LA CALERA Revista Científica
Vol. 26 N° 47, p. 88 - 94 / diciembre 2026

ISSN 1998 – 8850
https://lacalera.una.edu.ni
https://doi.org/10.5377/calera.v26i47.23946

Almacenamiento de carbono y servicios ecosistémicos de la vegetación arbórea en el campus de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua

Carbon storage and ecosystem services provided by tree vegetation on the campus of the Universidad Nacional Agraria, Nicaragua

Olman José Narváez Espinoza[1], Lucilizabeth Pérez Rivera[2]
[1] MSc. Manejo y Conservación de los Recursos Naturales Renovables, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3190-2210 / onarvaez@ci.una.edu.ni
[2] Ing. Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0428-7841 / lucilizabeth.perez@ci.una.edu.ni
Universidad Nacional Agraria, Dirección de Ciencias Ambientales y Cambio Climático
Autor de correspondencia: onarvaez@ci.una.edu.ni



RESUMEN

Los servicios ecosistémicos de árboles y arbustos en las áreas urbanas constituyen una estrategia para mitigar los efectos del cambio climático. El objetivo de esta investigación fue seleccionar las fórmulas alométricas más adecuadas para estimar la biomasa aérea, subterránea y de palmeras, considerando las condiciones edafoclimáticas, coeficiente de determinación y diámetros de los árboles, así como estimar el carbono almacenado, dióxido de carbono fijado y oxígeno liberado y determinar la riqueza y diversidad florística que contribuye a mitigar el cambio climático y la provisión de servicios ecosistémicos. La investigación se desarrolló en el campus de la Universidad Nacional Agraria, ubicado en Managua, Nicaragua. Se realizó un inventario del 100 % de árboles, arbustos y palmeras con diámetro a la altura del pecho ≥ 5 cm, se midieron las variables dasométricas de diámetro normal y se estimó la altura total, en 30.3 hectáreas. Los modelos alométricos seleccionados para estimar biomasa aérea fueron B = Exp (-2.187+0.916* ln (ρw (D)2*H), Chave *et al*. (2005), Ln B= -2.290+0.932 ln (D2 H ρw), Álvarez *et al*. (2011) y B = Exp (-1.53009 + 2.17632*ln (Dap)), Fonseca (2016). El modelo alométrico para estimar biomasa subterránea o de raíz es el propuesto por Sierra (2011), Ln Br= -4.273+2.633ln (D) y uno para palmeras, B = 4.5 + 7.7 * H (Frangi y Lugo, 1985). Los resultados muestran que no existen diferencias

ABSTRACT

The ecosystem services provided by trees and shrubs in urban areas constitute a strategy for mitigating the effects of climate change. The objective of this research was to select the most appropriate allometric equations for estimating above-ground, below-ground, and palm biomass, taking into account edaphoclimatic conditions, the coefficient of determination, and tree diameters, as well as to estimate stored carbon, carbon dioxide sequestered, and oxygen released, and to determine the floristic richness and diversity that contribute to mitigating climate change and the provision of ecosystem services. The research was conducted on the campus of the Universidad Nacional Agraria, located in Managua. A 100% inventory of trees, shrubs, and palms with a diameter at breast height (DBH) of ≥ 5 cm was conducted; dasometric variables for normal diameter were measured, and total height was estimated across 30.3 hectares. The allometric models selected to estimate above-ground biomass were B = Exp (-2.187 + 0.916 * ln (ρw (D)² * H), Chave *et al*. (2005), Ln B = -2.290 + 0.932 ln (D² H ρw), Álvarez *et al*. (2011), and B = Exp (-1.53009 + 2.17632*ln (Dap)), Fonseca (2016). The allometric model for estimating underground or root biomass is the one proposed by Sierra (2011), Ln Br = -4.273 + 2.633 ln (D), and one for palm trees, B = 4.5 + 7.7 * H (Frangi & Lugo, 1985). The results show that there are no

Recibido: 10 de marzo del 2026
Aceptado: 19 de octubre del 2026

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 2026. Universidad Nacional Agraria (UNA).

