestión, por las consecuencias de su uso, como el daño a la salud pública (causada por plagas y enfermedades), al correcto funcionamiento ecosistémico y al desplazamiento de los taxa nativos (Rodríguez, 2001).

En ambos espacios se registraron 227 individuos de vegetación urbana, valor inferior a los 391 individuos que se citan en cuatro parques localizados en Texcoco, México (Martínez-Trinidad et al., 2021) y a los 1 325 individuos que se identificaron en cinco parques de la misma ciudad (Mancilla et al., 2024).

Los servicios ecosistémicos determinados en los espacios abiertos de la ciudad de Pampas difieren de los documentados en Estocolmo, Suecia: regulación del microclima, valores recreativos y culturales, filtración de aire, tratamiento de aguas residuales y drenaje de agua de lluvia (Bolund & Hunhammar, 1999).

Con respecto a la cantidad de carbono almacenado, los valores obtenidos (5.25 Mg en la Plaza Principal y 17.44 Mg en el Parque Ecológico) son inferiores a lo señalado para cinco parques en Texcoco, México (8.26 Mg, 29.21 Mg, 22.41 Mg, 22.65 Mg y 160.05 Mg) (Mancilla *et al.*, 2024). La diferencia radica en la cantidad de vegetación urbana inventariada.

Se obtuvo un valor económico anual de 75 millones de dólares para los contaminantes del aire removidos en los dos espacios abiertos bajo estudio, valor superior al intervalo de valor económico anual por la purificación del aire (US \$406 769.14-US \$579 620.14) consignado en parques públicos y plazas con jardines de Varsovia, Polonia; mientras que el valor económico de carbono almacenado (US \$4 267 000 t<sup>-1</sup>) fue inferior al intervalo citado de US \$24.1 millones a US \$31.3 millones en las áreas urbanas de Varsovia (Szkop, 2022).

El valor total del secuestro de carbono en los dos espacios abiertos fue de US \$170 000 t<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, el cual es superior al estimado en un bosque urbano de Brescia, Italia (US \$2 560.52) (Masiero *et al.*, 2022). Factores como extensión, tipo de vegetación y metodología empleada influyen en el cálculo del valor económico de los servicios ecosistémicos.

La ciudad de Pampas se ubica en un punto alejado de la tendencia, por lo que se define como ciudad atípica. Al considerar la cobertura arbórea del Parque Ecológico y la Plaza Principal, la comparación en cuanto al área del distrito fue de 0.012 % de cobertura arbórea, y la densidad de población de 105.1 habitantes km<sup>-2</sup>. Se registró un factor de área verde por habitante de 1.14 m<sup>2</sup>, lo que difiere significativamente con relación a los 9 m<sup>2</sup> por habitante, que corresponde al umbral mínimo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (ONU, 2015). En efecto, se

requieren 7.86 m<sup>2</sup> de cobertura arbórea por habitante para cumplir con dicho umbral; es decir, se necesitan 7.87 veces el área de cobertura arbórea actual calculada en los dos espacios abiertos de Pampas. No obstante, el factor de área verde de los espacios abiertos de Pampas es superior al 0.86 m<sup>2</sup> de factor que se documentó en los cinco parques de Texcoco, México (Mancilla et al., 2024).

Pampas tiene un gran potencial para desarrollarse como una ciudad verde (Lüttge & Buckeridge, 2023), debido a su baja densidad de población. La ciudad verde resulta un innovador enfoque que aborda los desafíos ambientales y fomenta el desarrollo urbanístico sostenible (Azizi & Kouddane, 2024). No obstante, si los responsables de tomar decisiones no muestran interés en crear o aperturar áreas verdes, la ciudad de Pampas seguirá denominada como ciudad atípica, con escasa área de cobertura arbórea. La reducción de los servicios ecosistémicos tiene un impacto negativo en la economía urbana (Olgun et al., 2024). Por el contrario, la presencia abundante de vegetación no solo mejora la imagen de la ciudad ante turistas y visitantes, sino que favorece positivamente la economía local. Esto resalta la importancia de generar actividades que promuevan la creación y el mantenimiento de áreas verdes (Figuroa & Díaz-Galiano, 2018), un recurso muy necesario en la ciudad de Pampas, cuya carencia contribuye a tener pérdidas económicas.

