



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

Dirección de ciencias Ambientales y Cambio Climático

Trabajo de Tesis

**Para optar al título de Ingeniero Forestal con mención en
Restauración de Ecosistemas Forestales.**

**Estimación del carbono, dióxido de carbono y oxígeno liberado
por la vegetación del campus de la Universidad Nacional Agraria
mediante fórmulas alométricas y análisis gravimétrico,
Nicaragua, 2023.**

Autor(es)

Br. Maria Daniela Centeno Espinoza

Asesor(es)

Ing. Lucilizabeth Pérez

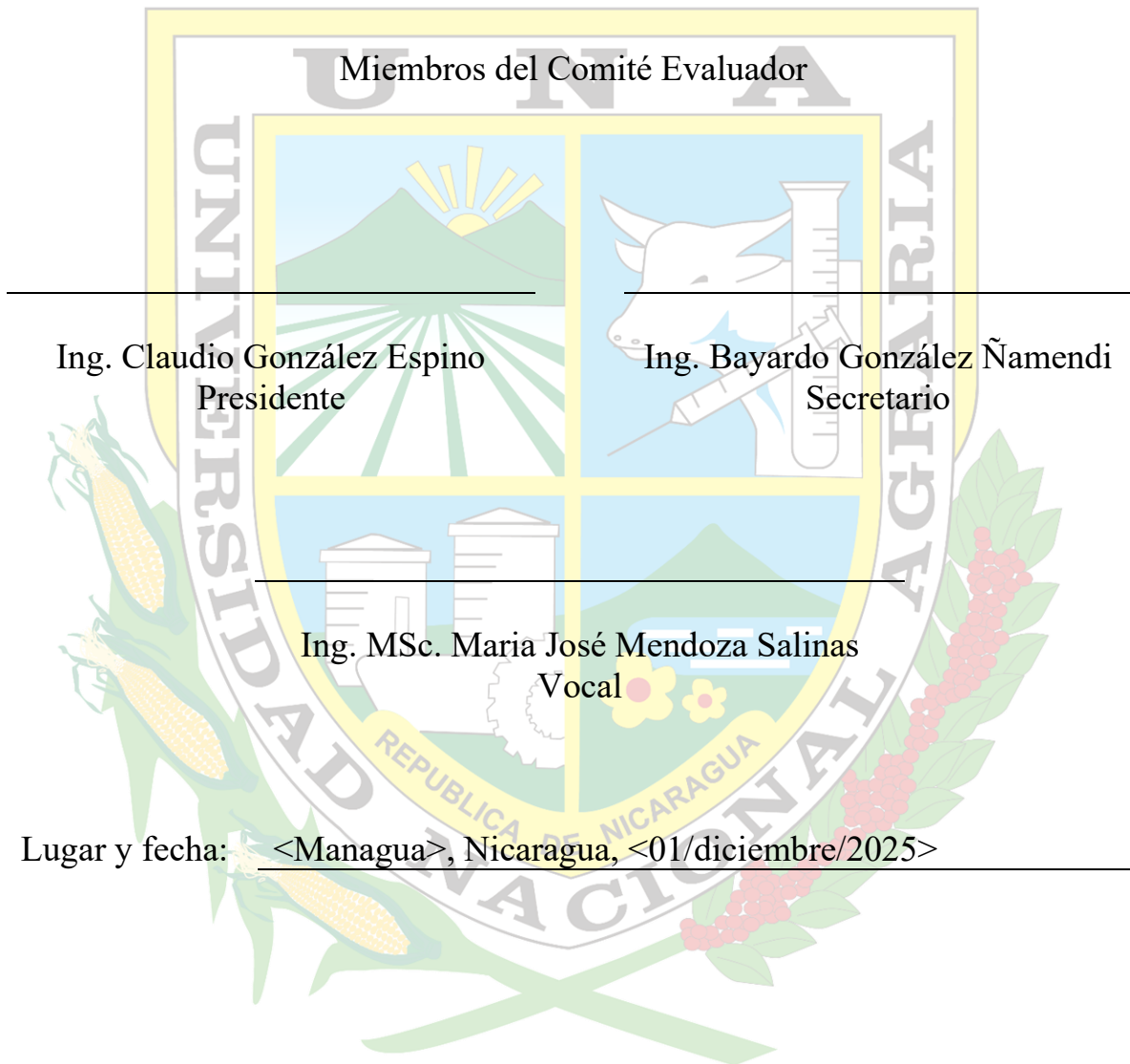
Ing. MSc. Olman Narváez

Presentado a la consideración del honorable comité evaluador como
requisito final para optar al grado de Ingeniero Forestal.

**Managua, Nicaragua
Diciembre, 2025**

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable comité evaluador designado por la decanatura de la Dirección de Ciencias ambientales y Cambio Climático como requisito final para optar al título profesional de:

<Ingeniero Forestal>



ÍNDICE GENERAL

SECCIÓN	PÁG
ÍNDICE DE CUADROS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE ANEXOS	6
i. DEDICATORIA	7
ii. AGRADECIMIENTO	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo general	13
2.2. Objetivos específicos	13
III. MARCO DE REFERENCIA.....	14
3.1. Cambio climático y CO ₂	14
3.2. Ciclo del carbono	14
3.3. Biomasa	14
3.4. Tipos de Biomasa vegetal	14
3.5. Estimación de la biomasa vegetal	15
3.6. Importancia de la biomasa	16
3.7. Métodos de estimación de Biomasa	16
3.8. Formulas alométricas:	16
3.9. Variables dasométricas usadas en las fórmulas alométricas	17
3.10. Análisis gravimétrico de las sustancias químicas (CO ₂ y O).	18
3.11. Composición florística	18
3.12. Índice de similitud de Jaccard	19
3.13. Importancia de la Vegetación presente en los campus universitarios	19
3.14. Carbono almacenado	20
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	22
4.1. Descripción y ubicación del área de estudio	22

4.2. Proceso metodológico.	23
4.2.1. <i>Etapa 1: Exploración</i>	23
4.2.2. <i>Etapa 2: Campo</i>	25
4.2.3. <i>Etapa 3: Procesamiento de datos</i>	26
4.2.4. <i>Etapa 4: Análisis de datos</i>	27
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
5.1. Modelos alométricos seleccionados	29
5.2. Análisis estadísticos	30
5.3. Biomasa y carbono almacenado	32
5.4. Dióxido de carbono extraído y oxígeno liberado en la atmósfera	33
5.5. Índice de Jaccard	35
5.6. Composición florística	36
5.6.1. Riqueza y diversidad florística.....	36
V. CONCLUSIONES	38
VI. RECOMENDACIONES	40
VII. LITERATURA CITADA	42
VIII. ANEXOS	48

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1.	Cuadro 1. Fórmulas alométricas seleccionadas para la estimación de biomasa aérea, subterránea de árboles y biomasa en palmas en el trópico seco de Nicaragua.	30
2.	Cuadro 2. Biomasa, carbono almacenado, dióxido de carbono fijado y oxígeno liberado por la vegetación con DAP \geq 5 cm, (biomasa aérea, subterránea y palmeras) en el Campus de la Universidad Nacional Agraria, 2023.	34
3.	Cuadro 3. Número de familia, especies e individuos por zona en el Campus de la Universidad Nacional Agraria, 2023.	37

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1.	Figura 1: Mapa de ubicación de las tres zonas estudiadas en la Universidad Nacional Agraria, Managua.	22
2.	Figura 2: Proceso metodológico empleado en el campus de la UNA.	23
3.	Figura 3: Dendrograma de similitud florística entre las zonas norte, sur y arboretum del campus de la Universidad Nacional Agraria, obtenido mediante el índice de similitud de Jaccard.	35

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1.	Anexo 1. Lista general de las especies arbóreas encontradas en el campus de la Universidad Nacional Agraria.	48
2.	Anexo 2. Lista del origen de las especies arbóreas encontradas en el campus de la Universidad Nacional Agraria. (<i>Exóticas o Nativas</i>)	57
3.	Anexo 3. Lista de familias encontradas en el campus de la Universidad Nacional Agraria, 2023.	63
4.	Anexo 4. Formato para la recolección de variables.	69

i. DEDICATORIA

A Dios por darme sabiduría y fuerzas.

Y por supuesto, va dirigido a todas las personas que estuvieron a mi lado durante los años en la universidad, prácticas de familiarización, preprofesionales y en la culminación de estudios que elegí.

A mi madre, Angela Espinoza porque siempre me apoyó y me animó desde que entré a la carrera. Mi abuela, María Larios y mi tía, Marlin Centeno, por el apoyo incondicional.

A mis amigos, Ernesto Pérez, Bryan Porras y Juan Guadamuz, que me animaron cuando sentía que no iba a poder lograr esto. Todo mi cariño para ustedes.

También, a mi familia en general por siempre creer en mí, brindarme su apoyo y cariño.

A los maestros que me impartieron clases y especialmente a mis asesores que me ayudaban cuando me sentía muy desorientada, principalmente al Ing. MSc. Olman Narváez Espinoza y Ing. Lucilizabeth Pérez.

A vos, B. Ramos, porque estuviste desde el inicio, siempre me apoyaste y creíste en mí.

Y a mis mascotas, por estar a mi lado en los momentos donde la ansiedad y la depresión me consumían y lograban darme calma.

ii. AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a la Universidad Nacional Agraria, por haberme formado académicamente, por brindarme las herramientas necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi vida profesional. Toda mi gratitud a los docentes; especialmente al Ing. Bayardo González e Ing. Claudio González, monitores y al personal en general, quienes con su dedicación y compromiso contribuyeron a mi aprendizaje y crecimiento.

De manera especial, agradezco a Cultura UNA por abrirme las puertas de sus salones y ofrecerme un espacio para expresar mi arte y desarrollar mis trabajos académicos, permitiéndome crecer no solo como estudiante, sino también como persona. Mi reconocimiento y cariño sincero a la maestra Victoria Borge por su apoyo y al maestro Aurelio Núñez, que nunca falte el neón en nuestras vidas.

A mis amigos Maria José Ponce y Jeferson Paíz, gracias por su amistad incondicional y por compartir sus conocimientos conmigo a lo largo de este proceso. A Solange Olivas y Faber Aguilar, gracias por brindarme alegría y ánimo en los momentos de mayor estrés.

Asimismo, expreso mi agradecimiento a la Reserva Silvestre Privada “Montibelli”, por permitirme realizar mis prácticas preprofesionales en sus instalaciones. En especial, a Jakelin Selva y Juan De la Cruz Rodriguez, por su acompañamiento, disposición y apoyo durante esta experiencia.

Finalmente, le agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, formaron parte de este proceso y contribuyeron a la culminación de esta meta.

María Daniela Centeno Espinoza.

