



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS



## Determinación de fracción de carbono de especies forestales de tres bosques del departamento de Chocó, Colombia

### Determining the Carbon Fraction of Forest Species in Three Forests of the Department of Chocó, Colombia

Yirmar Javier Ibargüen-Restrepo<sup>1\*</sup>, Víctor Eleazar Mena-Mosquera<sup>1</sup>,  
Wismar Alfonso Pino Bejarano<sup>1</sup>

Ibargüen-Restrepo, Y. J., Mena-Mosquera, V. E., & Pino-Bejarano, W. A. (2023). Determinación de fracción de carbono de especies forestales de tres bosques del departamento de Chocó, Colombia. *Colombia Forestal*, 26(1), 22-35.

**Recepción:** 11 de octubre 2021

**Aprobación:** 27 de septiembre 2022

#### Resumen

La cuantificación de la biomasa es esencial para estimar la dinámica de almacenamiento y fijación de carbono de los ecosistemas boscosos. En este estudio se determinó la fracción de carbono (Fc) de especies forestales de los bosques tropicales ubicados en los municipios de Quibdó, Unión Panamericana y Unguía en el departamento del Chocó, Colombia. Se establecieron seis parcelas permanentes de monitoreo (PPM) de 1 ha. Se caracterizó la composición florística por PPM, registrando los individuos con DAP  $\geq 10$  cm. Se seleccionaron las 39 especies de mayor peso ecológico y se determinó su Fc mediante el método de calorimetría. Se encontró una Fc promedio de  $0.46 \text{ gr.cm}^{-3}$  con rangos entre 0.43 y 0.48. Se registraron un total de 2841 individuos distribuidos en 260 especies y 207 géneros. Las especies con mayor peso ecológico fueron *Prioria copaifera* Griseb. y *Perkia pendula* (Willd.). La Fc constituye una herramienta para estimaciones más precisas de carbono aéreo en bosques húmedos.

**Palabras clave:** Bioma húmedo tropical, biomasa aérea, contenido de carbono, Chocó Biogeográfico.

#### Abstract

Biomass quantification is essential to estimate the dynamics of carbon storage and fixation of forest ecosystems. This study determined the carbon fraction (Fc) of forest species in tropical forests located in the municipalities of Quibdó, Unión Panamericana, and Unguía in the department of Chocó, Colombia. Six 1 ha permanent monitoring plots (PPM) were established. Floristic composition was characterized for each PPM, recording individuals with DAP  $\geq 10$  cm. The 39 species with the highest ecological weight were selected, and their Fc was determined using the calorimetry method. An average Fc of  $0.46 \text{ gr.cm}^{-3}$  was found, with ranges between 0.43 and 0.48. A total of 2841 individuals distributed in 260 species and 207 genera were recorded. The species with the greatest ecological weight were: *Prioria copaifera* Griseb. and *Perkia pendula* (Willd.). Fc constitutes a tool for more accurate estimations of aboveground carbon in humid forests.

**Keywords:** Tropical humid biome, aerial biomass, carbon content, biogeographic Chocó

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba". Quibdó, Colombia.

\* Autor para correspondencia.

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de los inventarios florísticos cuantitativos de la vegetación obtener información sobre la riqueza, diversidad y abundancia de las especies de un determinado sitio, lo cual permite comparar los resultados obtenidos en otras zonas usando la misma metodología, en aras de replicarla en otros ecosistemas naturales (Tirado, 2016).

Manzanilla *et al.* (2020) afirman que determinar la estructura florística vertical y horizontal y la densidad de individuos dentro de un área boscosa permite conocer la naturaleza de la masa forestal con base en su diversidad biológica y composición florística, así como la abundancia de las especies que forman comunidades vegetales en la distribución espacial y en los estratos altitudinales.

Lamentablemente, poco se conoce sobre la composición y estructura de los bosques húmedos tropicales; se hace indispensable realizar estudios cuantitativos que permitan conocer sus condiciones biológicas, en aras de establecer criterios de manejo y conservación a través del monitoreo de estos bosques naturales (Fabián, 2016).

Dicho lo anterior, la composición y diversidad florística arbórea a escala local de un bosque natural del Chocó biogeográfico (una de las regiones más lluviosas del mundo, que cuenta con alta biodiversidad y endemismo) y su relación con las características de los sitios y la diversidad o la distribución de las especies arbóreas de los bosques están determinadas parcialmente por variables ambientales como la topografía, la fertilidad y el tipo del suelo, entre otros (Mosquera & Hrtado, 2014).

En estudios realizados en el Chocó biogeográfico (Langendoen & Gentry, 1991; Galeano, 2002; Torres *et al.*, 2016; Mosquera *et al.*, 2007; Quinto & Mosquera (2014), se ha encontrado que los bosques tienen características particulares en términos de la estructura y composición florística de sus ecosistemas naturales. En particular, se presenta una alta densidad de árboles por ecosistemas y un número comparativamente elevado de especies. En este sentido, se ha registrado un promedio

de entre 150 y 250 especies árboles por hectárea, lo cual sitúa a esta región en el segundo lugar en cuanto a riqueza florística y diversidad en Colombia (después de la Amazonía) (Casas *et al.*, 2018).

