

**VALORACIÓN DEL CARBONO CONTENIDO EN LA BIOMASA AÉREA DE LA
RESERVA DANUBIO FRAILEJONAL, LA CALERA, CUNDINAMARCA**

JUAN FELIPE ORDOÑEZ GONZALEZ

**UNIVERSIDAD ECCI
Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2020 - II**

**VALORACIÓN DEL CARBONO CONTENIDO EN LA BIOMASA AÉREA DE LA
RESERVA DANUBIO FRAILEJONAL, LA CALERA, CUNDINAMARCA**

**Trabajo de grado para optar al título
INGENIERO AMBIENTAL**

JUAN FELIPE ORDOÑEZ GONZALEZ

**JAIME ALBERTO NAVARRO LÓPEZ
Asesor**

**JULIO CÉSAR VARGAS CORTÉS
CO - Asesor**

**UNIVERSIDAD ECCI
Facultad de Ingeniería
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2020 - II**

RESUMEN

Los bosques altoandinos afectados por el desarrollo socioeconómico en la región andina, reconocidos por su alto valor por endemismos, diversidad, por su función como regulador hídrico y sumidero de carbono, son de los bosques más escasos y poco estudiados del mundo. El presente trabajo buscó valorar y contribuir al conocimiento del carbono contenido en la biomasa aérea de este tipo de bosques, para ello se establecieron 3 parcelas permanentes de 10x40 metros donde se marcaron y colectaron individuos con un $DAP \geq 4$ cm, midiendo en cada uno el DAP y la altura. Con esta información se determinó la riqueza de especies, el índice de Shannon-Weinner (H'), el índice de valor de importancia (IVI) y un análisis de agrupamiento jerárquico junto con la prueba de Kruskal Wallis para la diferenciación de las parcelas, además se usaron ecuaciones alométricas para estimar la biomasa. Se halló una riqueza de 21 especies, 14 familias, un índice de Shannon-Weinner $H'=2,28$, dominio de alturas de 5-10 m, *Clusia*, *Weinmannia*, *Miconia*, *Brunellia* y *Hedyosmum* como los géneros más importantes y el carbono valorado en $53 \pm 8,4$ tC/ha equivalente a $194 \pm 30,78$ tCO_{2eq}/ha sin emitir a la atmósfera. El presente estudio demuestra y concluye que la posición de la montaña, la cantidad y tamaño de las parcelas y las ecuaciones alométricas son variables que también afectan la estimación y distribución del carbono en un fragmento de bosque, también resalta la importancia de cuidar estos bosques y en especial los rematantes mediante la valorización como sumidero.

Palabras Clave: Calentamiento global, bosque altoandino, relicto de bosque, servicios ecosistémicos.

Key Words: Son los equivalentes en inglés de las palabras clave

1. INTRODUCCIÓN

Colombia es uno de los países tropicales y megadiversos del mundo producto de múltiples procesos orogénicos que contribuyeron a conformar un complejo escenario con alta heterogeneidad ambiental, se caracteriza por ser uno de los países orientales de Sudamérica por el cual pasa la gran cordillera de los Andes, y además por ser uno de los que más se acerca a la línea ecuatorial, esto permite la presencia de una gran variedad de pisos térmicos donde la mayor biodiversidad se concentra y desarrolla en los diferentes biomas y ecosistemas montañosos (Rodríguez & Guerrero, 2015; Restrepo, 2016).

Son estos ecosistemas, conocidos en conjunto como zona cordillerana, uno de los más afectados por deforestación y alteración de su estructura dado que en la región andina se concentra la mayor parte de la actividad económica del país, en especial del sector agrícola y ganadero, dichas afectaciones también son apoyadas por la inadecuada planeación territorial (Armenteras *et al.*, 2011; Restrepo, 2016; Acevedo *et al.*, 2020).

En 2011, (Armenteras *et al.*, 2011) mencionaba que los Andes ya presentaba una pérdida del 60 % de su cobertura natural, y que sólo el 4,5% de su extensión era original precolombino que actualmente está protegido (Armenteras *et al.*, 2003).

Los bosques altoandinos son los más afectados gracias a fuertes condicionantes para su regeneración como es la temperatura, (Rodríguez & Guerrero, 2015).

Por lo anterior, es muy raro hallar áreas de bosque altoandino intactas o remanentes donde los cambios de la composición florística y de la fauna ocasionados por intervención humana son muy tenues o inexistentes.

La vegetación andina representa en el país alrededor del 29% de la flora total, lo que corresponde aproximadamente a 200 familias de plantas, 1800 géneros y 10.000 especies. Los bosques Alto Andinos, también conocidos como bosques nublados o de

niebla que poseen un alto valor puesto que presentan endemismos y una estrecha relación con el agua al ser un proveedor natural único del recurso agua, además son el hogar 32 especies únicas de plantas con flores en la que sobresale el encenillo, las bromelias y las orquídeas (Victorino, 2012, citado en Sanabria & Puentes, 2017). Su importancia también radica en ser el mayor influyente en la fijación de carbono, esto en comparación con otras coberturas vegetales terrestres; al tratarse de un bosque tropical, los cuales en conjunto se estima que contienen el 55 % del carbono entre los bosques del mundo, y además existe una característica que los diferencia bastante de los otros, y es que la mayor parte de carbono contenido en estos (56%) se halla en la vegetación viva (Pallqui, 2013), no obstante, se estima que su capacidad tanto en fijación como en almacenamiento puede reducirse de un 20% a 40% como consecuencia de la conversión de los bosques y los pastizales nativos en tierras de cultivo y pastoreo (Herbas et al., 2018).

Lo anterior expresa un panorama de degradación progresiva de los ecosistemas cordilleranos colombianos, y así mismo de los servicios ecosistémicos prestados por estos ecosistemas boscosos. Por ello, la (FAO, 2021) insiste en la importancia de conservar los servicios ecosistémicos mediante la protección y recuperación de los bosques, incluyendo a los servicios ecosistémicos prestados por esto como lo son el secuestro de carbono la regulación climática local y de ciclos vitales como el ciclo de nutrientes y ciclo del agua y otros beneficios tales como el control de erosión, belleza escénica, alimento, fármacos, entre otros (Fonseca, 2017). Además, gran parte de todos estos servicios intervienen en la regulación climática global, la cual se ha visto afectada por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera generadas por la actividad humana, y se magnifica a medida que aumenta la reducción y desplazamiento de la cobertura boscosa producto del crecimiento poblacional y económico de las sociedades humanas (Ponce & Rodríguez, 2016; WWF, 2018). Este fenómeno ha generado preocupación a nivel mundial dada la dependencia que tenemos de los servicios ecosistémicos, el IPCC, 2019, informó que los cambios negativos actuales sobre estos servicios se darán a mediano y largo plazo durarán de siglos a milenios, por lo que la manera de detener este fenómeno que amenaza a todo

ser viviente en el planeta es generando emisiones netas de CO_{2eq} iguales a cero con respecto a la actividad humana.

Es por ello que hoy en día, son bien vistas las iniciativas dirigidas a un avance a la “independización de la sociedad de la naturaleza”, lo cual refiere a lograr las emisiones netas de CO_{2eq} iguales a cero mediante diferentes acciones que involucran un trabajo conjunto con la misma naturaleza, y por eso las naciones y sus instituciones u organizaciones necesitan contar con indicadores fiables, comprensibles y metodológicamente correctos (Guerra, 2007) que midan cual y cuanto están impactando con las acciones planteadas para la lucha contra el cambio climático, uno de estos indicadores es la huella de carbono.

Aunque Colombia, para el año 2019 no se encontraba ni entre los 20 primeros países con las mayores emisiones de CO_{2eq} (Friedlingstein et al., 2020), no consideró evadir las recomendaciones y alertas dadas por el IPCC y por la comunidad académica y científica en general, por lo que en marco de la COP 21 donde se había comprometido a reducir un 22 % de sus emisiones para el 2030, pasó a comprometerse a reducirlas en un 51 % para el mismo año meta. Esta decisión fue impulsada especialmente por ciertos pronunciamientos de los expertos donde expresan que el impacto sobre sociedades y países dependerán, además de variables geográficas, de los niveles de desarrollo y vulnerabilidad, así como de las capacidad y aplicación de medidas adaptativas y de mitigación (IPCC, 2019; MADS, 2020). Por ende, los países subdesarrollados como Colombia, son y serán los más afectados a medida que continúe cambiando la variabilidad climática.

Por lo anterior, Colombia, país ya suscrito al Convenio Marco de las Naciones Unidas Contra el Cambio Climático-CMNUCC en el cual, una de las estrategias es la Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por la Deforestación y Degradación de bosques, y la conservación e incremento de las reservas de carbono y el manejo sostenible de los bosques-REDD+ (PNUD, 2015, citado en Castillo & Martínez, 2019), se resalta que ya existe un trabajo interinstitucional del cual se han generado variados mecanismos, tales como el programa Colombia Carbono Neutral donde se han planteado diversas estrategias, buscando llegar tanto al sector público

como el privado e incentivando su transición a instituciones y organizaciones de cero emisiones o Carbono Neutro, también especifica que se debe comenzar con la evaluación y estimación de la huella de carbono de cada institución u organización, cuyas variables se relacionan tanto con las acciones que generan emisiones de GEI como aquellas que los captan (MADS, 2021). Por lo que se requieren bases y/o estimaciones de tanto secuestro de carbono como de emisiones producto de sus actividades.