Las restricciones observadas en la investigación fueron la percepción local limitada, ya que no son conscientes del valor económico de los servicios ecosistémicos que brindan los espacios abiertos, lo que conlleva su subvaloración. Asimismo, las condiciones ambientales como las heladas y épocas de sequía, también afectan la calidad y cantidad de los servicios ecosistémicos.

## **Conclusiones**

En los dos espacios abiertos se observa una notable falta de equidad en la distribución de la abundancia de las especies, lo que podría sugerir la necesidad de diversificar la vegetación urbana con especies nativas para mejorar la cobertura vegetal, reducir las áreas impermeables y aumentar los servicios ecosistémicos en beneficio de la población.

El Parque Ecológico destaca frente a la Plaza Principal en términos de densidad y servicios ecosistémicos, debido a que exhibe mayor área y número de vegetación, más cobertura arbórea, almacenamiento y secuestro de carbono, así como mayor cantidad de escorrentía evitada, lo que permite que su contribución a la mejora de la calidad del aire sea superior. Sin embargo, a nivel de la ciudad de Pampas, el factor de área verde por habitante sigue siendo bajo, lo que resalta la necesidad de incrementar la cobertura arbórea.

El Parque Ecológico presenta el mayor valor económico anual por los servicios ecosistémicos proporcionados. Por tal motivo, la información que se aporta sobre el valor económico es importante con la finalidad de que los tomadores de decisión atiendan los problemas reales de los espacios abiertos, y que se conviertan en áreas comunes en buen estado, contribuyendo a una mejor calidad de vida para sus pobladores.

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen al Biól. Charles Frank Saldaña Chafloque por su colaboración en el registro de datos de la investigación.

## Conflicto de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

## Contribución por autor

Jairo Edson Gutiérrez-Collao: desarrollo del manuscrito y análisis estadístico; Frank Alex Chahuaylacc De La Cruz: interpretación de resultados; Lizeth Nayely Juñuruco Pituy y Ronald Julian Chihuan Quispe: análisis de datos; Nataly Lujan Huamani y Christian Edinson Murga-Tirado: revisión de manuscrito; Elvia Luzmila Torres Flores y Yhimy Yhon Huayllani Agui: análisis estadístico.

## Referencias

- Alanís-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A., Molina-Guerra, V. M., Gárate-Escamilla, H., y Sigala R., J. Á. (2022). Caracterización del arbolado urbano del centro de Hualahuises, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(73), 29-49. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i73.1271>
- Arango S., J. F., Pacheco F., C. J., y Vargas M., L. A. (2023). Valoración económica de los servicios ecosistémicos: una revisión sistemática. *Revista Venezolana de Gerencia*, 28(103), 948-964. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.28.103.3>
- Avendaño-Leadem, D. F., Cedeño-Montoya, B. C., y Arroyo-Zeledón, M. S. (2020). Integrando el concepto de servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial. *Revista Geográfica de América Central*, 2(65), 63-90. <https://doi.org/10.15359/rgac.65-2.3>