Por lo tanto, el establecimiento y monitoreo de parcelas permanentes ha permitido entender la dinámica y biodiversidad de los bosques tropicales, así como su estrecha relación con el clima y el suelo (Álvarez *et al.*, 2021).

Es probable que el área cubierta por bosques cambie a medida que varía el clima, como también es posible que haya cambios en los tipos de bosques debido a las modificaciones en las temperaturas y los regímenes de precipitación, donde se espera que la superficie forestal se expanda en la zona templada y se contraiga en las regiones boreales, tropicales y montañosas. Es por ello que el cambio climático puede tener impactos profundos en la salud y vitalidad de los bosques del mundo. Dichos impactos se determinan considerando factores como edad, estructura, composición, función, vigor, niveles inusuales de insectos o enfermedades y resistencia a las perturbaciones (FAO, 2012).

Asimismo, el papel de la conservación, el manejo sostenible de los bosques y la mejora de las reservas de carbono forestal (conocido como REDD+) son vitales en el marco de los esfuerzos mundiales para combatir el cambio climático. Producto del Acuerdo de París sobre el cambio climático, celebrado en diciembre de 2015 en la CMNUCC, los países acordaron conservar y mejorar los sumideros y reservorios de carbono (FAO, 2012).

En este contexto, los bosques naturales juegan un rol importante en la regulación climática, pues son capaces de fijar CO<sub>2</sub>, el principal gas de efecto invernadero, mediante la fotosíntesis, regulando el intercambio de carbono entre la atmósfera y la biomasa. Lamentablemente, este tipo de servicio ambiental no ha sido suficientemente evaluado en términos de retención de carbono y su valor económico para la sociedad (Valera & Carvajal, 2014).

El carbono almacenado en los bosques colombianos estuvo por encima de los 7800 millones de

toneladas para el año 2007. Por lo tanto, las mayores reservas se encuentran en los bosques tropicales muy húmedos ( $135.29 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), seguido de los bosques tropicales húmedos ( $131.87 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). A nivel regional, el pacífico ocupa el segundo lugar, después de la Amazonía, con los promedios más altos de carbono ( $131 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), aun cuando su extensión total es de las menores (7 millones de hectáreas) (Ríos & Gómez, 2018).

Esta tendencia se repite en el área de estudio, el departamento del Chocó, cuyo contenido promedio de carbono para bosques naturales se estima por encima de las  $135 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , ocupando el tercer lugar a nivel departamental (Ríos & Gómez, 2018).

La importancia de los bosques como fijadores de carbono (C) puede constatararse a partir de la estimación de la biomasa forestal. Por lo general, el C almacenado en la vegetación se obtiene del producto entre la biomasa vegetal y un factor de conversión a C (fracción de C). Conocer este coeficiente es de sumo interés para lograr estimaciones precisas (Sione et al., 2019).

En este contexto, determinar la fracción de carbono (Fc) de un bosque representa la base para conocer los *stock* de C presentes en sus componentes, que tienen gran capacidad para captar y almacenar C y constituyen una de las maneras más efectivas y económicas para remover el C de la atmósfera a través del manejo sostenible de los bosques. En estos ecosistemas hay árboles y otras plantas que, a medida que crecen, remueven importantes cantidades de  $\text{CO}_2$  de la atmósfera y almacenan el C en la biomasa de hojas, flores, frutos, ramas, tallos y raíces (Sánchez, 2016).

Por consiguiente, el panel intergubernamental de cambio climático IPCC (2006) ha proporcionado diferentes valores de la fracción de C para bosques. Estos, según el tipo de especies arbóreas y basados en análisis químicos de muestras, son de 0.47 para especies tropicales y subtropicales y de 0.48 y 0.51 para especies de hoja ancha y coníferas en bosques templados respectivamente.

De igual manera, Sione et al. (2019) determinaron la Fc de Algarrobo *Prosopis affinis* en tres

componentes aéreos de la biomasa como fustes (F, 0.48), ramas grandes (RG, 0.48) y ramas pequeñas, hojas, flores y frutos (RPHFF, 0.45) en un bosque nativo de Argentina, con una fracción de C promedio entre componentes de 0.47.

Dryw y Hara (2018) determinaron la fracción de carbono por combustión en el reservorio del tronco de nueve especies coníferas ecológicamente importantes en California, donde encontraron valores de Fc para Abeto Douglas costero (*Pseudotsuga menziesii*) de 0.58, de 0.54 para secuoya gigante (*Torr florin*), de 0.56 para cedro del incienso (*Calocedrus decurrens*), de 0.51 para pino Jeffrey (*Pinus jeffreyi* Balf.), de 0.52 para pino ponderosa (*P. ponderosa*), de 0.52 para abeto rojo (*Abies magnifica*), de 0.57 para pino azucarero (*P. lambertiana*), de 0.52 para abeto blanco (*A. concolor*) y de 0.53 para Franco var (*menziesii*), valores significativamente importantes para especies de Norteamérica.

