

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Contribución de áreas verdes de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-León), en la captura de carbono atmosférico

Contribution of urban green areas at the National Autonomous University of Nicaragua, León (UNAN-León) to atmospheric carbon sequestration

Oscar González-Quiroz^{1*}, Gonzalo Centeno-González^{2*}, María Eugenia Cerda Castillo^{3*}, Aquiles Alexander Reyes^{4*}, Japhet Gimel Medrano Peralta^{5*}, Tamauri Estephany Rayo Ríos^{6*}, Juan Antonio Vallejos Pichardo^{7*}, Guillermo Santiago López Rivas^{8*}

¹ Doctor en Ecología, Conservación y Restauración de Ecosistemas, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2775-801X> oscar.gonzalez@ct.unanleon.edu.ni

² Estudiante de la carrera de Biología, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9063-8713> gonzalo.centeno24@est.unanleon.edu.ni

³ Doctora en Biotecnología Agrícola, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8727-7014> / eugenia.castillo@ct.unanleon.edu.ni

⁴ Licenciado en Biología, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1271-4059> / aquiles.reyes@ct.unanleon.edu.ni

⁵ Estudiante de la carrera de Biología, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5377-2402> / japhet.medrano22@est.unanleon.edu.ni

⁶ Estudiante de la carrera de Biología, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4357-4730> / tamauri.rayo22@est.unanleon.edu.ni

⁷ Estudiante de la carrera de Biología, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9728-2617> / juan.vallejos24@est.unanleon.edu.ni

⁸ Estudiante de la carrera de Biología, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9721-8281> / guillermo.lopez17@est.unanleon.edu.ni

* Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-León)

° Centro de Investigación en Ciencias Ambientales (CICA)

Autor de correspondencia: oscar.gonzalez@ct.unanleon.edu.ni



RESUMEN

La vegetación urbana desempeña un papel clave en la mitigación del cambio climático al capturar y almacenar dióxido de carbono, además de ofrecer múltiples servicios ecosistémicos. En este estudio se cuantifica el carbono almacenado en los árboles en tres recintos de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-León), localizados en el ecosistema de bosque seco tropical. Se identificaron las especies en cada recinto y se registraron los datos morfométricos (diámetro a la altura del pecho y altura total) de los árboles. A través de fórmulas estandarizadas se estimó el área basal, volumen, biomasa forestal, carbono almacenado y dióxido de carbono equivalente

ABSTRACT

Urban vegetation plays a key role in mitigating climate change by capturing and storing carbon dioxide, while also providing multiple ecosystem services. In this study, we quantified the carbon stored in trees across three campuses of the Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-León), located within a tropical dry forest ecosystem. Species were identified in each campus, and morphometric data (diameter at breast height and total height) were recorded for all trees. Basal area, volume, aboveground biomass, stored carbon, and equivalent captured CO₂ were estimated using standardized equations. A total of 72 species were identified among

Recibido: 9 de octubre del 2025
Aceptado: 28 de noviembre del 2025



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo donald.juarez@ci.una.edu.ni

© Copyright 2025. Universidad Nacional Agraria (UNA).

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

capturado. Se identificaron 72 especies en 3 291 individuos registrados. Los resultados muestran un almacenamiento de 837.50 Mg C (mega gramos de carbono), equivalente a 3 113.63 Mg CO₂. El recinto Carlos Fonseca Amador presenta la mayor capacidad de captura de carbono con 644.70 Mg CO₂, equivalentes a las emisiones anuales de 661 vehículos, esta capacidad de captura probablemente se deba a su mayor densidad arbórea y madurez del bosque. Las especies guapinol (*Hymenaea courbaril*) y eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) destacaron por su aporte en biomasa y carbono. El estudio aporta evidencia del rol funcional de las áreas verdes en los tres recintos de la UNAN-León en la captura de dióxido de carbono, promoviendo entornos urbanos sostenibles, resilientes y saludables, reforzando el rol activo de las universidades en la mitigación del cambio climático.

Palabras clave: biomasa aérea, captura de carbono, vegetación urbana, infraestructura verde, servicios ecosistémicos.

