UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

POTENCIAL DE BIOMASA AÉREA Y CARBONO EN UN BOSQUE SIEMPREVERDE PIEMONTANO EN LA COMUNIDAD LAS MERCEDES DE LA PARROQUIA CANELOS

AUTOR(ES):

Aguinda Gomez Jessica Paola

Toquetón Valla Morelia Margoth

DOCENTE - TUTOR:

Dr. Yudel Garcia Quintana, PhD.

Puyo - Pastaza - Ecuador

2022

Potencial de biomasa aérea y carbono en un bosque siempreverde piemontano en la comunidad Las Mercedes de la parroquia Canelos

Aguinda Gómez Jessica Paola [1]
For2017001@uea.edu.ec

Toquetón Valla Morelia Margoth [1]
For2017087@uea.edu.ec

García Quitana Yudel, PhD.[2]
ygarcia@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Tierra, Carrera de Ingeniería Forestal

Resumen

El presente artículo versa sobre la evaluación del potencial de biomasa y carbono de un bosque siempreverde piemontano en la comunidad las Mercedes de la parroquia Canelos. Para este fin se desarrolló una investigación de campo en 11 parcelas, emitiendo como resultado 38 familias botánicas, 93 especies y 341 individuos. Para la recolección de datos se realizaron mediciones del DAP de los individuos, se calcularon los valores de varias características fisiográficas y se utilizó una ecuación alométrica para cuantificar la biomasa. De acuerdo a los resultados, el potencial de biomasa aérea acumulada fluctúa entre 207,19 y 8,10 Mg ha^{-1} y de reservas de carbono entre 103,60 y 4,05 Mg ha^{-1}. La mayor cantidad de biomasa se presentó en las parcelas P9, P11 y P6 y en las clases diamétricas más elevadas (CD > 50 cm). El índice de valor de importancia de biomasa (VIBF) calculado en función de la densidad, área basal y biomasa aérea relativa permitió identificar las familias botánicas potenciales en la captura de carbono y estructura del bosque, siendo la familia Bixaceae (VIBF = 11,35 %) la más relevante. Las familias promisorias por la mayor importancia ecológica son: Urticaceae, Fabaceae, Arecaceae, Salicaceae y Myristicaceae. Por su parte, las especies de mayor importancia ecológica son: *Iriartea deltoidea*, *Cecropia sciadophylla* y *Vismia baccifera*.

Palabras Clave: composición florística, especies promisorias, potencial de biomasa aérea, reservas de carbono.

Abstract

This article deals with the evaluation of the biomass and carbon potential of an evergreen piedmont forest in the Las Mercedes community of Canelos community. For this purpose, a field research was carried out in 11 plots, resulting in 38 botanical families, 93 species and 341 individuals. For data collection, the DBH of the individuals was measured, the values of several physiographic characteristics were calculated and an allometric equation was used to quantify the biomass. According to the results, the potential accumulated aerial biomass fluctuates between 207.19 and 8.10 Mg ha. and carbon stocks

between 103.60 and 4.05 Mg ha. The greatest amount of biomass was found in plots P9, P11 and P6 and in the highest diameter classes (CD > 50 cm). The biomass importance value index (VIBF) calculated based on density, basal area and relative aerial biomass allows the identification of potential botanical families in carbon sequestration and forest structure, with the Bixaceae family (VIBF = 11.35 %) being the most relevant. Promising families due to the greatest ecological importance are: Urticaceae, Fabaceae, Arecaceae, Salicaceae and Myristicaceae. The species of greatest ecological importance are: Iriartea deltoidea, Cecropia sciadophylla and Vismia baccifera.

Keywords**:** ***above-ground biomass potential, carbon stock, floristic composition, promising species.***

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Amazonas es un gran reservorio natural que cubre un área aproximada de 6´122736 km², abarcando parte de los territorios de ocho países (entre ellos Ecuador), que se caracteriza por tener una importante diversidad ecológica (Tierres Mayorga et al., 2020, p. 283). Su importancia cuantitativa y cualitativa es tal que cualquier tipo de perturbación en el ecosistema genera daños ambientales y afecta al ciclo del carbono, debido a que los bosques tropicales tienen una alta productividad de biomasa y representan una fracción importante de las reservas totales de carbono y nutrientes (Torres et al., 2020, p. 1235).

La biomasa es considerada como una función clave del ecosistema resultante del equilibrio de masas entre la tasa de productividad (fotosíntesis y germinación de semillas) y la pérdida por respiración y mortalidad (Keeling & Phillips, 2007). Representa entre el 70 y 90% total, encontrándose la mayor parte de ella en los árboles. Por el contrario, la biomasa, especialmente la que se encuentra por encima del suelo, es vulnerable a los incendios, la tala, la conversión de la tierra, tormentas y plagas, y por lo tanto su carbono se libera fácilmente a la atmósfera (Houghton et al., 2009, p. 2). Entre las causas para el desconocimiento se destaca la escasez de estimaciones de la biomasa viva y su alto nivel de variabilidad entre las distintas regiones (Houghton et al., 2009). Sin embargo, la cuantificación de la biomasa es importante porque suministra información que ayuda a comprender las respuestas de la vegetación a los cambios climáticos y medioambientales locales y globales (Eisfelder et al., 2016). En este contexto, las estimaciones de biomasa en los bosques tropicales en general y en la cuenca del Amazonas en particular, pueden contribuir en la evaluación de las reservas de carbono (Torres et al., 2020, p. 1236).

La estimación precisa de la biomasa contempla la asignación de un valor de densidad de la madera a un árbol, la elección de un modelo alométrico de biomasa o la de un modelo de altura-diámetro (H-D) cuando los datos de altura del árbol son incompletos o no existen. Una importante fuente de error proviene de la incertidumbre en la inferencia de la altura cuando no se ha medido directamente y con precisión (Réjou- Méchain et al., 2017). Se

han propuesto ciertos modelos genéricos que dependen de la variación regional o de las limitaciones bioclimáticas (Chave et al., 2014).

En la actualidad el fenómeno de la deforestación amenaza a los bosques de la cuenca amazónica ecuatoriana, lo que da lugar a un incremento de la contaminación debido a que no hay reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero. Por este motivo urgen las acciones para la preservación de los árboles, que entre otras funciones generan oxígeno nuevo y captan CO_2 para asegurar su biomasa y formar las ramas, el tronco y las hojas (García Marín, 2016, p. 162).

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) promovió la iniciativa REED+, enfocada en establecer directrices para el mantenimiento de las reservas de carbono en los países en vías de desarrollo (Palacios et al., 2019, p. 3). Por su parte, a nivel del Ecuador el actual Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador (MAATE) tiene vigente el programa de protección Socio Bosque. De acuerdo al MAATE, en las áreas protegidas amazónicas del país se almacenan aproximadamente 708 millones de toneladas de carbono y para la valoración de las reservas existentes y su cambio en el transcurso del tiempo se tiene en cuenta la variable de la cubierta vegetal (Palacios et al., 2019, p. 3).

También se debe tener en cuenta que el potencial de carbono y la dinámica de los bosques en la amazonia ecuatoriana son influenciados por fenómenos naturales y actividades antrópicas que modifican su estructura y alteran los procesos del ciclo del carbono (Tierres Mayorga et al., 2020, p. 284). En este sentido, es imprescindible la necesidad de realización periódica de estudios inherentes a la valoración de la acumulación de biomasa en la Amazonía ecuatoriana, para conocer y valorar el ciclo del carbono y el rol que cumplen en los cambios climáticos, en vista de las limitaciones de conocimiento acerca de las familias botánicas y especies arbóreas que más aportan a las reservas de carbono (García Quintana et al., 2021).