En el mismo contexto, Duque (2020) generó directrices para la selección de ecuaciones, parámetros y datos para calcular las remociones de GEL de actividades forestales, en aras de realizar estimaciones pertinentes, coherentes, exactas y transparentes. En este contexto, se calcularon la densidad básica, el factor de expansión de biomasa y la fracción de carbono (Fc) para 12 especies forestales en Colombia. Se observaron valores de Fc para individuos de *Acacia mangium* Willd de 0.54, para *Cupressus lusitanica* Mill de 0.54, para *Eucalyptus camaldulensis* Dehnhardt de 0.47, para *Eucalyptus globulus* Labill. de 0.45, para *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden de 0.46, para *Eucalyptus urophylla* ST Blake de 0.46, para *Eucalyptus urograndis* de 0.46, para *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm de 0.42, para *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. de 0.43, para *Pachira quinata* (Jacq.) W.S. Alverson de 0.39, para *Pinus patula* Schltdl. & Cham de 0.55 y para *Tectona grandis* L. f. de 0.54.

Teniendo en cuenta la importancia del objeto de estudio, los autores no tienen conocimiento de trabajos que aporten a la identificación de la fracción de carbono en los bosques del departamento

del Chocó. Es por ello que la presente investigación determinó la Fc en los ecosistemas naturales de los municipios de Quibdó, Unión Panamericana y Unguía. Los resultados de esta investigación podrían contribuir a precisar el potencial de estas zonas en cuanto a fijación y almacenamiento de carbono. Atendiendo esta consideración, se pretende dar a conocer cuál es la fracción de carbono de las especies de mayor peso ecológico en los bosques tropicales de Pacurita, Salero y Puerto en Chocó, Colombia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se desarrolló en los corregimientos de Pacurita, Salero y Puerto de los municipios de Quibdó, Unión Panamericana y Unguía respectivamente, en departamento del Chocó, Colombia.

El municipio de Quibdó tiene una extensión de 180 Km<sup>2</sup>, con una altura geográfica de 53 m, presentando temperaturas superiores a los 28 °C y una humedad relativa de 90 %. Este municipio alcanza una precipitación anual que oscila entre 6000 y 8000 mm. El corregimiento de Pacurita, por su parte, corresponde a las zonas de vida *bosque pluvial tropical* (bp-T) y *bosque muy húmedo premontano* (bmh-PM). Bajo esas condiciones climáticas se establecieron tres parcelas permanentes de monitoreo en las siguientes coordenadas geográficas: PPM 1- NE 5°41.960N - 76°35,800W; PPM 2- NE: 5°40.253N - 76°34.951W; PPM 3- NE: 5°42.280N - 76°26.241W (Alcaldía de Quibdó-Chocó, 2005).

El municipio de Unión Panamericana tiene una extensión de 3986.13 ha, con una altura geográfica de 150 m de altitud. Se caracteriza por tener una humedad relativa por encima del 85 % y concurrentes en temperaturas 20.07-34.9 °C, alcanzando precipitaciones que normalmente superan los 5000 mm. La mayor parte del territorio está situado en la región de las calmas

ecuatoriales. Según el sistema de Holdridge, corresponde a las zonas de vida *bosque pluvial tropical* (bp-T) y *bosques muy húmedo tropical* (bmh-T). En el corregimiento de Salero se establecieron dos parcelas permanentes de monitoreo, georreferenciadas con las siguientes coordenadas: PPM 1- NE: 5°18.925N - 76°36.184W; PPM 2- NE: 5°19.700N - 76°37.181W (Alcaldía de Unión Panamericana-Chocó, 2015).

El municipio de Unguía, ubicado en la subregión del Darién Chocoano, con una extensión de 1307 km<sup>2</sup>, se caracteriza por su gran riqueza hídrica y biodiversidad, cuyo principal eje es el río Atrato, ligado a un clima húmedo y lluvioso, con una precipitación media anual de 2089 mm y una temperatura promedio de 28 °C. Tiene áreas circundantes en estuarios con una altura geográfica de 15 m. La vegetación donde se llevó a cabo el estudio pertenecía a un ecosistema homogéneo de *P. copaífera*. Se estableció una parcela permanente de monitoreo georreferenciada de la siguiente manera: PPM 1- NE: 8°01.316N - 77°04.330W (Alcaldía de Unguía-Chocó, 2005).

### Establecimiento de unidades de muestreo

Las áreas se identificaron revisando la cartografía disponible en el Centro de Sistemas de Información Geográfica de la Universidad Tecnológica del Chocó. Los sitios de muestreo se seleccionaron al azar a través del programa ArcView. Posteriormente, se buscaron dichas coordenadas en campo mediante recorridos y sondeos, y se establecieron seis PPM de 100 x 100 m (1 ha), distribuidas de la siguiente manera: en Pacurita, tres PPM inmersas en el bosque primario; en Salero, dos en ecosistemas de bosque secundario poco intervenido; y en Unguía, una en el ecosistema catival. Cada PPM de 1 ha se dividió en cinco bloques de 100 x 20 m, que a su vez se subdividieron en sub-bloques de 20 x 20 m, para un total de 25 sub-bloques de 400 m<sup>2</sup> cada uno. Estos bloques fueron identificados con combinaciones consecutivas de números o letras: de 1 a 5 en

orientación W-E, y con letras de la A hasta la E en sentido S-N, iniciando por el sub-bloque 1A en zig-zag hasta llegar al bloque 1E, para luego pasar a los bloques 2, 3 y 4 en zig-zag hasta llegar al bloque 5E. El muestreo inició en la esquina SW (sub-bloque 1A0), según las recomendaciones del [Ministerio de Medio Ambiente \(2002\)](#).