- Azizi, L., & Kouddane, N. (2024). The green city as a driver of sustainable development. *Journal of Umm Al-Qura University for Engineering and Architecture*, *15*, 384-397. <https://doi.org/10.1007/s43995-024-00077-x>
- Badii, M. H., Guillen, A., Rodríguez, C. E., Lugo, O., Aguilar, J., y Acuña, M. (2015). Pérdida de biodiversidad: causas y efectos. *Daena: International Journal of Good Conscience*, *10*(2), 156-174. [http://www.spentamexico.org/v10-n2/A10.10\(2\)156-174.pdf](http://www.spentamexico.org/v10-n2/A10.10(2)156-174.pdf)
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, *29*(2), 293-301. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00013-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0)
- Calaza M., P., e Iglesias D., M. I. (2016). *El riesgo del arbolado urbano. Contexto, concepto y evaluación*. Ediciones Mundi-Prensa. <https://books.google.com.ec/books?id=NXDICwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source#v=onepage&q&f=false>
- Chen, P., Zhou, Y., Bai, Y., Zhou, Y., Inostroza, L., Sun, X., Liu, L., Huang, Q., Wu, P., & Liu, C. (2024). Perceived ecosystem services differ substantially from calculated services using biophysical models. *Landscape Ecology*, *39*, 170. <https://doi.org/10.1007/s10980-024-01967-0>
- Figueroa C., M. E., y Díaz-Galiano M., L. A. (2018). Los árboles urbanos y la salud ambiental. *Revista oficial de la Asociación Española de Arboricultura*, *80*, 54-59. [https://www.researchgate.net/publication/342563818\\_Los\\_arboles\\_urbanos\\_y\\_la\\_salud\\_ambiental](https://www.researchgate.net/publication/342563818_Los_arboles_urbanos_y_la_salud_ambiental)
- García-Ventura, C., Bermejo, A., González-García, C., Grande-Ortíz, M. Á., Ayuga-Téllez, E., Sánchez de M.-G., Á., & Ramírez-Montoro, J. J. (2020). Analysis of differences in the choice of the economic value of urban trees in Madrid when displayed *in situ* and in photographs. *Agronomy*, *10*(2), 311. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020311>
- González-Hernández, L., Romo-Lozano, J. L., Cristóbal-Acevedo, D., Martínez D., M. Á., y Mohedano C., L. (2023). Valoración económica de los servicios ecosistémicos de cuatro sistemas forestales periurbanos a través de i-Tree Eco. *Madera y Bosques*, *29*(3), Artículo e2932588. <https://doi.org/10.21829/myb.2023.2932588>

- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2025). *Compendio Estadístico, Huancavelica 2024* (Informe). Instituto Nacional de Estadística e Informática. <https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/6437930-compendio-estadistico-huancavelica-2024>
- i-Tree. (2021). *i-Tree Eco. User's Manual v6.0*. United States Department of Agriculture. [https://www.itreetools.org/documents/275/EcoV6\\_UsersManual.2021.09.22.pdf](https://www.itreetools.org/documents/275/EcoV6_UsersManual.2021.09.22.pdf)
- Kirby, M. G., Scott, A. J., & Walsh, C. L. (2025). A greener green belt? Co-developing exploratory scenarios for contentious peri-urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 255, Article 105268. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2024.105268>
- Lin, J., Krol, C. N., & Nowak, D. J. (2020). Ecosystem service-based sensitivity analyses of i-Tree Eco. *Arboriculture and Urban Forestry*, 46(4), 287-306. <https://doi.org/10.48044/jauf.2020.021>
- Lüttge, U., & Buckeridge, M. (2023). Trees: structure and function and the challenges of urbanization. *Trees*, 37, 9-16. <https://doi.org/10.1007/s00468-020-01964-1>
- Mancilla M., M., Mohedano C., L., Granados V., R. L., Granados S., D., y Corona A., A. (2024). Servicios ambientales de la vegetación arbórea de los parques de Texcoco de Mora, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 15(82), 69-88. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i82.1452>
- Martínez-Trinidad, T., Hernández L., P., López-López, S. F., & Mohedano C., L. (2021). Diversity, structure and ecosystem services of trees in four parks in Texcoco using i-Tree Eco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(67), 202-223. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.880>
- Masiero, M., Biasin, A., Amato, G., Malaggi, F., Pettenella, D., Nastasio, P., & Anelli, S. (2022). Urban forests and green areas as nature-based solutions for brownfield redevelopment: A case study from Brescia Municipal area (Italy). *Forests*, 13(3), 444. <https://doi.org/10.3390/f13030444>
- Missouri Botanical Garden. (2022). *Tropicos v3.4.2* [Base de datos]. Tropicos®. <https://www.tropicos.org/home>

