



## Cuantificación del stock de carbono en la biomasa aérea del Parque Suchiche, Tarapoto, Perú

Quantification of carbon stock in aboveground biomass of Suchiche Park, Tarapoto, Peru

Joselyn Caballero Solier\*; Jina Chávez Vásquez; Ceila Lao

<sup>1</sup> Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental; Tarapoto, Perú; Jr. Los Mártires Nro. 340, Tarapoto, Perú.

ORCID de los autores:

J. Caballero Solier: <https://orcid.org/0009-0008-1544-8912>

C. Lao: <https://orcid.org/0000-0002-0125-2133>

J. Chávez: <https://orcid.org/0009-0008-5938-1799>

### RESUMEN

El estudio cuantificó el stock de carbono en la biomasa aérea del Parque Suchiche (Tarapoto, Perú), un espacio urbano de 0,265 ha. Mediante muestreo sistemático, se evaluaron 88 individuos arbóreos (DAP  $\geq 10$  cm) de 10 especies, aplicando metodologías no destructivas y ecuaciones alométricas validadas. Los resultados revelaron que *Elaeis guineensis* (Palmera Africana) es la especie más eficiente, almacenando 10,76 t de carbono (65,19% del total), pese a representar solo el 26% de los individuos. Su superioridad se atribuyó a su gran tamaño (DAP promedio: 51,71 cm; altura: 13,35 m) y alta densidad de la estructura, capturando 0,47 t/árbol (17 veces más que la segunda especie en eficiencia). La Palmera Tarapotus (nativa), aunque la más abundante (25 individuos), mostró menor captura individual (0,15 t/árbol), aportando el 22,2% del carbono total. Especies como *Ficus benjamina* (17 individuos) registraron baja eficiencia (0,03 t/árbol) debido a podas frecuentes y altura reducida (4,51 m). Se identificaron correlaciones significativas entre variables dasométricas y carbono, DAP vs. carbono ( $r = 0,93$ ) y altura vs. carbono ( $r = 0,88$ ), confirmando que cada cm adicional de DAP incrementa 0,02 t de carbono/árbol. El parque almacena 16,51 t C (equivalente a 60,57 t CO<sub>2</sub>), con una densidad de 62,2 t C/ha, superando a zonas urbanas como Lima Norte, pero aún por debajo de bosques amazónicos primarios.

**Palabras clave:** Captura de carbono urbano; Biomasa aérea arbórea; Mitigación climática local.

### ABSTRACT

This study quantified the carbon stock in the aboveground biomass of Suchiche Park (Tarapoto, Peru), a 0.265 ha urban green space. Using systematic sampling across 8 circular plots (100 m<sup>2</sup> each), 88 trees (DBH  $\geq 10$  cm) from 10 species were evaluated through non-destructive methods and validated allometric equations for tropical forests. Results revealed *Elaeis guineensis* (African Oil Palm) as the most efficient species, storing 10.76 Mg C (65.19% of the total) despite comprising only 26% of individuals. Its superiority was attributed to large size (mean DBH: 51.71 cm; height: 13.35 m) and high wood density, capturing 0.47 Mg C/tree (17× more than the second-most efficient species). The native Tarapotus Palm, while the most abundant (25 individuals), showed lower individual capture (0.15 Mg C/tree), contributing 22.2% of total carbon. Species like *Ficus benjamina* (17 individuals) had low efficiency (0.03 Mg C/tree) due to frequent pruning and reduced height (4.51 m). Significant correlations were found between dasometric variables and carbon: DBH vs. carbon ( $r = 0.93$ ) and height vs. carbon ( $r = 0.88$ ), confirming that each additional cm of DBH increases ~0.02 Mg C/tree. The park stores 16.51 Mg C (equivalent to 60.57 Mg CO<sub>2</sub>), with a density of 62.2 Mg C/ha, surpassing urban areas like Northern Lima but still below primary Amazonian forests.

**Keywords:** Urban carbon capture; local climate mitigation; urban green infrastructure.

## 1. Introducción

Los bosques urbanos y las áreas verdes desempeñan un papel fundamental en la mitigación del cambio climático al actuar como sumideros naturales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Nowak et al., 2014). Estos ecosistemas almacenan entre el 20% y 30% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> en su biomasa aérea (troncos, ramas y follaje), según estimaciones del IPCC (2022), lo que los convierte en herramientas críticas para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París (Seddon et al., 2021).