### Caracterización de la composición florística

Se registraron los nombres vulgares y científicos, y se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP  $\geq$  10 cm), registrando la altura total (*ht*) de todos los individuos de las PPM.

En cada PPM se estimaron la abundancia, la frecuencia, la dominancia (basado en el área basal) y el índice de valor de importancia empleando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Área basal (m}^2\text{)}. Ab = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (1)$$

Donde: Ab = área basal (m<sup>2</sup>); d<sup>2</sup> = diámetro del tronco medido a 1,30 m del suelo al cuadrado (cm).

$$\text{Volumen del área basal. } V = AB * hc * F . f \quad (2)$$

Donde: V = volumen (m<sup>3</sup>); V<sup>3</sup> = área basal (m<sup>2</sup>); altura comercial; factor forma (0.7854).

$$\text{Densidad. } D = \frac{\text{Numero de Arboles}}{\text{Área de muestreo en ha}} \quad (3)$$

$$\text{Abundancia absoluta. } Aa = \frac{\text{Número de individuos}}{\text{Especies}} * \quad (4)$$

$$\text{Abundancia relativa (\%)}. Ar\% = \frac{Nsp}{Nt} x 100 \quad (5)$$

Donde: Ar = abundancia relativa (%), que es la relación porcentual del número de árboles de una especie frente al número total de árboles muestreados; Nsp = número de árboles por especie; Nt: número total de árboles del área muestreada.

*Frecuencia absoluta. Fa = % de las parcelas en las que aparece una especie* (6)

$$\text{Frecuencia relativa. } Fr\% = \frac{Fasp}{\Sigma Fa} x 100 \quad (7)$$

Donde: Fr = frecuencia relativa (%), que es la relación porcentual de la frecuencia absoluta de una especie entre la sumatoria total de las frecuencias absolutas de todas las especies; Fasp = frecuencia absoluta de una especie (%);  $\Sigma Fa$  = sumatoria de frecuencias absolutas de las especies (%).

*Dominancia absoluta. Da = Área basal de cada especie* (8)

$$\text{Dominancia relativa. } Dr\% = \frac{Ab}{\Sigma Ab} x 100 \quad (9)$$

Donde: Dr% = dominancia relativa (%), que es la relación porcentual entre el área basal de una especie y la sumatoria total de las áreas basales de las especies; Ab = área basal de cada especie (m<sup>2</sup>);  $\Sigma Ab$  = área basal total en el área de muestreo (m<sup>2</sup>).

*Índice de valor de importancia. IVI = Fr% + Ar % + Dr%* (10)

Donde: IVI = índice de valor de importancia; Fr = frecuencia relativa (%); Ar = abundancia relativa (%); Dr = dominancia relativa (%).

Con base en el IVI, se seleccionaron las especies de mayor peso ecológico de los tres bosques.

### Determinación de la fracción de carbono

Se seleccionaron 39 especies distribuidas de la siguiente manera: 23 en Pacurita, 15 en Salero y 1 en Unguía.

#### Recolección de muestras

Se obtuvo una muestra de 500 gr de las ramas de un individuo de cada especie, las cuales fueron forradas con papel periódico para enviarlas al laboratorio.

### Análisis de laboratorio

Se obtuvo la Fc presente en la biomasa aérea utilizando el método de calorimetría sugerido por la tesis de [Segura \(1997\)](#), que consistió en tres fases:

La fase 1 consistió en preparar todas las muestras para la obtención del porcentaje de materia seca (%M.S.), para lo cual se trituraron las muestras mediante un molino con una malla de 0.1 mm. Estas se colocaron en placas de Petri, donde se pesó 1 g de la muestra homogenizada. Las muestras se situaron en un horno al vacío hasta alcanzar 70 °C, a una presión de 100 mm Hg, por un lapso de 24 horas (PSH). Pasado ese tiempo, se procedió a calcular el porcentaje de materia seca a través de la siguiente fórmula:

$$\%MS = \left( \frac{PSH}{PS} \right) \times 100 \quad (11)$$

Donde: %MS= porcentaje de materia seca; PSH= peso seco al horno (g); PS= peso seco (g).

Se estandarizó la bomba calorimétrica de metal pesado  $W = 2404,96$ . Simultáneamente se insertó una muestra de 1 g en forma de pastilla (PM), y se colocaron 10 cm de hilo fino de platino, admitiendo oxígeno puro a presión (20 Atm). La muestra se sumergió con la bomba en dos (2) litros exactos de agua destilada, y se inició el proceso hasta conocer el poder calorífico.