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el campus de la Universidad Nacional Agraria (UNA), ubicado en Managua, Nicaragua, durante el año 2023, con el propósito de evaluar el potencial de la vegetación arbórea y de palmas para almacenar carbono, fijar dióxido de carbono y liberar oxígeno como parte de los procesos ecológicos que contribuyen a la mitigación del cambio climático. El estudio se desarrolló en tres sectores del campus universitario: zona norte, zona sur y Arboretum, que en conjunto abarcan una superficie aproximada de 30.3 hectáreas. Se llevó a cabo un inventario forestal de los individuos con diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor o igual a 5 cm, registrando variables dasométricas como diámetro y altura total. Para la estimación de la biomasa aérea, subterránea y de palmeras se aplicaron modelos alométricos previamente desarrollados para ecosistemas de bosque seco tropical. A partir de la biomasa estimada se calculó el carbono almacenado utilizando factores de conversión ampliamente aceptados en estudios forestales. Posteriormente se determinó la cantidad de dióxido de carbono fijado y el oxígeno liberado mediante relaciones gravimétricas derivadas de los pesos moleculares del carbono y del dióxido de carbono. Asimismo, se evaluó la composición y riqueza florística de la vegetación presente en el campus, así como la similitud entre zonas mediante el índice de Jaccard. Los resultados evidenciaron una alta diversidad de especies arbóreas y arbustivas, con predominio de las familias Mimosaceae, Caesalpiniaceae y Fabaceae. En total, la vegetación del campus almacenó aproximadamente 1 612.14 toneladas de carbono, lo que equivale a la captura de 5 916.56 toneladas de dióxido de carbono y la liberación de 4 259.92 toneladas de oxígeno a la atmósfera. Estos resultados demuestran la relevancia ecológica de las áreas verdes del campus universitario, destacando su contribución al almacenamiento de carbono, regulación del microclima y provisión de servicios ecosistémicos en entornos urbanos.

***Palabras clave:** biomasa forestal, carbono almacenado, ecuaciones alométricas, captura de dióxido de carbono, composición florística, servicios ecosistémicos.*

ABSTRACT

This research was conducted at the campus of the National Agrarian University (UNA), located in Managua, Nicaragua, during 2023. The main objective was to evaluate the potential of arboreal vegetation and palms to store carbon, capture carbon dioxide, and release oxygen as part of ecological processes that contribute to climate change mitigation. The study was carried out in three sectors of the university campus: the northern zone, southern zone, and the Arboretum, which together cover approximately 30.3 hectares. A forest inventory was conducted including all individuals with a diameter at breast height (DBH) equal to or greater than 5 cm, recording dendrometric variables such as diameter and total height. To estimate aboveground, belowground, and palm biomass, allometric models previously developed for tropical dry forest ecosystems were applied. From the estimated biomass, stored carbon was calculated using conversion factors commonly used in forest studies. Subsequently, the amount of carbon dioxide captured and oxygen released was determined using gravimetric relationships derived from the molecular weights of carbon and carbon dioxide. In addition, the floristic composition and species richness of the vegetation within the campus were evaluated, and the similarity between study areas was analyzed using the Jaccard index. The results revealed a high diversity of tree and shrub species, with dominance of the families Mimosaceae, Caesalpiniaceae, and Fabaceae. Overall, the campus vegetation stored approximately 1,612.14 tons of carbon, which is equivalent to the capture of 5,916.56 tons of carbon dioxide and the release of 4,259.92 tons of oxygen into the atmosphere. These findings highlight the ecological importance of green areas within the university campus, emphasizing their contribution to carbon storage, microclimate regulation, and the provision of ecosystem services in urban environments.

I. **Key words:** *forest biomass, stored carbon, allometric equations, carbon dioxide capture, floristic composition, ecosystem services.*

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es el mayor problema que enfrenta la humanidad, razón suficiente para brindarle la atención requerida y asignar recursos para generar información que pueda evitar un desastre mayor. Las consecuencias negativas que tendrá sobre la calidad de vida de los seres humanos ha sido discusión en el ámbito científico, político, económico y ambiental, por el impacto que tendrá sobre los recursos naturales y cultivos agrícolas.

Las actividades humanas asociadas a la deforestación, quema de combustibles fósiles, agricultura extensiva y ciertos procesos industriales, están produciendo un exceso de gases de efecto invernadero principalmente CO₂, que alcanza importantes volúmenes en la atmósfera.

Nicaragua perdió en los últimos cinco años 1 032 682 hectáreas de bosque denso. Y el promedio de precipitación anual ha disminuido en un 35 %, según el Centro Humboldt, a través del documento *Agenda Ambiental para el Desarrollo Sostenible, Nicaragua 2020*.

La pérdida de vegetación permite que grandes cantidades de carbono no sea fijado, disminuyendo la producción de oxígeno y aumentando los niveles de CO₂ en la atmósfera, principal gas de efecto invernadero que ha traído repercusiones negativas a nivel global con el cambio climático.

Los árboles contribuyen a mitigar estos cambios por medio de la absorción de dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera y convertirlo en carbono que se almacena en sus estructuras (tronco, raíces y hojas). Adicionalmente, queda carbono almacenado en el suelo, en la materia orgánica al ras del suelo (hojarasca) y en árboles muertos (SEMARNAT, 2018).

La conservación y aumento de áreas de vegetación son fundamentales, ya que mediante el proceso de la fotosíntesis reducen el volumen de CO₂. En este sentido el campus de la Universidad Nacional Agraria juega un papel importante debido a la gran cantidad y diversidad de especies arbóreas y palmeras que conserva dentro de sus límites.

La Universidad Nacional Agraria en el afán de mantener la estética, difundir valores, principios ambientales y mejorar el entorno para un ambiente agradable a todos los miembros de su comunidad, realiza actividades que promueven la protección y siembra de especies vegetales

(árboles y palmeras), estos a su vez almacenan carbono, producen oxígeno y disminuyen el CO₂ en la atmosfera.

La UNA realizó investigaciones sobre fijación de carbono, en pocos ecosistemas vegetales por el método destructivo y el método tradicional mediante el uso del Factor de Expansión de Biomasa, pero poco o ninguno empleando fórmulas alométricas.

El uso de estas fórmulas, debidamente seleccionadas, ya sea por el grado de mayor confiabilidad (R²), ecosistemas semejantes, criterios de validación, no permiten la destrucción de los árboles, estimando la biomasa de árboles individuales de forma indirecta, considerando variables fáciles de medir en el campo.

Esto combinado con principios químicos importantes, como el análisis gravimétrico de las sustancias químicas, basado en *Ley de las proporciones definidas* y *la Ley de la consistencia de la composición*, determinan la cantidad de CO₂ captado de la atmósfera y oxígeno liberado a partir del CO₂ captado en el proceso de la fotosíntesis, permitiendo estimar el almacenamiento de carbono, disminución del CO₂ de la atmosfera y producción de oxígeno.

El propósito y la importancia de esta investigación está centrada en identificar y promover el uso de los modelos matemáticos confiables, para estimar la biomasa y con ello estimar la cantidad de carbono almacenado, CO₂ captado y O₂ liberado a la atmósfera, sin tener que destruir la vegetación arbórea y avalada por el IPCC, dado que el método destructivo, es un trabajo complejo, antiecológico y de costos muy elevados.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar la contribución ambiental de la vegetación arbórea y palmeras en el campus de la Universidad Nacional Agraria, al almacenar carbono, extraer dióxido de carbono de la atmósfera y producción de oxígeno durante en proceso de la fotosíntesis.

2.2. Objetivos específicos

Seleccionar modelos matemáticos de mayor confiabilidad para estimar biomasa de árboles y palmeras, considerando características edafoclimáticas, similares al campus de la UNA.

Estimar el contenido de carbono almacenado, dióxido de carbono fijado y oxígeno liberado a la atmósfera en el campus de la UNA.

Determinar la riqueza y composición florística en e campus de la Universidad Nacional Agraria, existente en el año 2023.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Cambio climático y CO₂

El cambio climático es la alteración a largo plazo de los patrones climáticos globales, caracterizada por un aumento de la temperatura de la Tierra, impulsado principalmente por actividades humanas. El dióxido de carbono (CO₂) es un importante gas que atrapa el calor, o gas de efecto invernadero, que proviene de la extracción y quema de combustibles fósiles (como carbón, petróleo y gas natural), de incendios forestales y de procesos naturales como erupciones volcánicas (NASA, s.f.).

3.2. Ciclo del carbono

Este describe la circulación del CO₂ entre la atmósfera, los organismos vivos, los océanos y la litosfera. En la atmósfera el carbono se encuentra principalmente como dióxido de carbono (CO₂), que se puede disolver en el agua y transformarse en bicarbonato (HCO₃).

A través de la fotosíntesis, los organismos autótrofos CO₃ o bicarbonato para producir compuestos orgánicos que pasan las cadenas tróficas y son liberados nuevamente como CO₂ mediante a la respiración celular y la descomposición. Parte del carbono puede almacenarse a largo plazo en suelos, sedimentos o rocas carbonatadas; y procesos naturales como erupciones volcánicas y la quema de combustibles fósiles aceleran su retorno a la atmósfera (Khan Academy, s.f.).

3.3. Biomasa

La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica (CESI Energy, 2021).

3.4. Tipos de Biomasa vegetal

Podemos estar hablando del peso del material vegetal vivo aéreo y subterráneo en una unidad de área determinada y en un espacio establecido del tiempo. Y también de

materia vegetal muerta en distintos estados de descomposición y es un importante reservorio de carbono en los bosques tropicales (Palace *et al.*, 2007; citado por Borrero, 2012).

3.4.1. Biomasa aérea

Es toda la biomasa viva que se encuentra sobre el suelo, con inclusión de tallos, tocones, ramas, corteza, semillas y follaje. IPCC (2006).

3.4.2. Biomasa subterránea

Es toda la biomasa viva de raíces. A veces se excluyen raíces finas de menos de 2 mm de diámetro, porque con frecuencia no se pueden distinguir empíricamente de la materia orgánica del suelo IPCC (2006).

3.4.3. Necromasa

Es la materia vegetal muerta en distintos estados de descomposición y es un importante reservorio de C en los bosques tropicales (Palace *et al.*, 2007).

La necromasa comprende el mantillo, que es la hojarasca fina ≤ 2 cm, como hojas, flores, frutos, semillas y fragmentos de éstas, y ramitas; y los detritos leñosos gruesos, como pedazos de madera, troncos, ramas, raíces muertas, y árboles muertos en pie o caídos (Harmon *et al.*, 1986; Orrego & del Valle, 2001).

3.5. Estimación de la biomasa vegetal

En las poblaciones vegetales existe una relación estadística entre las diferentes medidas de un individuo y esta se deriva del desarrollo ontogénico de los individuos que es la misma para todos, salvo la variabilidad asociada a la historia personal de cada uno. Así, las proporciones entre altura y diámetro, entre tamaño de la copa del árbol y el diámetro, entre la biomasa y el diámetro, obedecen a una regla que es la misma para todos los árboles que viven en las mismas condiciones, desde el más pequeño al más grande (King, 1996; Archibald & Bond, 2003; Bohlman & O'Brien, 2006; Dietze *et al.*, 2008).

Se trata del principio básico de la alometría que permite predecir una medida de un árbol (lo típico es su biomasa) en función de otra medida (por ejemplo, su diámetro). Una ecuación alométrica es una fórmula que formaliza de forma cuantitativa dicha relación (King, 1996; Archibald & Bond, 2003; Bohlman & O'Brien, 2006; Dietze *et al.*, 2008).

3.6. Importancia de la biomasa

Los sistemas de bioenergía ofrecen posibilidades significativas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto se debe a su inmenso potencial para reemplazar los combustibles fósiles en la producción de energía. La biomasa reduce las emisiones y mejora la captura de carbono, ya que los cultivos de rotación corta o los bosques establecidos en tierras agrícolas abandonadas acumulan carbono en el suelo. La energía de biomasa suele proporcionar un efecto de mitigación irreversible al reducir el dióxido de carbono en la fuente. Sin embargo, puede emitir más carbono por unidad de energía que los combustibles fósiles (UCMA, 2021).