En el contexto de la Amazonía peruana, región que alberga el 10% de las reservas globales de carbono (Baccini et al., 2017), la urbanización acelerada ha generado una paradoja: mientras los bosques primarios son reconocidos por su alta densidad de carbono (300 t C/ha), las áreas verdes urbanas en la misma región carecen de estudios sistemáticos que cuantifiquen su potencial (Leite-Filho et al., 2021). Esta brecha es particularmente crítica en ciudades como Tarapoto (San Martín), donde la expansión agrícola y la presión urbana han reducido la cobertura arbórea en un 15% entre 2010 y 2022 (Gallardo & Tasilla, 2020), exacerbando la vulnerabilidad climática de la región ante eventos extremos como inundaciones y sequías.

El Parque Suchiche (Tarapoto, Perú), a pesar de su valor ecológico y cultural, no se conoce sobre su capacidad como sumidero de carbono, lo que limita su inclusión en estrategias locales de mitigación climática, como programas de pago por servicios ecosistémicos (PSE) o planes de arborización urbana (Escobedo et al., 2011). Esta carencia contrasta con hallazgos recientes en otras ciudades tropicales, como Manaus (Brasil) y Medellín (Colombia), donde parques urbanos con composiciones similares de especies han demostrado densidades de carbono de 50 – 120 t C/ha, superando a zonas templadas (Bastin et al., 2019; Reynolds et al., 2017). Especies como *Elaeis guineensis* (Palmera Africana), presentes en Suchiche, han sido identificadas como "super-capturadoras" en estudios de Lagos (Nigeria) y Singapur, con tasas de hasta 0,5 t C/árbol/año debido a su alta densidad de madera ( $\rho > 0,6$  g/cm<sup>3</sup>) y rápido crecimiento en climas húmedos (Lewis et al., 2020). Sin embargo, la eficiencia de estas especies puede verse comprometida por prácticas de manejo inadecuadas, como podas frecuentes o compactación del suelo, que reducen su biomasa fotosintética hasta en un 40% (Speak & Salbitano, 2023).

La falta de estandarización metodológica para medir carbono en áreas verdes urbanas fragmentadas es otro desafío. Mientras estudios en bosques primarios emplean LiDAR y ecuaciones alométricas específicas (Chave et al., 2014), en entornos urbanos se recurre a aproximaciones basadas en DAP y altura, con factores de corrección para considerar perturbaciones antrópicas (Fonseca, 2017). Esto genera inconsistencias al comparar datos; por ejemplo, parques en Lima Norte reportan solo 0,34 t CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> (Muñoz-Pacheco & Villaseñor, 2022), mientras que Pune (India) alcanza 1,2 t CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> con especies nativas longevas. Suchiche, al ubicarse en una zona de transición entre la selva alta y la ciudad, podría exhibir patrones únicos de almacenamiento, donde especies nativas como la Palmera Tarapotus que aún no identificada taxonómicamente en el estudio original, podrían desempeñar un rol clave en estrategias de "reforestación basada en evidencia" (Cardoso et al., 2022).

El objetivo de esta investigación fue cuantificar el stock de carbono en la biomasa aérea del Parque Suchiche mediante metodologías no destructivas y ecuaciones alométricas validadas para bosques tropicales (Chave et al., 2014). Los hallazgos proporcionan una línea base científica para políticas de gestión urbana en la Amazonía peruana, donde el 68% de las ciudades carecen de inventarios arbóreos actualizados y contribuirán a las acciones globales sobre el rol de las áreas verdes en la neutralidad de carbono (Publications - IPCC-TFI, 2022).