Bajo este contexto, la presente investigación es de interés porque brinda información sobre el potencial de biomasa aérea y carbono en un bosque siempreverde piemontano en la comunidad Las Mercedes de la parroquia Canelos del cantón Pastaza, localizada en la provincia homónima dentro de la República del Ecuador. La disponibilidad de datos del potencial de biomasa y carbono es de importancia para la gestión de la conservación de los bosques, el aprovechamiento sostenible de los recursos o la implementación de un sistema agroforestal. De esta manera, el estudio aporta en la contribución del equilibro natural con el fin de evitar cambios drásticos en la vegetación.

El objetivo general del presente estudio consistió en evaluar el potencial de biomasa y carbono de un bosque siempreverde piemontano en la comunidad las Mercedes de la parroquia Canelos, como base para la restauración de ecosistemas degradados. Para el efecto, se caracterizó la composición florística de un sector del bosque siempreverde piemontano, se determinó el contenido de biomasa y las reservas de carbono del

mencionado bosque; y se identificaron las especies promisorias para la acumulación de biomasa y reserva de carbono.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

2.1. Localización del área de estudio

El estudio se realizó en un bosque siempreverde piemontano de una finca de la comunidad Las Mercedes, perteneciente a la parroquia rural Canelos del cantón Pastaza, en la provincia homónima, localizado dentro del territorio hidrográfico del río Pastaza, en la República del Ecuador. La zona se encuentra localizada al sureste de la ciudad de Puyo (Figura 1). Las condiciones bioclimáticas predominantes del área de estudio corresponden a un clima cálido húmedo. Con un rango altitudinal mínimo de 609 msnm y máximo de 671 msnm. Presenta un promedio de 644 msnm, temperatura anual media de entre 25 y 30ºC, una precipitación promedio anual de 4624 mm y una humedad relativa promedio anual de 88 % (Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología del Ecuador, 2021).

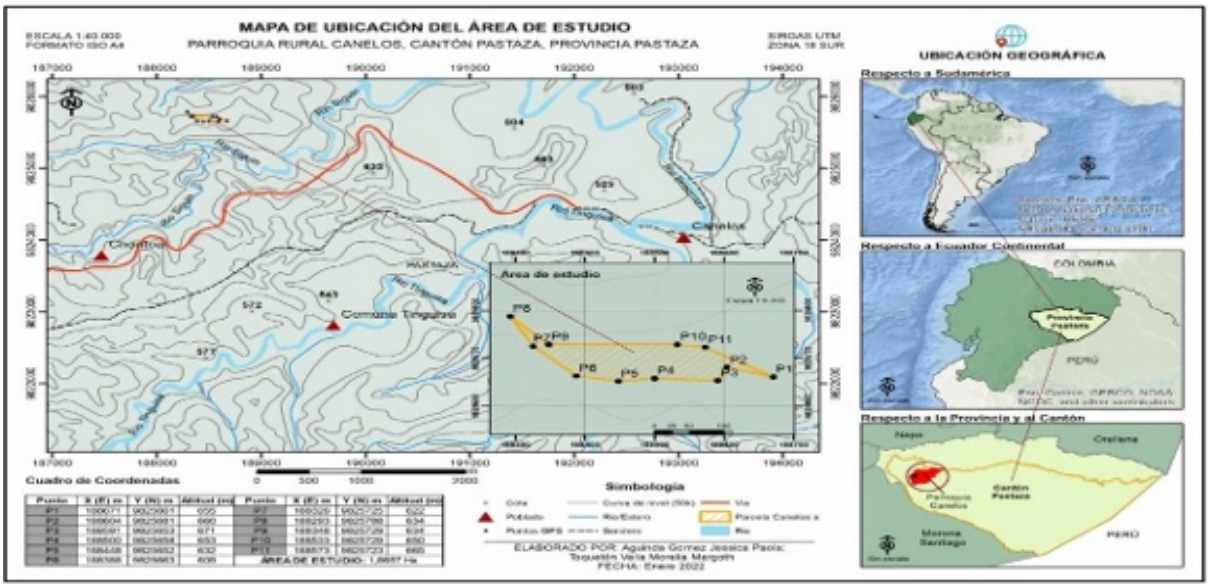

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

En el área de estudio se instalaron once parcelas temporales. Las características fisiográficas correspondientes se presentan en la Tabla 1. Las coordenadas geográficas, altitud y pendiente se obtuvieron con la aplicación móvil GPS Essentials.

Tabla 1. Coordenadas geográficas (UTM) de las 11 parcelas temporales instaladas en un bosque siempreverde piemontano en la Amazonia Ecuatoriana (BSVPMa) de 609 a 671 m.s.n.m, en la comunidad las Mercedes de la parroquia Canelos.

Nº Parcela	Altitud (m)	Latitud	Longitud
1	655	188671	9825661
2	660	188604	9825681
3	671	188591	9825653
4	653	188500	9825658
5	632	188448	9825652
6	609	188388	9825663
7	622	188326	9825725
8	634	188293	9825788
9	634	188348	9825729
10	650	188533	9825729
11	665	188573	9825723

.

2.2. Método de investigación

En esta investigación se estableció el método de observación *in situ* y de medición. Este método permitió reconocer factores que se encuentran afectando y causando perturbaciones al ecosistema de este bosque, así como observar las especies de mayor altura dentro del inventario florístico. La medición facilitó a través de los parámetros dasométricos conformar una base de datos para calcular el contenido de biomasa y carbono, de tal manera que se dispuso de criterios para la toma de decisiones en cuanto al manejo como sumidero de carbono de este reservorio de bosque.

2.3. Procedimiento para la obtención de información y datos

2.3.1. Unidades de muestreo y tamaño de la muestra

La fase de campo de este trabajo se realizó en el año 2019 en el mes de marzo y noviembre, lo que permitió la movilidad para la obtención de los datos. Se establecieron 11 parcelas temporales de 20 *x* 25 m (500 m^2), distribuidas al azar en la Comunidad las Mercedes, Parroquia Canelos. Se consideró la accesibilidad, topografía y heterogeneidad del terreno y se delimitó las parcelas mediante estacas y piolas. Dentro de cada parcela se ubicó y se marcó las especies arbóreas y palmas con criterio de diámetro del suelo ($d_{1,30}$) ≥10 cm. Además, se obtuvieron las variables de interés altura total y altura comercial; mientras que para la identificación de los individuos se realizó con el apoyo de un botánico de la localidad.

2.3.2. Metodología para el estudio de la composición florística de un sector del bosque siempreverde piemontano

En el estudio de la composición florística de las parcelas del bosque siempreverde piemontano se identificaron varias especies de flora, que se agruparon por familias botánicas, cada una de las cuales tiene sus características estructurales particulares. Las variables que se obtuvieron fueron el número de especies identificadas de cada familia, el diámetro a la altura del pecho (DAP), el área basal (AB) y el volumen de la madera (V).

2.3.2.1. Medición del diámetro a la altura del pecho

La medición del diámetro a la altura del pecho (expresada en cm) de cada una de las especies se efectuó mediante el uso de una cinta diamétrica.

2.3.2.2. Determinación del área basal

El área basal expresada en m^2 se calculó mediante la aplicación de la fórmula mostrada a continuación:

$$AB = \frac{\pi}{4} DAP^2$$

Dónde:

AB es el área basal (m^2).
π constante 3.14159.
DAP es el diámetro a la altura del pecho (m).