significativas entre las fórmulas seleccionadas al estimar biomasa, recomendándose el modelo de Fonseca (2016), por su simplicidad. Se estimaron 3 566.49 toneladas de biomasa y 1 676.18 toneladas de carbono almacenado. La vegetación del campus ha fijado hasta el 2023, 6 151.73 toneladas de dióxido de carbono y liberado 4 429.28 toneladas de oxígeno. Además, se identificaron 216 especies pertenecientes a 47 familias botánicas. La vegetación del campus de la Universidad Nacional Agraria representa un importante sumidero de carbono y proveedor de servicios ecosistémicos clave; su preservación es esencial, y su valor ambiental debe equipararse al de los bosques tropicales.
***Palabras clave*:** alometría, gravimétrico, método indirecto, biomasa, servicios ecosistémicos.

significant differences among the selected formulas for estimating biomass; the model proposed by Fonseca (2016) is recommended due to its simplicity. A total of 3 566.49 metric tons of biomass and 1 676.18 metric tons of stored carbon were estimated. As of 2023, the campus vegetation has sequestered 6 151.73 metric tons of carbon dioxide and released 4 429.28 metric tons of oxygen. In addition, 216 species belonging to 47 botanical families were identified. The vegetation on the Universidad Nacional Agraria campus represents an important carbon sink and a provider of key ecosystem services; its preservation is essential, and its environmental value should be equated with that of tropical forests.
***Keywords*:** Allometry, gravimetric method, indirect method, biomass, ecosystem services.

El cambio climático representa uno de los principales desafíos ambientales a nivel global, siendo el incremento de los gases de efecto invernadero, especialmente el dióxido de carbono (CO_2), una de sus causas principales. En este contexto, los ecosistemas forestales o sitios provistos de árboles desempeñan un papel crucial como sumideros naturales de carbono, al capturar CO_2 atmosférico a través del proceso de fotosíntesis y almacenarlo en forma de biomasa. La adecuada estimación de la biomasa vegetal y del carbono contenido en ella, permite cuantificar el potencial de mitigación de estos sistemas frente al cambio climático, así como valorar los servicios ecosistémicos que proporcionan, entre ellos la producción de oxígeno, la regulación del microclima, la conservación de la biodiversidad y la mejora de la calidad del aire.

En Nicaragua, los bosques secos tropicales, están bajo presión debido a los cambios en el uso de la tierra y al cambio climático, lo que ha provocado la fragmentación continua y la pérdida de resiliencia del ecosistema (Saldivar *et al*., 2025), contribuyendo a la reducción de su capacidad para capturar carbono. En las ciudades, especialmente en zonas urbanas y periurbanas, aún existen remanentes de vegetación, que ofrecen oportunidades importantes para apoyar la mitigación y adaptación al cambio climático. Un ejemplo relevante es la vegetación del campus de la Universidad Nacional Agraria (UNA), en Managua, que se destaca por su amplia cobertura arbórea y su ubicación dentro del ecosistema del trópico seco.

El carbono almacenado es la cantidad total de carbono contenida en un ecosistema en un momento determinado, como la biomasa aérea (troncos, ramas, hojas), biomasa subterránea (raíces). Este indicador representa una existencia (stock) de carbono y refleja la capacidad de un ecosistema para mantener carbono inmovilizado durante un período determinado. El carbono almacenado constituye un indicador fundamental para evaluar el papel de los ecosistemas forestales como sumideros de carbono, ya que permite cuantificar la cantidad de carbono retenida en la biomasa y en el suelo como lo señala Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2019).

El carbono fijado es la cantidad de dióxido de carbono (CO_2) atmosférico capturado mediante la fotosíntesis e incorporado a los tejidos vegetales durante un período de tiempo determinado. A diferencia del carbono almacenado, el carbono fijado representa un flujo (tasa) de carbono. Este parámetro está estrechamente relacionado con el crecimiento de la vegetación y la productividad primaria neta (IPCC, 2006).