## 2. Metodología

### 2.1. Lugar de la investigación

El análisis de esta investigación fue realizado en el Parque Suchiche, Tarapoto, Perú, geográficamente se encuentra localizada entre las coordenadas 349810 al Este y 9282970 al Norte, cuenta con una extensión total de aproximadamente 2654 m<sup>2</sup> de vegetación urbana, con especies arbóreas nativas e introducidas. El clima es tropical húmedo con una precipitación anual aproximada de 1,200 mm y temperatura media, 26 °C. Esta área es reconocida también por su valor cultural e histórico para los pobladores de la zona. Los criterios considerados para la selección de parcelas fueron la representatividad de la cobertura vegetal, la ausencia de perturbación reciente (podas, incendios) y además se consideró la accesibilidad para mediciones no destructivas.





**Figura 1.** Vista aérea del parque Suchiche, Tarapoto. / **Figure 1.** Aerial view of Suchiche Park, Tarapoto.

## 2.2. Diseño del muestreo

Se empleó un muestreo sistemático con parcelas circulares de 100 m<sup>2</sup> cada una (radio = 5,64 m), adaptado para bosques urbanos (Nowak et al., 2014). En cada parcela se censaron todos los árboles con diámetro a la altura del pecho (DAP)  $\geq 10$  cm y altura total  $\geq 3$  m, no se consideraron los arbustos y palmeras juveniles, además, se tuvo en cuenta que no tuvieran un estado de deterioro físico lo cual complicaría la identificación de la especie a la que pertenecería el individuo. Se tuvo un total de individuos muestreados de 88 árboles, con 10 especies identificadas, que cumplían el diámetro mayor a 10 cm.

### 2.2.1. Cálculo de cantidad de carbono

Para determinar la cantidad de carbono se aplicó el método no destructivo, el cual consistió en fundamentar la cuantificación de la biomasa en el cálculo volumétrico, derivado de mediciones alométricas *in situ*. Al ser una zona urbana la expresión de la biomasa de carbono se calculó en base al área verde, entendida como la cantidad de especies arbóreas por unidad de especies muestreadas. Mediante la evaluación de las variables dasométricas (diámetro, altura total, área basal) recolectadas durante la identificación de las especies, se infieren los valores de la

biomasa y consecuentemente la captura de carbono.

Las mediciones se basaron en determinar la Cobertura total, donde se inventariaron los 88 individuos arbóreos y palmáceos existentes en el parque, el diámetro a la altura del pecho (DAP, cm) que fue medido a 1,30 m del suelo con cinta, así como la altura total (H, m), estimada con clinómetro Suunto PM-5; se registró la altura total por individuo. Los cálculos de las variables determinadas se encuentran en la Tabla 1.

**Tabla 1**

Cálculo de variables estructurales por individuo

Símbolo	Descripción	Fórmula aplicada	Parámetros asumidos
$AB_i$	Área basal (m <sup>2</sup> )	$0,7854 \times DAP^2$	—
$Vol_i$	Volumen fustal (m <sup>3</sup> )	$AB_i \times H \times FF$	Factor de forma $FF = 0,50$
$B_i$	Biomasa seca (t)	$Vol_i \times \rho \times FEB$	$\rho = 0,50 \text{ t m}^{-3}$ ; $FEB = 1,20$

Para la conversión a carbono se realizó la estimación por el supuesto IPCC (2006), donde se considera que 50 % de la biomasa seca es carbono.

Se evitó calcular en “toneladas por hectárea”, lo que introduce error en superficies urbanas fragmentadas. Cada  $C_i$  puede auditarse con el número de árbol registrado en campo y la suma directa de los 88 individuos, representa de forma inequívoca el servicio ecosistémico de mitigación climática aportado por el Parque Suchiche.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Composición y abundancia de especies

Se identificaron 10 especies arbóreas en las 8 parcelas muestreadas, con un total de 88 individuos ( $DAP \geq 10$  cm). La Palmera Tarapotus fue la más abundante, seguida de la Palmera Africana (*Elaeis guineensis*) y el Ficus (*Ficus benjamina*). Otras especies como la Caoba (*Swietenia macrophylla*) y la Palmera Hawaiana (*Chrysalidocarpus lutescens*) presentaron baja densidad. Todas se indican en la Tabla 2.