El objetivo principal de la fase 2 fue conocer las conversiones y el cálculo de la fracción de carbono mediante la energía liberada por la muestra, donde se tomó como referencia la temperatura inicial (antes de la combustión). Aquí, cuando la temperatura llega a ser constante se quema la muestra por el calentamiento momentáneo del hilo fino de platino. Más tarde se anotó la temperatura final (después de la combustión) antes de que iniciara el descenso, se midió la cantidad de alambre de platino que se quemó, transformándola a su equivalente en calorías (cada centímetro de alambre consumido de la bomba equivale a 2.3 cal g<sup>-1</sup>) para determinar las calorías liberadas. Esto se hizo mediante la siguiente fórmula:

$$E = [(TF - TI) \times W - ((10 - E) \times 2,3)] / PM \quad (12)$$

Donde: E= energía liberada (cal.g<sup>-1</sup>); TF= temperatura final (°C); TI= temperatura inicial (°C); W= constante de la bomba calorimétrica; 10= longitud de alambre de platino (cm); E1= longitud de alambre consumido; PM= peso de la muestra (g).

En la fase 3 se calcularon las calorías y la Fc utilizando la metodología de [Hipkins \(1984\)](#). Las calorías producidas se pasaron a Julios por gramo (J.g<sup>-1</sup>), multiplicando por la constante 41 868 J. Acto seguido, los Julios por gramo se transformaron a moles de carbono, dividiendo por la cantidad de energía requerida por una planta de 4.8 x 10<sup>5</sup> J.mol<sup>-1</sup> para fijar las moléculas orgánicas un mol de carbono. Por último, los Julios se convirtieron a gramos de C, multiplicando el peso molecular del C (12 gr) para calcular la fracción de carbono fijado con la siguiente fórmula:

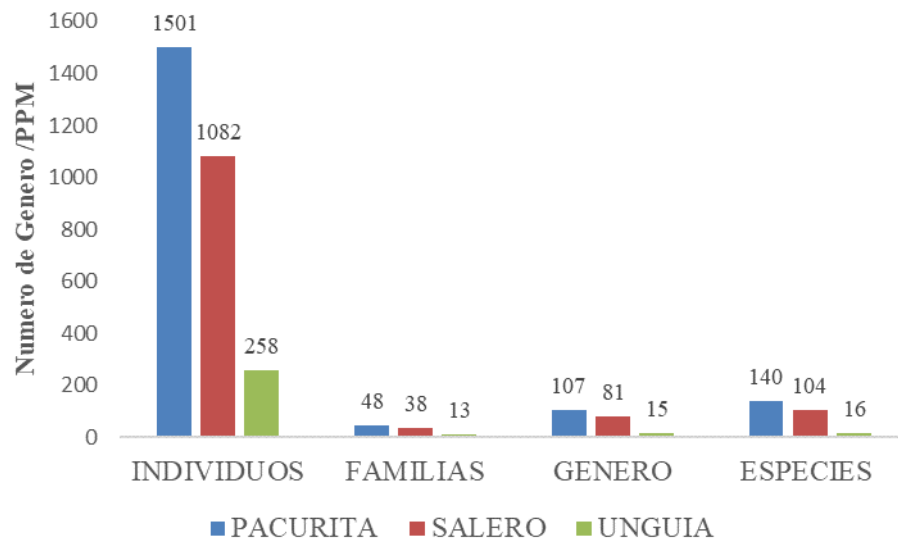
$$FC = (GC / PM) / MS(\%) \quad (13)$$

Donde: Fc= fracción de carbono; GC= gramos de carbono (g); PM peso de la muestra (g); MS (%)= porcentaje de materia seca.

## RESULTADOS

### Composición florística

En las tres áreas estudiadas se identificaron un total de 2841 individuos en Pacurita (1501), Salero (1082) y Unguía (258). Estos individuos estaban distribuidos en 260 especies, pertenecientes a 207 géneros y 99 familias. Se observó una mayor riqueza florística en Pacurita y Salero. Esta diversidad resalta el estado de conservación del bosque primario, pues estas zonas registraron los valores más altos en cuanto a familias, géneros y especies, a diferencia de Unguía, donde se obtuvieron los valores más bajos. Cabe mencionar que esta última es un ecosistema dominado por la especie *P. copaiifera*. Se logró evidenciar la abundancia de las familias *Aracaceae* en Salero y Pacurita, *Fabaceae* en Unguía y Pacurita, y *Lecythidaceae* en Unguía y Salero ([Figura 1](#)).



**Figura 1.** Composición florística de los bosques de Pacurita, Salero y Unguia en Chocó, Colombia

En las localidades de Pacurita y Salero, las especies presentaron IVI de 5.3 a 28.6. Sin embargo, en el corregimiento de Puerto, la especie seleccionada (*P. copaifera*) presentó un IVI de 202.6. En el corregimiento de Pacurita, las especies más representativas fueron *P. pendula* (28.6), *Ambelania Sp* (23.4) y *Boehmeria nivea* (19.7). En el corregimiento de Salero, las especies más representativas fueron *C. argenteu*, *E. integrifoliam* y *Otoba gardoniifolia*, con IVI de 26.0, 22.1 y 13.4 respectivamente. *Inga edulis* y *Wettinia quinaria* fueron las únicas especies presentes en dos sitios diferentes (Pacurita y Salero) (Tabla 1).

### Fracción de carbono

Se obtuvo una Fc promedio de 0.46, con un rango de 0.43-0.48.