Este estudio tiene como objetivo estimar la biomasa aérea, subterránea y de palmeras, presente en las áreas verdes del campus de la UNA, mediante el uso de modelos alométricos seleccionados según su aplicabilidad y las condiciones edafoclimáticas locales, así como, el cálculo del carbono almacenado, el dióxido de carbono fijado y el oxígeno liberado por la vegetación, proporcionando una valoración cuantitativa del rol ecológico e importancia ambiental del campus universitario y determinar la composición florística, evaluando la riqueza y diversidad de especies, lo que permite destacar el valor ecológico del área y su contribución a la provisión de servicios ecosistémicos en entornos urbanos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y condiciones del área de estudio. La Universidad Nacional Agraria, se encuentra ubicada en el km 12 de la Carretera Norte, en Managua, capital de Nicaragua, en las coordenadas 12º08´36´´de latitud Norte, y 86º09´49´´ de longitud Oeste, a 56 metros sobre el nivel del mar.

La temperatura anual promedio es de 26.9 ºC, con una humedad relativa promedio del 70 % y precipitaciones

entre 1 000 mm y 1 300 mm al año (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales [INETER], 2023).

Los suelos muestran complejidad (textura, estructura, color, humedad, contenido de nutrientes), al cambiar en distancias cortas; son poco desarrollados y presentan capas endurecidas que conducen a diferentes secuencias texturales. Estos suelos han sido afectados por procesos de calcificación por la presencia de altos índices de carbonatos, valores altos de pH y alta cantidad de magnesio (Villanueva, 1990).

Modelos alométricos. La estimación de la biomasa se realizó mediante un método indirecto, utilizando ecuaciones alométricas para los diferentes componentes de la vegetación. Se estimó la biomasa aérea, la biomasa subterránea (árboles y arbustos) y la biomasa correspondiente a las especies de palmeras (Aracaceae). Se consideran estas formas de vida vegetal ya que concentran la mayor proporción de biomasa en la UNA, siendo determinantes para la cuantificación de las reservas de biomasa y carbono.

El área de estudio se dividió en tres zonas para facilitar la recolección de datos y separar un área con características muy particulares, esta fueron zona norte con 17.73 hectáreas, zona sur con 10.5 hectáreas y el área del Arboretum con 2.04 hectáreas, para un total de 30.3 hectáreas.

Cuando se emplean modelos alométricos desarrollados por otros autores, es fundamental describir de manera detallada los parámetros e información requeridos para la aplicación de dichas ecuaciones. Esta práctica favorece la reproducibilidad de los resultados y permite realizar comparaciones objetivas con modelos alométricos propuestos por otros investigadores, facilitando la evaluación de su precisión, aplicabilidad y desempeño bajo diferentes condiciones de estudio (Segura y Andrade, 2008).

Es necesario tener presente la rigurosidad estadística y la practicidad de los modelos alométricos para predecir producción de biomasa. Es recomendable usar modelos alométricos lo más sencillo posible que incluyan no más de dos variables independientes de fácil medición, tales como el diámetro normal (DAP) y la altura total del árbol (Segura y Andrade, 2008).

Los modelos de regresión, que relacionan la masa seca de árboles y palmeras con otras variables (DAP, altura, peso específico de la madera), se utilizan para estimar la biomasa total, en un área conocida. El método de los modelos de regresión es la mejor aproximación, y por ello se usa en la mayoría de las investigaciones para estimar la biomasa (Zapata *et al*. 2003).

Los criterios para seleccionar las ecuaciones alométricas fueron: Que la ecuación presente el mayor coeficiente de determinación (R^2), el que mide la calidad del ajuste, en este sentido se seleccionaron los que presentaban mayor de 90 %, para biomasa aérea, biomasa subterránea y biomasa de palmeras; que se compruebe los supuestos del análisis de regresión (normalidad, independencia y homogeneidad de varianzas); que la ecuación alométrica tenga un amplio uso en otros estudios para estimar la biomasa aérea y subterránea.