3,291 recorded individuals. The results indicate a total storage of 837.50 Mg of carbon, equivalent to 3,113.63 Mg of CO₂. The Carlos Fonseca Amador campus exhibited the highest carbon capture capacity, with 644.70 Mg of CO₂, equivalent to the annual emissions of 661 vehicles; this greater capture capacity is likely associated with its higher tree density and forest maturity. Guapinol (*Hymenaea courbaril*) and eucalipto *Eucalyptus camaldulensis* stood out for their substantial contributions to biomass and carbon storage. The study provides evidence of the functional role of green areas across the three UNAN-León campuses in capturing atmospheric CO₂, promoting sustainable, resilient, and healthy urban environments, and reinforcing the active role of universities in climate change mitigation.

Keywords: Aboveground biomass, carbon capture, urban vegetation, green infrastructure, ecosystem services

Los árboles de las zonas urbanas contribuyen a mejorar la calidad del aire y eliminar gases causantes del efecto invernadero. Facilitan el almacenamiento de carbono, reducen el consumo de energía y disminuyen las emisiones de dióxidos de carbono (Connolly Wilson y Corea Siu, 2007; Rasoolzadeh *et al.*, 2024; Rodríguez Guido, 2019), además de otros servicios ecosistémicos (aprovisionamiento y cultural) relevantes para el ser humano.

Las infraestructuras en zonas urbanas que incluyen espacios verdes confieren beneficios a los seres humanos y otras especies (Serrano Stampa, 2016), contribuyendo a la regularización del clima, reducción de la contaminación del aire y el agua, la disminución de la escorrentía de aguas superficiales, la creación de nuevos espacios recreativos y la mejora de la salud humana y el bienestar, así como proporcionar un hábitat para las especies (Davies *et al.*, 2011). Los árboles urbanos pueden ser afectados en el crecimiento, la distribución y la fenología, distorsionando la forma de estos (McHale *et al.*, 2009).

Los principales esfuerzos de cuantificación de los sumideros de carbono se han enfocado en los bosques (Díaz Ramirez, 2020; Esquivel *et al.*, 2016; Ketterings *et al.*, 2001; Martel, 2012), aplicando distintos métodos (Fonseca, 2017; Yepes *et al.*, 2011), dejando de lado el aporte de la vegetación existentes en las zonas urbanas. La diversidad de la vegetación urbana puede contribuir a la conservación de diversos recursos y valores naturales (Padullés Cubino *et al.*, 2015). Aunque en los últimos años, la relación entre la urbanización, los espacios verdes urbanos y el ciclo del carbono ha atraído mucha atención (Wang *et al.*, 2023), especialmente desde la cuantificación y su posible valor económico (Benjamín y Masera, 2001; Serrano Stampa, 2016).

Aunque las ciudades se suelen percibirse como desiertos de hormigón, pueden contener ecosistemas ricos y diversos (Benton-Short y Rennie Short, 2013), reconocidos a través del valor de sus funciones ecosistémicas (como el almacenamiento de carbono) que permitan planificar entornos urbanos más sostenibles y habitables (Bolund y Hunhammar, 1999; Tratalos *et al.*, 2007).

El objetivo de esta investigación fue estimar el carbono almacenado en la vegetación arbórea localizada en las instalaciones de tres recintos de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-León), para la cuantificación del carbono almacenado y la capacidad de captura de dióxido de carbono en la vegetación arbórea, que permita contribuir con estudios e iniciativas relativas a la variabilidad y cambio climático, desde la cuantificación de las toneladas de carbono almacenados en zonas urbanas, así como el CO₂ capturado de la atmósfera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El área del estudio se localiza en la ciudad de León, a 90 kilómetros de Managua, capital de Nicaragua; específicamente en tres recintos de la sede central de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-León), distribuidos en tres puntos de la ciudad (Figura 1). León se localiza en el Pacífico de Nicaragua y presenta especies arbóreas propias de un bosque seco tropical; el régimen de precipitación no supera los 1 500 mm anuales y se encuentra a una altura entre 80 y 120 metros sobre el nivel del mar (Maes *et al.*, 2025). Los recintos Silvio Mayorga y Carlos Fonseca Amador se localizan al sur y el recinto Crithiam Emilio Cadenas al sureste de la ciudad de León.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