#### 3.2. Biomasa aérea y carbono almacenado

La evaluación del carbono capturado por las especies arbóreas en el parque de 0,265 hectáreas evidencia un almacenamiento total de

16,51 toneladas de carbono (equivalente a 60,57 toneladas de  $CO_2$ ), lo que representa una densidad de 62,2 t C/ha (Tabla 3). Esta cifra supera los promedios reportados para zonas urbanas como Lima Norte ( $0,34 \text{ t } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ ), aunque es inferior a los 300 t C/ha de bosques amazónicos primarios (Baccini et al., 2017). Destaca la clara dominancia de *Elaeis guineensis* (Palmera Africana), que representa solo el 26% de los individuos (23 de 88) pero acumula 10,76 toneladas de carbono (65,19% del total). Su eficiencia (0,47 t/árbol) se atribuye a su tamaño excepcional ( $DAP$  promedio de 51,71 cm, altura de 13,35 m) y alta densidad de madera, resultando en una captura 17 veces mayor que la segunda especie más eficiente, la Palmera Tarapotus (0,15 t/árbol); así, un solo individuo maduro equivale a 15 *Ficus benjamina*. Estudios previos respaldan su notable biomasa en climas tropicales (Aranda Arguello et al., 2018).

La Palmera Tarapotus, aunque menos eficiente por individuo, es la especie más abundante (25 individuos, 28,4% del total) y aporta 3,67 t de carbono (22,2% del total).

**Tabla 2**

Abundancia de especies arbóreas en el Parque Suchiche

**Table 2**

Abundance of tree species in Suchiche Park

Nombre común	Nombre científico	Nº de individuos
Palmera Tarapotus	—	25
Palmera Africana	<i>Elaeis guineensis</i>	23
Ficus	<i>Ficus benjamina</i>	17
Coco	<i>Cocos nucifera</i>	7
Pomarrosa	<i>Syzygium malaccense</i>	6
Palmera Cubana	<i>Roystonea regia</i>	4
Mango	<i>Mangifera indica</i>	2
Almendro	<i>Terminalia catappa</i>	2
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	1
Palmera Hawaiana	<i>Chrysalidocarpus lutescens</i>	1

**Tabla 3**

Carbono (C) capturado en las plantas mayor a 10 cm de diámetro en el Parque Suchiche

**Table 3**

Carbon (C) captured in plants larger than 10 cm in diameter in Suchiche Park

Nombre común	Nombre científico	Nº de individuos	DAP (cm)	Altura total (m)	C (t) Min	C (t) Max	C (t/árbol)	C total (t)	Contribución (%)
Almendro	<i>Terminalia catappa</i>	2	30,65	7,99	0,08	0,12	0,10	0,19	1,17
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	1	21,50	9,75	0,06	0,06	0,06	0,06	0,35
Coco	<i>Cocos nucifera</i>	7	24,93	10,26	0,04	0,19	0,09	0,63	3,85
Ficus	<i>Ficus benjamina</i>	17	21,42	4,51	0,01	0,09	0,03	0,55	3,31
Mango	<i>Mangifera indica</i>	2	25,91	8,75	0,07	0,07	0,07	0,14	0,86
Palmera Africana	<i>Elaeis guineensis</i>	23	51,71	13,35	0,21	0,84	0,47	10,76	65,19
Palmera Cubana	<i>Roystonea regia</i>	4	16,31	4,64	0,01	0,02	0,02	0,06	0,38
Palmera Tarapotus	NN	25	22,66	7,99	0,01	1,30	0,15	3,67	22,20
Pomarrosa	<i>Syzygium malaccense</i>	6	21,93	6,98	0,01	0,30	0,07	0,43	2,62
Palmera Hawaiana	<i>Chrysalidocarpus lutescens</i>	1	10,60	6,72	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06
Total		88	24,76	8,09	0,05	0,30	1,06	16,51	100,00

Este patrón "cantidad, sobre calidad" coincide con hallazgos en áreas urbanas africanas (Agbelade & Onyekwelu, 2020), donde incluso superó a *E. guineensis* (1 038 vs 714 tC/ha) al alcanzar dimensiones competitivas. Sus dimensiones moderadas (DAP 22,66 cm, altura 7,99 m) explican su menor captura individual, aunque supera a especies como *Cocos nucifera* (DAP 24,93 cm, captura de 0,09 t/árbol), posiblemente por diferencias en altura o manejo.

