

Influencia de la altitud sobre la estructura, composición florística y carbono de bosques del Chocó

Jhon Jerley Torres-Torres¹ , Víctor Eleazar Mena-Mosquera²  & Melissa Niyet Rueda-Sánchez² 

1. Universidad Tecnológica del Chocó “Diego Luis Córdoba”, Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación Ciencia Animal y Recursos Agroforestales, Contratista Vicerrectoría de Investigaciones, Quibdó, Colombia, A. A. 292 B/ Nicolás Medrano, Quibdó, Colombia; i-jhon.torres@utch.edu.co (Autor para correspondencia)
2. Universidad Tecnológica del Chocó “Diego Luis Córdoba”, Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación Agroforestería del Trópico Húmedo Chocoano, Quibdó, Colombia, victor.mena@utch.edu.co, memovie@gmail.com, menyryusa_1720@hotmail.com

Recibido 21-IX-2021 • Corregido 16-XI-2021 • Aceptado 01-XII-2021

DOI: <https://doi.org/10.22458/urj.v14i1.3746>

ABSTRACT. “Influence of altitude on the structure, floristic composition and carbon of Choco forests”. **Introduction:** Despite the wide biodiversity found in the Chocó, little has been documented on the influence of altitude on floristic composition, structure, diversity, biomass and tree carbon. **Objective:** To evaluate the influence of altitude on the floristic composition, structure and carbon stored in forests of the Quibdó (QDO)-Carmen de Atrato (CA) altitudinal gradient in the biogeographic Choco. **Methods:** Eighteen plots (20×20m) were established in a gradient of 100-1700m altitude between QDO and CA, Choco. The floristic composition was analyzed using Ward's method and a simple linear regression was performed to observe the relationship between altitude and structural and biomass variables. Diversity was estimated using Shannon's and Simpson's indices. Biomass was calculated using an allometric equation developed for this forest type. Carbon was estimated with a carbon fraction of 0,5. **Results:** A total of 773 individuals were found, comprising 90 species and 33 botanical families. The sites at lower altitudes presented greater richness. The families with the highest number of tree species were: Fabaceae, Malvaceae, Lauraceae and Clusiaceae. Ward's analysis allowed separating the sites into two statistically different groups ($p < 0,05$), the first of lower altitude dominated by the species *Iryanthera tricornis* Ducke, *Brosimum utile* (Kunth) Pittier. and *Pithecellobium* sp. and the second of higher altitude dominated by *Aniba puchury-minor* (Mart.) Mez. At the density level, few differences were observed between sites, while the basal area decreased with increasing altitude. For the variables species richness, basal area, diversity and biomass, negative relationships and correlations were obtained with altitude, while for density this was positive. On average, carbon stored in aboveground biomass was 68.28Mg h^{-1} for the QDO- CA altitudinal gradient (100-1700masl), which decreases as altitude increases and differs statistically among the sites sampled ($p < 0,05$). **Conclusion:** Altitude exerts a strong negative influence on the floristic composition (species richness and floristic turnover), structure (basal area and Importance Value Index), biomass and carbon of the ecosystems studied.

Keywords: Tree biomass, natural forests, Biogeographic Choco, Climate change, Floristic diversity, Floristic diversity.

RESUMEN. Introducción: A pesar de la amplia biodiversidad que se presenta en el Chocó, es poco lo que se ha documentado sobre la influencia de la altitud en la composición florística, estructura, diversidad, biomasa y carbono arbóreo. **Objetivo:** Evaluar la influencia de la altitud sobre la composición florística, estructura y carbono almacenado en bosques del gradiente altitudinal Quibdó (QDO)-Carmen de Atrato (CA) en el Chocó biogeográfico. **Métodos:** Establecimos 18 parcelas (20×20m) distribuidas en un gradiente de 100–1700m de altitud comprendida entre QDO y CA, Chocó. La composición florística fue analizada mediante el método de Ward y se realizó una regresión lineal simple para observar la relación entre la altitud y las variables estructurales y de biomasa. La diversidad fue estimada a través de los índices de Shannon y Simpson. Se calculó la biomasa empleando una ecuación alométrica desarrollada para este tipo de bosque. El carbono fue estimado con una fracción de carbono de 0,5. **Resultados:** Encontramos un total de 773 individuos, comprendido en 90 especies y 33 familias botánicas. Los sitios de menor altitud presentaron mayor riqueza. Las familias con mayor número de especies arbóreas fueron: Fabaceae, Malvaceae, Lauraceae y Clusiaceae. El análisis de Ward permitió separar los sitios en dos grupos diferentes estadísticamente ($p < 0,05$), el primero de menor altitud dominado por las especies *Iryanthera tricornis* Ducke, *Brosimum utile* (Kunth) Pittier. y *Pithecellobium* sp. y el segundo de mayor altitud dominado por *Aniba puchury-minor* (Mart.) Mez. A nivel de densidad se observaron pocas diferencias entre los sitios, mientras que el área basal se reduce conforme aumenta la altitud. Para las variables riqueza de especie, área basal, diversidad y biomasa se obtuvieron relaciones y correlaciones negativas con la altitud, mientras que para la densidad esta fue positiva. En promedio se obtuvo un carbono almacenado en la biomasa aérea de $68,28\text{Mg h}^{-1}$ para el gradiente altitudinal QDO– CA (100-1700msnm), el cual disminuye conforme aumenta la altitud y difiere estadísticamente entre los sitios muestreados ($p < 0,05$). **Conclusión:** La altitud ejerce una fuerte influencia negativa en la composición florística (riqueza de especie y recambio florístico), la estructura (área basal e Índice de Valor de Importancia) biomasa y carbono de los ecosistemas estudiados.

Palabras clave: Biomasa arbórea, bosques naturales, Chocó Biogeográfico, cambio climático, diversidad florística.

Los bosques tropicales son considerados los ecosistemas terrestres más importantes del planeta, debido a su extensión geográfica, complejidad ecológica, alta biodiversidad y tasas de endemismo (Myers et al., 2000, Pan et al., 2013). Así mismo, debido a la alta tasa de captura y almacenamiento de carbono atmosférico, ejercen un rol fundamental en el balance del carbono global y en la mitigación del calentamiento global (Pan et al., 2013; Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014). Bajo este contexto, Pan et al. (2013) en sus análisis reportaron que estos bosques naturales presentan la mayor biomasa arbórea (aérea + subterránea) con un promedio de $327,8\text{Mg h}^{-1}$ (Pan et al. 2013). Igualmente, algunas investigaciones desarrolladas en las últimas décadas han indicado que los bosques húmedos y lluviosos tropicales de baja altitud, pueden presentar una biomasa aérea arbórea de entre $96,3$ y $541,6\text{Mg h}^{-1}$, la cual suele relacionarse con la composición del ecosistema y factores ambientales como la altitud (Chave et al., 2008; Torres-Torres et al., 2017).