3.7. Métodos de estimación de Biomasa

Existen dos métodos comúnmente usados para estimar la biomasa: el método directo y el indirecto. Dentro del primero está el destructivo, que consiste en cortar el árbol y determinar la biomasa pesando directamente cada componente (Araujo *et al.*, 1999; citado por Fonseca, W *et al.*, 2009).

Una forma para estimar la biomasa con el método indirecto es a través de ecuaciones matemáticas, generadas por medio de análisis de regresión lineal y no lineal en forma individual o aditiva entre las variables de biomasa, diámetro, altura, cobertura y densidad específica (Brown, 1997; Chave *et al.*, 2005 citado en Yamallel *et al.*, 2020).

3.8. Formulas alométricas:

Los modelos alométricos son ecuaciones matemáticas que permiten estimar el volumen, biomasa o carbono de árboles, arbustos y palmas en función de unas pocas variables de fácil medición, tales como el diámetro del tronco a la altura del pecho (DAP) y/o la altura total (Parresol, 1999).

En el vídeo de CATIE (2015), Fernando Casanoves señala que: “A partir de esas estimaciones de biomasa, se pueden realizar estimaciones de carbono y entrar, por ejemplo, a los mercados de carbono o hacer evaluaciones de los cambios de stocks de carbono de un quinquenio a otro en un inventario forestal.” (min 2:15).

3.9. Variables dasométricas usadas en las fórmulas alométricas

Los modelos alométricos, en su mayoría, incluyen como única variable explicativa al diámetro normal (D) del árbol (Aguirre-Calderón y Jiménez-Pérez, 2011; Baishya, 2011 citado en Navarro-Martínez *et al.*, 2020); sin embargo, al agregar al modelo la densidad específica, la altura total del árbol (H) o el factor de forma, mejora la capacidad predictiva de los mismos (Návar, 2010; Solano, Vega, Eras y Cueva, 2014; Chave *et al.*, 2015; Soriano-Luna, Ángeles-Pérez, Martínez-Trinidad, Plascencia-Escalante y Razo-Zárate, 2015; Wang, Zhang y Feng, 2018 citado en Navarro-Martínez *et al.*, 2020).

Para estimar la biomasa, los modelos periódicamente se basan a priori lineales o no lineales de tipo potencial que usan a D o $D^2 H$ como variable independiente (Návar 2009, Wang *et al.*, 2018 citado en Navarro-Martínez *et al.*, 2020). Otros autores proponen un conjunto de modelos y eligen el mejor usando los estadísticos: coeficiente de determinación ajustado, error estándar de los residuos y coeficiente de variación (Návar-Cháidez, 2010; Domínguez-Cabrera, Aguirre-Calderón, Jiménez-Pérez, Rodríguez- Laguna y Díaz-Balderas, 2009; Méndez-González *et al.*, 2011 citado en Navarro-Martínez *et al.*, 2020).

Un enfoque más consiste en proponer modelos que incluyen un mayor número de variables independientes, de las cuales se seleccionan las más importantes con los procedimientos hacia atrás o hacia adelante. Estos procedimientos hacen la selección utilizando como criterio el P-valor de cada variable, el coeficiente de determinación o el estadístico Cp de Mallows (Hernández-Ramos *et al.*, 2017 citado en Navarro-Martínez *et al.*, 2020).

Para estimar la biomasa mediante ecuaciones o modelos basados en análisis de regresión, utilizan variables colectadas en el campo tales como el diámetro a la altura del pecho (D), la altura comercial (HC) y altura total (HT), el crecimiento diamétrico, el área basal y la densidad específica de la madera (Jordan y Uhl 1978, Saldarriaga *et al.* 1988, Brown 1997, Araujo *et al.* 1999, Francis 2000 citado en Fonseca, W *et al.*, 2009).

3.10. Análisis gravimétrico de las sustancias químicas (CO₂ y O).

De acuerdo con Planas, la ley de proporciones definidas significa que: Cuando un determinado compuesto sufre una reacción química, la proporción de masa de la sustancia involucrada en la reacción es siempre constante independientemente del origen de la sustancia. Esta ley también se conoce como ley de Proust o ley de las proporciones constantes (Planas, O, 2022).

Además, dado que la conversión elemental no ocurre en una reacción química, esto también significa que la relación de masa de los distintos elementos que constituyen el compuesto es siempre constante. Ley de la consistencia de la composición establece que las masas de los elementos que toman parte en un cambio químico muestran una relación definida e invariable entre sí (Planas O, 2022).

3.11. Composición florística

La composición florística describe al número de familias, géneros y especies en un bosque al momento de realizar un inventario. Los elementos que se consideran para lograrlo se enfocan en la diversidad, riqueza de especies y la similitud entre otras (Louman *et al.*, 2006, citado en Manzanilla, G. *et al.*, 2021).

Los estudios de la vegetación son uno de los principales soportes para la planificación, manejo y conservación de cualquier ecosistema. Por tal motivo, un inventario florístico planificado debe suministrar información de la riqueza específica (diversidad alfa) (Villareal *et al.*, 2006 citado en Manzanilla, G *et al.* 2021), en la que se incluye solamente el número de especies, no la abundancia de cada una de ellas.

3.12. Índice de similitud de Jaccard

Para evaluar el grado de similitud en la composición de especies entre las 3 zonas de muestreo, se utilizó el *índice de Jaccard*. Este índice es ampliamente empleado en estudios ecológicos para comparar comunidades biológicas a partir de datos de presencia y ausencia de especies (Jaccard, 1901).

El índice de Jaccard se basa en la proporción de especies compartidas entre dos muestras respecto al total de especies registradas en ambas. Su valor oscila entre *0 y 1*, donde valores cercanos a *0* indican baja similitud entre las comunidades, mientras que valores próximos a *1* reflejan una alta similitud en la composición de especies.

3.13. Importancia de la Vegetación presente en los campus universitarios

Desde el punto de vista de Carracedo & Fernández, los espacios libres verdes cumplen funciones muy diversas de tipo sanitario, psicosocial, recreativa, estética, ambiental y urbanística. Así, debido a los beneficios que reportan en el bienestar físico y emocional de las personas son considerados por la Organización Mundial de la Salud como imprescindibles. Por otro lado, contribuyen a hacer más habitables los espacios urbanos, en este caso los universitarios, contribuyendo a la mejora de su calidad ambiental, e incluso para una parte de la población suponen el mayor contacto que tienen con la naturaleza (Carracedo & Fernández, 2017).

La vegetación en los campus universitarios desempeña un papel fundamental que va más allá de lo estético o visual, tales como:

A. Bienestar físico y mental:

La vegetación en los campus universitarios contribuye significativamente al bienestar físico y mental de los estudiantes y el personal en general; ya que el contacto con áreas naturales reduce el estrés, mejora el estado de ánimo y favorece la concentración de los estudiantes (Bratman *et al.*, 2019). Además, estos espacios promueven una sensación de tranquilidad y bienestar general.

B. Educación y conciencia ambiental:

La vegetación en los campus universitarios tiene un valor académico, pues sirve como laboratorio vivo para investigaciones relacionadas con la ecología, manejo forestal, arquitectura del paisaje y educación ambiental (Muñoz & Hernández, 2020). Asimismo, fomenta una cultura de sostenibilidad y respeto por el medio ambiente dentro de la comunidad universitaria.

C. Beneficios ecológicos:

Desde el punto de vista ecológico, la vegetación ayuda a regular la temperatura, mejorar la calidad del aire; al capturar contaminantes atmosféricos y absorber dióxido de carbono, contribuyendo así a un entorno más saludable (Escobedo *et al.*, 2015). Estos espacios verdes funcionan como refugio para diversas especies de flora y fauna, favoreciendo la conservación de la biodiversidad en entornos urbanos. (Aronson *et al.*, 2017). También colaboran con el manejo del agua, pues las raíces facilitan la infiltración y reducen la escorrentía, disminuyendo riesgos de inundaciones y erosión del suelo (Jim, 2017).

D. Valor estético y cultural:

La vegetación también aporta valor estético y cultural a los campus universitarios. Contribuye a la identidad institucional, embellece el entorno y crea espacios de encuentro que promueven la interacción social, las actividades recreativas y la construcción de comunidad.

3.14. Carbono almacenado

Los bosques extraen carbono de la atmósfera, convirtiéndolos en un depósito, también liberan dióxido de carbono. Esto ocurre naturalmente, como cuando un árbol muere y se descompone (liberando así dióxido de carbono, metano y otros gases). El movimiento de carbono y otros gases dentro de los bosques y suelos forman un ciclo. La gestión forestal puede influir en estos ciclos y mejorar la captura de carbono (Norman y Kreyer, 2022).

El carbono almacenado, también denominado carbono secuestrado, se refiere a la cantidad de carbono que permanece retenida en la biomasa vegetal, en el suelo y en la materia orgánica en descomposición. Este proceso es esencial para la mitigación del cambio climático, ya que reduce la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera. En los ecosistemas terrestres, los árboles son uno de los principales sumideros de carbono, debido a que capturan CO₂ mediante la fotosíntesis y lo incorporan a su estructura en forma de madera, hojas y raíces (Pan *et al.*, 2011).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción y ubicación del área de estudio



Figura 3: Mapa de ubicación de las tres zonas estudiadas en la Universidad Nacional Agraria, Managua.

La Universidad Nacional Agraria, se encuentra ubicada en el km 12 carretera Norte, en la capital de Managua, a los $12^{\circ} 08'36''$ latitud Norte y a los $86^{\circ} 09' 49''$ longitud Oeste a 56 m.s.n.m. (Rivers, 2007; citado en Peña, 2013). La temperatura anual promedio es de 26° C, con una humedad relativa promedio del 70% y precipitaciones de 1000-1300 mm al año (INETER, 2004; citado en Peña, 2013).

Los suelos muestran una complejidad y heterogeneidad, son poco desarrollados y presentan capas endurecidas que conducen a diferentes secuencias texturales. Estos han sido afectados por

procesos de calcificación debido a la presencia de altos índices de carbonatos, valores altos de pH, alta concentración de magnesio (INETER, 2004).