La selección adecuada del modelo para estimar la biomasa es fundamental para minimizar errores en los cálculos. Fonseca (2016) y Chave (2005) recomiendan emplear ecuaciones desarrolladas específicamente para la región de estudio. No obstante, en ausencia de estas, es posible utilizar modelos previamente establecidos, siempre que hayan sido generados bajo condiciones climáticas y edáficas similares a las áreas de estudio, y preferiblemente validados mediante datos obtenidos de cosechas (muestreo destructivo de las especies vegetales).

Variables dasométricas. Se realizó un inventario del cien por ciento de los árboles y arbustos presentes en las tres zonas con diámetros mayores o iguales a los cinco centímetros de DAP; se identificó el nombre vernáculo de las especies arbóreas, arbustivas y palmeras.

Diámetro normal. A los árboles y arbustos se les medio el diámetro normal a 1.30 metros del suelo (DAP), con cinta diamétrica marca Qualitats bandmass.

Altura total de árboles y arbustos. En un inventario forestal, generalmente se estima en lugar de medirse directamente, debido a la dificultad operativa, las limitaciones de visibilidad al ápice y los errores asociados con la medición en campo, además, medir individualmente la altura de todos los árboles incrementa el tiempo de trabajo, los costos operativos y el esfuerzo del personal; la atura total fue estimada por una persona con amplia experiencia práctica en el campo.

Altura de palmeras. En especies de palmeras se midió la altura total con la ayuda de un clinómetro marca SUUNTO, ya que es la variable que se necesita para estimar la biomasa con la fórmula alométrica seleccionada. El uso del instrumento para medir la altura depende de ubicación de la palmera, si no permite su medición con el instrumento, se estima la altura.

Densidad básica (g cm^3). Fue determinada mediante revisión bibliográfica de cada una de las especies.

Carbono almacenado. Mediante una revisión bibliográfica exhaustiva se identificaron y utilizaron tres modelos matemáticos de mayor confiabilidad para estimar la biomasa aérea de la vegetación arbórea, arbustiva y de palmeras en el campus de la UNA (Cuadro 1), las que pueden usarse también para bosques del trópico seco de Nicaragua, basados en las características edafoclimáticas de la zona en investigación,

mayor coeficiente de determinación, sencillez del modelo y mayor frecuencia de uso en otras investigaciones.

Se estimó la biomasa de todos los árboles y arbustos mayores o iguales a cinco centímetros de DAP, así como de palmeras y luego se estimó el contenido de carbono almacenado al ser multiplicada por 0.47, que es el factor de carbono una vez que se ha removido el agua, metodología aprobada por el IPCC (2019).

Dióxido de carbono extraído y oxigeno liberado a la atmosfera. Una vez estimado el carbono almacenado, se estimó el dióxido de carbono extraído y oxigeno liberado a la atmosfera en el proceso de la fotosíntesis, mediante análisis gravimétrico de las sustancias químicas.

El factor gravimétrico es un número que nos permite convertir la cantidad de carbono (C) almacenado en un árbol o ecosistema en la cantidad equivalente de dióxido de carbono (CO_2) que fue capturado de la atmósfera (Planas, 2022).

Las sustancias se pueden estimar en relación con otra, con una relación gravimétrica (proporción constante entre las masas de los productos que intervienen en una reacción química), es decir, se puede expresar el oxígeno liberado y el carbono en base al CO_2. Los factores son valores que dependen estrictamente de las masas de los elementos o átomos (Planas, 2022).

En cumpliendo con la ley de las proporciones definidas (ley de Proust) como lo propone Planas (2022), el factor gravimétrico para determinar dióxido de carbono extraído de la atmosfera es de 3.67 y para el oxígeno liberado a la atmosfera es 0.72.

Composición florística. Se realizó un análisis de la riqueza y diversidad florística en el campus de la UNA, contabilizando el número de especies y familias.