La profunda variación en la composición, estructura y la biomasa aérea registrada en bosques tropicales se debe en gran medida al hecho de que esta es dinámica y puede verse influenciada significativamente por fenómenos climáticos (precipitación, temperatura y humedad), biológicos (composición de especies, tipo de especie, estructura, grupo ecológico) y ambientales (altitud, edad del sustrato, fertilidad del suelo, topografía); además, integra procesos como el establecimiento de plantas, crecimiento, mortalidad, sucesión y disturbios (Asner et al., 2009; Poorter et al., 2016). Asner et al. (2009) observaron que la composición de especies dominantes y la biomasa aérea se encuentran determinadas por la precipitación, altitud y edad del sustrato en bosques lluviosos tropicales en Hawaii (Asner et al., 2009). Mientras que, Oberleitner et al. (2021) reportaron que la biomasa aérea y estructura florística se encuentran relacionadas con la edad del sustrato, la cobertura boscosa y la riqueza de especies en bosques de Costa Rica. Los señalamientos anteriores sugieren una significativa importancia de los factores ambientales (altitud, clima), ecológicos (diversidad) y biológicos (composición y estructura) sobre la acumulación de biomasa aérea y carbono en bosques tropicales.

En un análisis a escala de bosques Neotrópicales, Poorter et al. (2015) indicaron que la composición florística, estructura y biomasa aérea de los árboles está fuertemente explicada por la altitud, el diámetro promedio de los árboles y la diversidad de especies; mientras que, la fertilidad del suelo presentó una débil relación con la biomasa. Por tal razón, y basados en los resultados de Asner et al. (2009) y Oberleitner et al. (2021) se presume que la altitud presenta una fuerte correlación con la composición, estructura, diversidad y contenido de carbono de los bosques tropicales con altos niveles de pluviosidad. A pesar de estos resultados, en el Chocó Biogeográfico aún se ignora la influencia que puede tener la altitud sobre la composición florística, estructura, biomasa y carbono de estos ecosistemas (Álvarez-Dávila et al., 2016); información que podría ser un aporte para explicar el patrón de distribución de la flora departamental y nacional. Además, esta información resultaría ser fundamental para la planificación del manejo de estos ecosistemas estratégicos (Mena-Mosquera et al., 2020).

El Chocó biogeográfico, a parte de su alta biodiversidad y endemismo (Myers et al., 2000), tienen una importante función en la mitigación del cambio climático global, pues cuentan con un área boscosa de $\approx 7,8$ millones de hectáreas en Colombia, de las cuales el 80% son bosques naturales (primarios y secundarios). Sin embargo, en estos ecosistemas las comunidades rurales realizan constantemente actividades antrópicas como tala de árboles y minería a cielo abierto de oro y platino, con lo cual, se destruyen y degradan entre cerca de 360 hectáreas de bosque cada año (Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico [IIAP], 2015), lo que reduce considerablemente la biomasa aérea de estos sitios, y su capacidad de contribuir con la mitigación

del cambio climático global, por lo que se hace necesario el emprendimiento de actividades que promueva la conservación y/o aprovechamiento sostenible de estos bosques.

Por consiguiente, se efectuó la presente investigación, para la que se plantearon los siguientes interrogantes: ¿Cuál es la influencia de la altitud en la composición y estructura florística del gradiente altitudinal Quibdó (QDO) - Carmen de Atrato (CA)?, ¿Cuál es la relación existente entre la biomasa arbórea y la altitud en el gradiente QDO-CA?, ¿Qué cantidad de carbono se encuentra almacenado en la biomasa aérea de los bosques del gradiente QDO-CA?

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El estudio se realizó entre febrero y marzo del 2020, en el gradiente altitudinal formado entre los municipios de Quibdó y Carmen de Atrato en el Chocó Biogeográfico. Esta área corresponde a las zonas de vida Bosque Pluvial Tropical y Bosque Húmedo Tropical, localizada entre los 5°43'22,11" de latitud Norte y los 76°19'38,60" de longitud Oeste, entre los 100 y 1 700msnm, con diferencia altitudinales entre sitio de 200m. La temperatura de los sitios varía entre los 12 y 28°C a lo largo del gradiente. La humedad relativa es superior al 70% y su precipitación media anual se encuentra comprendida entre 2 000 y 10 000mm (Fig. 1).

Los muestreos de vegetación se realizaron en nueve sitios con diferencias altitudinales de 200m (Fig. 1), los cuales se seleccionaron teniendo en cuenta su distribución homogénea, es decir, buscando que la diferencia entre sitio fuera igual.

Los ecosistemas seleccionados corresponden a bosques secundarios con uso anterior de vegetación primaria natural, donde predominan especies arbóreas de las familias Fabaceae y Malvaceae.

Toma de datos. En los puntos seleccionados (Fig. 1), se establecieron 18 Parcelas Temporales de Muestreo (PTM) de 20x20m (400m²). A cada individuo por especie se le midió el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP a 1,30m) en centímetros (cm) con una cinta diamétrica y la altura en metros (m) con una vara de madera graduada de 15m de longitud (Torres-Torres et al., 2016). Para la identificación de los individuos se realizaron colecta de material vegetal, el cual fue comparado con muestras botánicas del Herbario Chocó de la Universidad Tecnológica del Chocó, donde además se depositaron los ejemplares con estructura reproductiva en buen estado. Posterior a esto, se verificaron la vigencia del nombre científico y la familia en Colombia (<http://www.biovirtual.unal.edu.co/ICN/>), Missouri Botanical Garden (<http://www.tropicos.org>) New York Botanical Garden (<http://www.nybg.org/>), Trópicos (<http://www.tropicos.org>) y The International Plant Names Index (<http://www.ipni.org>).

Análisis de la composición y estructura de los ecosistemas muestreados. La composición florística en los ecosistemas muestreados fue separada a través de un análisis de agrupamiento realizado a partir de los datos de abundancia y dominancia relativa, utilizando el método de distancias de Ward.

Se realizó una regresión lineal simple para observar la relación entre la altitud, la riqueza de especie, área basal y biomasa. Se calculó el coeficiente de correlación cuadrado (r^2) de Pearson y el valor empírico p -valor para el ajuste lineal. Todas estas estimaciones se realizaron en el programa PAST versión 3.1 (Hammer et al., 2001).

La diversidad fue estimada a través de los índices de Shannon y Simpson. La estructura fue analizada por el área basal (m² ha⁻¹), densidad (número de individuos por hectárea) e Índice de Valor de Importancia - IVI (Figueredo et al., 2017).