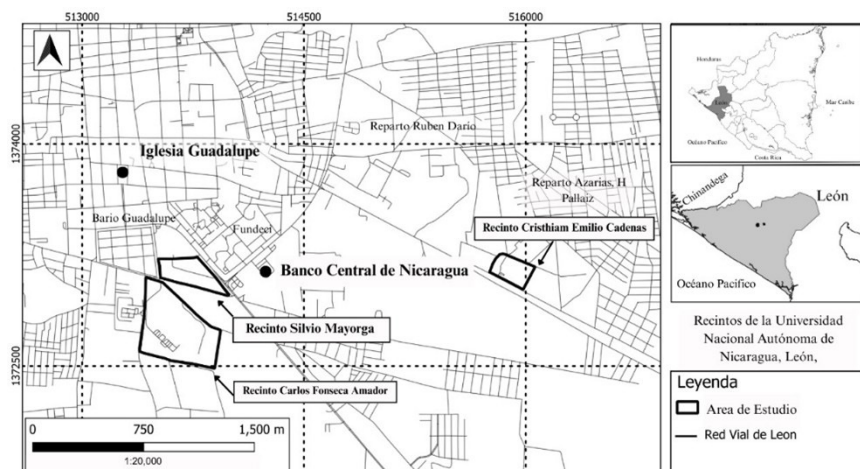


Figura 1. Ubicación de los recintos universitarios en la ciudad de León.

Variables evaluadas

Diversidad y abundancia. En cada recinto se identificaron los árboles con diámetros mayores a 5 cm.

Altura (m) y diámetro (m). Los datos de altura total se midieron con un clinómetro y el diámetro a la altura del pecho (DAP) con una cinta diamétrica.

Área basal. La determinación del carbono almacenado parte de los datos morfométricos que permiten calcular el área basal por especies. Se reconoce el área basal como la sección transversal del tronco a la altura del pecho, expresada en metros cuadrados. Se utilizó la formula propuesta por Husch *et al.*, (1993) que indica:

$$AB(m^2) = \pi/4 * D^2$$

Dónde:

AB: Área basal (m²)

$\pi / 4$: constante 0.7854

D: Diámetro normal medido aproximadamente a 1.30 metros desde la superficie del suelo.

Luego se determina el volumen maderable a partir del producto del área basal multiplicado por la altura total de cada individuo y por un coeficiente de forma (relación entre el volumen real y el volumen aparente de un árbol) que permite corregir la diferencia y obtener un valor más cercano al volumen verdadero de los árboles.

Al obtener los valores del área basal por especies y por la masa forestal de cada recinto, se procede a calcular el volumen maderable por especies, considerando el factor de conversión geométrico propuesto por Ugalde (1981). Se utilizó el factor de conversión geométrico de 0.75 para aquellas especies que no tenían registros.

$$Vol = AB * Ht * Fc$$

Donde:

Vol: Volumen

AB: Área basal

Ht: Altura total por individuos

Fc: Factor de conversión geométrico según la forma del árbol.

A partir del volumen se calcula la biomasa forestal, que es la base para cuantificar el carbono almacenado en los tres recintos. Se utilizó la formula propuesta por Brown (1997), quien señala que la biomasa forestal es igual a:

$$Bf = Vol * GE * FEBa$$

Dónde:

Bf: Biomasa forestal en Mega gramos (Mg)

Vol: Volumen total (m³)

GE: Densidad de la madera (g cm³)

FEBa: Factor de expansión de la biomasa aérea (ramas, hojas), con un valor estándar de 1.20, según los establecido por la Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2003).

La densidad de madera (g cm³) se determinó para cada especie, tomando de referencia los valores reportados por Reyes *et al.* (1992), Doraisami *et al.* (2022) y Castillo-Figueroa *et al.* (2023).

Cálculo del carbono almacenado. A partir de la biomasa forestal se calculó el carbono almacenado en Mega gramos de carbono (Mg C) por árbol, y luego se determinó el almacenamiento completo para todos los individuos y especies en los tres recintos.

El cálculo del carbono almacenado se realizó mediante la fórmula propuesta por el IPCC (2003):

$$C = Bf * Fc$$

Dónde:

C: Carbono almacenado (Mg C)

Bf: Biomasa forestal (Mg)

Fc: Factor de conversión de carbono (0.5) (constante)

Para estimar el dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq) absorbido, se empleó la relación estequiométrica