Entre las acciones que secuestran GEI tomadas actualmente, están la apropiación de predios con fines de conservación y/o investigación, cuyos ecosistemas presentes han o no tenido un tenue contacto con la actividad humana; esta acción se ha dado por parte de Universidades públicas y privadas, además de algunas empresas, aunque estas no apuntan a toda clase o tipo de bosques (Prensa Instituto Humboldt, 2021).

La Universidad ECCI, por su parte, es una de las instituciones de educación superior que, dentro de uno de sus predios a disposición con los fines mencionados, La Reserva Danubio-Frailejonal, se ha logrado hallar pequeñas áreas de bosque altoandino nativo y remanente, que como se ha visto hasta el momento son bosques no muy comunes, por ende, no son tan conocidos y son poco estudiados.

De esta forma se presenta el desarrollo de la estimación base del secuestro de carbono de la cobertura boscosa altoandina presente en la Reserva Danubio-Frailejonal con el fin de generar un indicador útil en la estimación de la huella de carbono de la Universidad ECCI. Además de un análisis del secuestro de carbono realizado por este tipo de ecosistema de bosque y las especies arbóreas halladas dentro de su cobertura.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Reserva El Danubio-Frailejonal está ubicada a 10 Km de la ciudad de Bogotá vía Bogotá-La Calera, en las coordenadas 4°39'18" latitud norte y 73°57'54" longitud oeste, convergiendo entre las veredas Frailejonal y El Salitre del municipio de La Calera, Cundinamarca (figura 1). Presenta una temperatura promedio de 12,8 °C y una precipitación media de 918 mm. Se encuentra a una elevación media aproximada de

3050 m y cuenta con un área de 15 ha, de las cuales alrededor de 10 ha corresponden a bosque natural (Iregui & Robledo, 2019). La zona de vida a la que pertenecen estos bosques corresponde al Bosque Húmedo Montano (bh-M).

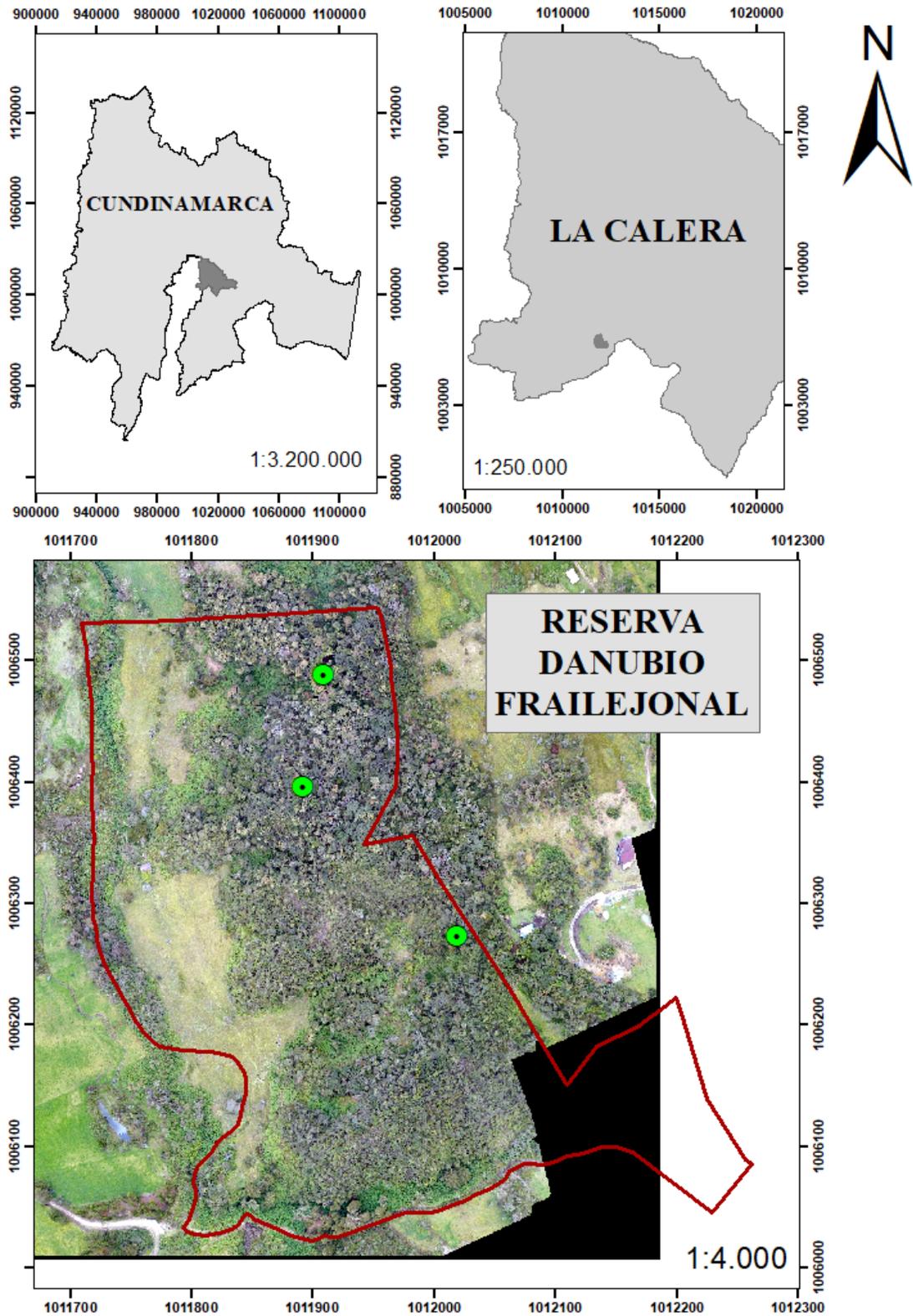


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Toma de datos

Se realizó el montaje de tres parcelas en áreas sin evidencia de actividades humanas, de fácil o mediano acceso, lejano al área dominada por Chusque e identificando en campo el estado sucesional del bosque.

El montaje se realizó mediante el uso de tubos PVC blancos y cuerda plástica para su demarcación. Dentro de cada parcela se marcaron todos los árboles con DAP \geq 5 cm con pintura asfáltica amarilla y placas de aluminio fijadas con clavos galvanizados, luego con cintas métricas, distanciómetros y un clinómetro se realizó la toma de los datos requeridos (Tabla 1).

Descriptor	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3
Coordenadas	4 °39'10.52"N, 73°58'9.07"O	4°39'17.52"N, 73°58'12.66"O	4°39'14.53"N, 73°58'13.20"O
Altitud	3076 msnm	3040 msnm	3065 msnm
Ubicación	Veredas Danubio y Frailejona, municipio La Calera, Cundinamarca		
Autor (Año)	Ordoñez et al. (2022)		
Estado (Forma)	Permanente (10x40 m)		
Fisiografía	Serranía de pendientes fuertes (Cima de la montaña)	Serranía de pendientes suaves	
Precipitación	media anual de 918 mm		
Temperatura	media anual de 12,8 °C		
Aprovechamiento	Ninguno		
Determinaciones	Universidad ECCI		
Colecciones	Herbario UDBC de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas		
Mediciones	DAP y altura		

Observaciones	Presencia de bosque maduro	Presencia de bosque en desarrollo
---------------	----------------------------	-----------------------------------

Tabla 1. Parcelas permanentes montadas en la reserva Danubio Frailejónal

Para cada parcela se calculó:

- **Riqueza:** Se refiere al número total de especies presentes en un determinado lugar o área en un momento dado. Es una medida importante de la diversidad biológica de un ecosistema y puede utilizarse como indicador de su estado de conservación. Un ecosistema es considerado rico en diversidad a medida que aumenta el número de especies (Magurran, 2004).
- **Índice de Shannon-Wiener (H')**: medida utilizada para estimar la diversidad de especies en una comunidad. Se calcula a partir de la frecuencia y abundancia de las especies presentes en un ecosistema. Cuanto mayor sea el valor de H', mayor será la diversidad de especies en la comunidad (Shannon, 1948; Wiener, 1949).
- **Índice de valor de importancia (IVI):** medida que integra la frecuencia, abundancia y dominancia de las especies presentes en una comunidad, proporcionando una indicación cuantitativa de su contribución a la estructura y composición del ecosistema (Magurran, 2004). Se indicaron aquellos taxones con un IVI absoluto cercano y/o superior al 100% en cada parcela.

La comparación de las parcelas se efectuó mediante un análisis de agrupamiento jerárquico con el método UPGMA (unweighted pair group method with arithmetic mean), el cual tiene un enfoque específico dentro del análisis de agrupamiento jerárquico que se basa en el cálculo de distancias promedio ponderadas para agrupar los elementos (Sokal & Michener, 1958), cuya representación resultó en la matriz de similitud usando los valores obtenidos con el índice de Morisita, siendo este una medida de similitud que se utiliza en ecología y biología para comparar la similitud en la abundancia o presencia de especies en diferentes muestras.