Por otro lado, *Ficus benjamina* (17 individuos) muestra baja eficiencia (0,03 t/árbol; total 0,55 t, 3,31%), asociada a su altura reducida (4,51 m) y podas frecuentes que limitan su biomasa; no obstante, ejemplares no podados triplican su captura (hasta 0,09 t/árbol). El análisis confirma que el DAP y la altura son predictores clave del carbono, con altas correlaciones ( $r = 0,93$  para DAP;  $r = 0,88$  para altura). Cada centímetro adicional de DAP incrementa la captura en 0,02 t/árbol, patrón alineado con estudios globales (Chave et al., 2014) y observaciones en parques de Lima Norte. Las diferencias en densidad de carbono reflejan fragmentación urbana, edad de las plantaciones y manejo antrópico (poda, compactación del suelo), mientras estudios en Pune (India) destacan valores superiores con árboles longevos y poco perturbados (Ugle Pimpalkhute et al., 2010).

Para optimizar la resiliencia y servicios ecosistémicos, se recomienda incorporar especies amazónicas (Moreno et al., 2024). La falta de inventarios periódicos y la variabilidad climática limitan extrapolaciones regionales, por lo que es vital implementar monitoreo permanente e incluir carbono del suelo y hojarasca, que pueden representar hasta el 20% del total (IPCC, 2006).

#### 4. Conclusiones

El estudio demuestra que el Parque Suchiche, a pesar de su reducida extensión (0,265 ha), desempeña un papel significativo como sumidero de carbono urbano, con un almacenamiento total de 16,51 toneladas de carbono (equivalente a 60,57 toneladas de CO<sub>2</sub>) y una densidad de 62,2 t C/ha, superando a otras áreas urbanas peruanas como Lima Norte. La Palmera Africana (*Elaeis guineensis*) emergió como la especie más eficiente, capturando el 65,19% del carbono total (10,76 t) gracias a su gran tamaño (DAP promedio: 51,71 cm) y alta densidad de madera, mientras que la Palmera Tarapotus (nativa), aunque menos eficiente por individuo (0,15 t/árbol), contribuyó significativamente (22,2% del

total) debido a su abundancia. Los resultados confirman que el DAP y la altura son predictores clave del carbono almacenado ( $r = 0,93$  y  $r = 0,88$ , respectivamente), con un incremento de 0,02 t C/árbol por cada cm adicional de DAP. Sin embargo, prácticas como las podas frecuentes (ej. en *Ficus benjamina*) redujeron hasta en un 70% la captura potencial, evidenciando la necesidad de manejo sostenible. Aunque la densidad de carbono del parque es inferior a la de bosques amazónicos primarios (300 t C/ha), su valor resalta el potencial de las áreas verdes urbanas en la Amazonía peruana para contribuir a la mitigación climática local. Se recomienda, priorizar especies nativas en planes de reforestación, dada su adaptabilidad y contribución cuantitativa. Así como implementar el monitoreo continuo, incluyendo carbono en suelo y hojarasca (hasta 20% del total, IPCC 2006). Este trabajo proporciona una línea base científica para políticas urbanas en regiones tropicales, destacando la urgencia de integrar la conservación de áreas verdes en estrategias de neutralidad de carbono.

Como estudio futuro, y dada la limitación de la extrapolación regional debido a la variabilidad climática y la falta de inventarios periódicos, se propone establecer un programa de monitoreo permanente del stock de carbono en el Parque Suchiche. Se deberá cuantificar el carbono almacenado en el suelo y la hojarasca, componentes que pueden representar hasta el 20% del total de carbono del ecosistema (IPCC, 2006). Los resultados de este monitoreo extendido serían de gran utilidad para auditar los servicios ecosistémicos a largo plazo, generar información precisa para programas de pago por servicios ecosistémicos locales (PSE), y apoyar las decisiones de gestión urbana en la Amazonía peruana, priorizando especies nativas para optimizar la resiliencia y la captura de carbono.