2.3.2.3. Determinación del volumen de la madera

El volumen de la madera expresado en m^3 se calculó mediante la aplicación de la fórmula mostrada a continuación:

$$V = AB \cdot H \cdot ff$$

Donde:

V volumen de la madera (m^3).
AB es el área basal (m^2).
H es la altura total del árbol (m).
ff es el factor de forma (0.5).

2.3.3. Metodología para determinar el contenido de biomasa y las reservas de carbono de un sector del bosque siempreverde piemontano

En la determinación de la biomasa aérea se utilizó el método indirecto, el cual consiste en usar fórmulas alométricas, mediante la obtención de parámetros como el DAP y la densidad específica de la madera de cada especie en particular.

2.3.3.1. Determinación de biomasa aérea

Para estimar la biomasa aérea se utilizó la ecuación alométrica de Chave et al. (2005), que se ajusta perfectamente a bosques tropicales, la cual se muestra a continuación:

$$AGB = \rho \cdot \exp\left(-1.499 + 2.148\ln(DAP) + 0.207\,(\ln(DAP))^2 - 0.0281\,(\ln(DAP))^3\right)$$

Dónde:

ρ es la densidad específica de la madera (g/cm^3).
DAP es el diámetro a la altura del pecho (m) de todos los árboles DAP ≥ 10 cm.
AGB es la biomasa aérea por especie o por familias (Mg ha-1) de masa seca.

Se utilizaron datos de densidad específica de madera de las especies, a partir de estudios desarrollados en el área local. En algunos casos donde la densidad específica no estuvo disponible se utilizó la media global (p) para América del Sur tropical (0,632 g/cm^3) (García Quintana et al., 2021).

2.3.3.2. Biomasa por clases diamétricas

Para cuantificar el potencial de biomasa aérea por clases diamétricas de las familias (CD), se ordenaron los valores de diámetros por clases en los rangos (10-19,99; 20-29,99; 30-39,99; 40-40,99; 50-50,99 y CD ≥ 60 cm) y se procedió a obtener el contenido de biomasa acumulada por cada clase diamétrica.

2.3.3.3. Reservas de carbono total almacenado en la biomasa

Se convirtieron los datos de biomasa a carbono (Mg·ha^{-1}), multiplicado por el factor de conversión 0.5 propuesto por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Romero et al., 2021). Los valores obtenidos fueron expresados en toneladas de carbono por hectárea (Mg C ha^{-1}). El carbono total almacenado se calculó sumando el carbono de cada uno de los compartimentos de almacenamiento (biomasa aérea de árboles, palmas y helechos arborescentes). La fórmula para el cálculo del carbono total almacenado en la biomasa fue la siguiente:

$$CAGB = AGB \cdot 0.5$$

Donde:

CAGB es la cantidad de carbono almacenado en la biomasa (Mg ha^{-1}) por especie o familia.

AGB es la biomasa aérea por especie o por familia (Mg ha^{-1}).

2.3.4. Metodología para identificar las especies promisorias para la acumulación de biomasa y reserva de carbono

2.3.4.1. IVIF a nivel de familia

El índice de valor de importancia a nivel de las familias (IVIF), se determina mediante las siguientes fórmulas:

$$IVIF = ARF + DRF + FRF$$

$$ARF = \frac{\text{Número de individuos por familia}}{\text{Total de individuos}} \; x\; 100\%$$

$$DRF = \frac{\text{Área basal de la familia}}{\text{Área basal de todas las especies}} \; x\; 100\%$$

$$FRF = \frac{\text{Frecuencia absoluta de la familia}}{\text{Sumatoria total de las frecuencias absolutas}} \; x\; 100\%$$

Donde:

IVIF es el índice de valor de importancia (%) de cada familia.

ARF es la abundancia relativa (%) de cada familia.

DRF es la dominancia relativa (%) de cada familia.

FRF es la frecuencia relativa (%) de cada familia.

2.3.4.2. IVI a nivel de especie

Mediante el índice de valor de importancia a nivel de especie (IVI) se describió la estructura de bosque, principalmente para jerarquizar la dominancia de cada especie. Se obtuvo de este valor primeramente con la sumatoria de la frecuencia relativa, la abundancia relativa y la dominancia relativa (Chablé-Pascual et al., 2015). Las fórmulas aplicadas para el cálculo del IVI son las siguientes:

$$IVI = AR + DR + FR$$

$$AR = \frac{\text{Número de individuos}}{\text{Total de individuos}} \; x\; 100\%$$

$$DR = \frac{\text{Área basal del individuo}}{\text{Área basal de todas las especies}} \; x\; 100\%$$

$$FR = \frac{\text{Frecuencia absoluta del individuo}}{\text{Sumatoria total de las frecuencias absolutas}} \; x\; 100\%$$

Donde:

IVI es el índice de valor de importancia (%) de cada especie.

AR es la abundancia relativa (%) de cada especie.

DR es la dominancia relativa (%) de cada especie.

FR es la frecuencia relativa (%) de cada especie.

2.3.4.3. Índice de valor de importancia de biomasa a nivel de familias botánicas

Análogo al caso de las especies, también se definió el índice de valor de importancia de biomasa a nivel de familias botánicas, que se calculó mediante la siguiente expresión:

$$VIBF = \frac{NF + ABF + BARF}{3}$$

Donde:

VIBF es el índice de valor de importancia de biomasa (%) a nivel de familias botánicas.
NF es el índice de abundancia (%) de cada familia botánica.
ABF es el índice de área basal (%) de cada familia botánica.
BARF es el índice de biomasa aérea relativa (%) de cada familia botánica.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Estudio de la composición florística del bosque siempreverde piemontano

El inventario florístico en las 11 parcelas del bosque siempreverde piemontano de una finca de la comunidad Las Mercedes, perteneciente a la parroquia rural Canelos del cantón Pastaza reportó un total de 38 familias botánicas, 93 especies y 341 individuos. Es decir que se trata de un ecosistema con una diversidad de familias botánicas, aunque con baja abundancia de especies. De acuerdo a la información de la Figura 2, las familias predominantes por el número de individuos encontrados fueron: Arecaceae, Urticaceae, Fabaceae, Salicaceae, Myristicaceae, Rubiaceae, Bixaceae, Malvaceae, Euphorbiaceae, Hypericaceae, con cantidades que van en orden descendente desde 52 hasta 12 individuos.