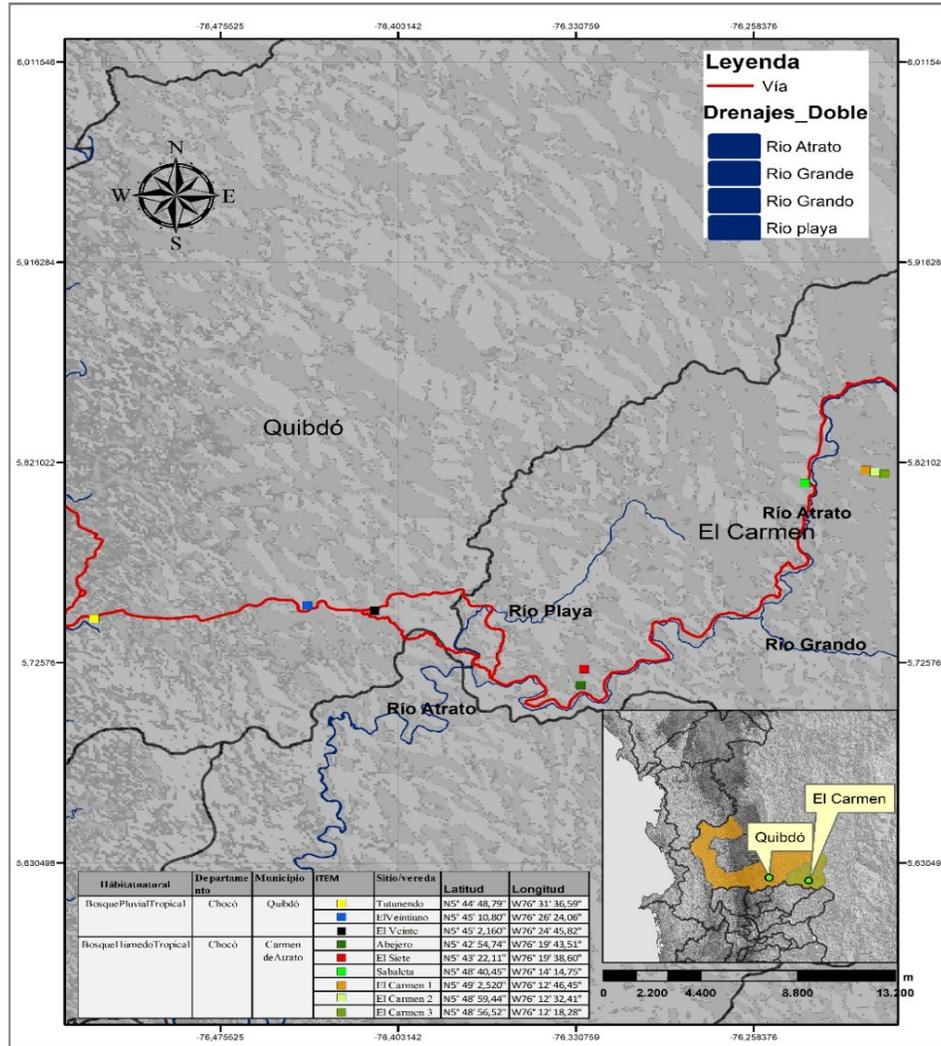


Fig. 1. Localización del área de estudio

Estimación de biomasa y carbono. Para el cálculo de la biomasa aérea se asignaron valores de densidad de la madera a las especies registradas en el censo. Este valor fue extraído de la Base Global de Datos de Densidad de la Madera (BGDM) (Zanne et al., 2009). Finalmente, se estimó la biomasa utilizando la ecuación de Álvarez et al. (2012) desarrollada para este tipo de ecosistemas (Ecuación 1).

$$\text{Biomasa} = \exp(-2,857 + 2,081 * \ln D + 0,587 * \ln Al + 0,453 * \ln Dm) \quad (1)$$

Donde:

D = Diámetro.

Al = Altura total.

Dm = Densidad de la madera

El carbono almacenado en la biomasa aérea fue estimado al multiplicar esta última por una fracción de 0,5 (Brown & Lugo, 1982). Las variables analizadas fueron diversidad, biomasa aérea y carbono. Para determinar la diferencia de en estas variables en los sitios muestreados se realizó un análisis de varianza ANOVA seguido de la prueba de Tukey al 5% de significancia.

RESULTADOS

Composición florística. Se registraron 33 familias, 90 especies y 773 individuos en las 18 parcelas establecidas (Tabla 1). Los sitios de muestreo con mayor cercanía a la cabecera municipal de Quibdó (Tutunendo, El Veintiuno, El Veinte, Abejero y Sabaleta) presentaron un mayor número de especies y mayor riqueza que los sitios más cercanos al Carmen de Atrato.

El Veintiuno fue el sitio con mayor abundancia específica (promedio = 53,5 individuos por parcela), seguido de Tutunendo (49,5 individuos) y el Veinte (46,5 individuos) correspondiendo a las localidades más cercanas a la capital del departamento del Chocó.

Las familias con mayor número de especies fueron: Fabaceae, Malvaceae, Lauraceae y Clusiaceae (Tabla 1). Las especies más abundantes fueron *Aiouea dubia* Mez con 55 individuos, *Brosimum utile* (Kunth) Pittier (34), *Licania durifolia* Cuatrec. (33), *Cespedesia spathulata* (Ruiz & Pav.) Planch. (31) y *Pithecellobium* sp. (30).

En la tabla se relacionan las familias y especies más abundantes del gradiente altitudinal * DM: Densidad de la Madera proveniente de Base Global de Datos de Densidad de la Madera (Zanne et al., 2009)

El análisis de agrupamiento basado en la similitud de la composición florística por medio del valor de cobertura de las especies separó los nueve sitios de muestreo en dos grupos: en el primero las localidades del Veintiuno y Veinte son similares y ligeramente diferentes a Tutunendo y Abejero. Opuestamente con mayor dispersión se ubicaron los sitios de muestreo Carmen 1, Sabaleta, el Siete, Carmen 2 y Carmen 3. Por tanto, difieren a grandes rasgos de los cuatro sitios con menor altitud (los del primer grupo, Fig. 2).

Estructura. Para los sitios con altitud mayor o igual a 1100msnm (Sabaleta, Carmen 1, Carmen 2 y Carmen 2) se destaca la especie *Aniba puchury-minor* (Mart.) Mez (Laurel), como la de mayor importancia ecológica (IVI entre 14 y 25,30); mientras que para los ecosistemas por debajo de 1100m se registraron las especies *Pouteria amygdalcarpa*, *Iryanthera tricornis* Ducke, *Brosimum utile* (Kunth) Pittier. y *Pithecellobium* sp., como las de mayor IVI (Entre 13,02 y 20,36) (Tabla 2).



Fig. 2. Dendrograma de agrupamiento de los sitios de muestreo según el valor de cobertura de las especies y la altitud de las zonas

TABLA 1

Composición florística de nueve sitios de muestreo del gradiente altitudinal Quibdó- Carmen de Atrato