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

entre el carbono y el CO₂, utilizando el factor de conversión 3.67, derivado del cociente entre los pesos moleculares del CO₂ (44 g mol⁻¹) y del carbono elemental (12 g mol⁻¹). Este factor permite transformar el carbono almacenado a su equivalente en dióxido de carbono atmosférico removido, para cuantificar el potencial de mitigación climática asociado a la vegetación arbórea de los recintos mediante la retención y almacenamiento de carbono atmosférico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diversidad y abundancia. Se registraron 3 291 árboles; el 59 % en el recinto Carlos Fonseca Amador, 25 % en el recinto Silvio Mayorga y 16 % en el recinto Cristhiam Emilio Cadenas. En total se identificaron 72 especies (exóticas y nativas). Se registraron 51 en el recinto Cristhiam Emilio Cadenas, 51 especies en el recinto Silvio Mayorga y 53 en el recinto Carlos Fonseca Amador; varias de las especies se encuentran presentes en más de un recinto. La especie de guapinol (*Hymenaea courbaril* L.) ubicada en el recinto Carlos Fonseca Amador presentó la mayor abundancia, contabilizando 336 individuos, seguida de la especie de madroño (*Callycophyllum candidissimum* (Vahl) DC) con 147 individuos en el recinto Cristhiam Emilio Cadenas y 130 individuos de mango (*Mangifera indica* L.) en el recinto Silvio Mayorga.

Se evidencia un importante aporte de cobertura arbórea urbana para la ciudad de León, distribuida en los tres recintos. La mayor abundancia en el recinto Carlos Fonseca Amador posiblemente se debe a un manejo histórico diferenciado, influenciado por la antigüedad de la infraestructura y sus objetivos de planificación paisajística. En este sentido Nowak y Dwyer (2007) sugieren que la cobertura arbórea es mayor en espacios urbanos consolidados, en comparación con zonas en expansión o con menor planificación.

En cuanto a la riqueza total de especies, los resultados son comparables a los reportados por García García *et al.* (2023) en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua (Chihuahua, México), donde se identificaron 48 especies en un área de muestreo similar. La diversidad existente en los recintos universitarios de la UNAN-León evidencia un esfuerzo deliberado por parte de la institución en promover la diversidad arbórea, incluyendo especies exóticas de rápido crecimiento como mango y neem.

Área basal (m²). En conjunto las especies del recinto Carlos Fonseca Amador registran la mayor área basal con 200.60±5.68 m², seguido del recinto Silvio Mayorga (80.52±2.34 m²) y por último el recinto Cristhiam Emilio Cadenas (36.97±1.77 m²). En el recinto Carlos Fonseca Amador la especie guapinol presentó mayor área basal

con 88.03±0.03 m², seguida de neem (*Azadirachta indica* A. Juss), con 24.64±0.11 m². En el recinto Silvio Mayorga, la especie eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) presenta mayor área basal (19.43±0.19 m²), seguida de mango con 14.94±0.10 m². En el recinto Cristhiam Emilio Cadenas, los árboles de mango presentan mayor área basal con 7.96±0.25 m² seguida de neem (4.94±0.10 m²).

El guapinol presenta alta abundancia y representa un caso de dominancia estructural significativa en el recinto Carlos Fonseca Amador. De acuerdo con Escobedo *et al.* (2011) las especies nativas de gran porte como guapinol, contribuyen sustancialmente al almacenamiento de carbono y otros servicios ecosistémicos urbanos. Su presencia podría ser estratégica por su longevidad y resistencia, además de su valor ecológico y cultural.

El recinto Silvio Mayorga, con dominancia de eucalipto y mango presenta un patrón distinto, posiblemente asociado a decisiones de arborización más recientes o basadas en especies de rápido crecimiento y uso múltiple. La menor área basal de las especies en el recinto Cristhiam Emilio Cadenas podría estar relacionada con la edad de los árboles o prácticas de manejo agroforestal más intensivas; pese a contar con una riqueza de especies similar a los otros recintos.

Carbono. Las especies del recinto Carlos Fonseca Amador registran mayor área basal, volumen y biomasa forestal, seguido de los recintos Silvio Mayorga y Cristhiam Emilio Cadenas (Cuadro 1), coincidiendo con la mayor densidad y madurez de los árboles. De acuerdo con Siu y Ordeñana (2001) los ecosistemas de mayor edad poseen una capacidad de almacenamiento mayor. Se calculó un reservorio de 837.50 Mg C en los tres recintos, siendo el recinto Carlos Fonseca Amador el de mayor cantidad. El promedio global fue de 23.90 Mg C ha⁻¹, siendo superiores a los 10.90 Mg C ha⁻¹ almacenado en el arbolado de los parques La Rotonda y La Madre, en Manabí, Ecuador (Castillo-Ruperti *et al.*, 2022).