4.2. Proceso metodológico.

El proceso metodológico del presente trabajo de investigación se desarrolló en diferentes fases, las cuales permitieron la recolección, procesamiento y análisis de la información; descritas a continuación:

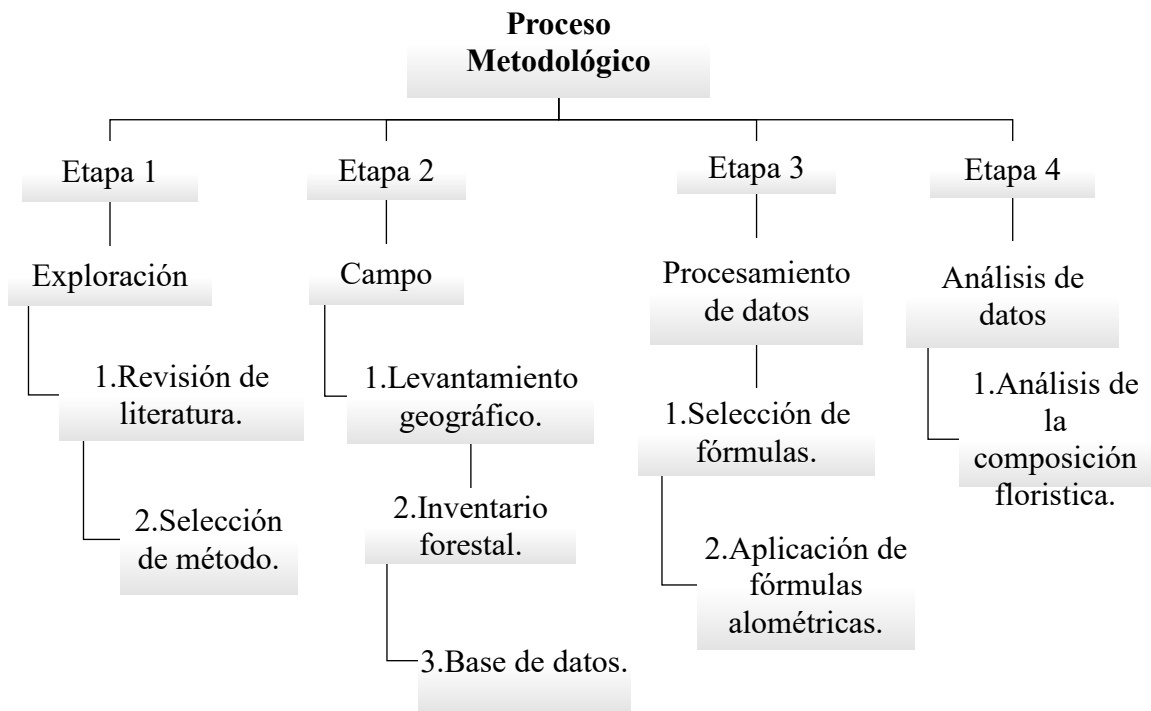


Figura 4: Proceso metodológico empleado en el campus de la UNA.

4.2.1. Etapa 1: Exploración

4.2.1.1. Revisión de literatura

Consistió en una revisión bibliográfica exhaustiva, impresas, digitales y en buscadores electrónicos sobre ecuaciones alométricas desarrolladas por diferentes investigadores, para obtener información secundaria y determinar las fórmulas alométricas por especie

o grupo de especies, condiciones particulares de los ecosistemas. De acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Holdridge, el campus de la Universidad Nacional Agraria pertenece al llamado Bosque Seco Deciduo Tropical, con transición a subtropical.

Por ello, se seleccionaron ecuaciones con mayores coeficientes de determinación ($> r^2$) y rangos adecuados al DAP y aplicables a ecosistemas similares, con el fin de estimar biomasa aérea y subterránea de los árboles y palmas, y posteriormente carbono almacenado. (Brown S. 1997)

4.2.1.2. Selección de método.

Actualmente se cuenta con dos métodos importantes para estimar biomasa aérea y subterránea, mediante:

- **Método Directo:** que consiste en la determinación directa de biomasa aérea o subterránea mediante el sacrificio de árboles, es un trabajo complicado en términos de costo, esfuerzo operativo y es algo que desde el punto de vista ecológico y ambiental no es recomendable.
- **Método Indirecto:** se basa en el uso de modelos alométricos, es la forma más conveniente de estimar la biomasa aérea o subterránea, relacionan la biomasa de árboles, con otras características de los árboles que son fácil de medir en el campo como el DAP y la altura total. Este es ampliamente aprobado y recomendado por el IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*).

Las fórmulas alométricas permiten estimar la biomasa del árbol, sin cambiar el paisaje por la tala de los árboles, por lo que para esta investigación se consideró utilizar una alternativa ambientalmente sostenible.

4.2.2. Etapa 2: Campo

4.2.2.1. Levantamiento geográfico

En esta etapa se realizó un levantamiento geográfico para delimitar el área de estudio en la Universidad Nacional Agraria (UNA), mediante el uso de un sistema de posicionamiento global (GPS). El área de investigación se estratificó, quedando: zona norte con 17.73 ha, zona sur con 10.50 ha y el área del arboretum con 2.04 ha, para un total de 30.3 ha.

4.2.2.2. Inventario forestal

Se realizó la identificación y medición de diámetro y altura al 100% de la vegetación mayor de 5 centímetros de diámetro normal, incluyendo las palmas; para este procedimiento se ocuparon cinta diamétrica y clinómetro, además se contó con la ayuda de una persona para obtener los nombres vernáculos de las especies arbóreas, arbustivas y palmeras.

Se registraron variables silviculturales de los árboles como la vigorosidad y porcentaje de la copa, producida por la poda al árbol. Asimismo, se determinó la densidad básica de las diferentes especies identificadas determinada mediante revisión bibliográfica de cada una de las especies.

A los árboles y arbustos se les midió el diámetro normal a 1.30 metros del suelo (DAP), con cinta diamétrica (Qualitats bandmaB), mientras que la altura fue estimada con un clinómetro SUUNTO. A las palmeras se les midió la altura del estípite y la altura total, con la ayuda del clinómetro SUUNTO, variables necesarias para la aplicación de las ecuaciones alométrica seleccionadas para estimar biomasa.

4.2.2.3. Realización de base de datos

Toda la información recolectada fue organizada en una hoja electrónica de Microsoft Excel, incluyendo las siguientes variables: nombre común de la especie, diámetro normal, altura total estimada, gravedad específica o densidad básica de la especie, área basal. Estos datos fueron necesarios para determinar número de especies presentes en el

campus universitario, establecer categorías diamétricas e ingresar las variables exógenas que indica el modelo alométrico para estimar biomasa, seleccionadas por el grupo investigador.

4.2.3. Etapa 3: Procesamiento de datos

4.2.3.1. Selección de fórmulas alométricas

Durante la revisión bibliográfica se priorizó el uso de las fórmulas que se aplican por regiones o ecosistemas similares al área de estudio (Bosque seco tropical). Aunque también se pudo haber realizado por especie o por grupo de especies, en Nicaragua se cuenta con número limitado de fórmulas para algunas especies arbóreas. Por esa razón, aunque estos modelos tengan un porcentaje más alto de confiabilidad, se tomaron en consideración las primeras antes mencionadas, es decir por *ecosistema*.

Además, que gran parte de las especies utilizadas para desarrollar estas ecuaciones se encontraran presentes en nuestro campus, y que las variables a considerar o características (diámetro y altura) de los individuos utilizados para desarrollar las ecuaciones, fueran semejantes a las características de los individuos del área de estudio.

4.2.3.2. Aplicación de fórmulas alométricas

En esta fase se aplicaron tres fórmulas alométricas para estimar la biomasa aérea y subterránea (raíz) de árboles y palmeras mayores de 5 centímetros de diámetro a la altura del pecho. Posteriormente, la biomasa estimada fue multiplicada por 0.47 (factor de carbono) y de esa manera se obtuvo el *carbono almacenado*.

La razón por la cual se multiplica por 0.47 se debe a que la literatura indica que la materia vegetal contiene un promedio de 47 % de carbono, una vez que se ha removido el agua (MacDicken, 1997), y está aprobado por el IPCC.

Una vez estimado el carbono almacenado en la vegetación del campus de la Universidad Nacional Agraria, se determinó el dióxido de carbono extraído (CO₂) y oxígeno(O₂)

liberado a la atmósfera, en el proceso de la fotosíntesis, mediante análisis gravimétrico de las sustancias químicas.

La ley de proporciones definidas consiste en que cuando un determinado compuesto sufre una reacción química, la proporción de masa de la sustancia involucrada en la reacción es siempre constante independientemente del origen de la sustancia. Esta ley también se conoce como ley de Proust o ley de las proporciones constantes (Planas, 2022).

Además, dado que la conversión elemental no ocurre en una reacción química, esto también significa que la relación de masa de los distintos elementos que constituyen el compuesto es siempre constante (Planas, 2022). Ley de la consistencia de la composición establece que las masas de los elementos que toman parte en un cambio químico muestran una relación definida e invariable entre sí.

4.2.4. Etapa 4: Análisis de datos

Esta etapa consistió principalmente en el análisis y conclusión de los resultados obtenidos a partir de la aplicación de las fórmulas alométricas debidamente seleccionadas, con el fin determinar la contribución que realiza la vegetación del campus de la UNA al medio ambiente mediante el almacenamiento de carbono, extracción de CO₂ de la atmósfera y producción de oxígeno.

Asimismo, con base en el inventario forestal, se caracterizó la composición, riqueza, diversidad florística y estructura de la vegetación. Por las características de la zona de estudio, la cual es enriquecida constantemente por el hombre, los árboles se agruparon en especies exóticas y nativas, ya que estos pueden representar una importante fuente de germoplasma.

4.2.4.1. Análisis de la composición florística

Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la composición florística presente en el campus de la Universidad Nacional Agraria (UNA), con el objetivo de estimar y difundir la riqueza específica, la diversidad alfa y la estructura de la comunidad vegetal. Este procedimiento incluyó la identificación taxonómica de las especies, la cuantificación de su abundancia relativa y la evaluación de la distribución espacial de los individuos, lo que permitió caracterizar la heterogeneidad ambiental y la complejidad ecológica del sistema.

De manera complementaria, se determinaron los usos potenciales de las especies registradas, considerando su valor maderable, frutícola, forrajero, ornamental y otros servicios ecosistémicos de provisión. Se resaltó la importancia de la vegetación arbórea universitaria como componente clave en la dinámica trófica, al fungir como fuente de alimento, refugio y sitios de reproducción para la fauna silvestre local, además de contribuir a la conectividad biológica y a la resiliencia ecológica del paisaje urbano.

Adicionalmente, se efectuó un análisis de similitud florística mediante el índice de Jaccard, utilizando el software estadístico PAST como herramienta de procesamiento. Este índice permitió cuantificar el grado de coincidencia en la composición de especies entre las tres zonas de muestreo, proporcionando una medida objetiva de la homogeneidad y diferenciación florística entre las zonas evaluadas. Los resultados obtenidos constituyen una base científica para comprender la estructura comunitaria y fortalecer la integración de la biodiversidad en los programas académicos y de conservación de la universidad.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Modelos alométricos seleccionados

Se identificaron diversas ecuaciones alométricas para estimar biomasa de bosques o árboles del trópico seco. Además de las fórmulas, se recopilaron datos previamente publicados por diferentes autores. Cada ecuación incluye su respectiva referencia bibliográfica con el fin de facilitar la consulta de los artículos científicos originales por parte de los interesados.

Las ecuaciones seleccionadas para la estimación de la biomasa aérea presentan principalmente una forma logarítmica. Este resultado coincide parcialmente con la tendencia generalizada de emplear funciones logarítmicas en la estimación de biomasa en árboles y arbustos de regiones semiáridas y tropicales (Brown *et al.*, 1989).

La mayoría de los modelos utilizan el diámetro a la altura del pecho (diámetro normal), como variable principal para estimar la biomasa. No obstante, diversos estudios han señalado la importancia de incorporar variables adicionales como la altura y la densidad o el peso específico de la madera, ya que estos factores explican una proporción significativa de la variación de la biomasa en los bosques tropicales (Chave *et al.*, 2005).