Familia	Especie	Nombre común	Nº de individuos	DM*
	<i>Pithecellobium sp.</i>	Guamo macho	30	0,50
	<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith	Hueso	26	0,87
	<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber.	Algarrobo	26	0,74
	<i>Pentaclethra macroloba</i> (Willd.) Kuntze	Aserrín	20	0,67
	<i>Hymenolobium sp.</i>	Tostao	16	0,67
	<i>Inga nobilis</i> Willd.	Guamo Rosario	15	0,56
Fabaceae	<i>Orphanodendron bernalii</i> Barneby & Grimes	Tiratete	9	0,68
	<i>Dipteryx oleifera</i> Benth	Choibá	6	0,91
	<i>Clathrotropis brachypetala</i> (Tul.) Kleinhoonte	Sapan	5	0,81
	<i>Inga acrocephala</i> Steud.	Guamillo	5	0,51
	<i>Machaerium seemannii</i> Benth.	Bálsamo	3	0,59
	<i>Copaifera canime</i> Harms	Canime	2	0,61
	<i>Andira inermis</i> (Wright) DC.	Aji amargo	1	0,66
	<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav.) Urb.	Balso	19	0,14
	<i>Apeiba glabra</i> Aubl.	Peinemono	14	0,32
	<i>Huberodendron patinoi</i> Cuatrec.	Carrá	11	0,50
Malvaceae	<i>Phragmotheca hydra sp.</i>	Aguacatón	5	0,44
	<i>Quararibea sp.</i>	Ahuyamo	5	0,50
	<i>Hampea punctulata</i> Cuatrec.	Algodoncillo	1	0,44
	<i>Trichilia quadrijuga</i> Kunth	Cedro macho	22	0,55
	<i>Trichilia sp.</i>	Chagará	5	0,64
	<i>Aiouea dubia</i> Mez	Laurel	55	0,37
	<i>Aniba perutilis</i> Hemsl.	Chachajo	8	0,50
	<i>Nectandra sp.</i>	Caidita	5	0,54
	<i>Ocotea calophylla</i> Mez	Laurel blanco	4	0,50
Lauraceae	<i>Ocotea cernua</i> (Nees) Mez	Jigua baba	3	0,32
	<i>Ocotea sp.</i>	Laurel mono	3	0,50
	<i>Caryodaphnopsis inaequalis</i> (A.C.Sm.) van der Werff & Richt.	Incibe	2	0,60
	<i>Nectandra aff. Longifolia</i>	Tuave canelo	2	0,54
	<i>Calophyllum longifolium</i> Willd.	Aceite	10	0,58
	<i>Clusia grandiflora</i> Splitg.	Madroño	8	0,60
Clusiaceae	<i>Symphonia globulifera</i> L.fil.	Tometo	4	0,62
	<i>Tovomita sp.</i>	Chagualo	4	0,68
	<i>Chrysochlamys clusiifolia</i> Maguire	Manteco	1	0,43
Otras familias (29)	55	355		
Total	90	773		

El ecosistema localizado a 1100msnm (Carmen 1), resultó ser el de mayor densidad, mientras que se observa que los ecosistemas de menor altitud contienen mayor área basal (Fig. 4A y 4B). Al comparar la riqueza de especie se obtuvo que las localidades Tutunendo, Sabaleta y Carmen 2 son diferentes estadísticamente con respecto a los otros sitios muestreados; mientras que para la diversidad no se observaron diferencias estadísticas (Shannon $-p = 0,63$; Simpson $-p = 0,46$, Tabla 3).

TABLA 2

Especies con mayor IVI en función a los sitios muestreados

Sitio (m.s.n.m.)	Nombre científico	Ar (%)	Fr (%)	Da (%)	IVI
Tutunendo (100)	<i>Pentaclethra maculosa</i> (Willd.) Kuntze	10,10	4,76	0,50	15,36
	<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav.) Urb.	2,02	2,38	12,28	16,68
	<i>Pouteria amygdalica</i>	11,11	4,76	4,49	20,36
El Veintiuno (300)	<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber.	4,72	3,51	3,49	11,71
	<i>Iryanthera tricornis</i> Ducke	7,55	3,51	1,96	13,02
	<i>Brosimum utile</i> (Kunth) Pittier	5,66	1,75	4,70	12,12
El Veinte (500)	<i>Pouteria amygdalica</i>	5,43	3,85	3,95	13,23
	<i>Trichilia quadrijuga</i> Kunth	4,35	3,85	4,32	12,51
	<i>Apeiba glabra</i> Aubl.	4,35	3,85	4,28	12,47
Abejero (700)	<i>Couma macrocarpa</i> Barb.Rodr.	3,23	4,00	5,79	13,02
	<i>Cespedesia spathulata</i> (Ruiz & Pav.) Planch.	6,45	4,00	3,33	13,78
	<i>Brosimum utile</i> (Kunth) Pittier	9,68	4,00	4,55	18,23
El siete (900)	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	4,40	3,77	5,04	13,21
	<i>Couma</i> sp.	6,59	3,77	2,50	12,87
	<i>Pithecellobium</i> sp.	6,59	3,77	4,34	14,71
Sabaleta (1100)	<i>Aniba puchury-minor</i> (Mart.) Mez	7,41	4,35	2,25	14,00
	<i>Cespedesia spathulata</i> (Ruiz & Pav.) Planch.	4,94	4,35	4,66	13,95
	<i>Prumnopitys montana</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	6,17	4,35	3,16	13,68
Carmen 1 (1300)	<i>Inga nobilis</i> Willd.	11,39	8,00	4,70	24,09
	<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith	10,13	8,00	5,92	24,05
	<i>Aniba puchury-minor</i> (Mart.) Mez	13,92	8,00	3,37	25,30
Carmen 2 (1500)	<i>Pithecellobium</i> sp.	13,43	5,56	1,72	20,70
	<i>Pourouma cecropiifolia</i> Mart.	5,97	5,56	2,87	14,40
	<i>Aniba puchury-minor</i> (Mart.) Mez	20,90	5,56	6,77	33,22
Carmen 3 (1700)	<i>Aniba puchury-minor</i> (Mart.) Mez	9,84	6,06	2,63	18,53
	<i>Socratea exorrhiza</i> (Mart.) H.Wendl.	4,92	6,06	6,76	17,74
	<i>Hymenolobium</i> sp.	9,84	6,06	3,55	19,45
Total		100	100	100	300

Ar: Abundancia relativa; Fr: Frecuencia relativa; Dr: Dominancia relativa; IVI: Índice de Valor de Importancia

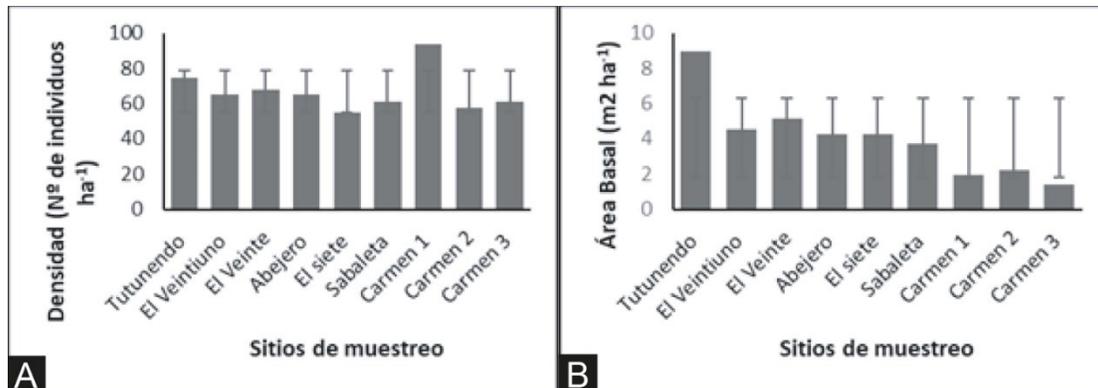


Fig. 4. Promedio de la densidad (A) y área basal (B) registrados en las unidades de muestreo del gradiente altitudinal Quibdó – Carmen de Atrato