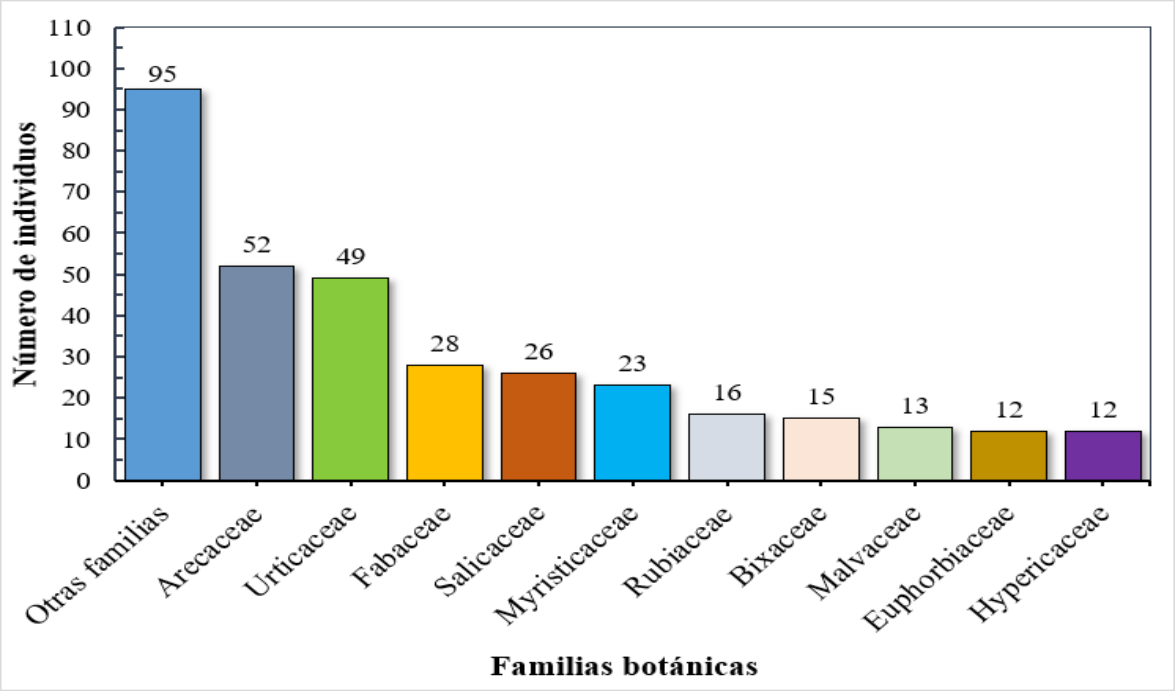

Figura 2. Número de individuos de las familias botánicas más abundantes.

Según se muestra en la Tabla 2, en conjunto las diez familias mencionadas representaron el 72,14 % del total de los individuos, mientras que las restantes 28 familias representaron el 27,86 %. Con respecto a los valores de las características estructurales, la familia Arecaceae se destaca como la de mayor DAP con un valor de 11,84 cm, mientras que la familia Urticaceae presenta el área basal más grande con 9,30 m^2 y la familia Arecaceae tiene el mayor volumen de la madera con 68,38 m^3.

Tabla 2. Características estructurales de las 10 familias con mayor número de especies en parcelas (100 m^2 total) en el bosque siempreverde piemontano, 600 a 700 m de altura, comunidad Las Mercedes de la Parroquia Canelos, Pastaza, Ecuador, 2021.

Familia	Nº Individuos	DAP (cm)	Área basal (m^2)	V (m^3)
Arecaceae	52	11,84	7,85	68,38
Urticaceae	49	9,99	9,30	36,46
Fabaceae	28	7,23	5,68	43,01
Salicaceae	26	5,45	3,82	27,87
Myristicaceae	23	4,86	4,28	15,83
Rubiaceae	16	4,01	1,93	24,23
Bixaceae	15	3,97	3,15	24,59
Malvaceae	13	2,89	3,12	15,21
Euphorbiaceae	12	2,48	2,27	9,51
Hypericaceae	12	2,46	1,76	9,02

Familia	Nº Individuos	DAP (cm)	Área basal (m^2)	V (m^3)
Otras familias	95	22,02	17,29	116,41
Total	341	77,19	60,43	390,50

A partir de la revisión de la literatura existente se encontró que existe similitud con el estudio realizado por parte de García Quintana et al. (2021) desarrollado en un bosque siempreverde ubicado en el sector Pindo Mirador, parroquia Mera, provincia Pastaza. En el mencionado trabajo se destaca la presencia de las familias Fabaceae, Euphorbiaceae, Urticaceae y Arecaceae, familias que también figuran entre las preponderantes en la comunidad Las Mercedes, perteneciente a la parroquia rural Canelos. En cuanto a la cantidad total de familias identificadas en el sector Pindo Mirador, se encontraron un número de 30 y en la comunidad Las Mercedes se identificaron 38 familias; respecto al número de especies se observaron 65 y 93, respectivamente; y en cuanto al número de individuos se cuantificaron 322 y 341, respectivamente. En vista de las cantidades encontradas, se establece que la presente investigación tiene similitud con la de García, lo cual es de esperarse dado que se trata de una misma tipología de bosque y en condiciones ecológicas muy similares.

3.2. Contenido de biomasa y reservas de carbono

3.2.1. Biomasa aérea

Se cuantificó la cantidad de biomasa aérea que acumulan las familias presentes en el bosque de la comunidad Las Mercedes de la parroquia rural Canelos. En la Figura 3 y Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para las 10 familias de mayor peso ecológico. La familia más importante por la cantidad de biomasa es la Urticaceae con 207,19 Mg ha^{-1} y la de menor cantidad de entre las 10 primeras es la Boraginaceae con 8,10 Mg ha^{-1}.

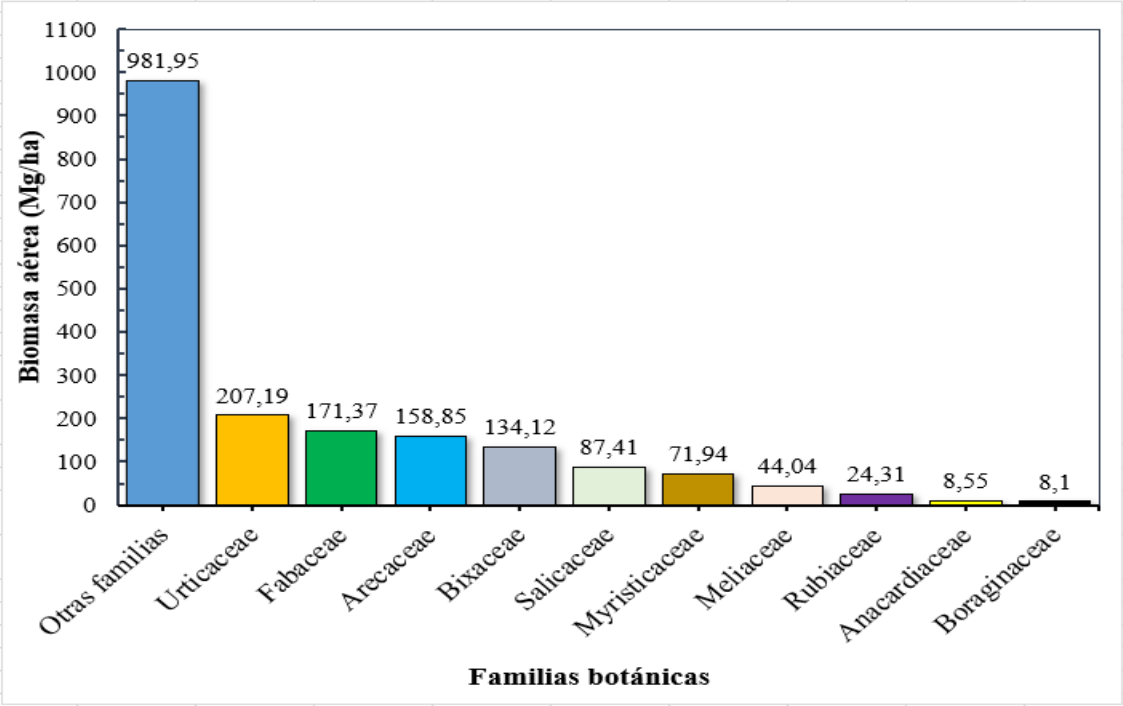

Figura 3. Biomasa aérea clasificada por las familias de mayor peso ecológico.