En el corregimiento de Pacurita, las 23 especies con mayor peso ecológico presentes en las tres PPM presentaron una Fc promedio de 0.46, con un rango de 0.44-0.47. Esto, a fuerza de algunas especies que presentaron los valores más altos, como la *E. integrifolia* y *C. webervaueri*, mientras que *B. nivea* presentó el valor más bajo (Figura 2).

De igual manera, en el corregimiento de Salero, las especies presentaron una Fc promedio de 0.46. Es conveniente acotar que en esta área se encontraron las especies con mayor Fc (0.48 para *M. gleasoniana*) y menor Fc (0.43 para *W. quinaria*) de todas las zonas estudiadas (Figura 2).

En la localidad de Puerto. La especie *P. copaifera* presentó una Fc igual al promedio de los bosques de los corregimientos de Pacurita y Salero (0.46).

## DISCUSIÓN

### Composición florística

Las tres zonas de estudio reportan en promedio 460 individuos/ha, distribuidos en 260 especies, 207 géneros y 99 familias, señalando una variación a nivel florístico y de diversidad en los bosques tropicales húmedos de los municipios de Quibdó, Unión Panamericana y Unguía, datos que son superiores a los hallados por Mena-Mosquera et al. (2019), quienes realizaron un estudio de composición florística en el bosque

**Tabla 1.** Especies de mayor peso ecológico de los bosques húmedos tropicales de Pacurita, Salero y Unguía en Chocó, Colombia

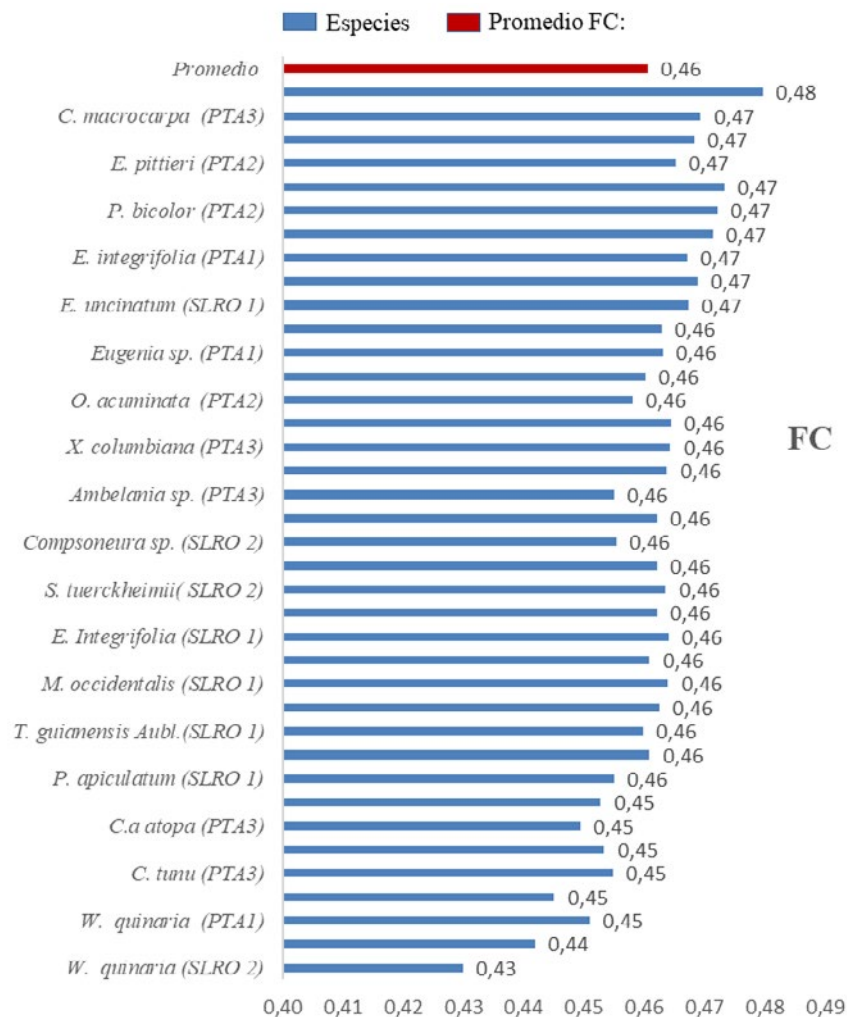
Zona	Especie	PPM	IVI	Zona	Especie	PPM	IVI	
Pacurita	<i>Perkia pendula</i> (Willd.) Walp	PTA3	28.6	Salero	<i>Chrysophyllum argenteum</i> Jacq	SLRO 1	26.0	
	<i>Ambelania</i> sp.	PTA3	23.4		<i>Eschweilera integrifolia</i> (Ruiz & Pav. ex Miers) R.Knuth	SLRO 1	22.1	
	<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaudich.	PTA3	19.7		<i>Otoba gardoniifolia</i> (A. DC.) A.H. Gentry	SLRO 1	13.4	
	<i>Eschweilera integrifolia</i> (Ruiz & Pav. ex Miers) R.Knuth	PTA1	17.4		<i>Mabea occidentalis</i> Benth.	SLRO 1	12.2	
	<i>Sloanea tuerckheimii</i> Donn.Sm.	PTA3	16.0		<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	SLRO 2	11.9	
	<i>Chysochlamys webervaueri</i> Engl.	PTA1	12.2		<i>Brosimum alicastrum</i> Sw	SLRO 1	11.7	
	<i>Couma macrocarpa</i> Barb.Rodr.	PTA3	12.0		<i>Sloanea tuerckheimii</i> Donn.Sm.	SLRO 1	11.1	
	<i>Inga edulis</i> Mart.	PTA2	11.6		<i>Tococa spadiciflora</i> Triana.	SLRO 2	10.6	
	<i>Xylopia columbiana</i> R.E. Fr.	PTA3	11.3		<i>Mouriri gleasoniana</i> Standl. ex Standl. & Steyerl.	SLRO 1	9.5	
	<i>Otoba acuminata</i> (Standl.) A.H. Gentry	PTA2	10.9		<i>Protium apiculatum</i> Swart	SLRO 2	9.4	
	<i>Wettinia quinaria</i> (O.F.Cook & Doyle) Burret	PTA1	10.5		<i>Compsoeura indet</i> (A.DC.) Warb.	SLRO 1	8.2	
	<i>Castilla tunu</i> Hemsl.	PTA3	9.3		<i>Wettinia quinaria</i> (O. F. Cook & Doyle) Burret	SLRO 1	7.6	
	<i>Cespedezia macrophylla</i> Seem	PTA3	9.1		<i>Qualea lineata</i> Stafleu.	SLRO 2	7.3	
	<i>Inga acreana</i> Harms	PTA3	8.8		<i>Erisma uncinatum</i> Poepp. ex Warm	SLRO 2	5.5	
	<i>Compsoeura atopa</i> (A.C.Sm.) A.C.Sm.	PTA3	8.6		<i>Inga edulis</i> Mart.	SLRO 1	5.3	
	<i>Protium veneralense</i> Cuatrec.	PTA2	8.5		Unguía	<i>Prioria copaífera</i> Griseb.	PTO	202.59
	<i>Phyllanthus anisobus</i> Müll. Arg.	PTA3	8.3					
	<i>Attalea ferruginea</i> Burret.	PTA2	8.0					
<i>Eschweilera pittieri</i> R. Knuth	(PTA2)	7.8						
<i>Micropholis</i> sp	PTA3	7.3						
<i>Pouroma bicolor</i> Mart.	PTA2	6.9						
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl	PTA1	6.1						
<i>Eugenia</i> sp.	PTA1	5.8						