Para calcular los índices de diversidad y el dendrograma se utilizó el software Past 4.01 (Hammer et al., 2001).

Para el cálculo de la biomasa de cada árbol se empleó la **Ecuación 1** adaptada para la zona de vida Bosque Húmedo Montano (bmh-M) (Álvarez et al., 2011; Yepes et al., 2011). Para los helechos arborescentes sólo se tomó su altura y la biomasa se calculó mediante la **Ecuación 2**, propuesta por (Guerrero, 2018).

Ecuación 1.
$$\ln(BA_1) = a + b \cdot \ln(D) + c \cdot (\ln(D))^2 + d \cdot (\ln(D))^3 + B1 \cdot \ln(\rho)$$

Donde:

BA₁ = Biomasa (kg)

D = DAP (cm)

ρ = Densidad de la madera (g/m³); **Anexo 1**.

a, b, c, d y B1 = constantes del modelo alométrico que varían de acuerdo con la zona de vida

Ecuación 2.
$$B_{AU} = 3,82 \cdot h - 3,62$$

Donde:

B_{AU} = Biomasa (kg)

h = altura total del individuo del género Cyathea.

Luego, se realizó el cálculo de biomasa aérea para cada parcela y por hectárea, mediante la **Ecuación 3**, propuesta por (Álvarez et al., 2011).

Ecuación 3.
$$BA_2 = BA_1 \cdot 0,001 \cdot FC$$

Donde:

BA₂ = Biomasa (Ton/ha⁻¹)

BA₁ = Biomasa (kg/parcela)

0,001 = factor de conversión de kilogramos a toneladas.

FC = factor de conversión que dependerá del tamaño de parcela utilizado

El carbono almacenado en la biomasa aérea y CO_{2eq} secuestrado se realizaron mediante la aplicación de factores de corrección, 0,5 y $44/12 \approx 3,67$ respectivamente, para su reporte bajo los estándares recomendados por el IDEAM en el Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia (Yepes et al., 2011).

Ecuación

4.

$$C_{BA} = BA_2 \cdot 0,5$$

Ecuación

5.

$$CO_{2eq} = C \cdot 3,67$$

Los cálculos básicos y procesamiento de la información se realizaron en Excel. Para comparar el carbono de las parcelas se empleó la prueba de Kruskal Wallis. Las pruebas estadísticas se desarrollaron en el programa estadístico PAST 4.01.

3. RESULTADOS

Diversidad y Composición florística

En las tres parcelas establecidas en la reserva Danubio-Frailejón se obtuvo una riqueza de 21 especies y 14 familias para 215 individuos evaluados. Esta se distribuyó en 11, 12 y 9 especies en las parcelas 1, 2 y 3, respectivamente. Se destacan por su abundancia relativa las especies *Weinmannia fagaroides*, *Clusia alata*, *Hedyosmum racemosum* y *Miconia floribunda* (figura 2), y las familias Cunoniaceae (67 individuos), Clusiaceae (45 individuos), Chloranthaceae (24 individuos) y Melastomataceae (23 individuos).

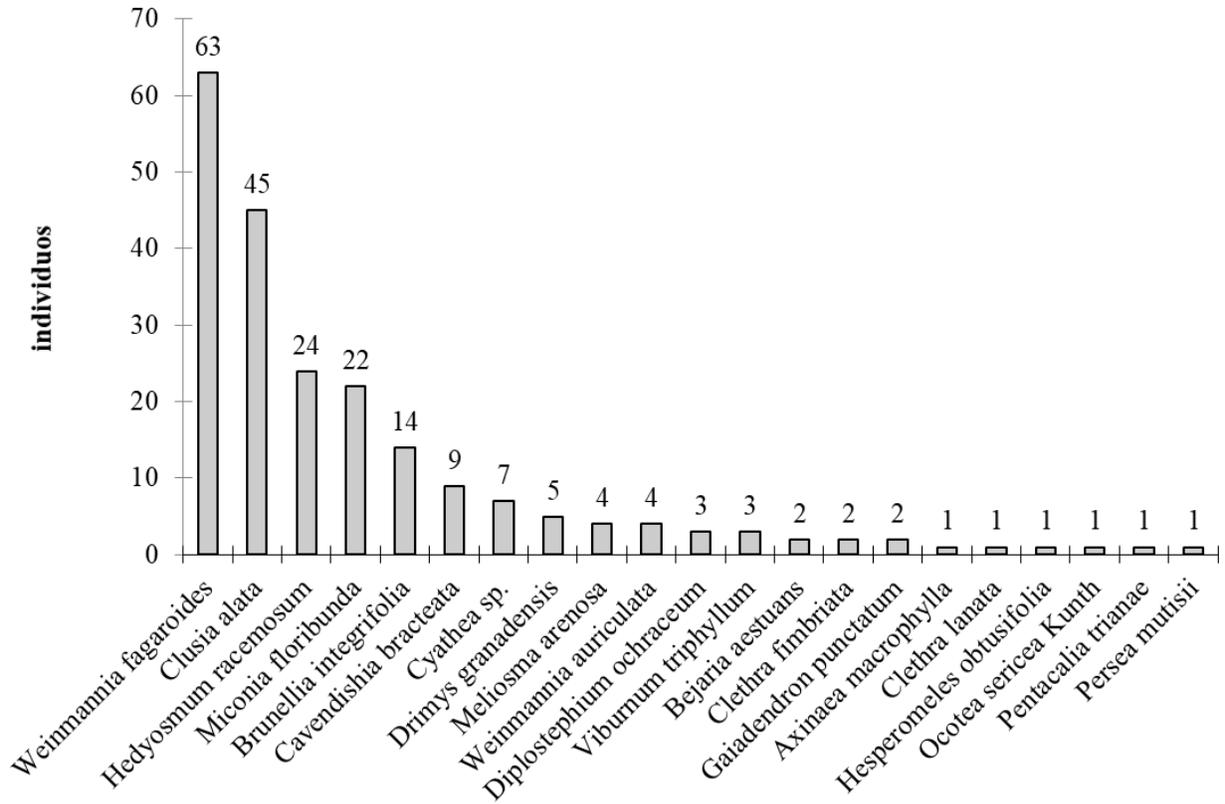


Figura 2. Composición florística de la reserva Danubio-Frailejónal.

La diversidad evaluada con el índice de Shannon mostró que las parcelas uno $H' = 1,52$ y tres $H' = 1,78$ son significativamente menos diversas que la parcela dos $H' = 2,28$ (Figura 3).

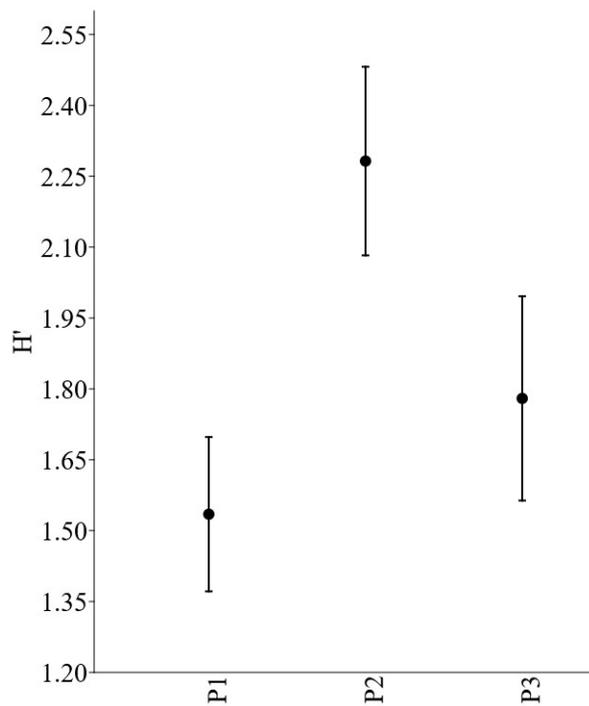
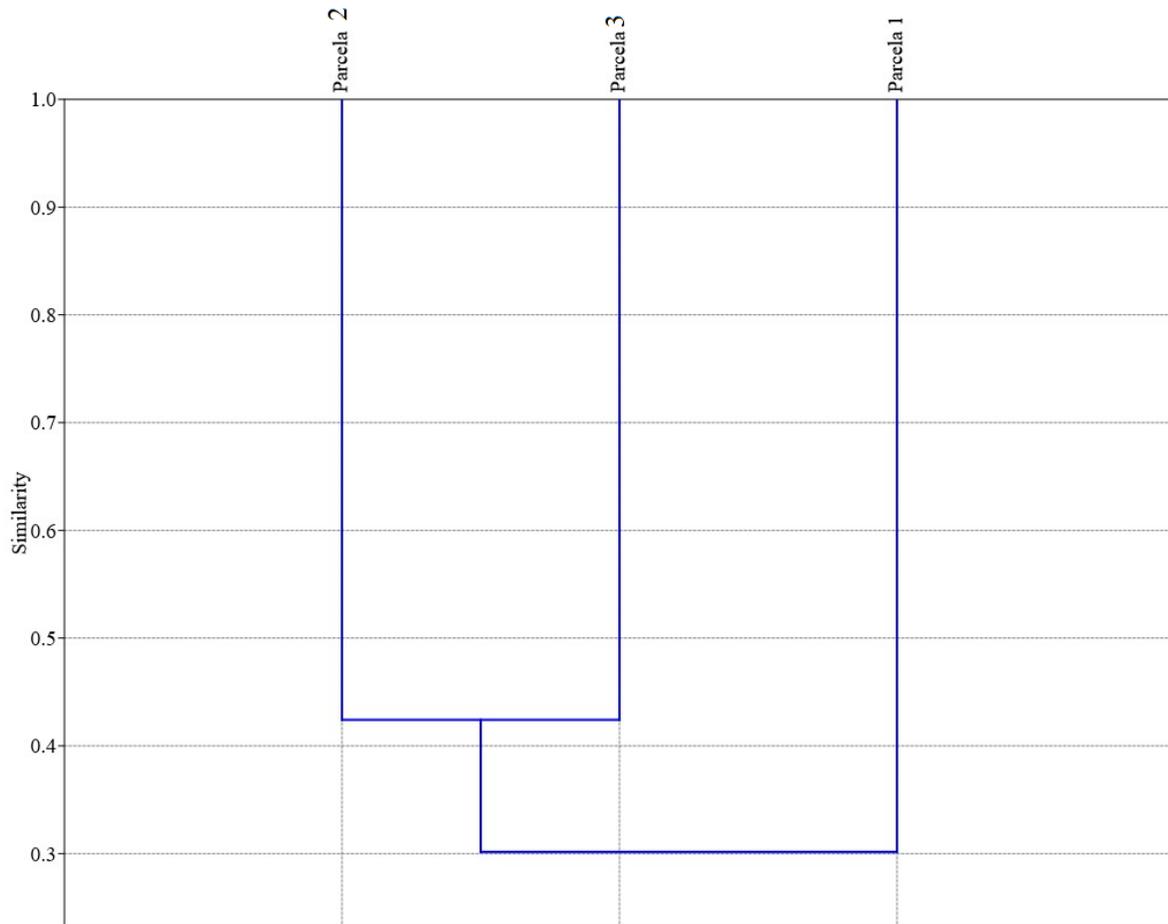