En el estudio de García Quintana et al. (2021) el potencial de biomasa aérea acumulada fluctúo entre 161.84 a 339.70 Mg.ha^{-1}, valores que son superiores a los de las familias del bosque de la comunidad Las Mercedes de la parroquia rural Canelos. Por otra parte, en un estudio desarrollado por parte de (Paky et al., 2017) en un bosque de tierra firme del resguardo Nonuya-Villazul, en la amazonia colombiana, los investigadores hallaron que las familias con mayor contenido de biomasa son: Fabaceae, Dipterocarpaceae, Lecythidaceae, Sapotaceae y Lauraceae, de entre las cuales solamente la primera de ellas también está presente en la presente investigación ocupando la segunda posición por su peso ecológico.

3.2.2. Reservas de carbono

De igual manera, conforme se muestra en la Tabla 3, se cuantificaron las reservas de carbono, siendo que la familia más significativa es la Urticaceae con 103,60 Mg ha^{-1} y la de menor cantidad de carbono entre las 10 primeras es la Boraginaceae con 4,05 Mg ha^{-1}. Otras familias que también son representativa tanto por la cantidad de biomasa aérea cuanto por las reservas de carbono son las siguientes: Fabaceae, Arecaceae y Bixaceae.

Tabla 3. Biomasa aérea y reservas de carbono de las familias de mayor peso ecológico.

Familia	AGB ($Mg \cdot ha^{-1}$)	CAGB ($Mg \cdot ha^{-1}$)
Urticaceae	207,19	103,60
Fabaceae	171,37	85,68
Arecaceae	158,85	79,42
Bixaceae	134,12	67,06
Salicaceae	87,41	43,70
Myristicaceae	71,94	35,97
Meliaceae	44,04	22,02
Rubiaceae	24,31	12,16
Anacardiaceae	8,55	4,28
Boraginaceae	8,10	4,05
Otras familias	981,95	490,98
Total	1897,85	948,93

Tierres Mayorga et al. (2020) en un estudio desarrollado acerca del potencial de carbono en el estrato arbóreo de un bosque siempreverde de tierras bajas en la Reserva de Producción Faunística Cuyabeno, localizado en la provincia de Sucumbíos, Ecuador, determinaron que las familias que almacenan la mayor cantidad de carbono son Lauraceae (35,6± 0,7 Mg ha^{-1}), Chrysobalanaceae (34,5 ± 5,3 Mg ha^{-1}), Fabaceae (23,6 ± 0,52 Mg ha^{-1}), Sapotaceae (22,6 ± 0,6 Mg ha^{-1}), Arecaceae (21,99 ± 0,25 Mg ha^{-1}) que acumulan el 70,4 % de carbono retenido en la biomasa aérea del bosque. Al tratarse de un bosque húmedo tropical, se puede hacer una comparación con la presente investigación realizada en la comunidad Las Mercedes de la Parroquia Canelos. En este sentido, las reservas de carbono de la familia Fabaceae son superiores en el presente estudio con un valor de 85,68 Mg ha^{-1}; lo que también ocurre con la familia Arecaceae, cuyas reservas se estiman en 79,42 Mg ha^{-1}. La familia Urticaceae, que es la principal por el peso ecológico en la presente investigación, ocupa el décimo lugar en el bosque de la Reserva Faunística Cuyabeno. En cuanto a las familias Lauraceae, Chrysobalanaceae y Sapotaceae, si bien están presentes en el bosque de la comunidad Las Mercedes de la Parroquia Canelos, sus reservas de carbono no se hallan entre las diez de mayor peso ecológico, contrariamente a lo que ocurre en la del estudio de Tierres.

3.2.3. Biomasa por clases diamétricas

Conforme se representa en la Figura 4, en cuanto a la distribución de biomasa en las parcelas según el tipo de clase diamétrica, la parcela que alberga la mayor cantidad de biomasa es la P9, en la que se destaca principalmente la clase diamétrica (CD ≥ 60 cm) con un valor de 128,7 Mg ha^{-1}. También es importante el potencial de biomasa de las parcelas P11 y P6, en las cuales los valores más representativos corresponden a 76,8 y 72 Mg ha^{-1}, ambos para la clase diamétrica (CD ≥ 60 cm). Con respecto a las clases diamétricas, la

mayor acumulación de biomasa aérea se presentó en las clases diamétricas superiores (CD > 50 cm) y la menor en las clases inferiores (CD [10-29,99] cm).

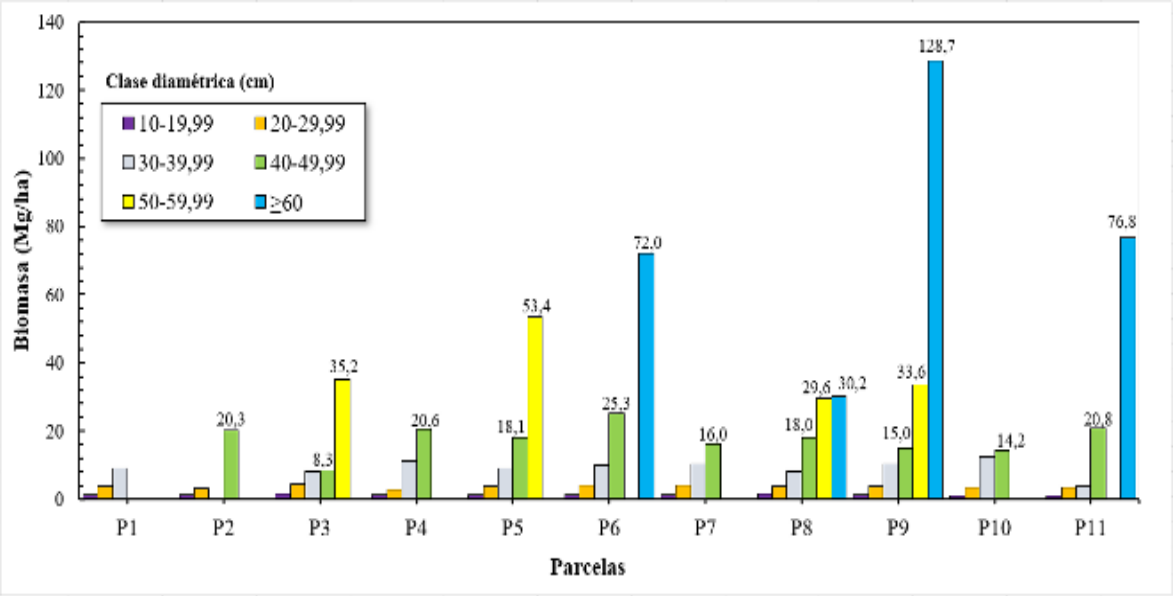

Figura 4. Biomasa aérea en las parcelas del estudio según el tipo de clase diamétrica.

En la investigación de García Quintana et al. (2021) en el bosque de la zona alta de la microcuenca del río Puyo, la mayor acumulación de biomasa aérea se presentó en las clases diamétricas superiores (CD > 40 cm) y la menor en la inferior (CD 10-20 cm); resultados que son similares a los hallados en la presente investigación.

3.3. Familias y especies promisorias para la acumulación de biomasa y carbono

3.3.1. Índice de valor de importancia a nivel de familias

En la Figura 5 y Tabla 4 se presentan los índices de valor de importancia (IVIF) de las familias de mayor peso ecológico, los cuales se obtuvieron a partir de los parámetros ARF, DRF y FRF.