TABLA 3

Riqueza e índices de diversidad de Shannon y Simpson para los sitios muestreados en el gradiente altitudinal Quibdó – Carmen de Atrato (promedio \pm desviación estándar)

Índice	Sitio de muestreo								
	Tutunendo	El Veintiuno	El Veinte	Abejero	El siete	Sabaleta	Carmen 1	Carmen 2	Carmen 3
Riqueza	33,0 \pm 0,2b*	40,0 \pm 0,1 a	37,0 \pm 0,2 ab	36,0 \pm 0,2 ab	41,0 \pm 0,1 a	33,0 \pm 0,2 b	21,0 \pm 0,2 c	29,0 \pm 0,2 b	25,0 \pm 0,2 c
Shannon	3,2 \pm 0,1 a	3,5 \pm 0,0 a	3,4 \pm 0,0 a	3,3 a	3,5 \pm 0,0 a	3,3 \pm 0,0 a	2,9 \pm 0,1 a	3,0 \pm 0,1 a	3,1 \pm 0,1 a
Simpson	0,9 \pm 0,1 a	0,9 \pm 0,1 a	0,9 \pm 0,1 a	0,9 \pm 0,1 a	0,9 \pm 0,1 a	0,9 \pm 0,1 a	0,9 \pm 0,1 a	0,9 \pm 0,1 a	0,9 \pm 0,1 a

Los valores corresponden al promedio \pm desviación estándar.

*Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre los ecosistemas muestreados

Se encontraron correlaciones inversas y significativas entre la altitud y dos de las variables estructurales (riqueza de especie y área basal) (Tabla 4), lo que indica que conforme aumenta la altitud el valor de estas disminuye (Fig. 5). Del mismo modo, se halló una correlación inversa no significativa entre la altitud y la diversidad de los ecosistemas (Tabla 4).

De otro lado, la correlación entre la altitud y la densidad fue directa y sin diferencias significativas ($p = 0,564$; Tabla 4).

Biomasa y carbono aéreo. Se obtuvo una relación negativa entre la biomasa y la altitud ($r = -0,89$; Fig. 5C), la cual es significativamente diferente ($p = 0,007$; Tabla 4).

En promedio se obtuvo un carbono almacenado en la biomasa aérea de $68,28 \text{ Mg h}^{-1}$ para el gradiente altitudinal Quibdó – Carmen de Atrato, el cual tiende a ser menor conforme aumenta la altitud. El contenido de carbono de los sitios ubicados por debajo de los 1100 msnm es estadísticamente diferente al obtenido a los sitios de mayor altitud ($p < 0,05$, Tabla 5).

TABLA 4

Correlación entre la altitud y variables estructurales, diversidad y Biomasa de los ecosistemas muestreado

Variables	r-Pearson*	p
Riqueza	-0,68	0,003
Densidad (Nº de individuos ha^{-1})	0,06	0,564
Área basal ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	-0,89	0,002
Shannon	-0,62	0,632
Simpson	-0,57	0,457
Biomasa (Mg ha^{-1})	-0,89	0,007

* r-Pearson: correlación de Pearson; $p < 0,05$ indica que hay diferencia estadísticamente significativa entre los sitios muestreados con respecto a las variables

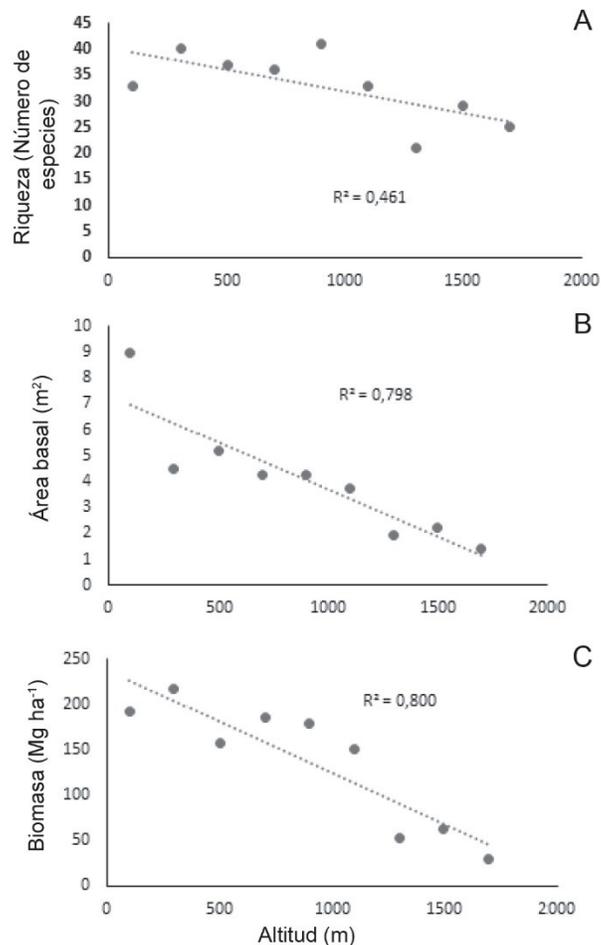


Fig. 5. Relación entre la altitud con la riqueza (A), Área basal (B) y Biomasa (C) en los sitios de muestreo del gradiente altitudinal Quibdó – Carmen de Atrato

TABLA 5

Carbono almacenado en la biomasa aérea estimado por sitio de muestreo en el gradiente altitudinal Quibdó – Carmen de Atrato

Sitio de muestreo (m.s.n.m.)	Biomasa ($Mg\ h^{-1}$)	Carbono ($Mg\ h^{-1}$)
Tutunendo (100)	192 ± 21,2a*	96 ± 21,2a
El Veintiuno (300)	217,34 ± 26,5a	108,67 ± 26,5a
El Veinte (500)	157,33 ± 15,1ab	78,67 ± 15,1ab
Abejero (700)	185,91 ± 19,2a	92,96 ± 19,2a
El siete (900)	179,44 ± 13,1a	89,72 ± 13,1a
Sabaleta (1100)	150,57 ± 9,1ab	75,29 ± 9,1ab
Carmen 1 (1300)	53,26 ± 6,6c	26,63 ± 6,6c
Carmen 2 (1500)	62,95 ± 7,4c	31,48 ± 7,4c
Carmen 3 (1700)	30,18 ± 10,3c	15,09 ± 10,3c
Promedio		68,21

1Mg = 10^6 g. Los valores corresponden al promedio ± desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre los ecosistemas muestreados

DISCUSIÓN

Composición florística. Los resultados de esta investigación (90 especies en 0,7) corroboran que el Chocó es una de las regiones más ricas en especies vegetales (Galeano, 2001; Asprilla et al., 2003; García et al., 2004), siendo estos resultados superiores a los reportados en estudios realizados para esta región (Quinto-Mosquera & Moreno, 2014; Torres-Torres et al., 2016; Mena-Mosquera et al., 2020). Torres-Torres et al. (2016) registraron 83 especies vegetales en 0,9ha; Casas et al. (2018) 59 especies en 0,5ha y Mena-Mosquera et al. (2020) 71 especies en 2ha. Sin embargo, los resultados obtenidos se encuentran por debajo del rango sugerido por Galeano (2001) y Rangel (2004) para ecosistemas del Chocó Biogeográfico (150 -250). Estas diferencias pueden estar relacionadas con la disminución de individuos que se experimenta a medida que aumenta la altitud (Alvear et al., 2010). El número de familias, especies e individuos registrados en este estudio es mayor al encontrado en el páramo de Anaime, Tolima (Colombia) por Segura et al. (2019), quienes encontraron 22 familias y 27 especies, sin desconocer que estos autores muestrearon áreas por encima de los 2000msnm, lo que podría apoyar la teoría que indica que, a mayor elevación, menor riqueza específica.