Figura 3. Índice de Shannon (H') para las parcelas muestreadas en la reserva Danubio Frailejónal.

El análisis de similitud mostró que las parcelas 2 y 3 son las más parecidas (similitud 43%) en cuanto al contenido de especies halladas, mientras que la parcela 1 mostró ser muy diferente con respecto a estas (similitud 30%).



Estructura

En las parcelas se denota una dominancia de individuos con alturas iguales o mayores a 5 m y menores de 10 m, mientras que fueron escasos los individuos con alturas mayores o iguales a 20 m y menores de 25 m (**Figura 3**).

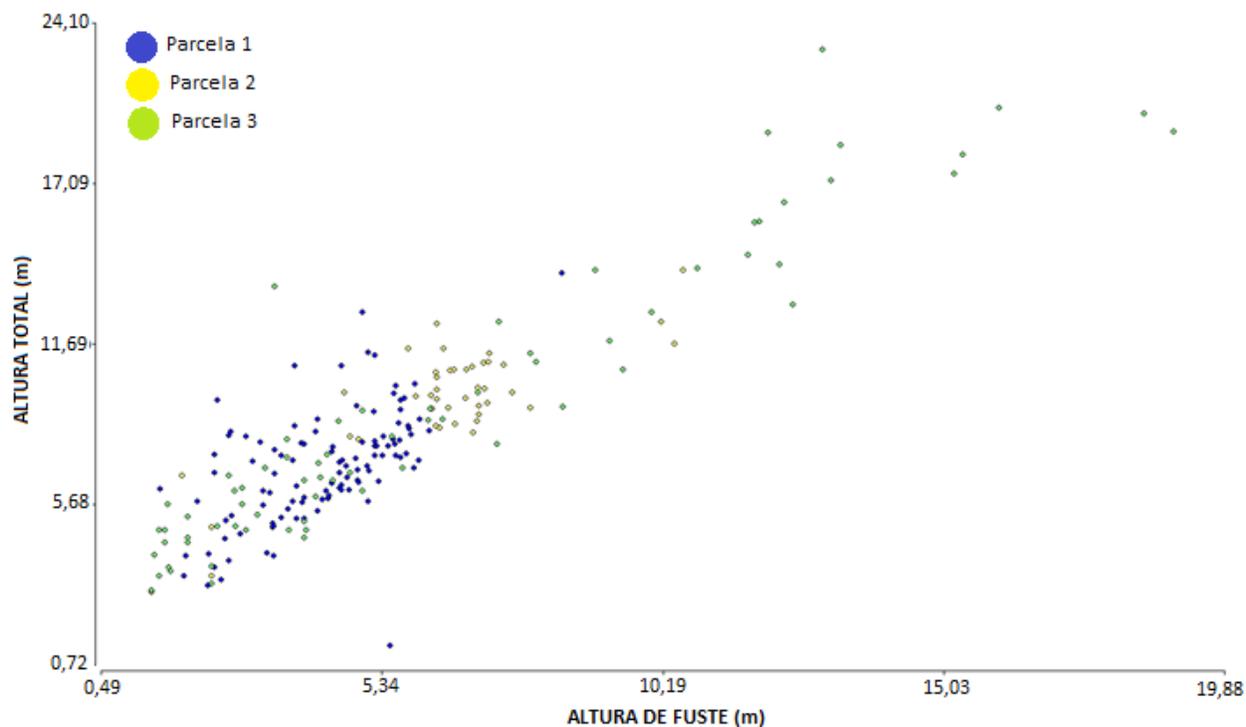


Figura 3. Alturas de los individuos muestreados en la reserva Danubio-Frailejonal

Se evidencia que los árboles de la parcela 1 se agruparon en alturas menores de 10 m, mientras que la parcela 3 tuvo los individuos con mayor altura en la zona de estudio con algunos individuos que superaron los 20 m.

Índice de Valor de Importancia (IVI)

Las especies con mayor IVI en la parcela uno fueron *Clusia Alata* (111,52) y *Weinmannia fagaroides* (89,1), en la parcela dos fueron *Miconia floribunda* (105,79), *Brunellia integrifolia* (33,14) y *Clusia alata* (32,13). Y en la parcela tres *Hedyosmum racemosum* (97,5) y *Weinmannia fagaroides* (66,48), siendo en todos los casos principalmente debido al alto aporte de la abundancia seguida de la frecuencia (Figura 7).

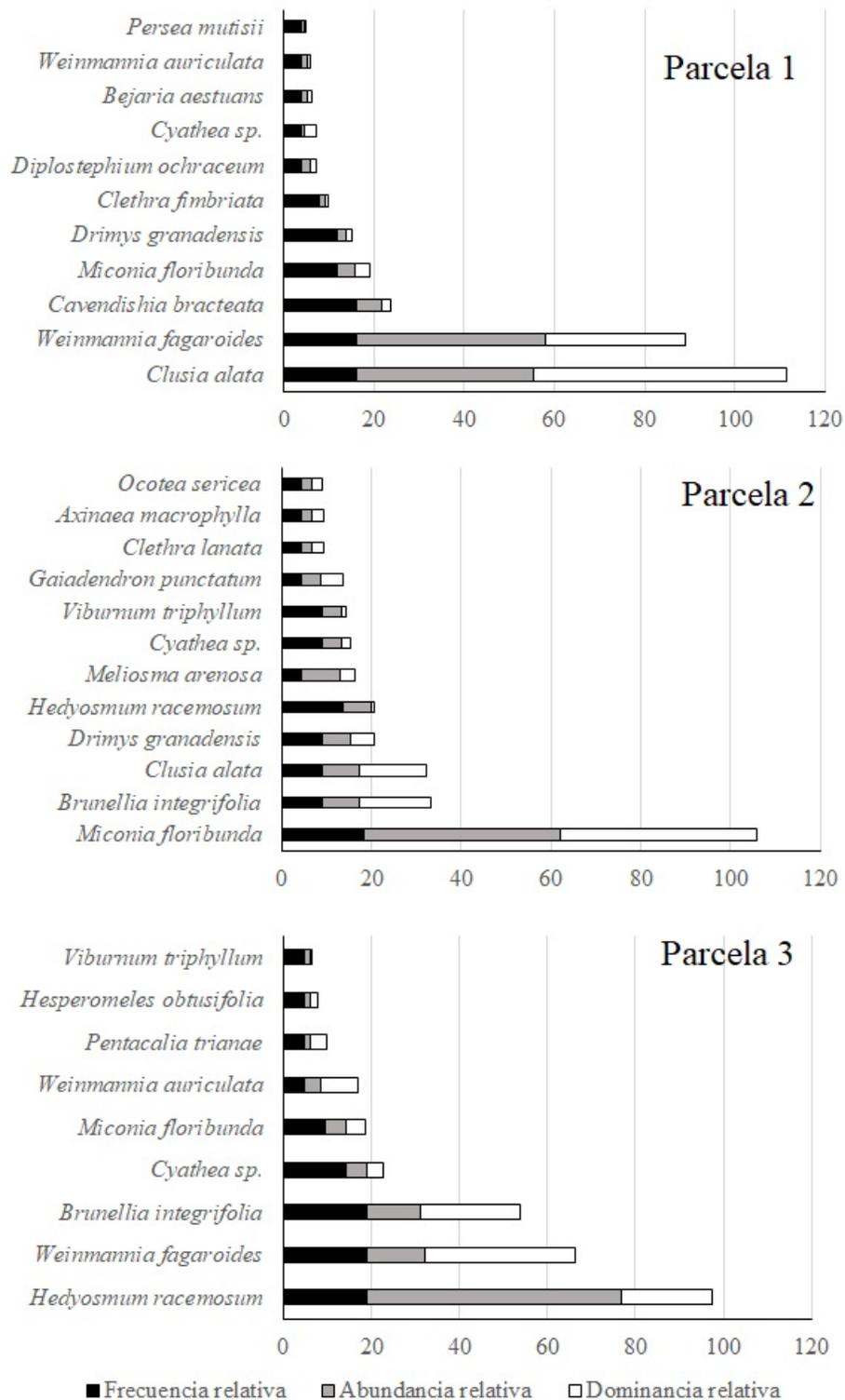


Figura 7. IVI de cada parcela permanente montada en la Reserva Danubio-Frailejónal.