En el **cuadro 1**, se presentan las fórmulas alométricas seleccionadas para la estimación de biomasa aérea, subterránea y biomasa en palmas de ecosistemas del trópico seco. La selección de estos modelos se realizó considerando diversos criterios, entre ellos: el coeficiente de determinación (r^2), rango de diámetro aplicable, menor grado de complejidad al usar la fórmula, la facilidad de medición de las variables, la frecuencia de uso del modelo en investigaciones similares y el ecosistema para el cual fue desarrollado.

En este caso, el área de investigación corresponde a un ecosistema clasificado según el sistema de zonas de vida de Leslie Holdrige como ***Bosque Seco Tropical Deciduo***.

Cuadro 1. Fórmulas alométricas seleccionadas para la estimación de biomasa aérea, subterránea y biomasa en palmeras en el trópico seco de Nicaragua.

Ecuación	r ²	Rango diamétrico	Autor
Biomasa aérea total B = Exp (-1,53009 + 2,17632*ln (Dap))	0.90	4 - 80	Fonseca G. W <i>et al.</i> , (2016)
B= Exp (-2.187+0.916* ln ((_w (D) ² *H))	0.91	5 - 156	Chávez <i>et al.</i> , (2005)
Ln B= -2.290+0.932 ln (D ² H _w)	0.95	> 5	Álvarez <i>et al.</i> , (2011)
Raíz o subterránea Ln Br= -4.273+2.633ln (D)	0.88		Sierra, (2011)
Palmas B = 4.5 + 7.7 * H	0.90		Frangi y Lugo, (1985)

B= biomasa aérea, Br= biomasa subterránea, Bp= biomasa palmas, DAP= diámetro a la altura del pecho, _w = gravedad específica, H= altura total, BA= biomasa aérea, EXP= exponencial, ln= logaritmo natural.

Los modelos utilizados estiman la biomasa aérea a partir de variables dendrométricas de fácil medición en el campo, como el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total del árbol (H) y peso específico de la madera (ρ).

Una situación común al estimar biomasa en árboles es la tendencia de algunos modelos a sobreestimar la biomasa en individuos de gran tamaño. Para evitar este sesgo, en el caso de los árboles con diámetros mayores a 80 cm; que exceden el rango de aplicación del modelo propuesto por Fonseca G. W *et al.*, (2016), se utilizó la fórmula desarrollada por Chave *et al.*, (2005). Este modelo permite estimar la biomasa aérea en árboles de gran porte utilizando variables como DAP, altura total y peso específico de la madera.

5.2. Análisis estadísticos

Con el propósito de determinar si existen diferencias significativas en las estimaciones de biomasa obtenida mediante las ecuaciones alométricas utilizadas en el estudio, se realizó un análisis estadístico comparando los resultados generados por los modelos propuestos por Chave *et al.* (2005), Álvarez *et al.* (2011) y Fonseca G. W *et al.* (2016).

Primeramente, se evaluó el supuesto de normalidad de la variable biomasa estimada a partir de las 3 ecuaciones. Debido a que el número de observaciones fue superior a 50, se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Los resultados indicaron diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95%, $K-S (gl=300) = .328$, $p < .001$, lo que evidencia que los valores de biomasa estimados no siguen una distribución normal. En consecuencia, se procedió a utilizar una prueba estadística no paramétrica para la comparación de los grupos.

Posteriormente, se verificó el supuesto de homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. Los resultados mostraron un valor de $F (2, 897) = 2.37$, $p = .094$ ($p > .05$), lo cual indica que no existen diferencias significativas en las varianzas entre los grupos analizados, cumpliéndose así el supuesto de homogeneidad.

Dado que los datos no presentaron una distribución normal, se aplicó la prueba no paramétrica de H Kruskal-Wallis para comparar las estimaciones de biomasa generadas por las 3 ecuaciones alométricas. Los resultados mostraron que *no existen diferencias significativas entre las 3 formulas alométricas* propuestas en este estudio para estimar biomasa aérea de árboles mayores o iguales a los cinco centímetros de diámetro, $H (2) = .533$, $p = .766$.

Estos resultados demuestran que cualquiera de las 3 ecuaciones alométricas analizadas puede ser utilizadas para estimar biomasa de árboles con $DAP \geq 5$ cm en el campus de la Universidad Nacional Agraria y en bosques secos de Nicaragua. No obstante, se prioriza el uso de la ecuación propuesta por Fonseca G.W. et. al. (2016), debido a su mayor simplicidad operativa, ya que únicamente requiere el diámetro a la altura del pecho (DAP) como variable predictora.

Debido a que el análisis global mediante la prueba H Kruskal-Wallis no mostró diferencias significativas, el procedimiento no realiza comparaciones múltiples entre los modelos, sin embargo, considerando que uno de los objetivos del estudio es recomendar la ecuación alométrica más adecuada para la estimación de biomasa, se realizaron

comparaciones entre pares utilizando el estadístico de Tukey. Esto fue posible debido a que la prueba Levene indicó homogeneidad de varianzas ($p = .094$) y los 3 grupos presentaron el mismo número de observaciones ($n=300$).

Las comparaciones entre modelos mostraron los siguientes resultados: entre las ecuaciones de Chave *et al.*, (2005) y Álvarez *et al.*, (2011) se obtuvo una mediana de: $Mdn = .33$, $p = .915$, IC 95 % $[-.747, .529]$; entre Chave *et al.*, (2005) y Fonseca G. W. *et al.*, (2016) se registró $Mdn = .35$, $p = .461$, IC 95 % $[-.961, .315]$; mientras que, entre Fonseca G. W. *et al.*, (2016) y Álvarez *et al.*, (2011) se obtuvo $Mdn = .34$, $p = .712$, IC 95 % $[-.424, .852]$

En términos generales, la fórmula propuesta por Fonseca G. W. *et al.*, (2016), presentó los valores más altos de biomasa estimada por individuo, con una mediana de 0.35 toneladas, mientras que la fórmula de Chave *et al.*, (2005), obtuvo las estimaciones más bajas, con una mediana de 0.33 toneladas.

5.3. Biomasa y carbono almacenado

En el campus de la Universidad Nacional Agraria se estimó el carbono almacenado tanto en la biomasa aérea como subterránea de árboles y palmeras.

En la *zona norte* con una superficie de **17.73 ha**, se calculó un almacenamiento total de **954.05** toneladas de carbono. Por su parte la *zona sur* con una superficie de **10.50 ha**, presentó un valor estimado de **601.23** toneladas, mientras que el *arboretum* que abarca **2.04 ha**, se registró un total de **120.9** toneladas. Cabe señalar que en esta última área no se identificaron palmeras.

Considerando la superficie total del campus universitario (**30.3 ha**), los resultados obtenidos indican un promedio aproximado **55.4 t C ha⁻¹**, valor que incluye el carbono almacenado en la biomasa aérea y subterránea de árboles y palmeras presentes en el área de estudio.

Al comparar estos resultados con otros ecosistemas de bosque seco tropical, se observa que, en un fragmento de bosque con aproximadamente 20 años de regeneración, ubicados en la comunidad de Nandarola, a 12 km de la ciudad de Nandaime departamento de Granada, se estimó una biomasa total de 64.12 t ha⁻¹ utilizando la ecuación de Fonseca G. W. *et al.*, (2016) para biomasa aérea y la de Sierra (2011) para biomasa subterránea. Este valor corresponde a 30.14 t C ha⁻¹, es decir, 23.34 t C ha⁻¹ menos que el estimado en el campus de la Universidad Nacional Agraria, a pesar de que una parte considerable de su superficie está ocupada por infraestructura.

Asimismo, al contrastar estos resultados con los valores promedio reportados por MARENA (2018) para bosques secos intactos con cobertura de dosel superior al 70%, los cuales presentan aproximadamente 43.52 t C ha⁻¹, el campus universitario muestra 11.88 t C ha⁻¹ adicionales de carbono almacenado. Esta diferencia podría estar asociada al grado de degradación que presentan actualmente muchos de los bosques secos tropicales en Nicaragua, lo que reduce su capacidad de almacenamiento de carbono.

5.4. Dióxido de carbono extraído y oxígeno liberado en la atmósfera

El cálculo del dióxido de carbono capturado y del oxígeno liberado se fundamenta en el análisis gravimétrico de las sustancias químicas, basado en la Ley de las proporciones definidas y la Ley de la composición constante. A partir de estas relaciones se obtiene un factor gravimétrico de 3.67, el cual indica que una tonelada de carbono corresponde a 3.67 toneladas de CO₂, valor determinado a partir de la relación entre los pesos moleculares del carbono y del dióxido de carbono (Planas, 2022).

De igual manera, el factor gravimétrico utilizado para estimar el oxígeno liberado corresponde a 0.72, obtenido del cociente entre el peso molar del oxígeno molecular (O₂) y el peso molar del dióxido de carbono retirado de la atmósfera.

Con base en estos factores y en la cantidad de carbono almacenado en la vegetación del campus de la Universidad Nacional Agraria, se estima que hasta el año 2023 la

vegetación presente ha capturado aproximadamente 5 916.56 toneladas de dióxido de carbono mediante el proceso de fotosíntesis. Este proceso contribuye a la reducción de gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera. De forma simultánea, se estima que la vegetación ha liberado cerca de 4 259.92 toneladas de oxígeno, elemento fundamental para los organismos vivos.

Los valores estimados de biomasa, carbono almacenado, dióxido de carbono fijado y oxígeno liberado para las diferentes zonas del campus universitario se presentan en el **Cuadro 2.**

Cuadro 2. Biomasa, carbono almacenado, dióxido de carbono fijado y oxígeno liberado por la vegetación con DAP \geq 5 cm, (biomasa aérea, subterránea y palmeras) en el Campus de la Universidad Nacional Agraria, 2023.

Zona	Biomasa (t)	Carbono Almacenado (t)	Dióxido de carbono Fijado (t)	Oxígeno liberado (t)
Zona Norte	2 029.89	954.05	3 501.36	2 520.98
Zona Sur	1 279.3	601.27	2 206.67	1 588.8
Arboretum	120.9	56.82	208.54	150.15
Total	3 430.09	1 612.14	5 916.56	4 259.92

Estos resultados evidencian la relevancia de conservar y manejar adecuadamente la vegetación presente en el campus de la Universidad Nacional agraria, ya que cumple un papel importante en la mitigación del cambio climático, al contribuir con la captura de dióxido de carbono y la liberación de oxígeno. Además, las especies arbóreas presentes proporcionan hábitat y alimento a la fauna silvestre, favorecen la regulación del microclima, aportan valor paisajístico y generan condiciones ambientales más favorables para la comunidad universitaria.

5.5. Índice de Jaccard

El análisis de similitud entre las muestras se realizó mediante el índice de Jaccard, utilizando el programa PAST. Este índice permitió evaluar el grado de coincidencia en la composición de especies entre las 3 zonas de estudio.

Los resultados obtenidos indican que la zona norte y la zona sur presentan una mayor similitud florística entre sí, agrupándose primero en el dendrograma con un valor de similitud de **0.5**, lo que sugiere que ambas zonas comparten una proporción considerable de especies arbóreas y arbustivas.

Posteriormente, se integra el arboretum a este grupo con un valor de similitud menos (*aproximadamente 0.3*), indicando que esta zona posee una composición florística diferente en comparación a la zona norte y zona sur. En general, el análisis de similitud sugiere que las zonas norte y sur presentan comunidades vegetales más parecidas entre sí, mientras que el arboretum muestra una composición florística relativamente distinta. Esto posiblemente se debe a la presencia de especies introducidas o manejadas con fines de conservación y colección botánica.