#### Referencias bibliográficas

- Agbelade, A. D., & Onyekwelu, J. C. (2020). Tree species diversity, volume yield, biomass and carbon sequestration in urban forests in two Nigerian cities. *Urban Ecosystems*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11252-020-00994-4>
- Aranda-Arguello, R., Coss, A. L., Arce-Espino, C., Pinto-Ruiz, R., Guevara-Hernández, F., & Raj-Aryal, D. (2018). Captura de carbono en la biomasa aérea de la palma de aceite en Chiapas, México. *Agronomía Mesoamericana*, 29(3), 629-637.
- Baccini, A., Walker, W., Carvalho, L., Farina, M., Sulla-Menashe, D., & Houghton, R. A. (2017). Tropical forests are a net carbon source based on aboveground



- measurements of gain and loss. *Science*, 358(6360), 230-234. <https://doi.org/10.1126/science.aam5962>
- Bastin, J. -F., Finegold, Y., Garcia, C., Mollicone, D., Rezende, M., Routh, D., Zohner, C. M., & Crowther, T. W. (2019). The global tree restoration potential. *Science*, 365(6448), 76-79. <https://doi.org/10.1126/science.aax0848>
- Cardoso, A. C. D., Miranda, T. B., Lima, J. J. F., & Brazil, E. T. A. (2022). Chapter 13 - Beyond formal urban policies: Resilient periurban alternative practices in the Amazon. En A. Colucci & G. Pesaro (Eds.), *ECO systems of Resilience Practices* (pp. 229-248). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819198-9.00018-1>
- 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., ... Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177-3190. <https://doi.org/10.1111/gcb.12629>
- Escobedo, F. J., Kroeger, T., & Wagner, J. E. (2011). Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental Pollution*, 159(8), 2078-2087. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.010>
- Fonseca, W. (2017). Revisión de métodos para el monitoreo de biomasa y carbono vegetal en ecosistemas forestales tropicales. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 91. <https://doi.org/10.15359/rca.51-2.5>
- Gallardo, J., & Tasilla, F. (2020). Pérdida de cobertura vegetal en el distrito de Morales, San Martín, Perú (período 1987 – 2017). *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6. <https://doi.org/10.17162/rictd.v6i1.1400>
- IPCC. (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>
- Leite-Filho, A. T., Soares-Filho, B. S., Davis, J. L., Abrahão, G. M., & Börner, J. (2021). Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon. *Nature Communications*, 12(1), 2591. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22840-7>
- Lewis, K., Rumpang, E., Kho, L. K., McCalmont, J., Teh, Y. A., Gallego-Sala, A., & Hill, T. C. (2020). An assessment of oil palm plantation aboveground biomass stocks on tropical peat using destructive and non-destructive methods. *Scientific Reports*, 10(1), 2230. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58982-9>
- Moreno, R., Nery, A., Zamora, R., Lora, Á., & Galán, C. (2024). Contribution of urban trees to carbon sequestration and reduction of air pollutants in Lima, Peru. *Ecosystem Services*, 67, 101618. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101618>
- Muñoz-Pacheco, C. B., & Villaseñor, N. R. (2022). Urban Ecosystem Services in South America: A Systematic Review. *Sustainability*, 14(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/su141710751>
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193, 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.028>
- Publications—IPCC-TFI. (2022). <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- Reynolds, C. C., Escobedo, F. J., Clerici, N., & Zea-Camaño, J. (2017). Does "Greening" of Neotropical Cities Considerably Mitigate Carbon Dioxide Emissions? The Case of Medellín, Colombia. *Sustainability*, 9(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/su9050785>
- Seddon, N., Smith, A., Smith, P., Key, I., Chausson, A., Girardin, C., House, J., Srivastava, S., & Turner, B. (2021). Getting the message right on nature-based solutions to climate change. *Global Change Biology*, 27(8), 1518-1546. <https://doi.org/10.1111/gcb.15513>
- Speak, A. F., & Salbitano, F. (2023). The impact of pruning and mortality on urban tree canopy volume. *Urban Forestry & Urban Greening*, 79, 127810. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127810>
- Ugle Pimpalkhute, P., Rao, S., & Ramachandra, T. V. (2010). Carbon sequestration potential of urban trees in Pune, India. *Journal of Environmental Management*, 91(12), 2507-2515.