Carbono

No hay diferencias significativas entre las parcelas de acuerdo con la prueba de Kruskal Wallis ($H = 1,385$; $P = 0,5004$). Sin embargo, la parcela con mayor contenido de carbono fue la parcela uno con 63 t C/ha, seguida de las parcelas tres y dos con 52 y 46 t C/ha (figura 8). En otros términos, se habla de 246, 192 y 169 T CO_{2eq}/ha que no se emiten a la atmósfera por el desarrollo y preservación actual de estos fragmentos de relicto de bosque altoandino.

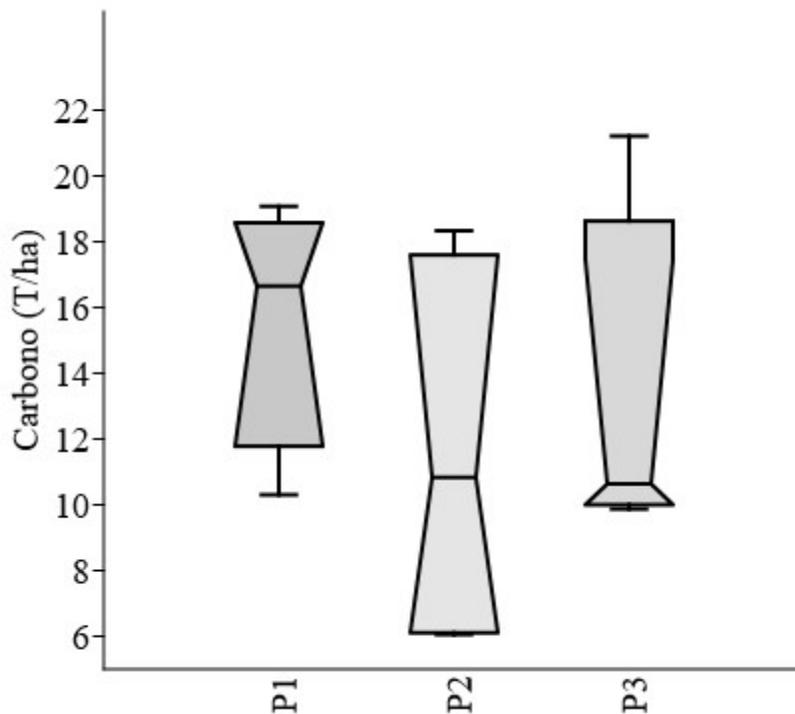


Figura 8. Carbono aportado por individuos de las tres parcelas permanentes montadas en la Reserva Danubio-Frailejónal.

Por otra parte, las especies que mayor aporte realizaron fueron *Clusia alata*, *Weinmannia fagaroides* y *Miconia floribunda* por lo que a pesar de haber especies que presentaron mayores contenidos de carbono, estas fueron superadas principalmente por la abundancia y la densidad de la madera de las especies mencionadas (**Tabla 2**).

Familia	Especie	Prom. t C/ha	Ind.	Total t C/ha	Total tCO _{2eq} /ha
Clusiaceae	<i>Clusia alata</i>	0,58	45	51,12	187,45
Cunoniaceae	<i>Weinmannia fagaroides</i>	0,23	63	39,26	143,94
Melastomataceae	<i>Miconia floribunda</i>	0,85	22	27,74	101,71
Brunelliaceae	<i>Brunellia integrifolia</i>	0,51	14	9,72	35,63
Chloranthaceae	<i>Hedyosmum racemosum</i>	0,30	24	9,62	35,29
Cunoniaceae	<i>Weinmannia auriculata</i>	1,04	4	7,21	26,42
Asteraceae	<i>Pentacalia trianae</i>	3,76	1	3,76	13,78
Winteraceae	<i>Drimys granadensis</i>	0,15	5	2,13	7,82
Loranthaceae	<i>Gaiadendron punctatum</i>	0,78	2	1,56	5,71
Ericaceae	<i>Cavendishia bracteata</i>	0,15	9	1,43	5,25
Rosaceae	<i>Hesperomeles obtusifolia</i>	1,27	1	1,27	4,67
Melastomataceae	<i>Axinaea macrophylla</i>	1,19	1	1,19	4,37
Clethraceae	<i>Clethra lanata</i>	0,91	1	0,91	3,34
Lauraceae	<i>Ocotea sericea Kunth</i>	0,82	1	0,82	2,99
Adoxaceae	<i>Viburnum triphyllum</i>	0,13	3	0,67	2,45
Asteraceae	<i>Diplostephium ochraceum</i>	0,22	3	0,66	2,43
-	<i>Cyathea sp.</i>	0,08	7	0,65	2,37
Ericaceae	<i>Bejaria aestuans</i>	0,27	2	0,55	2,01
Sabiaceae	<i>Meliosma arenosa</i>	0,10	4	0,50	1,85
Clethraceae	<i>Clethra fimbriata</i>	0,09	2	0,18	0,65
Lauraceae	<i>Persea mutisii</i>	0,13	1	0,13	0,49
Total			215	161,1	590,6

Tabla 2. Análisis del aporte de C y CO_{2eq} para cada una de las especies halladas.

Finalmente, la vegetación leñosa viva del área de estudio, la reserva Danubio-Frailejón, en general, representa un sumidero con capacidad de contener un promedio de $53 \pm 8,4$ t C/ha, esto quiere decir que su existencia permite evitar que $194 \pm 30,78$ t CO_{2eq}/ha sean emitidas en la atmósfera.

4. DISCUSIÓN

Diversidad y estructura de bosques altoandinos

A continuación, se refleja un análisis derivado del contenido de la Tabla 3 sobre riqueza, diversidad y estructura de bosques altoandinos registrados por diferentes autores.

Autor (es)	Alt. Inf.	Alt. Sup.	Ecosistema	Ind.	Riqueza (F)	Riqueza (S.p.)	H'	R(h)	Especies más importantes (IVI)	Lugar
(Castillo & Martínez, 2019)	2800	3000	bmh-MB	1237	16	20	0,94	10,0 - 14,09	<i>Weinmannia tomentosa</i> (60,29%), <i>Bejaria resinosa</i> (6,80%) y <i>Drimys granadensis</i> (6,56%)	RB El Encenillo, Guasca, Cundinamarca
(Sanabria & Puentes, 2017)	3042	3075	bh-M	213	-	25	1,96	5 - 11,999	<i>Weinmannia tomentosa</i> (123%), <i>Bejaria resinosa</i> (21%) y <i>Cavendishia bracteata</i> (18%)	Guasca, Cundinamarca
(Sanabria & Puentes, 2017)	2940	2970	bh-M	215	-	22	2,14	5 - 11,999	<i>Weinmannia tomentosa</i> (74%), <i>Clusia multiflora</i> (32%) y <i>Drimys granadensis</i> (31%)	Cerros de Torca, Cundinamarca
Presente trabajo	3040	3080	bmh-MB	215	14	21	1,86	5 - 10	<i>Weinmannia fagaroides</i> (49,2%), <i>Clusia alata</i> (29,7%) y <i>Miconia floribunda</i> (23,1%)	Reserva Danubio Frailejón, La Calera Cundinamarca
(Gil et al., 2020)	2682	3268	bmh-MB	10777	-	396	3,3	0 - 18	<i>Clusia elíptica</i> (107,1%), <i>Viburnum triphyllum</i> (88,7%) y <i>Weinmannia rollottii</i> (86,6%)	Macizo de Bijagual, Boyacá, Colombia
(Sánchez & Ramírez, 2017)	2915	2915	bh-MB	102	13	19	3,62	8,24 - 13,2	<i>Clusia elíptica</i> (57,7%), <i>Brunellia trigyna</i> (56,9%) y <i>Weinmannia Balbisiana</i> (49,1%)	Tibaná, Boyacá
(Sánchez & Ramírez, 2017)	2865	2865	bh-MB	83	12	16	3,62	8,24 - 13,2	<i>Weinmannia rollotti</i> (42,51%), <i>Brunellia trigyna</i> (35,5%) y <i>Clusia elliptica</i> (3,59%)	Guayatá, Boyacá
(Cruzado, 2010)	3100	3335	-	1718	-	-	-	-	<i>Polylepis multijuga</i> (37,04%), <i>Cyatheasp.</i> (34,75%) y <i>Escallonia sp.</i> (20,23%)	La provincia de Mariscal Cáceres, San Martín, Perú

Tabla 3. Registros de evaluación de la diversidad y estructura para zonas de vida similares por diferentes autores.