pluvial tropical de la subcuenca del río Munguindó, Quibdó, Chocó. En el mismo contexto, se reportan datos inferiores en términos de género, especies y familias en los estudios de diversidad en bosques húmedos tropicales realizados por Rojas *et al.* (2008), Segura-Madrigal *et al.* (2020) y Escobar (2013).

Asimismo, este estudio indica valores más representativos que los reportados por Mosquera-Ramos *et al.* (2007), quienes determinaron la composición

florística del bosque húmedo tropical en los corregimientos de Pie de Pató, municipio del Alto Baudó, Chocó, Colombia. Estas diferencias pueden atribuirse a condiciones edáficas y climatológicas diferentes. Al comparar estas evidencias, se puede comprender que los ecosistemas de este estudio tienen una gran riqueza florística. A nivel de familias, la composición florística de los bosques estudiados es superior a la reportada por Henry y Bendlis (2017), quienes realizaron un análisis de la





**Figura 2.** Fracción de carbono de las especies de mayor peso ecológico de los bosques de Pacurita y Salero en Chocó, Colombia. El color rojo, representa el promedio de Fc para 38 especies en los diferentes ecosistemas.

estructura y composición florística del bosque húmedo tropical de la comunidad de San Jerónimo.

Las familias botánicas mejor representadas en términos de abundancia de individuos en las tres zonas de estudio fueron *Fabaceae*, *Aracaceae* y *Lecythidaceae*, demostrando una alta probabilidad de hiperdominancia de algunas de las familias que coinciden en la misma zona de influencia en bosques húmedos tropicales, de acuerdo con los resultados obtenidos por [Mosquera y Hurtado \(2014a\)](#) para la familia *Arecaceae*. [Bennett y Jiménez \(2018\)](#), en su descripción florística de un fragmento de bosque húmedo tropical en el área

de Margarita (corregimiento de Cristóbal, provincia de Colón, Panamá), reportan un índice de valor de importancia por familia IVF que coloca a *Fabaceae* como una de las más representativas. Esto, debido a que los ecosistemas de esta investigación muestran índices muy bajos de intervención antrópica. Asimismo, se encontró una alta similitud en la abundancia de las familias *Arecaceae* y *Fabaceae* en estudios de muestreo de diversidad arbórea ([Zarco et al., 2010](#); [Escobar, 2013a](#)).

Por otro lado, los resultados de esta investigación están por encima de los reportados por [Tirado \(2016\)](#) términos de familias, géneros y especies.