- Nulkar, G. (2024). Ecosystem Services. In G. Nulkar (Ed.), *The Intersection of Economics and Ecology. A Machine-generated Literature Overview* (pp. 373-432). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-6893-0\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-99-6893-0_4)
- Olgun, R., Cheng, C., & Coseo, P. (2024). Desert urban ecology: urban forest, climate, and ecosystem services. *Environment, Development and Sustainability*, (2024), Article 274430014. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05751-7>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Temas Habitat III. 11-Espacio público*. Organización de las Naciones Unidas. [https://habitat3.org/wp-content/uploads/Issue-Paper-11\\_Public\\_Space-SP.pdf](https://habitat3.org/wp-content/uploads/Issue-Paper-11_Public_Space-SP.pdf)
- Pardo R., Y. Y., Muñoz R., J., y Velásquez R., J. E. (2022). Valoración económica de servicios ecosistémicos en bosques de sistemas agropecuarios del piedemonte amazónico colombiano. *Revista Desarrollo y Sociedad*, (91), 143-169. <https://doi.org/10.13043/DYS.91.4>
- Pérez M., M. G., Pérez V., G., y López S., P. M. (2024). Los árboles longevos y frondosos en la provisión de servicios ecosistémicos en ambientes urbanos. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 15(81), 110-132. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i81.1428>
- Riondato, E., Pilla, F., Basu, A. S., & Basu, B. (2020). Investigating the effect of trees on urban quality in Dublin by combining air monitoring with i-Tree Eco model. *Sustainable Cities and Society*, 61, Article 102356. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102356>
- Rodríguez, J. P. (2001). La amenaza de las especies exóticas para la conservación de la biodiversidad suramericana. *Interciencia*, 26(10), 479-483. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33906110>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2022). *Datos hidrometeorológicos a nivel nacional* [Conjunto de datos]. Ministerio del Ambiente. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Shahimoridi, R., Kazemi, H., Kamkar, B., Nadimi, A., Hosseinalizadeh, M., & Yeganeh, H. (2024). Economic valuation of ecosystem services in canola agroecosystems.

*Landscape and Ecological Engineering*, 20, 427-438.

<https://doi.org/10.1007/s11355-024-00603-y>

Singh, V. (2024). Biodiversity Conservation. In V. Singh, *Textbook of Environment and Ecology* (pp. 225-236). Springer Singapur.

[https://doi.org/10.1007/978-981-99-8846-4\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-99-8846-4_15)

Sousa, M. C., Martins, R., Simões, N. E., & João F., M. (2025). Ecosystem services of urban rivers: a systematic review. *Aqua Science*, 87, 10.

<https://doi.org/10.1007/s00027-024-01138-y>

Szkop, Z. (2022). The value of air purification and carbon storage ecosystem services of park trees in Warsaw, Poland. *Environmental & Socio-economic Studies*, 10(3), 1-11.

<https://doi.org/10.2478/environ-2022-0012>

Verones, F., & Dorber, M. (2023). Biodiversity. In B. R. Bakshi (Ed.), *Engineering and Ecosystems. Seeking Synergies Toward a Nature-Positive World* (pp. 135-165). Springer Cham.

[https://doi.org/10.1007/978-3-031-35692-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35692-6_7)

Zandebasiri, M., Goujani, H. J., Iranmanesh, Y., Azadi, H., Viira, A.-H., & Habibi, M. (2023). Ecosystem services valuation: a review of concepts, systems, new issues, and considerations about pollution in ecosystem services.

*Environmental Science and Pollution Research*, 30, 83051-83070. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28143-2>



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.