En comparación con otros estudios en zonas de vida similares (Tabla 3) se denota que la riqueza de tanto especies como familias concuerdan a la hallada en la Reserva Danubio-Frailejón de La Calera, Cundinamarca, además la similitud tiende a ser casi igual a medida que se acorta la distancia que hay entre las zonas de estudio comparadas, especialmente se denota este comportamiento de los datos para los estudios realizados en Guasca y Cerros de Torca, siendo las áreas más cercanas consultadas.

Sin embargo, ocurre lo contrario con la diversidad dado que muestra una tendencia para la presente zona de estudio y otras zonas cercanas como Guasca y Cerros de Torca con puntajes de índice de Shannon menores de 3, es decir, se consideran como bosques diversos, mientras que para fragmentos de bosque estudiados en Boyacá, se denota puntajes de índice de Shannon iguales o mayores a 3, por lo que se determina que son muy diversos. Aunque esto no es suficiente para desvalorizar por completo los bosques ubicados en estos sitios del departamento de Cundinamarca, a pesar que se superados por los bosques boyacenses en el bosque analizado en el presente estudio se hallaron a todos los ejemplares como nativos entre los cuales se identificaron dos especies endémicas *Clusia alata* y *Diplostegium ochraceum*.

Por otra parte, se denota la representación que tiene los géneros *Weinmannia* y *Clusia* en bosques altoandinos cuyo IVI los ubica entre lo más importantes y suele ser principalmente por su abundancia, tal como fue el caso de los estudios de (Sánchez & Ramírez, 2017; Castillo & Martínez, 2019). Igualmente se aprecia que algunos géneros que si bien no fueron los tres más importantes en el presente estudio, estos tuvieron lugar en otros bosques altoandinos como los más importantes, tal como fue el caso de *Bejaria*, *Cavendishia*, *Drymis* y *Miconia* para bosques altoandinos de Guasca y Torca, y los géneros *Brunellia* y *Viburnum* en bosques altoandinos boyacenses. Además, se puede identificar la diferencia con bosques fuera del país como es el caso de (Cruzado, 2010) cuyos géneros más importantes no son similares a los registros realizados en

Colombia, lo que marca una diferencia notable en estructura y composición florística entre regiones.

Por último, la estructura vertical también denota similitud en general con todas las zonas de estudio consultadas, puesto que la dominancia de alturas para bosques altoandinos se concentra en individuos cuya altura es mayor o igual a 5 m y menores de 20 m.

Distribución de la biomasa sobre un fragmento de bosque altoandino

A continuación, se refleja un análisis derivado del contenido de la Tabla 4 sobre estimaciones de carbono para bosques altoandinos registrados por diferentes autores.

Autor(es)	Alt. Inf. (msnm)	Alt. Sup. (msnm)	Nº Parcelas	Tipo Parcela	Tamaño (ha) x P	DAP	C (t/ha)	S (t C/ha)	Ecuación	Ecosistema	Lugar
(Gálmez & Kómetter, 2009)	700	3200	-	-	-	-	43,34	-	Brown (1997)	Zonas Altas	San Nicolás, Antioquia
Presente estudio	3040	3080	3	Permanente	0,04	> 2,5 cm	53,69	8,4	Álvarez et al. (2011)	bh-MB	Reserva Danubio Frailejona, La Calera Cundinamarca
(Phillips et al., 2011)	2800	3700	3470	-	0,5 - 1,5	≥ 10 cm	62,70	-	Álvarez et al. (en prep.)	bmh-M	Colombia
(Phillips et al., 2011)	2800	3700	3470	-	0,5 - 1,5	≥ 10 cm	72,70	-	Álvarez et al. (en prep.)	bh-M	Colombia
(Cruzado, 2010)	3100	3335	4	-	0,5	≥ 10 cm	69,77	12,8	Chave et al. (2005)	-	La provincia de Mariscal Cáceres, San Martín, Perú
(Rocha, 2021)	2800	3200	1	Permanente	1	≥ 10 cm	70,29	0,38	Pérez y Díaz (2010)	-	Guasca, Cundinamarca
(Sanabria & Puentes, 2017)	2940	2970	2	Permanente	0,04	Sin Límite	72,11	-	Álvarez (2008)	bh-M	Cerros de Torca, Cundinamarca

(Castillo & Martínez, 2019)	2800	3000	1	Permanente	1	> 10 cm	76,41	-	Pérez y Díaz (2010)	bmh-MB	RB El Encenillo, Guasca, Cundinamarca
(Sanabria & Puentes, 2017)	3042	3075	2	Permanente	0,04	Sin Límite	78,06	-	Álvarez (2008)	bh-M	Guasca, Cundinamarca
(Sánchez & Ramírez, 2017)	2865	2865	-	-	0,35	> 2,5 cm	82,84	0,94	Álvarez et al. (2012)	bh-MB	Guayatá, Boyacá
(Torres et al., 2012)	3194	3194	1	Permanente	0,05	-	97,30	-	Brown et al. (1989)	-	PNN Los Nevados
(Sánchez & Ramírez, 2017)	2915	2915	-	-	0,35	> 2,5 cm	125,98	1	Álvarez et al. (2012)	bh-MB	Tibaná, Boyacá
(Gálmez & Kómetter, 2009)	2700	4500	-	-	1	> 2,5 cm	131,94	-	Brown (1997)	Altoandino y Altimontano	Los Andes del Norte
(Torres et al., 2012)	3041	3041	1	Permanente	0,05	-	192,60	-	Beown et al. (1989)	-	PNN Chingaza

Tabla 4. Registros de carbono para zonas de vida similares por diferentes autores.

Se halló que para la presente zona de estudio el carbono total almacenado es de $53 \pm 8,4$ t C/ha lo que concuerda con el estudio Estimación de las reservas actuales (2010) de carbono almacenadas en la biomasa aérea en Bosques naturales de Colombia: estratificación, alometría y métodos analíticos (Phillips et al., 2011) que indicó que para los bosques naturales colombianos el almacenamiento varía entre 48,1 tC/ha y 147,5 tC/ha, por lo tanto se denota que la estimación se encuentra dentro del rango normal.

Lo anterior deriva de que el estudio mencionado fue realizado mediante análisis estadísticos empleando información suministrada por instituciones gubernamentales y no gubernamentales, e investigadores nacionales e internacionales con el objetivo generar un insumo inicial para la formulación de proyectos REDD, además de servir como calcular las emisiones de GEI derivadas del cambio en el uso de la tierra y de las prácticas silviculturales en el país (Phillips et al., 2011).

Por otro lado, el valor obtenido de carbono almacenado para la presente área de estudio se encuentra por debajo de todos los estudios consultados exceptuando Perspectivas y posibilidades de REDD+ en bosques Andinos (Gálmez & Kómetter, 2009), pero si se aproxima al valor indicado por (Phillips et al., 2011) para bosque muy húmedo montano (bmh-M). Sin embargo, no se puede generalizar los contenidos de carbono por región o área puesto que los es un dato específico de cada bosque. También puede deberse a la variedad existente de número de parcelas, tamaño de estas, las ecuaciones alométricas usadas u otras características como los grados de intervención de los bosques o la posición en la montaña puesto en que le presente trabaja tuvo lugar en el risco de la montaña con la parcela 1, la cual superó individualmente en contenido de carbono a las parcelas 2 y 3 que estaban ubicadas en uno de los flancos de la montaña, lo cual no se atribuyó a que tuviera más árboles desarrollados sino a la abundancia de individuos arbóreos que fueron 129, 37 y 49 respectivamente, y que en esta hubo más árboles con densidades altas de su madera.

Esto no se especifica en los otros estudios, sólo se indica que fueron realizados en pendientes superiores al 60% hasta de 75%. También puede incluirse la variabilidad del método, lo que refiera las ecuaciones alométricas utilizadas para estimar la biomasa, y varios de los estudios no calcularon una desviación estándar de las estimaciones lo que hace que su comparativa estadística sea pobre por falta de datos y el nivel de confianza del método usado no se pueda evaluar. Ahora bien, en comparativa de las desviaciones estándar disponibles se denota buenos resultados de los métodos aplicados en (Rocha, 2021) con $\pm 0,38$ tC/ha y Sánchez & Ramírez (2017) con $\pm 0,94$ tC/ha y ± 1 tC/ha, y no muy buenos resultados para el caso de Cruzado (2010) con $\pm 12,8$ tC/ha, mientras que en el presente estudio fue de $\pm 8,4$ tC/ha, teniendo en cuenta que cada uno de estos casos emplearon un método distinto y se establecieron extensiones de parcelas variables.