Los resultados de abundancia, frecuencia y dominancia de los sitios muestreados sugieren menores valores en los sitios de mayor altitud, lo cual es similar a los hallazgos de Macía & Fuertes (2008), quienes registraron 196 especies en un gradiente comprendido entre 1340-1385 en Bolivia, donde el número de especies disminuyó conforme se asciende en altitud. De otro lado, estos resultados difieren de los obtenidos por Cueva et al. (2019), quienes hallaron mayores especies, familias e individuos en zonas por encima de los 2160msnm. Estas diferencias pueden ser explicadas por la intensa dinámica de la vegetación provocada por los deslizamientos de laderas por causas naturales, lo que hace que los individuos de mayor porte se disminuyan en las partes más elevadas (Oberleitner et al., 2021; Giacomotti et al., 2021).

Se encontraron un promedio de 35 especies por sitio de muestreo y con una disminución significativa conforme aumenta la altitud. Esta baja puede estar asociada a factores como la topografía, la altitud o el suelo. Pudiendo ser principalmente la altitud un factor limitante en la disminución del número de especies arbóreas para estos bosques. A una determinada altitud por existir condiciones climáticas más adversas, pocas especies arbóreas podrían estar presentes (Giacomotti et al., 2021).

De las 90 especies forestales distribuidas en las 18 parcelas se destacan *A. dubia*, *B. utile*, *L. durifolia*, *C. spathulata* y *Pithecellobium* sp., las cuales son características de bosques naturales húmedos tropicales del Chocó Biogeográfico (Quinto-Mosquera & Moreno, 2014; Torres-Torres et al., 2016; Palacios-Tello et al., 2017; Mena-Mosquera et al., 2020).

Mediante la separación de los nueve sitios de muestreo con base en la similitud de la composición florística a lo largo del gradiente QDO – CA se obtuvieron dos grupos que difieren estadísticamente conforme aumenta la altitud. Este resultado corrobora el planteamiento de Cabrera et al. (2019), quienes sugieren que la altitud es el primer factor jerárquico, responsable de la división de grupos estructurales y florísticos.

Los resultados de esta investigación sugieren una correlación negativa entre la altitud y la riqueza florística. Este hallazgo difiere de lo indicado por Linares (2008) y Loza et al. (2010) en bosques de niebla localizados por encima de los 2000m de altitud en Venezuela y Bolivia, en los que encontraron relaciones positivas entre la altitud y la diversidad.

Estructura. El análisis estructural de los ecosistemas muestreados señala similitudes en la densidad de ocho de los sitios, sin embargo, al aumentar la altitud se encontró menor área basal. Este resultado difiere de los obtenidos por Cueva et al. (2019) y Segura et al. (2019), quienes reportaron mayor área basal en sitios con mayor altitud. Estas diferencias pueden hallar explicación

en factores ambientales como la temperatura, humedad, precipitación y fertilidad del suelo (Asner et al., 2009), por lo que se debe explorar esta posibilidad mediante otras investigaciones. También, este contraste en la composición y estructura florística de estos ecosistemas se deben a gradientes ecológicos (altitud) y geomorfológicos (litología y paisaje) (Cabrera et al., 2019). Sin embargo, se podrían presentar cambios locales de precipitación, humedad, y velocidad del viento que también pueden explicar la variación de diversidad y composición con un cambio de altitud cada 200m (Siles et al., 2017).

Los resultados estructurales ratifican y explican parte de la hipótesis planteada en esta investigación, comprobándose cambios ligeros en la vegetación conforme se asciende a nivel altitudinal, sin embargo, no se evidenciaron diferencias entre la altitud y la diversidad. Estos hallazgos sugieren que los bosques húmedos y pluviales tropicales ubicados en el gradiente altitudinal QDO – CA la riqueza de especie disminuye conforme aumenta la altitud, lo cual es similar a lo documentado por Girardin et al. (2014).

Biomasa y Carbono aéreo. Se encontró un carbono almacenado en la biomasa aérea promedio de $68,21\text{Mg h}^{-1}$ ($613,85\text{Mg}$ en $0,72\text{ha}$). Este resultado difiere del obtenido en bosques húmedos y pluviales tropicales del Chocó biogeográfico (Torres-Torres et al., 2017; Quinto-Mosquera & Moreno, 2017; Mena-Mosquera, 2020); por lo que se crea la necesidad de avanzar en estudios que permitan comprender la dinámica de estos ecosistemas.

Se logra observar que la altitud ejerce una influencia negativa en el proceso de captura y almacenamiento de carbono en la biomasa de la vegetación. Este resultado contrasta con el obtenido en investigaciones realizadas en los andes (Lozano et al., 2010; Cuevas et al., 2019; Segura et al., 2019), en las que se ha indicado que los valores de biomasa aumentan conforme se asciende en altitud. Estas diferencias podrían explicarse por la tesis de Wadsworth (2000), quien expresa que la riqueza y el contenido de biomasa registrado en altas elevaciones podría deberse a la influencia de zonas de transición (Ecotono).

Estadísticamente los bosques de menor altitud almacenaron mayor carbono en la biomasa aérea de la vegetación arbórea en comparación con los de mayor altitud, encontrándose valores en el rango sugerido por Phillips et al. (2011), para bosques por encima de los 800msnm en Colombia ($48,1$ a $129,4\text{Mg ha}^{-1}$), sin embargo, se debe analizar la relación entre la diversidad arbórea e los sitios y su Productividad Primaria Neta, con la intención de dilucidar como es la dinámica de estos ecosistemas.

Los bajos valores de carbono almacenado en la biomasa aérea de los sitios con mayor altitud contrastan con lo sugerido por Segura et al. (2019), quienes indican que, a pesar de las bajas temperaturas de estos sitios, la vegetación arbórea retiene gran cantidad de carbono en su biomasa aérea, por su misma adaptación al clima del sitio.

Los bosques más importantes para el almacenamiento de carbono y preservación con miras a mitigación del cambio climático son los de baja altitud, lo cual corrobora lo documentado por Chave et al. (2008), quienes además señalan que el contenido de carbono suele relacionarse con la composición florística del sitio y factores ambientales como la altitud.