Análisis estadístico. La información se ordenó en el programa Excel de Microsoft Office 365 Empresarial (Microsoft, 2010). A los datos de la biomasa aérea estimada con las tres formulas alométricas, se les realizó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, así como la prueba de homogeneidad con Levene al 95 % de confiabilidad. Estas pruebas permitieron definir un análisis de varianza (ANDEVA). Todos los procedimientos se realizaron con el programa estadístico SPSS v. 22.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelos alométricos. Las ecuaciones seleccionadas para estimar biomasa aérea fueron 100 % logarítmicas, lo que parcialmente se contrasta con la tendencia generalizada de ajustar funciones logarítmicas para la estimación de biomasa en árboles y arbustos de regiones semiáridas y tropicales (Brown *et al*., 1989).

La mayoría de los modelos utilizan el DAP (diámetro normal), como variable estimadora de la biomasa; sin embargo, Chavez *et al*. (2005) resaltan la importancia de incorporar también en los modelos, la altura y el peso específico de la madera (densidad básica), dado que estos parámetros son responsables de un alto porcentaje de la variación de la biomasa en los bosques tropicales.

El Cuadro 1 muestra las fórmulas alométricas seleccionadas para estimar biomasa aérea, subterránea y de palmeras en el trópico seco, considerando criterios como el mayor coeficiente de determinación (R^2), rango de diámetro del árbol, menor grado de complejidad al usar la fórmula, variables de fácil medición, frecuencia en uso del modelo en otras investigaciones y principalmente el ecosistema que sea lo más similar al área de investigación, que en este caso, es considerado según la clasificación de Holdridge como "seco deciduo tropical".

Cuadro 1. Fórmulas alométricas para determinar biomasa aérea y subterránea de árboles y palmeras en el trópico seco

Ecuación	R^2	Rango diamétrico	Autor
Biomasa aérea total			
$B = Exp (-1.53009 + 2.17632*ln (Dap))$	0.90	4 - 80	Fonseca (2016)
$B= Exp (-2.187+0.916* ln ((\rho_w (D)^2 * H))$	0.91	5 - 156	Chave *et al*. (2005)
$Ln B = -2.290+0.932 ln (D^2 H \rho_w)$	0.95	> 5	Álvarez *et al*. (2011)
Bioma de raíz o subterránea			
$Ln Br= -4.273+2.633ln (D)$	0.88		Sierra (2011)
Biomasa para palmera			
$Bp = 4.5 + 7.7 * H$	0.90		Frangi y Lugo (1985)

B= biomasa aérea, Exp = exponencial, ln = logaritmo natural, Dap = diámetro a la altura del pecho, ρw = gravedad específica, D: diámetro a la altura del pecho, H= altura total, Br= biomasa subterránea, Bp = biomasa palmeras.

Estos modelos estiman la biomasa aérea en función a variables de fácil medición tales como diámetro, altura del árbol y peso específico de la madera (gravedad específica).

Una situación frecuente cuando se estima la biomasa aérea de los árboles tropicales es que los modelos tienden a sobreestimarla en los árboles de gran porte. Para la estimación de la biomasa aérea de árboles de gran porte (individuos con DAP > 80 cm), los cuales superan el límite de diámetro que acepta el modelo seleccionado (Fonseca, 2016), se utilizó la fórmula de Chave *et al*., (2005), esta ecuación permite obtener valores de biomasa para los árboles grandes (> 80 cm), a partir de los datos DAP, altura total y peso específico de la madera.

Los estadísticos comprueban que para estimar biomasa aérea de los árboles mayores o iguales a cinco centímetros de DAP, en el campus de la UNA y en bosques secos de Nicaragua, se puede utilizar cualquiera de las tres fórmulas alométricas usadas en este estudio, ya que no existen diferencias significativas al estimar la biomasa, sin embargo, es posible priorizar la fórmula propuesta por Fonseca (2016), debido a su sencillez por usar únicamente el DAP como variable independiente o predictora. Con esta fórmula se estima una biomasa por árbol igual a 0.35 toneladas, mientras que con la fórmula de Álvares *et al*. (2011) es de 0.34 toneladas y 0.33 t con la fórmula de Chave (2005).