Por otra parte, existen muchas variables las cuales afectan la distribución de la biomasa sobre un fragmento de bosque andino, comenzando con la altitud, que aunque no es una característica tan notable en el presente estudio se pudo hallar diferencias entre la disponibilidad de carbono entre las parcelas dado que las parcelas 1 ubicada a los 3074

msnm y 3 ubicada a los 3065 msnm, cuya biomasa superó a la biomasa estimada en la parcela 2 ubicada a los 3037 msnm, y la parcela 1 ubicándose en la mayor altitud de la zona de estudio obtuvo la estimación más alta de biomasa aérea, por lo tanto, se identificó que existe una relación inversamente proporcional entre la elevación y la biomasa Moser (2008) citado en (Castillo & Martínez, 2019), tal como sucedió en otros bosques andinos analizados, así fue el caso de (Sanabria & Puentes, 2017) y (Sánchez & Ramírez, 2017).

Además de otros estudios como De Castilho (2006), McEwan (2006) y Xu (2015), citados por (Castillo & Martínez, 2019), y que para este último no fue el caso, atribuyendo este resultado a la disponibilidad de nutrientes la cual se limita fuertemente por la topografía y la humedad del suelo por la cercanía a cuerpos de agua. Aunque el presente trabajo tuvo una condición particular, y esta se dio por la parcela ubicada en el risco de la montaña, donde el horizonte orgánico presenta una profundidad mayor de 2 metros afectando el anclaje de los individuos arbóreos del sitio y es por ello que durante el trabajo en campo se hallaron algunos árboles caídos, pero aun así esta característica junto a la exposición a los fuertes vientos dada su ubicación permite desarrollar un escenario competitivo y de supervivencia que permite el desarrollo de individuos arbóreos hasta cierto punto, por ello se halló la mayor cantidad de individuos en esta parcela lo cual atribuyó en gran medida al carbono estimado de esta.

5. CONCLUSIONES

En el estudio realizado en el fragmento de bosque altoandino ubicado dentro de la reserva Danubio Frailejón del municipio de La Calera, Cundinamarca, se halló un total de 21 especies en tan sólo 0,12 ha, el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') permitió diferenciar las tres parcelas permanentes demostrando que la parcela 2 contuvo especies identificadas en la parcela 1 y en la parcela 3, y, aunque sí hubo algunas especies que no compartían entre sí, esta fue la parcela con la mayor diversidad en su comunidad. En general, el área de estudio obtuvo $H'=1,86$ para solamente 0,12 ha muestreadas en la Reserva.

Por otra parte, en el estrato arbóreo destacaron los individuos con alturas entre 5 y 10 m, así mismo se identificó que son escasos los individuos que sobrepasan los 20 m, lo cual, y junto con los índices de diversidad calculados, concuerda con bosques cercanos estudiados por otros autores.

Las especies más importantes que destacaron por su (IVI) en las parcelas muestreadas fueron *Clusia Alata*, *Weinmannia fagaroides*, *Miconia floribunda*, *Brunellia integrifolia* y *Hedyosmum racemosum* debido principalmente a su abundancia y dominancia, cuyos géneros también fueron los más importantes en otros fragmentos de bosque de zonas cercanas estudiadas por otros autores, por lo que estas especies pueden ser muy importantes en procesos de restauración de bosques altoandinos.

Por último, para este fragmento de bosque se determinó una capacidad de almacenar $53 \pm 8,4$ t C/ha lo que equivale evitar que $194 \pm 30,78$ t CO₂eq/ha sean emitidas en la atmósfera.

También reflejó que en cuanto a la distribución de la biomasa no existen diferencias significativas entre las parcelas evaluadas de acuerdo a la prueba de Kruskal Wallis ($H = 1,385$; $P = 0,5004$). Sin embargo, la parcela uno tuvo el mayor contenido de carbono 63 t C/ha, seguida de las parcelas tres y dos con 52 y 46 t C/ha, lo cual se atribuye a la posición en la montaña, la cual se encuentra arraigada a las diferencias de disponibilidad de nutrientes en el suelo. En el caso de la parcela uno se denota un suelo u horizonte orgánico profundo alimentado por hojarasca y por la caída constante de individuos a causa de las precarias condiciones de anclaje, lo cual indica alta riqueza de nutrientes en el suelo como el Nitrógeno y Fósforo facilitando crecimiento de especies vegetales. También se identificaron otros factores que pueden afectar el análisis y distribución de la biomasa de este fragmento de bosque con otros estudios, como la cantidad y tamaño de parcelas y las ecuaciones alométricas usadas.

6. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses.

7. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad ECCI que mediante la convocatoria de semilleros número 06-2020 aportó los recursos económicos necesarios para el desarrollo del estudio. A Nandy Estefany Lemus, José David Silva, Juan Sebastián González, Elizabeth Anacona y Milton Fabián Cacéres por su valiosa ayuda en la toma de datos en campo.

8. LITERATURA CITADA

https://www.wwf.org.co/que_hacemos/cambio_climatico_y_energia/

- Acevedo, O., Acosta, A. R., Aguilar, M., Aguirre, J., Andrade, G., Albornoz-Garzón, J. G., Alonso, J. C., Álvarez, C. M., Arce-Plata, M. I., Arias, A., Arias Flores, A. C., Atuesta, C., Ayerbe-Quiñones, F., Baptiste, B. L. G., Barbosa, H., Batista Morales, A. M., Hurtado-M., A. B., Betancur, J., Bohórquez, J., ... Zambrano, H. (2020). *Biodiversidad 2019. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/35569>
- 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*. (Editorial Scripto). IDEAM, Fundación Natura y Gordon and Betty Moore Foundation. <http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13548/Modelos+alometricos+Carbono.pdf/cc9e929f-50c2-4f6c-90d9-0a9affc20e3c>
- Armenteras, D., Gast, F., & Villareal, H. (2003). Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. *Biological Conservation*, 113(2), 245-256.

[https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00359-2](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00359-2)

Armenteras, D., Rodríguez, N., Retana, J., & Morales, M. (2011). Understanding deforestation in montane and lowland forests of the Colombian Andes. *Regional Environmental Change*, 11(3), 693-705.

<https://doi.org/10.1007/s10113-010-0200-y>

Cartuche, K. M. (2022). *Caracterización de la madera de 95 especies forestales del sur de Ecuador con base a sus propiedades físicas, organolépticas y anatómicas* [Universidad Nacional de Loja]. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.19122.68809>

Castillo, L. T., & Martínez, C. P. (2019). *Distribución espacial y dinámica de la biomasa del bosque alto andino en Guasca, Cundinamarca* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://hdl.handle.net/11349/23137>

Cruzado, L. (2010). *Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de los bosques altoandinos de la concesión para conservación alto huyabamba—San Martín*. Universidad Nacional Agraria de La Selva.

FAO. (2021). *Servicios ecosistémicos y biodiversidad: Los ecosistemas proporcionan cuatro tipos de servicios al mundo*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>

Farfán, W. (2019). *Forest Responses to Climate Change Along an Andes-to-Amazon Elevational Gradient* [Wake Forest University].

<https://www.proquest.com/openview/73ebededc349e41b7fc8b1c760a0e54d/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>

Fonseca, W. (2017). Revisión de métodos para el monitoreo de biomasa y carbono vegetal en ecosistemas forestales tropicales. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), Article 2. <https://doi.org/10.15359/rca.51-2.5>

- Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Hauck, J., Olsen, A., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Sitch, S., Le Quéré, C., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Alin, S., Aragão, L. E. O. C., Arneeth, A., Arora, V., Bates, N. R., ... Zaehle, S. (2020). Global Carbon Budget 2020. *Earth System Science Data*, 12(4), 3269-3340. <https://doi.org/10.5194/essd-12-3269-2020>
- Gálmez, V., & Kómetter, R. (2009). *Perspectivas y posibilidades de REDD+ en bosques Andinos*. Programa regional ECOBONA - Intercooperation. <https://www.researchgate.net/publication/317017440>
- Gil, P. A., Morales, M. E., & Jácome, J. (2020). Estructura del bosque altoandino y páramo en el Macizo de Bijagual, Boyacá, Colombia. *Revista Biológica Tropical*, LXVIII(3), 765-776. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i3.34912>
- González, A. (2021). Radial variations in wood density, and their implications for above-ground biomass estimations, in a tropical high-Andean forest. *Dendrobiology*, LXXXVI, 19-28. <https://doi.org/10.12657/denbio.086.003>
- Guerra, L. (2007). *Construcción de la huella de carbono y logro de carbono neutralidad para el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Costa Rica* [Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr:80/handle/11554/4681>
- Guerrero, J. M. (2018). Evaluación de captura de carbono de helecho arbóreo (*Cyathea obnoxia* Lehnert) como alternativa de implementación de mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos en el anexo Pipus, San Francisco de Daguas, Chachapoyas, Amazonas, 2018 [Thesis, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - UNTRM]. En *Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza—UNTRM*. <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/1457>

Hammer, Ø., Harper, D., & Ryan, P. (2001). *PAST: PALEONTOLOGICAL STATISTICS SOFTWARE PACKAGE FOR EDUCATION AND DATA ANALYSIS*. IV(1), 4-9.