En conclusión, se evidencia que la altitud ejerce una fuerte influencia negativa en la composición florística (riqueza de especie y recambio florístico), la estructura (área basal e IVI) biomasa y carbono de los ecosistemas estudiados. De otro lado, se debe considerar que bajo las condiciones de estudio la densidad no es fuertemente influenciada por la altitud, siendo esto explicado por la poca diferencia en la cantidad de individuos de los sitios muestreados. De igual forma, no se evidenciaron diferencias a nivel de diversidad alfa.

La diversidad florística de los ecosistemas muestreados se correlaciona de forma negativa no significativa con la altitud; por lo que se infiere que para esta parte del Chocó Biogeográfico la altitud no es un condicionante directo de la diversidad específica arbórea.

El carbono almacenado en la biomasa aérea se correlaciona de forma negativa y significativa con la altitud, lo que indica que el tema altitudinal si afecta la acumulación de biomasa, por lo que se requeriría de nuevas investigaciones en las que se determine como varia la tasa fotosintética en el área muestreada (100-1700msnm).

AGRADECIMIENTOS

La investigación es producto del proyecto “Diversidad florística en bosques naturales de la gradiente altitudinal Quibdó – Carmen de Atrato, Colombia-Contrato 408”, formulado y ejecutado por el Grupo de Investigación Agroforestería del Trópico Húmedo Chocoano (AGROTROPICO) de la Universidad Tecnológica del Chocó (UTCH). Los autores agradecen a las comunidades asentadas en el área de influencia del proyecto por su apoyo en la fase de campo, a la Vicerrectoría de Investigación de la UTCH por la financiación parcial del primer autor; de igual forma, a Haminson Mena-Mena por su apoyo en la estimación de parte de los estadígrafos presentados en el manuscrito y a Fausto Córdoba por la elaboración del mapa del área de estudio.

ÉTICA, CONFLICTO DE INTERESES Y DECLARACIÓN DE FINANCIAMIENTO

Declaramos haber cumplido con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la preparación de este documento; que no hay conflictos de interés de ningún tipo, y que todas las fuentes financieras se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. Asimismo, estamos de acuerdo con la versión editada final de esta publicación. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

La declaración de contribución de cada autor es la siguiente: J. J. T. T. Escribió el primer borrador del manuscrito, realizó el análisis estadístico de la investigación y retroalimentó los borradores del artículo; V. E. M. M. Formuló y Gestionó el proyecto del que se originó el manuscrito, revisó y retroalimentó los informes de investigación y los borradores del artículo; M. N. R. S. Ilevó a cabo la investigación en terreno.

REFERENCIAS

- Álvarez, E., Duque, A., Saldarriaga, J., Cabrera, K., De las Salas, G. Del Valle, I., Lema, A., Moreno, F. Orrego, S., & Rodríguez, L. (2012). Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management*, 267, 297–308. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.12.013>
- Álvarez-Dávila, E., Jaramillo, G. C., Cogollo, C. C., Martínez, H., Rojas, E., & Fernández, F. (2016). Structure and diversity of the three plant associations in the San Juan river delta, Chocó, Colombia. *Revista Ávore*, 40(5), 833-843. <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000500007>
- Alvear, M., Betancur, J., & Franco-Rosselli, P. (2010). Diversidad florística y estructura de remanentes de bosque andino en la zona de amortiguación del Parque Nacional Natural los Nevados, cordillera central colombiana. *Caldasia*, 32(1), 39-63.
- Asner, G. P., Hughes, R. F., Varga, T. A., Knapp, D. E., & Kennedy-Bowdoin, T. (2009). Environmental and biotic controls over aboveground biomass throughout a tropical rainforest. *Ecosystems*, 12(2), 261-278. <https://doi.org/10.1007/s10021-008-9221-5>

- Asprilla, A., Mosquera, C., Valoyes, H., Cuesta, H., & García, F. (2003). Composición florística de un bosque pluvial tropical (bp-T) en la parcela permanente de investigación en biodiversidad (PPIB) en Salero, Unión Panamericana, Chocó. En F. García, Y. Ramos, J. Palacios, E. Arroyo, A. Mena & M. González (Eds.), *Salero: Diversidad Biológica de un Bosque Pluvial Tropical (bp-T)* (1ra ed., pp. 39-44). Editora Guadalupe Ltda.
- Brown, S., & Lugo, A. E. (1982). The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in de global carbon cycle. *Biotropica*, *14*(3), 161-187.
- Cabrera, O., Benítez, Á., Cumbicus, N., Naranjo, C., Ramón, P., Tinitana, F., & Escudero, A. (2019). Geomorphology and Altitude Effects on the Diversity and Structure of the Vanishing Montane Forest of Southern Ecuador. *Diversity*, *11*(3), 2-15. <https://doi.org/10.3390/d11030032>
- Casas, L. F., González, D. M., Segura, B., Mosquera, R. A., & Álvarez, E. (2018). Diversidad y estructura de bosques contrastantes en la región del Chocó-Darién, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, *9*(2), 17-27. <https://doi.org/10.22490/21456453.2328>
- Chave, J., Condit, R., Muller-Landau, H. C., Thomas, S. C., Ashton, P. S., Bunyavejchewin, S., Co, L.L., Dattaraja, H., Davies, S., Esufali, S., Ewango, C.E.N., Feeley, K.J., Foster, R.B., Gunatillete, N., Gunatillete, S., Hall, P., Hart, T.B., Hernandez, C., Hubbell, P.S., Itoh, A., ... Losos, E.C. (2008). Assessing evidence for a pervasive alteration in tropical tree communities. *PLoS Biology*, *6*(3), e45. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0060045>
- Cuevas, E., Lozano, D., & Yaguana, C. (2019). Efecto de la gradiente altitudinal sobre la composición florística, estructura y biomasa arbórea del bosque seco andino, Loja, Ecuador. *Bosque (Valdivia)*, *40*(3), 365-378. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002019000300365>
- Figueredo, L. M., Acosta, F., & Blanco, J. (2017). Composición florística y estructura horizontal del bosque semideciduo micrófilo de la reserva ecológica Siboney-Juticí, Cuba, *Rodriguésia*, *68*(2), 315-324. <http://doi.org/10.1590/2175-7860201768203>
- Galeano, G. (2001). Estructura, riqueza y composición de plantas leñosas en el golfo de Tribugá, Chocó-Colombia. *Caldasia*, *23*(1), 213-236.
- García, F. J., Moreno, M., Robledo, D., Mosquera, L., & Palacios, L. (2004). Composición y diversidad florística de los bosques de la cuenca hidrográfica del río Cabí, Quibdó-Chocó. *Investigación Biodiversidad y Desarrollo*, *20*(1), 13-23.
- Giacomotti, J., Reynel, C., Fernández-Hilario, R., Revilla, I., Palacios-Ramos, S., Terreros-Camac, S., Daza, A., & Linares-Palomino, R. (2021). Diversidad y composición florística en un gradiente altitudinal en Chanchamayo, selva central del Perú. *Folia Amazónica*, *30*(1), 1-14. <https://doi.org/10.24841/fa.v30i1.533>
- Girardin, C., Farfan-Rios, W. Garcia, K., Feeley, K. J., Jørgensen, P. M., Murakami, A. A., Pérez, L. C., Seidel, R., Paniagua, N., Claros, A. F., Maldonado, C., Silman, M., Salinas, N., Reynel, C., Neill, D. A., Serrano, M., Caballero, C. J., la Torre Cuadros, M. de los A., Macía, M., Killeen, T. J., Malhi, Y. (2014). Spatial patterns of above-ground structure, biomass and composition in a network of six Andean elevation transects. *Plant Ecology & Diversity*, *7*(1-2), 161-171. <https://doi.org/10.1080/17550874.2013.820806>
- Hammer, Ø., Harper, A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, *4*(1), 1-9. https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf
- Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP). (2015). *Plan Integral de Cambio Climático / Chocó-Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. <https://bit.ly/3ygeHow>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, R.K. Pachauri & L.A. Meyer (Eds.)*. <https://bit.ly/3oA8dNS>