En investigaciones enfocadas en el almacenamiento de carbono en la vegetación de las ciudades de Leipzig (Alemania) reportaron 11.8 Mg C ha⁻¹ (Strohbach y Haase, 2012) y Barcelona (España) 11.2 Mg C ha⁻¹ (Chaparro y Terrasdas, 2009), valores inferiores a los 23.90 Mg C ha⁻¹ registrados en esta investigación. En Oakland (EE.UU.) estimaron un valor menor de almacenamiento de 11.0 Mg C ha⁻¹ (Nowak, 1993). En cambio, en Leicester (Reino Unido), registraron 31.6 Mg C ha⁻¹ (Davies *et al.*, 2011), superior a los obtenidos en este estudio. La vegetación de los recintos universitarios de la UNAN-León favorecen una mayor capacidad de captura y almacenamiento de carbono, destacando su relevancia en la captura del dióxido de carbono, así como sumidero de carbono para la ciudad.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Cuadro 1. Características estructurales y estimación de almacenamiento de carbono total por recinto universitario

Ítems	Recinto Universitario			Total	Promedio
	Carlos Fonseca Amador	Silvio Mayorga	Cristhiam Emilio Cadenas		
Áreas de estudio (ha)	20.70	5.00	4.20	29.90	
Áreas verdes (ha)	11.40	1.80	2.80	16.00	
Número de árboles	1934.00	840.00	517.00	3291.00	
Área basal (m ²)	370.7±0.15	80.5±0.11	37.0±0.11	488.20	
Volumen (m ³)	1869.7±0.80	406.0±0.73	169.1±0.78	2444.80	
Biomasa forestal (kg)	1436.84±0.47	312.8±0.43	115.5±0.43	1865.14	
Carbono total (Mg C)	644.70	140.80	52.00	837.50	
Dióxido de carbono equivalente total (Mg CO ₂ eq)	2366.05	556.74	190.84	3113.63	
Carbono (Mg ha ⁻¹)	31.15	28.16	12.38		23.90
Carbono en áreas verdes (Mg ha ⁻¹)	56.55	78.22	18.57		51.11
Dióxido de carbono equivalente por hectárea (Mg CO ₂ eq ha ⁻¹)	114.30	111.35	45.44		90.36
Dióxido de carbono equivalente por hectárea en áreas verdes (Mg CO ₂ eq ha ⁻¹)	207.56	273.78	65.00		182.11

Mg C: Mega gramos de carbono, Mg CO₂ eq: Mega gramos de dióxido de carbono equivalente, Mg ha⁻¹: Mega gramos por hectárea.

Los tres recintos capturaron 3 113.63 Mg CO₂ eq (mega gramos de dióxido de carbono equivalente), siendo el recinto Carlos Fonseca Amador el de mayor captura, lo que está relacionado con una mayor área, densidad de árboles y madurez de los árboles, aportando a la reducción de gases de efecto invernadero. En promedio en los tres recintos se capturó 90.36 Mg CO₂ eq ha⁻¹, y es el recinto Carlos Fonseca Amador, el que más CO₂ equivalente captura por hectárea (114.3); estos valores son inferiores a los reportados por Aguirre Padilla (2017) en un bosque seco, en el que registraron valores de 118.44 Mg CO₂ eq ha⁻¹. Sin embargo, el recinto Silvio Mayorga es el que registra mayor dióxido de carbono equivalente por hectárea en áreas verdes (Mg CO₂ eq ha⁻¹).

Surya Prabha *et al.* (2020) indican que los árboles urbanos capturan carbono y contribuyen a la reducción de la contaminación provocada por los automóviles, alcanzando un ahorro neto de emisiones de carbono hasta de 18 kg CO₂ año⁻¹ árbol⁻¹; además, intervienen en la modificación del clima, principalmente por la sombra, la evapotranspiración y la reducción de la velocidad del viento (Akbari, 2002). Son importante por su valor estructural y contribución en la concientización a las personas, además que, la captura y almacenamiento del carbono son cotizados en la bolsa de valores (Jaúregui Rodríguez *et al.*, 2022). Así mismo, a largo plazo, contribuyen directamente en la mitigación del cambio climático (Benjamín y Masera, 2001).

Los resultados indican diferencias en la captura de carbono entre los recintos, destacando el recinto Carlos Fonseca Amador con la mayor cantidad de dióxido de carbono equivalente total (Mg CO₂ eq), debido a su diversidad estructural y mayor cobertura forestal; factores reconocidos por mejorar la captura de carbono (Escobedo *et al.*, 2010). Además, la edad y madurez de los árboles también influyen

significativamente en la cantidad de carbono almacenado (Keith *et al.*, 2009). Las especies con mayor biomasa tienden a capturar más carbono, una relación directa comprobada en bosques tropicales y subtropicales (Chave *et al.*, 2005). Otro aspecto es que la infraestructura verde correctamente manejada, puede duplicar la eficiencia de captura comparada con espacios sin gestión ecológica (Davies *et al.*, 2011).