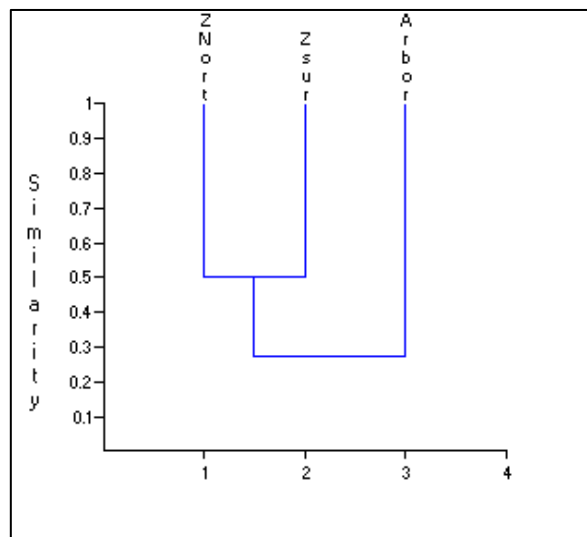


Figura 3. Dendrograma de similitud florística entre las zonas norte, sur y arboretum del campus de la Universidad Nacional Agraria, obtenido mediante el índice de similitud de Jaccard.

5.6. Composición florística

5.6.1. Riqueza y diversidad florística

En el área de 30.3 hectáreas del campus de la Universidad Nacional Agraria fueron identificadas y registradas un total de 216 especies arbóreas y arbustivas, las cuales pertenecen a 47 familias botánicas. Esto demuestra una importante diversidad florística dentro del área de estudio.

En la zona norte del campus, las familias más representativas por presentar el mayor número de especies fueron *Mimosaceae* con 7 especies registradas, seguida por *Caesalpinaceae* y *Fabaceae* con 5 especies cada una. Asimismo, las familias *Bignoniaceae* y *Meliaceae* presentaron 3 especies respectivamente.

En cuanto al número de individuos, la familia de la *Meliaceae* fue la más abundante con 424 individuos, representados principalmente por la especie *Azadirachta indica*. Le sigue la *Mimosaceae* con 239 individuos, donde destaca *Albizia niopoides* y la *Anacardiaceae* con 130 individuos, representados por *Spondias purpurea*.

Para la zona sur de la Universidad Nacional Agraria, la familia de las *Mimosaceae* presentó el mayor número de especies con 4 registros, mientras que las *Bignoniaceae*, *Moraceae* y *Myrtaceae* registraron 3 especies cada una.

Respecto al número de individuos en esta zona, la *Meliaceae* también fue la familia más abundante con 236 individuos, predominando nuevamente la especie *Azadirachta indica*. Posteriormente, se registró a la *Anacardiaceae* con 77 individuos representados por *Mangifera indica* y *Moraceae* con 66 individuos, destacando la especie *Ficus benjamina*.

En el Arboretum de la Universidad Nacional Agraria, la familia botánica más representativa fue la *Fabaceae* con 13 especies, seguida por la *Caesalpinaceae* con 9 especies y *Mimosaceae* con 7 especies respectivamente.

Las familias con el mayor número de individuos en el Arboretum fueron la Meliaceae con 154 individuos, siendo la especie *Azadirachta indica* la más representativa, Anacardiaceae con 141 individuos principalmente *Spondias purpurea* y Mimosaceae 89 individuos, destacando la especie *Albizia niopoides*.

En general los resultados obtenidos indican que las familias Mimosaceae, Caesalpiniaceae y Fabaceae presentan la mayor riqueza de especies dentro del campus de la Universidad.

Por otra parte, las especies con mayor abundancia de individuos en el campus de la Universidad Nacional Agraria corresponden a *Neem* (*Azadirachta indica*), *Guanacaste blanco* (*Albizia niopoides*) y *Mango* (*Mangifera indica*).

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

	Z. Norte	Z. Sur	Arboretum	TOTAL
Nº Familia	32	29	38	47
Nº Especies	65	48	110	216
Nº Individuo	1 357	842	934	3 133
Área (ha)	17.73	10.5	2.04 ha	30.3

V. CONCLUSIONES

Los modelos alométricos seleccionados para la estimación de la biomasa de árboles y arbustos en ecosistemas del trópico seco en Nicaragua fueron los propuestos por Fonseca *et al.*, (2016), Chave *et al.*, (2005) y Álvarez *et al.*, (2011). Entre estos, el modelo de Fonseca *et al.*, (2016) se considera el más práctico para su aplicación, debido a que utiliza únicamente el DAP como variable predictora, lo que facilita su implementación en campo para estimar biomasa aérea.

Para la estimación de biomasa subterránea o raíz, el modelo recomendado corresponde al desarrollado por Sierra (2011), el cual también emplea el DAP como variable explicativa. En el caso de palmeras presentes en el ecosistema de el trópico seco, se utilizó la ecuación alométrica propuesta por Frangi y Lugo (1985), que emplea la altura total de la palmera como variable predictora. Estas ecuaciones presentan adecuados niveles de ajuste (R^2 superior al 90 %), y una aplicación relativamente sencilla para la estimación de biomasa.

El análisis de la composición florística permitió identificar una elevada riqueza de especies arbóreas y arbustivas dentro del campus de la Universidad Nacional Agraria, destacándose principalmente las familias Mimosaceae, Caesalpinaceae y Fabaceae. Asimismo, se observó una alta abundancia de especies como *Azadirachta indica*, *Albizia niopoides* y *Mangifera indica*, las cuales representan una parte importante de la estructura vegetal del área de estudio.

Los árboles, arbustos y palmeras con diámetro mayor a 5 cm de DAP presentes en el campus de la Universidad Nacional Agraria desempeñan un papel relevante en la regulación ambiental, al contribuir a la reducción de dióxido de carbono y a la liberación de oxígeno mediante el proceso de fotosíntesis. Los resultados indican un almacenamiento promedio de 55.4 t C ha⁻¹, además de una extracción estimada de 5 916.56 toneladas de CO₂ de la atmósfera y una liberación aproximada de 4 259.92 toneladas de oxígeno, valores comparables o incluso superiores a los reportados para algunos ecosistemas boscosos de Nicaragua.

Finalmente, la vegetación presente en el campus de la UNA provee diversos servicios ecosistémicos para la comunidad universitaria y su entorno, entre los que destacan la mejor de la calidad del aire, la generación de espacios para recreación y bienestar, la regulación del microclima que contribuye a disminuir la demanda energética, así como valores estéticos, emocionales y educativos asociados a su alta diversidad florística. Además, estos espacios verdes funcionan como hábitat a la fauna local, por lo que su conservación y valoración resulta fundamental, al igual que ocurre con los bosques tropicales de Nicaragua.

VI. RECOMENDACIONES

Priorizar la plantación y conservación de especies nativas y aquellas en categoría de amenaza, que estén adaptadas a las condiciones edafoclimáticas del campus de la Universidad Nacional Agraria. La incorporación de estas especies en programas de reforestación y restauración ecológica contribuirá a fortalecer la biodiversidad local, mejorar la estabilidad de los ecosistemas presentes en el campus y favorecer el almacenamiento de biomasa y carbono a largo plazo.

Promover la participación de estudiantes y docentes en actividades de reforestación, monitoreo y mantenimiento de la vegetación arbórea del campus universitario. La integración de estas actividades en programas académicos, prácticas de campo o proyectos de investigación permitirá fortalecer la educación ambiental, fomentar el sentido de pertenencia hacia los recursos naturales del campus y garantizar un manejo sostenible de las áreas verdes de la Universidad Nacional Agraria.

Reducir progresivamente el uso de especies exóticas o potencialmente invasoras en los programas de arborización y paisajismo dentro del campus, con el objetivo de evitar el desplazamiento de especies nativas y prevenir alteraciones en la dinámica ecológica de los ecosistemas presentes. En su lugar, se recomienda promover el uso de especies locales que contribuyan a la conservación de la biodiversidad y al mantenimiento de los servicios ecosistémicos.

Implementar un sistema de monitoreo periódico del carbono almacenado en la vegetación del campus de la Universidad Nacional Agraria, mediante la actualización continua del inventario forestal y la medición periódica de variables dendrométricas como el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura de los árboles. Este seguimiento permitirá evaluar los cambios en la biomasa y en el carbono almacenado a lo largo del tiempo, así como medir el impacto de las acciones de reforestación, manejo y conservación de las áreas verdes del campus. Asimismo, este monitoreo puede servir

como base para futuras investigaciones relacionadas con mitigación del cambio climático y servicios ecosistémicos en ecosistemas urbanos y universitarios.

VII. LITERATURA CITADA

- Álvarez, E., Saldarriaga, J. G., Duque, A. J., Cabrera, K. R., Yepes, A. P., Navarrete, D. A., & 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).
- Aronson, M. F. J., La Sorte, F. A., Nilon, C. H., Katti, M., Goddard, M. A., Lepczyk, C. A., ... Winter, M. (2017). Biodiversity in urban ecosystems: Patterns, drivers, and conservation challenges. *Urban Ecology Journal*, 23(2), 123–138.
- Borrero, J. C. (2012). *Biomasa aérea y contenido de carbono en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá* [Tesis de grado]. Pontificia Universidad Javeriana.
- Bratman, G. N., Anderson, C. B., Berman, M. G., Cochran, B., de Vries, S., Flanders, J., ... Daily, G. C. (2019). Nature and mental health: An ecosystem service perspective. *Science Advances*, 5(7), eaax0903. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0903>
- Brown, S. (1997). Los bosques y el cambio climático: El papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. *Actas del XI Congreso Mundial Forestal*.
- Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18, 32–42.
- Cairns, M., Brown, S., Helmer, E., & Baumgardner, G. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111, 1–11.

CATIE. (2015). *Cómo construir modelos alométricos* [Video]. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=BM7yS54uibE>

Charan Sahu, S., Suresh, H., & Ravindranath, N. (2016). Forest structure, composition and above ground biomass of tree community in tropical dry forests of Eastern Ghats, India. *Notulae Scientia Biologicae*, 125–133.

Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., ... Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks in tropical forests. *Oecologia*, 145, 87–99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>

Escobedo, F. J., Kroeger, T., & Wagner, J. E. (2015). Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental Pollution*, 206, 145–152.

Fonseca, W., Alice, F., & Rey, J. (2009). Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque*.

Fonseca, W., et al. (2016). *Construcción de funciones alométricas para Costa Rica* (Informe técnico). Universidad Nacional & GIZ.

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

González, M. (2021). El verde que enriquece las mentes: La importancia de las áreas verdes en las universidades. *Revista de Medio Ambiente y Sociedad*, 12(3), 45–58.

Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 1–9.

Holdridge, L. A. (1996). *Ecología basada en la zona de vida*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

INETER. (2004). *Resumen meteorológico anual*. Dirección General de Meteorología.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. IGES.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019a). *2019 refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*.
<https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019b). *Climate change and land*.
<https://www.ipcc.ch/srccl/>

Jim, C. Y. (2017). Urban vegetation and hydrological benefits. *Landscape and Urban Planning*, 162, 1–10.