Biomasa y carbono almacenado. En la zona norte del campus de la UNA (17.73 ha), se estima una cantidad de carbono almacenado en la parte aérea y subterránea por árboles igual a 943.68 toneladas y en palmeras de 10.37 toneladas para un total de 954.05 toneladas; en la zona sur (10.5 ha), la biomasa aérea y subterránea estimada en árboles es de 591 toneladas y palmeras de 10.23 toneladas (601.23 t), mientras que en el área del Arboretum (2.04 ha), se estimaron 120.9 toneladas de biomasa aérea y de raíz y corresponde a un espacio sin palmeras.

Los datos de carbono almacenado en la parte aérea y subterránea del campus universitario, implica un estimado de 55.32 t C ha^{-1}, incluyendo el carbono almacenado por palmeras, en el área de la Universidad, igual a 30.3 hectáreas (1 676.18 t C / 30.3 ha).

En un reducto de bosque seco de 20 años, en la comunidad de Nandarola, a 12 km de la ciudad de Nandaime departamento de Granada, al emplear la fórmula de Fonseca (2016) para biomasa aérea y la fórmula de Sierra (2001) para estimar biomasa subterránea o de raíz, se estimó una biomasa total de 64.12 t C ha^{-1}, lo que representa 30.14 t C ha^{-1} almacenado; 25.18 t C ha^{-1} menos de lo fijado en el campus de la UNA y considerando que la universidad tiene una considerable superficie ocupada por edificios.

En comparación con estos resultados, MARENA (2018) reportó un almacenamiento promedio de 43.52 t C ha^{-1} en bosques secos intactos de Nicaragua, caracterizados por una cobertura del dosel superior al 70 %. Este valor es 11.8 t C ha^{-1} inferior al estimado en el campus de la Universidad Nacional Agraria. Esta diferencia podría estar relacionada con las condiciones particulares de los sitios evaluados y el grado de degradación de los bosques secos tropicales de Nicaragua.

Dióxido de carbono extraído y oxigeno liberado en la atmosfera. El análisis gravimétrico, basado en la ley de las proporciones definidas y ley de la composición constante, permite establecer la relación estequiométrica entre el carbono (C) y el dióxido de carbono (CO_2). A partir de los pesos moleculares de ambos compuestos, se obtiene un factor gravimétrico de 3.67; por tanto, una tonelada de carbono equivale a 3.67 toneladas de CO_2.

El factor gravimétrico del oxígeno liberado es de 0.72, resultado del cociente del peso molar de O_2 y peso molar de CO_2, que se extrajo de la atmosfera en el proceso de la fotosíntesis.

La vegetación de la UNA a extraído a la fecha (2023), 6 151.73 toneladas de dióxido de carbono en el proceso de la fotosíntesis, y ha liberado la cantidad de 4 429.28 toneladas de oxígeno a la atmosfera.

Las áreas verdes urbanas desempeñan una función fundamental en la regulación de las condiciones ambientales de las ciudades, debido a que contribuyen a la captura y el almacenamiento de carbono, la liberación de oxígeno mediante la fotosíntesis y la regulación de la temperatura. La cobertura vegetal ayuda a disminuir el efecto de las islas de calor urbanas mediante la sombra proporcionada por los árboles y la evapotranspiración. Asimismo, los espacios verdes proporcionan servicios ecosistémicos relacionados con el mantenimiento del clima local, la calidad del aire y el almacenamiento de carbono (Cifuentes-Jara *et al*., 2021).

Cuadro 2. Biomasa, carbono almacenado, dióxido de carbono fijado y oxígeno liberado por la vegetación

Zona	Biomasa (t)	Carbono almacenado (t)	Dióxido de carbono fijado (t)	Oxigeno liberado (t)
Zona Norte	2 029.89	954.05	3 501.36	2 520.98
Zona Sur	1 279.30	601.23	2 206.67	1 588.80
Arboretum	257.30	120.90	443.70	319.50
Total	3 566.49	1 676.18	6 151.73	4 429.28

Se deduce así, la importancia del mantenimiento y el papel que desempeña la vegetación de la Universidad como forma de mitigar el calentamiento global al extraer dióxido de carbono y liberar oxígeno a la atmosfera, al mismo tiempo que muchas de las especies arbóreas sirven de alimento y refugio a la fauna silvestre, control del microclima, belleza escénica y ambiente agradable a los seres humanos.