Las áreas verdes dentro de las instalaciones de los recintos universitarios de la UNAN-León están posiblemente dentro de los mayores sumideros de carbono de la ciudad de León, contribuyendo de forma significativa a compensar las emisiones de dióxido de carbono emitidas por vehículos. La cantidad de CO₂ capturados en los tres recintos son aproximadamente el equivalente a las emisiones de 661 vehículos en funcionamiento, con un promedio de 4.6 toneladas métricas anuales (United States Environmental Protection Agency (EPA), 2023). Los tres recintos universitarios, a pesar de ser áreas pequeñas, tienen impactos importantes a escala local, principalmente en los servicios ecosistémicos de regulación y en lo cultural.

Más allá de su función ambiental, la vegetación de los tres recintos universitarios tiene un alto valor en función de los servicios ecosistémicos que brindan. Estudios han demostrado que los espacios verdes urbanos, como el recinto Carlos Fonseca Amador, generan beneficios a la salud mental y física, además de funciones ecológicas claves (Tzoulas *et al.*, 2007). La valorización económica del carbono almacenado en árboles urbanos también es una herramienta útil para fomentar políticas de conservación (Mcpherson *et al.*, 1997). Asimismo, la planificación urbana debe considerar la integración de vegetación en sus infraestructuras ya que mejora la resiliencia frente al cambio climático (Gill *et al.*, 2007); y desde una perspectiva global, la captura de carbono por vegetación urbana representa una estrategia complementaria clave para alcanzar metas climáticas (Pataki *et al.*, 2006). Por tanto, promover la investigación y monitoreo de estos servicios en áreas educativas y otras áreas urbanas, es crucial para su conservación y gestión efectiva.

Los resultados contribuyen con la gestión ambiental y el desarrollo de estrategias de conservación en los recintos de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León,

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

así como futuras acciones enfocadas en la planificación de ciudades verdes. Pucha-Cofrep *et al.* (2023) indican que la planificación en la selección de especies y el manejo de los árboles es relevante para optimizar el servicio ecosistémico de la captura de carbono, principalmente, especies autóctonas de rápido crecimiento y con alta densidad de madera.

CONCLUSIONES

Los recintos universitarios de la UNAN-León constituyen importantes sumideros de carbono dentro del entorno urbano de la ciudad de León, destacando el recinto Carlos Fonseca Amador por su alta biomasa y diversidad estructural. La presencia de especies de rápido crecimiento y alta densidad maderable, así como la adecuada planificación del arbolado, son variables indispensables para mejorar la capacidad de

captura de carbono de áreas verdes urbanas. La integración de infraestructura verde en el entorno urbano universitario, se considera una prioridad dentro de las políticas institucionales para la sostenibilidad.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias a los fondos del Programa de Pequeñas Ayuda para la Investigación de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-León). Nuestro agradecimiento a los estudiantes de la carrera de Biología de la UNAN-León por su aporte durante la fase de campo del proyecto, así como a las autoridades universitaria por el apoyo brindando durante el desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre Padilla, N. I. (2017). *Captura de carbono en el compartimiento leñoso del bosque seco en la provincia de Loja con perspectivas de mercado* [Tesis de Maestría, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio institucional <https://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/7336>
- Akbari, H. (2002). Shade trees reduce building energy use and CO₂ emissions from power plants. *Environmental Pollution*, 116(1), 119-126. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00264-0](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00264-0)
- Benjamin, J. A. y Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 7(1), 3-12. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61770102>
- Benton-Short, L., & Rennie Short, J. (2013). *Cities and nature*. Routledge.
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29(9), 293-301. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00013-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0)
- Brown, S. (1997). *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a Primer*. <https://www.fao.org/4/w4095e/w4095e00.htm>
- Castillo-Figueroa, D., González-Melo, A., & Posada, J. M. (2023). Wood density is related to aboveground biomass and productivity along a successional gradient in upper Andean tropical forests. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1276424>
- Castillo-Ruperti, R. J., Rodríguez-Guerrero, B. y Bravo-Meza, K. (2022). Fijación de Carbono (CO₂) del arbolado de los parques Las Rotonda y La Madre, Manabí, Ecuador. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada "YACHASUN"*, 6(10), 8–21. <https://doi.org/10.46296/yc.v6i10.0141>
- Chaparro, L., & Terrasdas, J. (2009). *Ecological services of urban forest in Barcelona*. <https://www.itreetools.org/documents/302/Barcelona%20Ecosystem%20Analysis.pdf>
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J. P., Nelson, B. W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87–99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- Connolly Wilson, R. Y. y Corea Siu, C. A. (2007). *Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistema agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/1103/>
- Davies, Z. G., Edmondson, J. L., Heinemeyer, A., Leake, J. R., & Gaston, K. J. (2011). Mapping an urban ecosystem service: Quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale. *Journal of Applied Ecology*, 48(5), 1125–1134. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02021.x>
- Díaz Ramirez, N. (2020). *Estimación de la fijación de carbono en un bosque de transición en la microcuenca Arroyohondo* [Informe de pasantía para optar al grado de Ingeniero Ambiental]. Universidad Autónoma de Occidente. <https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/9586a178-ce05-445d-a7b4-cef2b3f987fc/content>
- Doraisami, M., Kish, R., Paroshy, N. J., Domke, G. M., Thomas, S. C., & Martin, A. R. (2022). A global database of woody tissue carbon concentrations. *Scientific Data*, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01396-1>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.010>