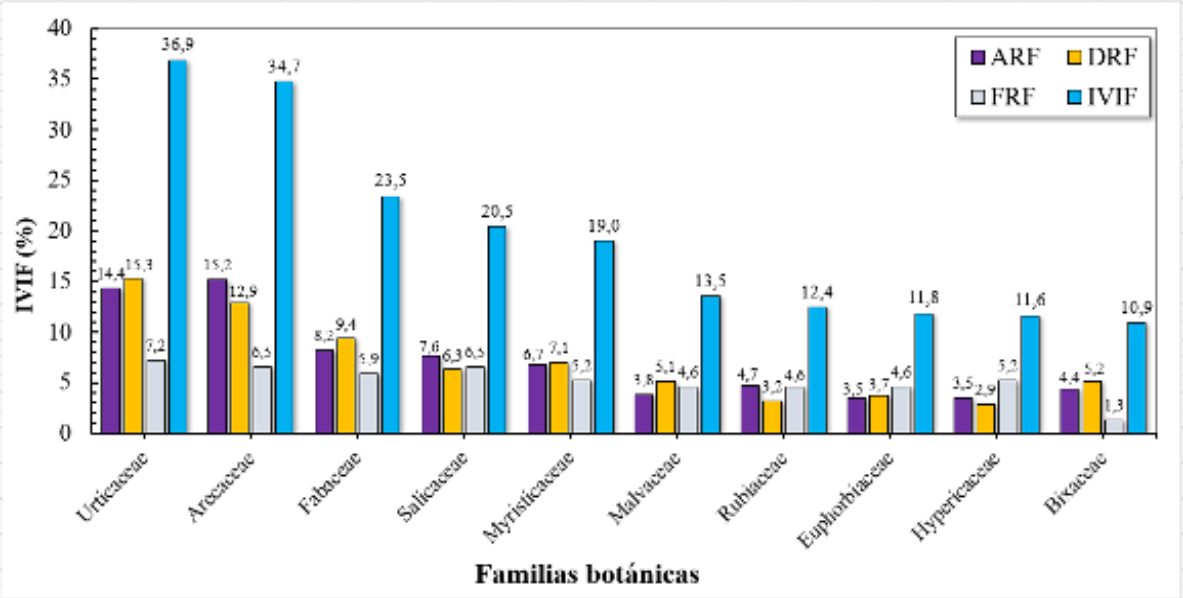

Figura 5. Índice de valor de importancia de las familias de mayor peso ecológico.

Tabla 4. Índice de valor de importancia de las familias de mayor peso ecológico.

Familia	ARF (%)	DRF (%)	FRF (%)	IVIF (%)
Urticaceae	14,37	15,33	7,19	36,89
Arecaceae	15,25	12,94	6,54	34,73
Fabaceae	8,21	9,36	5,88	23,46
Salicaceae	7,62	6,30	6,54	20,46
Myristicaceae	6,74	7,06	5,23	19,03
Malvaceae	3,81	5,14	4,58	13,53
Rubiaceae	4,69	3,18	4,58	12,45
Euphorbiaceae	3,52	3,75	4,58	11,84
Hypericaceae	3,52	2,90	5,23	11,64
Bixaceae	4,40	5,20	1,31	10,90
Otras familias	27,86	28,85	48,37	105,07

Las familias más representativas con respecto a su importancia IVIF son: Urticaceae (36,89 %), Arecaceae (34,73 %), Fabaceae (23,46 %), Salicaceae (20,46 %) y Myristicaceae (19,03 %). La participación de las 28 familias restantes que se agrupan en la categoría otras familias es significativa, dado que en conjunto representan 105,7 %.

En la investigación de Tierres Mayorga et al. (2020) las cinco familias con mayor IVIF fueron: Lauraceae (17,53 %); Fabaceae (13,17 %); Arecaceae (12,93 %); Sapotaceae (9,75 %); Myristicaceae (9,24 %). Es decir que, entre las dos investigaciones se destaca el caso de las familias Arecaceae (34,73 %), Fabaceae.

3.3.2. Índice de valor de importancia a nivel de especies

Análogamente, en la Figura 6 y Tabla 5 se presentan los índices de valor de importancia de biomasa (IVI) de las especies de mayor peso ecológico, los cuales se obtuvieron a partir de los parámetros AR, DR y FR. Las especies más representativas con respecto a su importancia en la biomasa aérea fueron: *Iriartea deltoidea* (21,15 %), *Cecropia sciadophylla* (14,39 %), *Vismia baccifera* (13,19 %), *Otoba glycycarpa* (11,88 %) y *Cecropia membranácea* (10,81 %). La participación de las especies restantes que se agrupan en la categoría otras familias es relevante, dado que en conjunto representan 190,48 %.

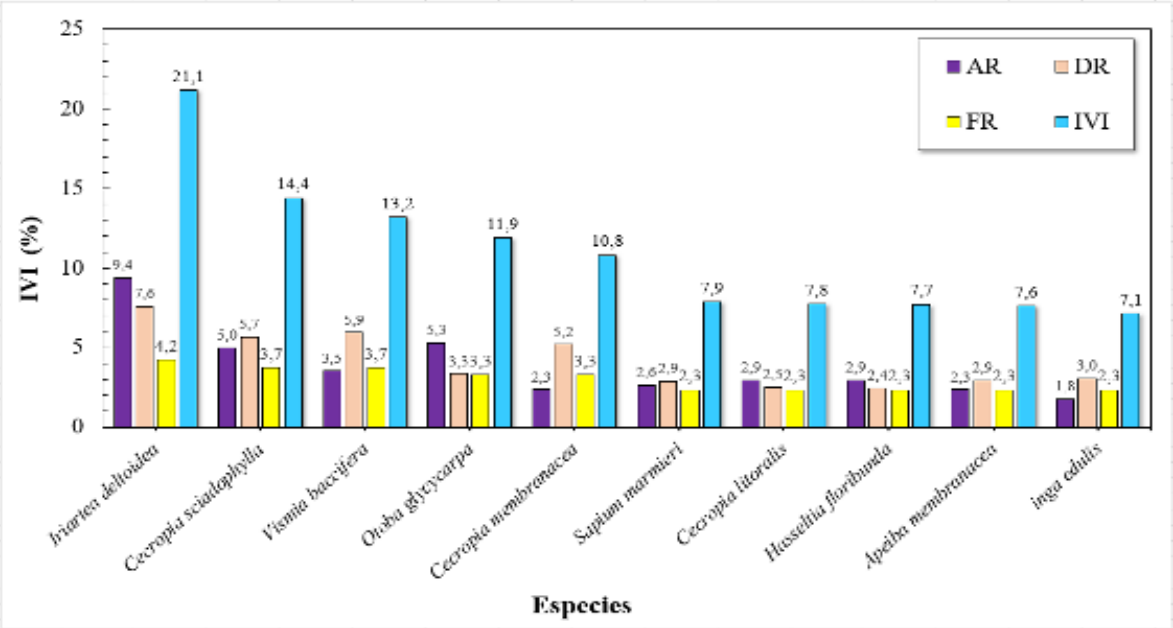

Figura 6. Índice de valor de importancia de las especies de mayor peso ecológico.

Tabla 5. Índice de valor de importancia de las especies de mayor peso ecológico.

Especie	AR (%)	DR (%)	FR (%)	IVI (%)
Iriartea deltoidea	9,38	7,56	4,21	21,15
Cecropia sciadophylla	4,99	5,67	3,74	14,39
Vismia baccifera	3,52	5,93	3,74	13,19
Otoba glycycarpa	5,28	3,33	3,27	11,88
Cecropia membranacea	2,35	5,20	3,27	10,81
Sapium marmieri	2,64	2,90	2,34	7,87
Cecropia litoralis	2,93	2,49	2,34	7,76
Hasseltia floribunda	2,93	2,44	2,34	7,71
Apeiba membranacea	2,35	2,94	2,34	7,62
Inga edulis	1,76	3,04	2,34	7,13

Especie	AR (%)	DR (%)	FR (%)	IVI (%)
Otras especies	61,88	58,51	70,09	190,48

En la investigación de Tierres Mayorga et al. (2020) las cinco especies con mayor IVI fueron: *Oenocarpus bataua* Mart. (11,10 %), *Inga* spp. (8,46 %), *Ocotea* spp. (8,41 %), *Nectandra membranacea* (Sw.) Griseb. (7,73 %) y *Osteophloeum platyspermum* Spruce (6,29 %). Es decir que, en las dos investigaciones las especies con un mayor valor de importancia de especies fueron diferentes.