Composición florística. Se identificó una riqueza y diversidad florística en la UNA igual a 216 especies arbóreas y arbustivas, pertenecientes a 47 familias botánicas.

Entre las familias botánicas más representativas en se encuentran para la zona norte, Mimosaceae con siete especies, Caesalpiniaceae (5) y Fabaceae (5) y Bignoniaceae y Meliaceae con tres especies cada una.

Las familias botánicas con el mayor número de individuos es Meliaceae con 424 árboles de neem (*Azadirachta indica* A. Juss), Mimosaceae con 239 árboles de guanacaste blanco (*Albizia niopoides* Spruce ex Benth) y Anacardiaceae con 130 árboles de jocote (*Spondias purpurea* L.).

En la zona sur es Mimosaceae con cuatro especies, Bignoniaceae, Moraceae y Myrtaceae con tres especies cada una.

Las familias con el mayor número de individuos para la zona sur es Meliaceae con 236 árboles de neem siendo la especie más representativa, Anacardiaceae con 77 árboles de mango (*Mangifera indica* L.) y Moraceae con 66 árboles siendo laurel de la india (Ficus benjamina L.) la especie con mayor número de individuos.

En el área del Arboretum la familia botánica más representativa es Fabaceae con 13 especies, Caesalpiniaceae con nueve y Mimosaceae con siete especies, sin embargo, las familias con mayor número de individuos es Meliaceae con 154 árboles siendo el neem el más representativo (81 árboles), Anacardiaceae con 141 árboles de jocote y Mimosaceae con 89 árboles, siendo guanacaste blanco la especie con el mayor número de individuos (14).

Del total de familias en la UNA las más diversas en cuanto al número de especie corresponden a Fabaceae y Mimosaceae (18 especies cada una) seguido de Caesalpiniaceae con 14 especies. La especie con mayor número de árboles es el neem (*Azadirachta indica* A. Juss), Guanacaste blanco (*Albizia niopoides* Spruce ex Benth) y mango (*Mangifera indica* L.).

Cuadro 3. Número de familia, especies e individuos por zona en el Campus de la UNA, 2023

	Z. Norte	Z. Sur	Arboretum	Total
N° Familia	32	29	38	47
N° Especies	65	48	110	216
N° Individuo	1 357	842	934	3 133
Área (ha)	17.73	10.50	2.04	30.30

Gutiérrez Rodríguez (2020), señala que conocer la diversidad de las especies arbóreas es necesario para planificar el manejo sostenible del arbolado público. La planificación de las áreas verdes debe considerar no solo la cantidad de árboles plantados, sino la diversidad de especies, su distribución y su adaptación a las condiciones ambientales urbanas.

Una mayor variedad de especies vegetales contribuye a ofrecer diferentes recursos y hábitats para la fauna urbana, además de favorecer la provisión de servicios ecosistémicos.

La diversidad arbórea constituye un componente fundamental de las áreas verdes urbanas, debido a que la variedad de familias, especies e individuos influye en la composición florística, la disponibilidad de hábitats y los servicios ecosistémicos que proporciona la vegetación (Romero-Vargas *et al*., 2022).

CONCLUSIONES

Los modelos alométricos seleccionados resultaron adecuados para estimar la biomasa aérea, subterránea y de palmeras, lo que permitió estimar de manera confiable la biomasa y el carbono almacenado en la vegetación de la Universidad Nacional Agraria. Los resultados destacan el papel de los árboles, arbustos y palmeras como importantes sumideros de carbono en entornos urbanos, contribuyendo a la mitigación del cambio climático. La riqueza y diversidad florística evidencian el alto valor ecológico de estas áreas verdes y su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos, destacando la importancia de su conservación y fortalecimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez, E., Saldarriaga, J. G., Duque, A. J., Cabrera, K. R., Yepes, A. P., Navarrete, D. A. y Phillips, J. F. (2011). *Selección y validación de modelos para la estimación de la biomasa aérea en los bosques naturales de Colombia.* Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, *18*(1), 32–42. http://links.jstor.org/sici?sici=0013-189X%28198901%2F02%2918%3A1%3C32%3ASCATCO%3E2.0.CO%3B2-2