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

- Escobedo, F., Varela, S., Zhao, M., Wagner, J. E., & Zipperer, W. (2010). Analyzing the efficacy of subtropical urban forests in offsetting carbon emissions from cities. *Environmental Science and Policy*, 13(5), 362–372. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.03.009>
- Esquivel, G., Gonzáles, M., & Morales, G. (2016). *Estimación y valoración económica del carbono almacenado en la biomasa aérea del corredor biológico de la selva El Ocote – Cañón del Sumidero*. <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/317/1/2017-PEG%20-%20Estimaci%C3%B3n%20Valoraci%C3%B3n%20Econ%C3%B3mica%20Carbono%20El%20Ocote.pdf>
- Fonseca-González, W. (2017). Revisión de métodos para el monitoreo de biomasa y carbono vegetal en ecosistemas forestales tropicales. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 91-109. <https://www.redalyc.org/pdf/6650/665070588007.pdf>
- García García, S. A., Solano, J. R., Vargas Flores, A. K., Rodríguez, E. A., Aguirre Calderón, O. A., Molina Guerra, V. M. y García, R. S. (2023). Caracterización arbórea, evaluación de daños y su impacto en la infraestructura en un campus universitario. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14(80), 105–129. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i80.1397>
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. *Built Environment*, 33(1), 115–132. <https://doi.org/doi:10.2148/benv.33.1.115>
- Husch, B., Miller, C., & Beers, T. (1993). *Forest mensuration* (3rd ed.). Krieger Publishing Company.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*. IPCC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/GPG_LULUCF_FULLEN.pdf
- Jaúregui Rodríguez, R. de J., Gallegos Rodríguez, A., Hernández Álvarez, E., Guzmán Paredes, C., Sube Ramirez, J. L. y Godoy Gonzalez, A. (2022). Estimación del carbono almacenado del arbolado urbano de Guadalajara, Jalisco, México, mediante modelos Biométricos. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(1), 224–240. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n1-018>
- Keith, H., Mackey, B. G., & Lindenmayer, D. B. (2009). Re-evaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(28), 11635–11640. <https://doi.org/10.1073/pnas.0901970106>
- Ketterings, Q. M., Coe, R., Van Noordwijk, M., Ambagau, Y., & Palm, C. A. (2001). Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*, 146(1–3), 199–209. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00460-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00460-6)
- Maes, J. M., Saldívar, I., Ríos, M., & Guevara, J. (2025). Historia natural del bosque tropical seco de Nicaragua. En I. Saldívar Gómez (Ed.), *Historia natural del bosque tropical seco de Nicaragua* (pp. 1–13). Revista Nicaragüense de Biodiversidad. <http://www.bionica.info/RevNicaBiodiv/116-Bosque-Seco-Nicaragua.pdf>
- Martel, C. (2012). Cuantificación del carbono almacenado en formaciones vegetales amazónicas en “Cicra”, Madre de Dios (Perú). *Ecología Aplicada*, 11(2), 59–65. <https://doi.org/10.21704/rea.v11i1-2.426>
- McHale, M. R., Burke, I. C., Lefsky, M. A., Peper, P. J., & McPherson, E. G. (2009). Urban forest biomass estimates: is it important to use allometric relationships developed specifically for urban trees? *Urban Ecosyst*, 12, 95–113. <https://doi.org/10.1007/s11252-009-0081-3>
- McPherson, E. G., Nowak, D., Heisler, G., Grimmond, S., Souch, C., Grant, R., & Rowntree, R. (1997). Quantifying urban forest structure, function, and value: The Chicago urban forest climate project. *Urban Ecosystems*, 1, 49–61. <https://www.researchgate.net/publication/255946320>
- Nowak, D. J. (1993). Atmospheric carbon reduction by urban trees. *Journal of Environmental Management*, 37(3), 207–217. <https://doi.org/10.1006/jema.1993.1017>
- Nowak, D. J., & Dwyer, J. F. (2007). Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. In *Urban and community forestry in the Northeast* (pp. 25–46). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4289-8>
- Padullés Cubino, J., Vila Subirós, J. y Barriocanal Lozano, C. (2015). Biodiversidad vegetal y ciudad: aproximaciones desde la ecología urbana. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 68, 83–107. <https://doi.org/10.21138/bage.1854>
- Pataki, D. E., Alig, R. J., Fung, A. S., Golubiewski, N. E., Kennedy, C. A., McPherson, E. G., Nowak, D. J., Pouyat, R. V., & Lankao, P. R. (2006). Urban ecosystems and the North American carbon cycle. *Global Change Biology*, 12(11), 2092–2102. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01242.x>
- Pucha-Cofrep, D. A., Lozano, D., Jumbo, N., Fernández, P., Armijos, A., Macas, M. F., Gualán, R. y Merino, B. (2023). Caracterización florística y estructura del arbolado urbano de la ciudad de Loja. *Bosques Latitud Cero*, 13(2), 1–22. <https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1886>
- Rasoolzadeh, R., Mobarghaee Dinan, N., Esmaeilzadeh, H., Rashidi, Y., Marcu, M. V., & Sadeghi, S. M. M. (2024). Carbon Sequestration and Storage of Urban Trees in a Polluted Semiarid City. *Forests*, 15(9), 1488. <https://doi.org/10.3390/f15091488>
- Reyes, G., Brown, S., Chapman, J., & Lugo, A. E. (1992). *Wood densities of tropical tree species* (SO-GTR-88). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. <https://doi.org/10.2737/SO-GTR-88>
- Rodríguez Guido, L. E. (2019). *Almacenamiento de carbono en dos parcelas permanentes de muestreo del Refugio de Vida Silvestre Río Escalante Chacocente, 2016* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/3872/>
- Serrano Stampa, J. (2016). *Análisis y cuantificación del carbono almacenado en los parques y jardines de la ciudad de Valladolid* [Tesis de Maestría, Universidad de Valladolid]. Repositorio Documental. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/18785>