- Linares, A. M. (2008). *Análisis florístico y estructural de la vegetación de una selva nublada en un gradiente altitudinal, en la Mucuy, Estado de Mérida* [Tesis de doctorado, Universidad de los Andes]. SaberULA Repositorio Institucional de la Universidad de Los Andes. <https://bit.ly/3IKw7EH>
- Loza, I., Moraes, M., & Jørgensen, P. M. (2010). Variación de la diversidad y composición florística en relación a la elevación en un bosque montano boliviano (PNANMI Madidi). *Ecología en Bolivia*, 45(2), 87-100.
- Lozano, P., Küppers, M., & Bussmann, R. W. (2010). Diversity of paramo and andean elfin forest in Podocarpus National Park – Loja, Ecuador. *Arnaldoa*, 17(2), 193-202.
- Macía, M., & Fuertes, J. (2008). Composición florística y estructura de los árboles en un bosque tropical montano de la Cordillera Mosestenes, Bolivia. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental*, 23, 1-14.
- Mena-Mosquera, V. E. (2020). *Valoración del servicio ambiental de almacenamiento y fijación de carbono en bosques y sistemas agroforestales con cacao en territorios de comunidades afrodescendientes del departamento del Chocó*. [Tesis de doctorado, Universidad de la Salle]. Repositorio institucional. <https://bit.ly/3lybZzb>
- Mena-Mosquera, V. E., Andrade, H. J., & Torres-Torres, J. J. (2020). Composición florística, estructura y diversidad del bosque pluvial tropical de la subcuenca del río Munguidó, Quibdó, Chocó, Colombia. *Entramado*, 16(1), 204-215. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.6109>
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853-858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Oberleitner, F., Egger, C., Oberdorfer, S., Dullinger, S., Wanek, W., & Hietz, P. (2021). Recovery of aboveground biomass, species richness and composition in tropical secondary forests in SW Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 479, 118580. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118580>
- Palacios-Tello, L. Y., Perea, K., Bellido, D. M., Caicedo, H. Y., & Abadia D. (2017). Estructura poblacional de ocho especies maderables amenazadas en el departamento del Chocó-Colombia. *Cuadernos de Investigación UNED*, 9(1), 107-114. <https://doi.org/10.22458/urj.v9i1.1685>
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Phillips, O. L., & Jackson, R. B. (2013). The Structure, Distribution, and Biomass of the World's Forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 44(1), 593-622. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110512-135914>
- 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*. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales - IDEAM-. <https://bit.ly/3EJu6QG>
- Poorter, L., Bongers, F., Aide, T. M., Zambrano, A.M.A., Balvanera, P., Becknell, J.M., Boukili, V., Brancalion, P. H. S., Broadbent, E. N., Chazdon, R. L., Craven, D., Almeida-Cortez, J. S. de., Cabral, G. A. L., Jong, B. H. J. de., Denslow, J. S., Dent, D. H., DeWalt, S. J., Dupuy, J. M., Durán, S. M., Espirito-Santo, M. M., ... Rozendaal, D. (2016). Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature*, 530(7589), 211-214. <https://doi.org/10.1038/nature16512>
- Poorter, L., van der Sande, M.T., Thompson, J., Arets, E.J., Alarcón, A., Álvarez-Sánchez, J., Ascarrunz, N., Balvanera, P., Barajas-Guzmán, G., Boit, A., Bongers, F., Carvalho, F.A., Casanoves, F., Cornejo-Tenorio, G., Costa, F.R., de Castilho, C.V., Duivenvoorden, J.F., Dutrieux, L.P., Enquist, B.J., Fernández-Méndez, F., ... Peña-Claros, M. (2015). Diversity enhances carbon storage in tropical forests. *Global Ecology and Biogeography*, 24(11), 1314-1328. <https://doi.org/10.1111/geb.12364>
- Quinto-Mosquera, H., & Moreno, F. (2014). Diversidad florística arbórea y su relación con el suelo en un bosque Pluvial Tropical del Chocó Biogeográfico. *Revista Ávore*, 38(6), 1123-1132. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000600017>

- Quinto-Mosquera, H., & Moreno, F. (2017). Net Primary Productivity and Edaphic Fertility in Two Pluvial Tropical Forests in the Chocó Biogeographical Region of Colombia, *PLoS ONE*, 12(1), e0168211. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168211>
- Rangel, J. O. (Ed.). (2004). *Colombia Diversidad Biológica IV: El Chocó Biogeográfico/Costa Pacífica*. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.
- Segura, M. A., Andrade, H. J., & Mojica, C. A. (2019). Estructura, composición florística y almacenamiento de carbono en bosques nativos del páramo de Anaimé, Tolima, Colombia. *Ciencia Forestal*, 29(1), 157-168. <https://doi.org/10.5902/1980509826551>
- Siles, P., Talavera, P., Andino, F., Alaniz, L., & Ortiz, W. (2017). Composición florística, estructura y biomasa de los bosques de pino-encino en la reserva Santa Rosa, Tisey, Estelí, Nicaragua. *Revista de Biología Tropical*, 65(2), 763-775. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v65i2.22928>
- Torres-Torres, J. J., Mena-Mosquera, V. E., & Álvarez-Dávila, E. (2016). Composición y diversidad florística de tres bosques húmedos tropicales de edades diferentes, en el Jardín Botánico del Pacífico, municipio de Bahía Solano, Chocó, Colombia. *Revista Biodiversidad Neotropical*, 6(1), 12-21.
- Torres-Torres, J. J., Mena-Mosquera, V. E., & Álvarez-Dávila, E. (2017). Carbono aéreo almacenado en tres bosques del Jardín Botánico del Pacífico, Chocó, Colombia. *Entramado*, 13(1), 200-209. <https://doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25110>
- Wadsworth, F. (2000). Capítulo 3: Los bosques primarios y su productividad. En F. Wadsworth (Ed.), *Producción Forestal para América Tropical* (pp. 69-111). Departamento de Agricultura de los Estados Unidos-USDA.
- Zanne, A. E., López-González, G., Coomes, D. A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S. L., Miller, R. B., Swenson, N. G., Wiemann, M. C., & Chave, J. (2009). *Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum*. Dryad, Dataset. <https://doi.org/10.5061/dryad.234>