Cifuentes-Jara, M., Brenes, R., Brenes Pérez, C., Corrales, L., Vargas, M., Betbeder, J., Vargas, G., Guerrero, A. y Fung McLeod, E. (2021). *Islas de calor y regulación de la temperatura en la ciudad: Rol de los espacios verdes* [Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)]. Repositorio Institucional. https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/10883

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., Riera, 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

Fonseca, W. (2016). *Construcción de funciones alométricas para Costa Rica en el contexto del Proyecto de Protección Ambiental a través de la Protección de los Bosques de Centroamérica* (Informe final). Universidad Nacional y Agencia de Cooperación Alemana (GIZ). https://bit.ly/2VnJcE7

Frangi, J. L., & Lugo, A. E. (1985). Ecosystem dynamics of a subtropical floodplain forest. *Ecological Monographs*, *55*(3), 351–369.

Gutiérrez Rodríguez, N. de los Ángeles. (2020). *Manual de arboricultura en espacios públicos urbanos del Municipio de Managua* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. https://repositorio.una.edu.ni/4268/

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2023). *Normas históricas EAAI*. https://mapoteca.ineter.gob.ni/articulos/areas-tecnicas/meteorologia/normas-historicas-eaai.html

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories* (H. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe, Eds.). IGES (National Greenhouse Gas Inventories Programme).

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). *Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. https://www.ipcc.ch/srccl/

Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. (2018). *Densidades de carbono estimadas a partir de los datos del inventario nacional forestal para el territorio continental de Nicaragua (NREF)*.

Microsoft Corporation. (2023). *Microsoft Excel* (versión de Microsoft 365) [Software informático]

Planas, O. (2022). Ley de las proporciones definidas o ley de Proust. *Energía nuclear*. https://energia-nuclear.net/energia/energia-quimica/leyes-de-la-quimica/proporciones-definidas

Romero-Vargas, M., Bermúdez-Rojas, T., Durán-Apuy, A., Alfaro-Sánchez, M. y Bonilla-Soto, S. (2022). Áreas verdes urbanas, una caracterización paisajística y biológica aplicada a una microcuenca de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, *2*(69), 319–348. https://doi.org/10.15359/rgac.69-2.1

Saldívar, I., Vammen, K., Castillo, X., Torrez, M. A., Vega, G. H., Cornejo, I., Saenz, R., Incer-Barquero, J., Arendt, W. J. y Maes, J. M. (2025). Historia natural del bosque tropical seco de Nicaragua. *Revista nicaragüense de Biodiversidad*, 116, 1-217. https://doi.org/10.5281/zenodo.15046809

Segura, M. y Andrade, H. (2008). ¿Cómo hacerlo? ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? *Agroforestería de las Américas*, 46, 89–96.

Sierra, C. A., Del Valle, J. I. y Alonso, S. A. (2001, octubre 18–20). *Ecuaciones de biomasa de raíces y sus tasas de acumulación en bosques sucesionales y maduros tropicales de Colombia* [Ponencia]. Simposio Internacional de Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales,

Villanueva, E. (1990). *Los suelos de la finca Las Mercedes y las propiedades más relevantes para planear su uso y manejo* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. http://repositorio.una.edu.ni/2589/1/tnp33v718.pdf

Zapata, M., Colorado, G. J. y Del Valle, J. I. (2003). Ecuaciones de biomasa aérea para bosques primarios intervenidos y secundarios. En S. A. Orrego, J. I. Del Valle, y F. H. Moreno (Eds.), *Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: Contribuciones para la mitigación del cambio climático* (pp. 314). Universidad Nacional de Colombia.