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

- Siu, M. Y. y Ordeñana, W. (2001). *Estimación del contenido y almacenamiento de carbono en el bosque seco secundario del Refugio de vida silvestre Chococente* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/991/>
- Strohbach, M. W., & Haase, D. (2012). Above-ground carbon storage by urban trees in Leipzig, Germany: Analysis of patterns in a European city. *Landscape and Urban Planning*, 104(1), 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.10.001>
- Surya Prabha, A. C., Muniyandi, S., Krishna Kumar, N., & Nagendran, S. (2020). Urban Forests and their Role in Carbon Sequestration: A Review. *International Journal of Forest Research*, 13(1), 23–29. <https://www.researchgate.net/publication/342551437>
- Tratalos, J., Fuller, R. A., Warren, P. H., Davies, R. G., & Gaston, K. J. (2007). Urban form, biodiversity potential and ecosystem services. *Landscape and Urban Planning*, 83(4), 308–317. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.05.003>
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81(3), 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001>
- Ugalde, L. A. (1981). *Conceptos basicos de dasometría*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/886/Conceptos_basicos_de_dasometria.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- United States Environmental Protection Agency. (2023). *Greenhouse gas emissions from a typical passenger vehicle: Questions and answers – Fact sheet* (EPA-420-F-23-014). EPA. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P1017FP5.pdf>
- Wang, H., Feng, Y., & Ai, L. (2023). Progress of carbon sequestration in urban green space based on bibliometric analysis. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1196803>
- Yepes, A., Duque, Á., Navarrete, D., & Philips, J. (2011). *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia*. <https://www.researchgate.net/publication/269107473>