Khan Academy. (s. f.). El ciclo del carbono.
<https://es.khanacademy.org/science/biology/ecology/biogeochemical-cycles/a/the-carbon-cycle>

- Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los trópicos*. GTZ.
- MARENA. (2018). *Densidades de carbono estimadas a partir del Inventario Nacional Forestal para Nicaragua (NREF)*.
- Marinero Orantes, E. A., Vargas-Cañas, J. I., & Geles Roffe, T. (2015). El agua como recurso esencial ante el cambio climático. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 1(2), 149–155.
- Matías, L. (2012). Cambios en la distribución de especies arbóreas. *Ecosistemas*, 91–96.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2009). *Metodologías para determinar stock de carbono en ecosistemas forestales*.
- M.M.A. (2021). *Huella de carbono*. <https://mma.gob.cl/cambio-climatico/cc-02-7-huella-de-carbono/>
- Muñoz, L., & Hernández, P. (2020). Vegetación universitaria como herramienta educativa. *Revista de Educación Ambiental*, 12(1), 45–59.
- NASA. (s. f.). *Dióxido de carbono*. <https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/dioxido-de-carbono/>
- Navarro-Martínez, J., et al. (2020). Ajuste de ecuaciones alométricas. *Madera y Bosques*.
- Nowak, D. J., & Greenfield, E. J. (2018). Tree and impervious cover in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 21, 158–166.

- Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., ... Hayes, D. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988–993. <https://doi.org/10.1126/science.1201609>
- Parresol, B. R. (1999). Assessing tree and stand biomass. USDA Forest Service.
- Peña, J. (2013). *Estado actual del bosque de galería del río Santa Elena* [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria.
- Planas, O. (2022). Ley de las proporciones definidas. *Energía Nuclear*. <https://energia-nuclear.net/>
- Ponce, C. A. B., & González, C. A. Z. (2019). Cambio climático y sus consecuencias en Nicaragua. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*.
- Rivers, E. (2007). *Incidencia del virus del mosaico del dasheen* [Tesis de ingeniería agronómica]. Universidad Nacional Agraria.
- Segura, M., & Andrade, H. (2008). Construcción de modelos alométricos. *Agroforestería de las Américas*, 46, 89–96.
- SEMARNAT. (2018). *Principales beneficios de plantar árboles*. Gobierno de México.
- Sígala, J. Á., et al. (2016). Relaciones alométricas en *Pinus pseudostrobus*. *Bosque*.
- Universitat Carlemany. (2021). ¿Por qué es importante la energía de biomasa? <https://www.universitatcarlemany.com/>

Yepes, A. P., Navarrete, D. A., Duque, A. J., Phillips, J. F., Cabrera, K. R., Álvarez, E., ...

Ordóñez, M. F. (2011). *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia*. IDEAM.

Yamallel, J. I. Y., et al. (2020). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea.

Interciencia.

Zaninovich, S. C. (2017). *Dinámica y almacenamiento del carbono en la necromasa y el suelo*

[Tesis doctoral].

Zapata, M., Colorado, G. J., & del Valle, J. I. (2003). Ecuaciones de biomasa aérea. En S. A.

Orrego et al. (Eds.), *Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia*.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Lista general de las especies arbóreas encontradas en el campus de la Universidad Nacional Agraria.

Especie	N. Científico	Arboretum	ZNorte	Zsur
Acacia amarilla	<i>Senna siamea</i>	7	36	21
Acerola	<i>Malpighia glabra L</i>	23	0	0
Acetuno	<i>Simarouba glauca</i>	26	18	30
Achiote	<i>Bixa orellana L</i>	3	0	0
Aguacate	<i>Persea americana</i>	0	0	2
Aguja de jara	S/N	2	0	0
Almendra	<i>Terminalia catappa</i>	0	34	57
Almendo de río	<i>Andira inermis</i>	4	0	0
Ampicterigy	S/N	2	0	0
Araucaria	<i>Araucaria heterophylla</i>	0	1	1
Balsa	<i>Ochroma pyramidale</i>	1	0	0
Bálsamo	<i>Myroxylon balsamum</i>	6	0	0
Brasil	<i>Haematoxylum brasileto</i>	8	0	0
Brasil blanco	<i>Lonchocarpus minimiflorus</i>	3	0	0
Caimito	<i>Chrysophyllum cainito L.</i>	7	3	0
Calistemo	S/N	0	0	3
Camíbar	S/N	3	0	0

Cañafístula	<i>Cassia fistula</i>	0	5	16
Caoba del Pacífico	<i>Swietenia humilis</i>	7	2	1
Caoba del Atlántico	<i>Swietenia macrophylla</i>	2	0	0
Caraño	<i>Amphipterygium simplicifolium</i>	7	0	0
Carao	<i>Cassia grandis</i>	6	0	0
Caratillo	<i>Alvarodoa amorphoides</i>	10	0	0
Carbón	<i>Caesalpinia vesicaria L.</i>	4	0	0
Casco de vaca	<i>Bauhinia purpurea</i>	0	2	0
Cedro real	<i>Cedrela odorata L.</i>	7	5	6
Ceiba	<i>Ceiba pentandra L.</i>	7	17	12
Ceiba botella	<i>Ceiba speciosa</i>	1	10	0
Ceiba pochote	<i>Ceiba aesculifolia</i>	1	0	0
Cerito	S/N	2	0	0
Chaperno	<i>Lonchocarpus minimiflorus</i>	2	0	0
Chaperno negro	<i>Lonchocarpus castilloi</i>	4	0	0
Chicharrón blanco	S/N	5	0	0
Chilamate	<i>Ficus insípida</i>	1	39	22
Chilamate de río	<i>Ficus yoponensis</i>	3	0	0
Chilca	<i>Cascabela thevetia L.</i>	2	9	0

Chilca montera	<i>Cascabela ovata</i>	3	0	0
Chocoyito	<i>Diospyros salicifolia</i>	11	0	0
Ciprés	<i>Cupressus lusitanica</i>	0	4	0
Cornizuelo	<i>Acacia collinsii</i>	9	5	0
Cortés	<i>Tabebuia ochracea</i>	5	5	0
Coyote del atlántico	<i>Platymiscium pinnatum</i>	1	0	0
Crucita pisonia	S/N	4	0	0
Crudia acuminata	S/N	3	0	0
Elequeme	<i>Erythrina fusca</i> Lour.	4	8	0
Endurece maíz	<i>Caoparis indica</i>	5	1	0
Espavel	<i>Anacardium excelsum</i>	10	0	0
Espino de playa	<i>Prosopis juliflora</i>	3	62	14
Espino negro	<i>Pithecellobium lanceolatum</i>	1	13	15
Falso roble	<i>Tabebuia rosea</i>	15	56	21
Flamboyán dorado	<i>Peltophorum pterocarpum</i>	0	0	5
Gavilán	<i>Albizia guachapele</i>	2	3	0
Genízaro	<i>Samanea saman</i>	20	24	4
Gomero	<i>Ficus elastica</i>	0	1	1
Granadillo	<i>Dalbergia retusa</i>	3	0	0
Guaba	<i>Inga edulis</i>	1	0	0
Guabillo de río	S/N	4	0	0

Guache	S/N	2	0	0
Guachipilín	<i>Diphysa robinoides</i>	25	0	0
Guácimo colorado	<i>Luehea candida</i>	4	0	0
Guácimo de molenillo	<i>Luehea speciosa</i>	10	0	0
Guácimo de ternero	<i>Guazuma ulmifolia</i>	17	0	0
Guacuco	<i>Eugenia hondurensis</i>	3	0	0
Guanabana	<i>Annona muricata</i>	0	9	4
Guanacaste blanco	<i>Albizia niopoides</i>	14	114	47
Guanacaste negro	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	1	19	0
Guapinol	<i>Hymenaea courbaril</i>	3	0	0
Guarumo	<i>Cecropia peltata</i> L	4	0	2
Guayaba	<i>Psidium guajava</i> L.	5	3	5
Guayabón	<i>Terminalia oblonga</i>	3	0	0
Guayacán	<i>Guaiacum sanctum</i> L.	12	31	0
Güiliguiste	<i>Karwinskia calderonii</i>	2	0	0
Güitite	S/N	2	0	0
Hoja tostada	<i>Licania arborea</i> Seem	8	0	0
Huevo de chancho	<i>Stemmadenia obovata</i>	1	0	0
Ícaco	<i>Chrysobalanus icaco</i>	0	2	0

Jaboncillo	<i>Sapindus saponaria</i>	7	0	0
Jagua	<i>Genipa americana</i>	1	0	0
Javillo	<i>Hura crepitans</i>	8	0	0
Jícaro de huacal	<i>Crescentia cujete</i>	5	0	0
Jícaro sabanero	<i>Crescentia alata</i>	8	6	1
Jiñocuabo	<i>Bursera simaruba</i>	1	0	2
Jobo Lagarto	S/N	2	0	0
Jocomico	<i>Piscidia piscipula</i>	3	0	0
Jocote	<i>Spondias purpurea L.</i>	27	52	10
Lagarto	S/N	2	0	0
Laurel de la india	<i>Ficus benjamina L.</i>	0	38	42
Laurel hembra	<i>Cordia gerascanthus</i>	2	3	0
Laurel macho	<i>Cordia alliodora</i>	1	0	0
Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i>	3	0	0
Limon agrio	<i>Citrus x aurantiifolia</i>	2	11	29
Limonaria	<i>Cymbopogon citratus</i>	1	0	12
Llamarada del bosque	<i>Spathodea campanulata</i>	0	1	1
Lorito	S/N	6	0	0

Madero negro	<i>Gliricidia sepium</i>	7	3	0
Madroño	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	10	25	19
Majagüilla	S/N	1	0	0
Malinche	<i>Caesalpinia exostemma</i>	0	2	4
Malinche enano	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	2	1	0
Mamón	<i>Melicoccus bijugatus</i>	3	21	18
Mangle blanco	<i>Bravaisia integerrima</i>	0	0	1
Mango	<i>Mangifera indica</i>	0	78	66
Manzano de playa	<i>Hippomane mancinella</i>	15	0	0
Marango	<i>Moringa oleifera</i>	0	17	0
Marañón	<i>Anacardium occidentale</i>	0	0	2
Matasano	<i>Casimiroa edulis</i>	3	0	0
Melero	<i>Thouinidium decandrum</i>	6	2	0
Melina	<i>Gmelina arborea</i>	0	2	3
Melocotón	<i>Prunus persica</i>	0	1	0
Mimbre	<i>Averrhoa bilimbi</i>	0	2	0
Monje desnudo	<i>Polyalthia longifolio</i>	0	6	2
Mora	<i>Morus nigra</i>	6	0	2
Muñeco	<i>Cordia collococca</i>	1	0	0
Nacascolo	<i>Caesalpinia coriaria</i>	9	1	0

Nancigüiste	<i>Zizipus guatemalensis</i>	6	0	0
Nancite	<i>Byrsonima crassifolia</i>	0	1	6
Naranja agria	<i>Citrus × aurantium</i>	0	1	11
Naranjillo	S/N	1	0	0
Nazareno	S/N	9	0	0
Neem	<i>Azadirachta indica</i>	81	411	236
Níspero	<i>Manilkara zapota</i>	3	1	0
Noni	<i>Morinda citrifolia L.</i>	0	10	0
Ñambar	<i>Dalbergia retusa</i>	4	0	0
Palmera	<i>Cocos nucifera</i>	3	0	0
Palo brujo	<i>Neea fagifolia Heimerl</i>	7	4	1
Palo de arco	<i>Handroanthus impetiginosa</i>	1	0	0
Palo de hule	<i>Castilla elastica Sessé in Cerv.</i>	1	3	0
Palo de leche	<i>Sapium macrocarpum</i>	2	0	0
Palo prieto	<i>Ateleia hebert-smithii</i>	1	0	0
Panamá	<i>Sterculia apetala</i>	4	3	2
Papalón	<i>Ficus lyrata</i>	21	0	0
Papaturro	<i>Coccoloba caracasana</i>	3	0	0
Papaya guatemala	<i>Vasconcellea cauliflora</i>	1	0	0