3.3.3. Índice de valor de importancia de biomasa a nivel de familias

En la Figura 7 y Tabla 6 se muestran las familias en orden descendente por su valor de índice de valor de importancia de biomasa (VIBF), que se obtuvo a partir de los parámetros fitosociológicos índice de abundancia (NF), índice de área basal (ABF) e índice de biomasa aérea relativa (BARF). Destaca la familia Bixaceae por ser la que tiene una participación (VIBF = 11,35 %), siendo la siguiente la Urticaceae con un VIBF = 7,56 %; mientras que la de menor VIBF de entre las 10 primeras es la familia Rubiaceae con un valor de 3,78 %.

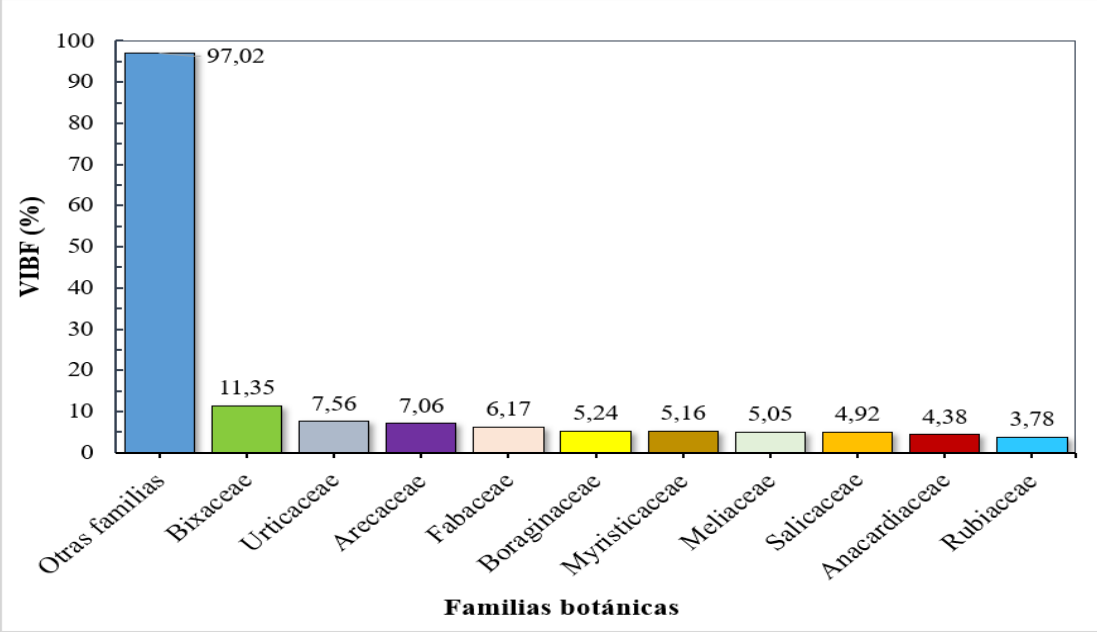

Figura 7. Índice de valor de importancia de biomasa a nivel de las familias botánicas.

Tabla 6. Índice de valor de importancia de biomasa en las familias de mayor peso ecológico.

Familia	NF (%)	ABF (%)	BARF (%)	VIBF (%)
Bixaceae	23,80	10,01	0,23	11,35
Urticaceae	15,19	7,34	0,14	7,56
Arecaceae	15,47	5,60	0,10	7,06
Fabaceae	10,00	8,36	0,15	6,17
Boraginaceae	8,00	7,63	0,08	5,24
Myristicaceae	8,35	7,07	0,05	5,16
Meliaceae	7,54	7,53	0,08	5,05
Salicaceae	9,06	5,64	0,05	4,92
Anacardiaceae	7,77	5,34	0,03	4,38
Rubiaceae	6,92	4,39	0,03	3,78
Otras familias	109,10	180,28	1,68	97,02
Total	7,19	6,65	0,07	4,64

En la investigación desarrollada por parte de García Quintana et al. (2021), los mayores valores de VIBF correspondieron a las familias Moraceae, Arecaceae, Asteraceae, Fabaceae, Rubiaceae y Euphorbiaceae. En la presente investigación también destacan las familias Arecaceae y Fabaceae, siendo las que ocupan el tercer y cuarto lugar por su índice VIBF, mientras que la familia Rubiaceae se encuentra en la posición décima; las familias Moraceae y Asteraceae son poco importantes en el bosque de la comunidad Las Mercedes de la Parroquia Canelos.

Los resultados obtenidos en la presente investigación reflejan que en el bosque siempreverde piemontano de la comunidad Las Mercedes de la parroquia rural Canelos, las familias promisorias por la cantidad de biomasa y reservas de carbono y que por consiguiente son las de mayor importancia ecológica son las siguientes: Urticaceae, Fabaceae, Arecaceae, Salicaceae y Myristicaceae. Por su parte las especies de mayor importancia ecológica son: *Iriartea deltoidea*, *Cecropia sciadophylla*, *Vismia baccifera*, *Otoba glycycarpa* y *Cecropia membranácea*. Los hallazgos en cuanto al caso de las familias concuerdan con los publicados en investigaciones preliminares (García Quintana et al., 2021) (Chave et al., 2005) (Palacios et al., 2019).

4. CONCLUSIONES

La composición florística y estructural del bosque siempreverde piemontano de la comunidad Las Mercedes de la parroquia rural Canelos es diversa en familias botánicas, habiéndose encontrado 38 familias botánicas, 93 especies y 341 individuos, lo que refleja que se trata de un ecosistema con una diversidad de familias botánicas.

Se encontró que existe un gran potencial de biomasa aérea acumulada que oscila en un

rango de 207,19 Mg ha^{-1} de la familia Urticaceae y 8,10 Mg ha^{-1} de la familia Boraginaceae. Para las reservas de carbono, el rango también corresponde a las mismas familias, con valores que fluctúan entre 103,60 y 4,05 Mg ha^{-1}, respectivamente. La mayor cantidad de biomasa se presentó en las parcelas P9, P11 y P6 y en las clases diamétricas más elevadas (CD > 50 cm).

El VIBF calculado en función de la densidad, área basal y biomasa aérea relativa resultó ser un indicador útil para identificar las familias botánicas potenciales en la captura de carbono y estructura del bosque. La familia que se destacó por tener un mayor valor VIBF es la Bixaceae (11,35 %), mientras que la de menor VIBF de entre las 10 primeras es la familia Rubiaceae con un valor de 3,78 %. Las familias más representativas con respecto a su índice de importancia IVIF son: Urticaceae (36,89 %), Arecaceae (34,73 %), Fabaceae (23,46 %), Salicaceae (20,46 %) y Myristicaceae (19,03 %). En tanto que las especies más representativas con respecto a su importancia en la biomasa aérea fueron: *Iriartea deltoidea* (21,15 %), *Cecropia sciadophylla* (14,39 %), *Vismia baccifera* (13,19 %), *Otoba glycycarpa* (11,88 %) y *Cecropia membranácea* (10,81 %).