Herbas, C., De la Barra, N., & Azero, M. (2018). Fijación de carbono en 10 sistemas agroforestales dinámicos (SAFD) de la zona seca de Cochabamba. En *Evaluación de sistemas agroforestales dinámicos en el semiárido de Cochabamba, Bolivia* (pp. 21-50). Universidad Católica Boliviana San Pablo.
https://www.researchgate.net/publication/333433957_Fijacion_de_carbono_en_10_sistemas_agroforestales_dinamicos_SAFD_de_la_zona_seca_de_Cochabamba

IPCC. (2019). *Calentamiento global de 1,5°C* (p. 32).
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf

Iregui, Y. K., & Robledo, B. S. (2019). *Diseño de un sendero ecológico en la Reserva el Danubio Frailejona, municipio de La Calera (Cundinamarca)*. Universidad ECCI.

Ketterings, Q., Coe, R., Noordwijk, M., Ambagau, Y., & Palme, C. (2001). Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology Management*, CXLVI, 199-209.

MADS. (2020, noviembre 26). *Colombia reducirá en un 51% sus emisiones de gases efecto invernadero para el año 2030 | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Minambiente.
<https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/4877-colombia-reducira-en-un-51-sus-emisiones-de-gases-efecto-invernadero-para-el-ano-2030>

MADS. (2021, abril 7). *Programa Colombia Carbono Neutral*. YouTube: Ministerio de

Ambiente y Desarrollo Sostenible - Colombia.

https://www.youtube.com/watch?v=A0xqrv2tlas&ab_channel=MinisteriodeAmbienteyDesarrolloSostenible-Colombia

Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity: Vol. XV*. Blackwell Science Ltda.

Pallqui, N. C. (2013). *Dinámica de un bosque tropical: Biomasa aérea y análisis en parcelas permanentes a largo plazo, Reserva Nacional Tambopata - Madre de Dios* [Tesis auspiciada por la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/885>

Phillips, J. F., Duque, A. J., Yepes, A. P., Cabrera, K. R., García, M. C., Navarrete, D. A., Álvarez, E., & Cárdenas, D. (2011). *Estimación de las reservas actuales (2010) de carbono almacenadas en la biomasa aérea en Bosques naturales de Colombia: Estratificación, alometría y métodos analíticos*. IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13548/Estimaci%C3%B3n+Carbono+2010.pdf/e0861b29-7cf2-4c43-8fd3-ea50cbbbba7db>

Ponce, R. R., & Rodríguez, D. A. M. (2016). *Determinación de la huella de carbono del Country Club el Bosque—Sede Chosica* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2584>

Prensa Instituto Humboldt. (2021, febrero 16). *Ocho empresas que le apuestan a salvar al bosque seco tropical en Colombia*.

<http://www.humboldt.org.co/es/boletines-y-comunicados/item/1610-ocho-empresas-que-le-apuestan-a-salvar-al-bosque-seco-tropical-en-colombia>

Restrepo, J. F. (2016). *Caracterización vegetal del bosque altoandino en diferentes estados sucesionales de la reserva biológica Encenillo, Guasca—Cundinamarca* [Pontificia Universidad Javeriana]. <http://hdl.handle.net/10554/19536>

- Reyes, G., Brown, S., Chapman, J., & Lugo, E. (1992). *Wood Densities of Tropical Tree Species* (p. 15) [GTR]. Dept of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/1236#>
- Rocha, H. D. (2021). *Dinámica y densidad espacial de la biomasa aérea en un bosque altoandino del municipio de Guasca-Cundinamarca* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/29754>
- Rodríguez. (2018). *Efectos de la fragmentación sobre la diversidad funcional asociada a biomasa aérea en un bosque alto andino de Cundinamarca* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://hdl.handle.net/11349/7706>
- Rodríguez, L. M., & Guerrero, A. C. (2015). *Composición y Diversidad Florística Vascular de Bosque Altoandino, en el Predio la Chorrera, Municipio Une, Cundinamarca, Colombia* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://hdl.handle.net/11349/2901>
- Rodriguez, S., Pinzón, L., López, J., & Cabrera, D. (2020). Rasgos funcionales de plantas leñosas en áreas verdes de Bogotá, Colombia. *Biota colombiana*, XXI(2), 108-133.
- Sanabria, Y. K., & Puentes, D. L. F. (2017). *Evaluación de la biomasa y captura de carbono en bosques altoandinos mediante patrones florísticos, estructurales y funcionales en la Cordillera Oriental – Cundinamarca* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://hdl.handle.net/11349/6984>
- Sánchez, O. J., & Ramírez, L. A. (2017). *Potencial De Captura De Carbono En Bosque Tropical Y Alto Andino En 4 Municipios De La Jurisdicción De Corpochivor* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://hdl.handle.net/11349/5928>
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical*

Journa, XXVII(3), 379-423.

Sokal, R., & Michener, C. (1958). A statistical method for evaluating systematic relationships. *University of Kansas*, XXXVIII(2), 1409-1438.

Torrejano, A. F. (2019). *Dinámica de un bosque subandino en la vertiente orinoquense de los Andes, departamento del Meta, Colombia* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://hdl.handle.net/11349/23136>

Torres, A. M., Peña, E. J., Zúñiga, O., & Peña, J. A. (2012). EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN BIOMASA VEGETAL EN ECOSISTEMAS DE ALTA MONTAÑA DE COLOMBIA. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, VI(1), 132-142.

Wiener, N. (1949). *Extrapolation, interpolation, and smoothing of stationary time series*. Technology Press of Massachusetts Institute of Technology.

WWF. (2018). *¿Qué hacemos?: Cambio climático y energía*. WWF.

https://www.wwf.org.co/que_hacemos/cambio_climatico_y_energia/

Yepes, A. P., Navarrete, D. A., Duque, A. J., Phillips, J. F., Cabrera, K. R., Álvarez, E., García, M. C., & Ordóñez, M. F. (2011). *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa—Carbono en Colombia*. IDEAM.

http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13548/Protocolo+para+la+estimaci%C3%B3n+nacional+y+subnacional_1.pdf/11c9d26b-5a03-4d13-957e-0bcc1af8f10

8

9. ANEXOS

Anexo 1. Densidad de la madera usadas para la estimación del carbono

Cd. Colecta	Especie	Autor	Familia	ρ (g/m ³)	Lugar	Autor
JC01	Miconia floribunda	cf. "Especie" (Bonpl.) D.C.	Melastomataceae	0,57	Meta	(Torrejano, 2019)
JC02	Clusia alata	Planch. & Triana	Clusiaceae	0,65	Perú	(Farfán, 2019)
JC03	Cavendishia bracteata	(J.St.Hil.) Hoerold	Ericaceae	0,6	Cundinamarca	(Rodríguez, 2018)
JC04	Weinmannia fagaroides	Kunth	Cunoniaceae	0,56	Ecuador	(Cartuche, 2022)
JC05	Drimys granadensis	L. f.	Winteraceae	0,43	Cundinamarca	(Rodríguez, 2018)
JC06	Weinmannia auriculata	D.Don	Cunoniaceae	0,63	Guasca	(González, 2021)
JC07	Brunellia integrifolia	Szyszył.	Brunelliaceae	0,34	Mundial	(Ketterings et al., 2001)
JC08	Diplostephium ochraceum	(Kunth) Nees	Asteraceae	0,54	Cundinamarca	(Rodríguez, 2018)
JC10	Persea mutisii	Kunth	Lauraceae	0,47	Cundinamarca	(Rodríguez, 2018)
JC11	Bejaria aestuans	Mutis ex L.	Ericaceae	0,54	Cundinamarca	(Rodríguez, 2018)
JC13	Clethra fimbriata	Kunth	Clethraceae	0,37	Cundinamarca	(Rodríguez, 2018)
JC15	Ocotea sericea Kunth	Kunth	Lauraceae	0,45	Cundinamarca	(Rodríguez, 2018)
JC16	Hedyosmum racemosum	(Ruiz & Pav.) G. Don	Chloranthaceae	0,47	Perú	(Farfán, 2019)
JC17	Viburnum triphyllum	Benth.	Adoxaceae	0,53	Cundinamarca	(Rodríguez, 2018)
JC19	Hesperomeles obtusifolia	(Pers.) Lindl.	Rosaceae	0,6	Cundinamarca	(Rodríguez, 2018)
JC21	Pentacalia trianae	(Klatt) Cuatrec.	Asteraceae	0,68	Bogotá	(Rodríguez et al., 2020)
JC22	Gaiadendron punctatum	(Ruiz & Pav.) G. Don	Loranthaceae	0,42	Cundinamarca	(Rodríguez, 2018)
JC23	Clethra lanata	M.Martens & Galeotti	Clethraceae	0,42	Cundinamarca	(Rodríguez, 2018)
JC24	Meliosma arenosa	Idrobo & Cuatrec.	Sabiaceae	0,27	Asia Tropical	(Reyes et al., 1992)
JC25	Axinaea macrophylla	(Naudin) Triana	Melastomataceae	0,51	Cundinamarca	(Rodríguez, 2018)