Papayón	<i>Jacaratia mexicana A.</i>	1	0	0
Pata de venado	<i>Bauhinia unglata</i>	2	10	0
Pino	<i>Pinus oocarpa</i>	0	0	3
Pinta cordel	<i>Bourreria mollis</i>	13	0	0
Pintadillo	<i>Caesalpinia eriostachys</i>	5	0	0
Pirulo	S/N	1	0	0
Pitanga	S/N	1	0	0
Pochote	<i>Bombacopsis quinata</i>	2	2	5
Poponjoche	<i>Pachira quinata</i>	1	0	0
Poro poro	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	2	1	0
Quebracho	<i>Mariosousa centralis</i>	14	2	1
Quiebra maíz	S/N	1	0	0
Quiebra muela	S/N	4	0	0
Sacuanjoche	<i>Plumeria rubra L.</i>	3	5	7
Sancoya	<i>Annona purpurea</i>	2	0	0
Sangredrigo	<i>Croton draco</i>	2	0	0
Sardinillo	<i>Tecoma stans</i>	5	0	0
Sombra de armado	<i>Bumelia pleistochasia</i>	8	0	0
Sonsonate	S/N	1	0	0
Sp. Desconocida 1	S/N	1	0	0
Sp. Desconocida 2	S/N	1	0	0

Stenofia tondiciu sp	S/N	4	0	0
Tabacón	<i>Anthurium crassinervium</i>	9	0	0
Talalate	<i>Gyrocarpus americanus</i>	4	0	0
Tapa viento	<i>Erythrina berteroa</i>	5	0	0
Teca	<i>Tectona grandis</i>	2	0	1
Tempate	<i>Jatropha curcas</i>	1	0	0
Tempisque	<i>Sideroxylon capirii ssp.</i>	5	0	2
Tigüilote	<i>Cordia truncatifolia</i>	14	6	7
Uña de gato	<i>Uncaria tomentosa</i>	3	0	0
Veranera	<i>Bougainvillea glabra</i>	2	0	0
Zapote	<i>Couroupita nicaraguensis</i>	0	2	3
Zapote calentura	<i>Pouteria campechiana</i>	5	0	0
Zapote mico	<i>Pouteria sapota</i>	2	0	0
Zopilocuabo	<i>Piscidia piscipula</i>	3	0	0

Anexo 2. Lista del origen de las especies arbóreas encontradas en el campus de la Universidad Nacional Agraria. (*Exóticas o Nativas*)

Especie	Exótica	Nativa
Acacia amarilla	X	
Acerola		X
Acetuno		X
Achiote		X
Aguacate		X
Almendra		X
Almendra de río		X
Balsa		X
Bálsamo		X
Brasil		X
Brasil blanco		X
Caimito	X	
Cañafístula		X
Caoba del Pacífico		X
Caoba del Atlántico		X
Caraño		X
Carao		X
Caratillo		X
Carbón		X
Casco de vaca	X	
Cedro real		X
Ceiba		X
Ceiba botella	X	
Ceiba pochote		X

Chaperno		X
Chaperno negro		X
Chilamate		X
Chilamate de río		X
Chilca		X
Chilca montera		X
Chocoyito		X
Ciprés		X
Cornizuelo		X
Cortés		X
Coyote del atlántico		X
Elequeme		X
Endurece maíz	X	
Espavel		X
Espino de playa		X
Espino negro		X
Falso roble		X
Flamboyán dorado	X	
Gavilán		X
Genízaro		X
Gomero	X	
Granadillo		X
Guaba		X
Guachipilín		X
Guácimo colorado		X
Guácimo de molenillo		X
Guácimo de ternero		X

Guacuco		X
Guanabana	X	
Guanacaste blanco		X
Guanacaste negro		X
Guapinol		X
Guarumo		X
Guayaba		X
Guayabón		X
Guayacán		X
Güiliguiste		X
Hoja tostada		X
Huevo de chanco		X
Ícaco		X
Jaboncillo		X
Jagua		X
Javillo		X
Jícara de huacal		X
Jícara sabanero		X
Jiñocuabo		X
Jobo Lagarto		X
Jocomico		X
Jocote		X
Laurel de la india	X	
Laurel hembra		X
Laurel macho		X
Leucaena	X	
Limon agrio	X	

Limonaria	X	
Llamarada del bosque	X	
Madero negro		X
Madroño		X
Malinche		X
Malinche enano		X
Mamón	X	
Mangle blanco		X
Mango	X	
Manzano de playa	X	
Marango	X	
Marañón	X	
Matasano		X
Melero		X
Melina	X	
Melocotón	X	
Mimbre	X	
Monje desnudo	X	
Mora		X
Muñeco		X
Nacascolo		X
Nancigüiste		X
Nancite		X
Naranja agria	X	
Neem	X	
Níspero		X
Noni	X	

Ñambar		X
Palmera	X	
Palo brujo		X
Palo de arco		X
Palo de hule		X
Palo de leche		X
Palo prieto		X
Panamá		X
Papalón		X
Papaturro		X
Papaya guatemala		X
Papayón		X
Pata de venado		X
Pino		X
Pinta cordel		X
Pintadillo		X
Pochote		X
Poponjoche		X
Poroporo		X
Quebracho		X
Sacuanjoche		X
Sancoya		X
Sangredrigo		X
Sardinillo		X
Sombra de armado		X
Tabacón		X
Talalate		X

Tapa viento		X
Teca	X	X
Tempate		
Tempisque		X
Tigüilote		X
Uña de gato		X
Veranera	X	
Zapote		X
Zapote calentura	X	
Zapote mico		X
Zopilocuabo		X

Anexo 3. Lista de familias encontradas en el campus de la Universidad Nacional Agraria, 2023.

Familia	Especie
Caesalpiniaceae	Acacia amarilla
Malpighiaceae	Acerola
Simaroubaceae	Acetuno
Bixaceae	Achiote
Lauraceae	Aguacate
Fabaceae	Almendra
Fabaceae	Almendro de río
Bombacaceae	Balsa
Fabaceae	Bálsamo
Caesalpiniaceae	Brasil
Fabaceae	Brasil blanco
Sapotaceae	Caimito
Caesalpinaceae	Cañafistula
Meliaceae	Caoba del Pacífico
Meliaceae	Caoba del Atlántico
Burseraceae	Caraño
Caesalpiniaceae	Carao
Simaroubaceae	Caratillo
Caesalpiniaceae	Carbón
Fabaceae	Casco de vaca
Meliaceae	Cedro real
Bombacaceae	Ceiba
Bombacaceae	Ceiba botella
Bombacaceae	Ceiba pochote
Caesalpinaceae	Chaperno

Fabaceae	Chaperno negro
Moraceae	Chilamate
Moraceae	Chilamate de río
Apocynaceae	Chilca
Apocynaceae	Chilca montera
Ebenaceae	Chocoyito
Cupresaceae	Ciprés
Fabaceae	Cornizuelo
Bignoniaceae	Cortés
Fabaceae	Coyote del atlántico
Fabaceae	Elequeme
Rubiaceae	Endurece maíz
Anacardiaceae	Espavel
Mimosaceae	Espino de playa
Nyctaginaceae	Espino negro
Myrtaceae	Falso roble
Fabaceae	Flamboyán dorado
Mimosaceae	Gavilán
Mimosaceae	Genízaro
Moracea	Gomero
Fabaceae	Granadillo
Fabaceae	Guaba
Fabaceae	Guachipilín
Tiliaceae	Guácimo colorado
Tiliaceae	Guácimo de molenillo
Sterculiaceae	Guácimo de ternero
Myrtaceae	Guacuco

Annonaceae	Guanabana
Mimosaceae	Guanacaste blanco
Caesalpiniaceae	Guanacaste negro
Caesalpiniaceae	Guapinol
Cecropiaceae	Guarumo
Myrtaceae	Guayaba
Combretaceae	Guayabón
Zygophyllaceae	Guayacán
Rhamnaceae	Güiliguiste
Chrysobalanaceae	Hoja tostada
Apocynaceae	Huevo de chancho
Chrysobalanaceae	Ícaco
Sapindaceae	Jaboncillo
Rubiaceae	Jagua
Euphorbiaceae	Javillo
Bignonaceae	Jícara de huacal
Bignonaceae	Jícara sabanero
Burseraceae	Jiñocuabo
Anacardiaceae	Jobo Lagarto
Fabaceae	Jocomico
Anacardiaceae	Jocote
Moraceae	Laurel de la india
Boraginaceae	Laurel hembra
Boraginaceae	Laurel macho
Fabaceae	Leucaena
Rutaceae	Limon agrio
Poaceae	Limonaria

Bignonaceae	Llamarada del bosque
Fabaceae	Madero negro
Rubiaceae	Madroño
Caesalpiniaceae	Malinche
Fabaceae	Malinche enano
Sapindaceae	Mamón
Acanthaceae	Mangle blanco
Anacardiaceae	Mango
Euphorbiaceae	Manzano de playa
Moringaceae	Marango
Anacardiaceae	Marañón
Rutaceae	Matasano
Sapindaceae	Melero
Lamiaceae	Melina
Rosaceae	Melocotón
Oxilidaceae	Mimbre
Annonaceae	Monje desnudo
Moraceae	Mora
Boraginaceae	Muñeco
Caesalpiniaceae	Nacascolo
Rhamnaceae	Nancigüiste
Malphiaceae	Nancite
Rutaceae	Naranja agria
Meliaceae	Neem
Sapotaceae	Níspero
Rubiaceae	Noni
Fabaceae	Ñambar

Arecaceae	Palmera
Nyctaginaceae	Palo brujo
Fabaceae	Palo de arco
Moraceae	Palo de hule
Euphorbiaceae	Palo de leche
Fabaceae	Palo prieto
Sterculiaceae	Panamá
Moracea	Papalón
Polygonaceae	Papaturro
Caricaceae	Papaya guatemala
Polygonaceae	Papayón
Fabaceae	Pata de venado
Pinaceae	Pino
Boraginaceae	Pinta cordel
Caesalpiniaceae	Pintadillo
Bombacaceae	Pochote
Malvaceae	Poponjoche
Cochlospermaceae	Poro poro
Mimosaceae	Quebracho
Apocynaceae	Sacuanjoche
Annonaceae	Sancoya
Euphorbiaceae	Sangredrigo
Bignoniaceae	Sardinillo
Sapotaceae	Sombra de armado
Polygonaceae	Tabacón
Hernandiaceae	Talalate
Fabaceae	Tapa viento

Lamiaceae	Teca
Euphorbiaceae	Tempate
Sapotaceae	Tempisque
Boraginaceae	Tigüilote
Rubiaceae	Uña de gato
Nyctaginaceae	Veranera
Lecythidaceae	Zapote
Sapotaceae	Zapote calentura
Sapotaceae	Zapote mico
Fabaceae	Zopilocuabo