REFERENCIAS

Burbano Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, *35*(1), 82-96. https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85

Chablé-Pascual, R., Palma-López, D. J., Vázquez-Navarrete, C. J., Mariaca-Méndez, R., & Ascensio-Rivera, J. M. (2015). Estructura, diversidad y uso de las especies en huertos familiares de la Chontalpa, Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *2*(4), 23-39.

Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.-P., Nelson, B. W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, *145*(1), 87-99. https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x

Chave, J., Réjou-Méchain, M., Burquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M., Delitti, W. B. C., & Duque, A. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, *20*(10), 3177-3190. https://doi.org/10.1111/gcb.12629

Eisfelder, C., Klein, I., Bekkuliyeva, A., Kuenzer, C., Buchroithner, M. F., & Dech, S. (2016). Above-ground biomass estimation based on NPP time-series − A novel approach for biomass estimation in semi-arid Kazakhstan. *Ecological Indicators*, *72*, 13-22. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.042

García Quintana, Y., Arteaga-Crespo, Y., Torres-Navarrete, B., Bravo-Medina, C., & Robles-Murillo, M. (2021). Biomasa aérea de familias botánicas en un bosque siempreverde piemontano sometido a grados de intervención. *Colombia Forestal*, *24*(1), 45-59. https://doi.org/10.14483/2256201X.15939

García Marín, M. E. (2016). La deforestación: Una práctica que agota nuestra biodiversidad. *Producción + Limpia*, *11*(2), 161-168. https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a13

Houghton, R. A., Hall, F., & Goetz, S. J. (2009). Importance of biomass in the global carbon cycle. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, *114*(G2), 1-13. https://doi.org/10.1029/2009JG000935

Keeling, H. C., & Phillips, O. L. (2007). The global relationship between forest productivity and biomass. *Global Ecology and Biogeography*, *16*(5), 618-631. https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00314.x

Nonini, L., & Fiala, M. (2021). Estimation of carbon storage of forest biomass for voluntary carbon markets: Preliminary results. *Journal of Forestry Research*, *32*(1), 329-338. https://doi.org/10.1007/s11676-019-01074-w

Paky, E., Moreno, F., & Álvarez, E. (2017). Contenido de carbono en un bosque de tierra firme del resguardo Nonuya-Villazul, amazonia colombiana. *Colombia Forestal*, *20*(2), 144-157. https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.2.a04

Palacios, I., Castro, S., & Rodríguez, F. (2019). Almacenamiento de Carbono como servicio ambiental en tres reservas naturales del Ecuador. *Revista Geoespacial*, *16*(1), 1-14. https://doi.org/10.24133/geoespacial.v16i1.1275

Réjou-Méchain, M., Tanguy, A., Piponiot, C., Chave, J., & Hérault, B. (2017). BIOMASS: An R package for estimating above-ground biomass and its uncertainty in tropical forests. *Methods in Ecology and Evolution*, *8*(9), 1163-1167. https://doi.org/10.1111/2041-210X.12753

Romero, E., Velasco, D., & Vilca, J. (2021). Valoración económica de los servicios de almacenamiento de CO2 y filtración del agua de los manglares del Golfo de Guayaquil. *Revista Geoespacial*, *18*(2), 18-32.

Tierres Mayorga, J. C., Chávez Esponda, D., Segura Chávez, E., & Cabrera Quezada, M. (2020). Potencial de carbono en el estrato arbóreo de un bosque siempreverde de tierras bajas, Sucumbíos—Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, *8*(2), 282-295.

Torres, B., Vasseur, L., López, R., Lozano, P., García, Y., Arteaga, Y., Bravo, C., Barba, C., & García, A. (2020). Structure and above ground biomass along an elevation small-scale gradient: Case study in an Evergreen Andean Amazon forest, Ecuador. *Agroforestry Systems*, *94*(4), 1235-1245. https://doi.org/10.1007/s10457-018-00342-8

ANEXOS

Fundamentación teórica

Carbono

El ciclo del carbono es un ciclo biogeoquímico donde el carbono sufre distintas transformaciones a lo largo del tiempo. Este ciclo juega un papel importante en la regulación del clima del planeta. Este elemento se encuentra depositado en todas las esferas del sistema global en diferentes formas: en la atmósfera como dióxido de carbono, metano y otros componentes; en la hidrósfera, en forma de dióxido de carbono disuelto en al agua; en la litósfera, en las rocas y en depósitos de carbón, petróleo y gas; en la biosfera, en los carbohidratos; en la antropósfera, en diferentes formas en los objetos creado por la sociedad (Benavides Ballesteros, 2017). El carbono circula entre la atmósfera, la hidrósfera, la biósfera y la litósfera por medio de la interacción en escalas de tiempo que van desde procesos que demoran algunas horas, días, meses y estaciones hasta aquellos que tardan largos periodos geológicos (Benavides Ballesteros, 2017).

Almacenamiento y fijación de carbono

Según Ortega et al (2010), la captura y almacenamiento de carbono (CAC) es el proceso consistente en la separación de dióxido de carbono de fuentes industriales y del sector de la energía, su transporte hasta un lugar de almacenamiento y su aislamiento respecto de la atmósfera durante largos períodos. Las masas boscosas de los páramos pueden ayudar a fijar el dióxido de carbono atmosférico, el Polylepis puede capturar hasta 2 tC/ha/año. Esto quiere decir que la cantidad total de carbono almacenada puede ser mayor que la de la selva tropical (Mojica Sánchez, 2018).

Contribución de carbono y su rol en el cambio climático

Con el cambio climático y el carbono pueden darse dos situaciones. Si el carbono integra los GEI, este elemento hace parte del problema. Surge como solución cuando está en su forma orgánica en el suelo. Cuantitativamente el carbono del primer metro de suelo es el doble y el triple, que el de la atmósfera y el de la vegetación total. Por tanto, subir el carbono del suelo es una reserva clave que puede contrarrestar las emisiones de GEI (Burbano Orjuela, 2018). Además, el carbono contribuye a la fertilidad y así a la génesis de los ecosistemas naturales y agrícolas que, en encadenamiento, suplen las necesidades alimenticias de la población mundial, abastecen los recursos naturales y mantienen la biodiversidad. Por ello, el mundo natural y social se torna resiliente cuando dispone de suelos productivos (Burbano Orjuela, 2018).

Estimación de contenido de carbono en biomasa aérea

La biomasa, la productividad primaria y la captura de carbono son variables ecológicas elementales, no sólo porque son medidas de la entrada de energía y asimilación de dióxido de carbono (CO_2) en los ecosistemas, sino porque son igualmente un importante indicador del estado de los ecosistemas y del estatus de un amplio rango de procesos ecológicos. Por esta razón se han utilizado los estudios de productividad primaria y captura de carbono como indicadores de estrés ambiental y para examinar los efectos de la utilización y/o extracción de biomasa por arriba de los límites máximos de productividad del ecosistema (Borrero Benavides, 2017).

Método para estimar la biomasa

Método directo o destructivo

Este método requiere el muestreo de árboles preferiblemente de área basal media, debido a que es una variable de fácil estimación (Kobayashi et al., 2012), para ello primero se debe de cortar el árbol, posteriormente se separan cada una de las partes (fuste, ramas vivas, ramas muertas, hojas acículas, raíz) y cada uno de estos componentes son pesados en el propio campo.

Método no destructivo

Con respecto a este método según (Kobayashi et al., 2012), los árboles no deberán ser cortados, pero sin embrago se requiere de la medición de ciertas variables como:

- El diámetro a la altura del pecho (DAP).
- Altura total de toda la vegetación leñosa.