Tirado (2016) instaló una parcela permanente de 1 ha en el bosque muy húmedo tropical del Sector de Angostura, Río Santiago, donde determinó la composición florística y la estructura de individuos con DAP  $\geq$  10 cm. En cuanto a las familias, ambas investigaciones reportan *Fabaceae* y *Lecythidaceae* en las diferentes zonas estudiadas. En términos del índice de valor de importancia, los estudios coinciden en las especies *W. quinaria* y *P. veneralense* para el corregimiento de Pacurita y *B. alicastrum* para Salero. Esto se debe a que los ecosistemas y las áreas muestreadas presentan varias similitudes; al realizar un muestreo en un bosque húmedo tropical en el departamento del Chocó, existe una alta probabilidad de registrar un número importante de individuos de estas especies.

Las cuatro especies de mayor peso ecológico en los bosques estudiados (*B. utile*, *C. argenteum*, *P. veneralense* y *S. pittieri*) coinciden con las reportadas por Quinto y Álvarez (2010) y Mosquera et al. (2012) para el departamento del Chocó.

Álvarez et al. (2021), en su estudio sobre la composición florística, la estructura y la diversidad arbórea de un bosque amazónico en Perú, reportan cinco especies forestales, i.e., *P. pendula*, *T. guianensis*, *B. alicastrum*, *I. edulis*, *C. argenteum*, las cuales se encuentran dentro de las más representativas de esta investigación, que destaca los índices de valor de importancia de los individuos que presentaron los rangos más altos de Fc en los corregimientos de Parcurita y Salero.

Asimismo, Esteban et al. (2016), en su estudio de estructura y diversidad de tres asociaciones vegetales en el río San Juan, Chocó, Colombia, reportaron un alto índice de valor de importancia para las especies dominantes en tres fisiografías del Río San Juan en individuos con DAP > 10 cm. Entre las especies más comunes están *O. gardoniifolia*, *T. guianensis*, *O. acuminata*, *W. quinaria*, *C. atopa*, *E. pittieri* y *P. bicolor*. Esta riqueza de especies concuerda con los resultados de esta investigación para los corregimientos de Pacurita y Salero en árboles de terraza alta.

## Fracción de carbono

Los resultados indican una Fc promedio de 0.46 para las muestras de ramas de las especies presentes en bosques húmedos, con un rango de 0.43-0.48. Estos datos son superiores a los reportados por Montero y Kanninen (2002) para un bosque muy húmedo tropical de la zona sur de Costa Rica, donde las Fc para fustes, ramas y hojas fueron de 0.48, 0.43 y 0.42 respectivamente. En este contexto, los bosques de los municipios de Quibdó, Unión Panamericana y Unguía tienen un alto contenido de carbono en la biomasa aérea, datos que coinciden con la investigación de Fonseca et al. (2021), quienes reportan valores de Fc en ramas de 0.39 para *Gmelina arborea* en plantaciones forestales.

La Fc varía dependiendo de las especies y las condiciones climatológicas de los ecosistemas. Es por ello que conocer la Fc de especímenes forestales contribuye a la mitigación del cambio climático, generando bases para precisar la capacidad de absorción, almacenamiento y fijación de carbono de estos ecosistemas. De igual manera, esto permite generar información sobre las condiciones climatológicas particulares de cada región, en aras de determinar el carbono almacenado en bosques tropicales húmedos. Este estudio aplica una fracción moderna que se encuentra por debajo del rango establecido por el IPCC (1996, 2006), quienes recomiendan un valor de 0.5 para los bosques naturales. Al utilizar la fracción recomendada para los bosques húmedos tropicales, se estaría sobrestimando la cantidad de carbono que estos ecosistemas pueden almacenar, por lo cual esta investigación sugiere la aplicación de una Fc de 0.46, de acuerdo con las condiciones particulares en la región.

Esta investigación obtuvo resultados similares a los obtenidos por Valera y Carvajal (2014), quienes determinaron el contenido de carbono o fracción de seis especies con rangos de Fc de 0.42 a 0.46 en bosques de los parques nacionales de Caracas,

Venezuela. Esto difiere de la investigación realizada por Navarro (2011), que determinó la Fc por medio del peso específico para cuatro especies forestales en estadios sucesionales de bosques tropicales del corredor biológico Osa de Costa Rica. En dicho estudio, *Apeiba tibourbou* y *Tetrathylacium macrophyllum* se encuentran en los rangos de esta investigación, con valores de Fc de 0.40 y 0.48 respectivamente. Sin embargo, los otros individuos arrojaron resultados superiores a los de esta investigación, a saber: *Guatteria amplifolia* con 0.49 y *Hyeronima alchorneoides* con 0.51. Esto demuestra que las fracciones de carbono obtenidas con la metodología de poder calórico en este trabajo no se alejan de la media de 0.50 (o 50 %) de las cifras para biomasa, peso seco y FC propuestas por el IPCC (1996, 2006).

Por su parte, Ticona (2012) determinó que la Fc en cada componente de la vegetación arbustiva Añahuaya *Adesmia miraflorensis* Remy fue de 0.49 en las hojas, 0.52 en el tallo y 0.44 en la raíz, con un promedio de 0.48 en la suma de los reservorios, datos que son congruentes en los aportes de este estudio.

En su estudio, Ragland et al. (1991) reportaron la Fc de cinco individuos de Guayabo (0.48); Guamo, Lirio, Churimo y Zanca araña (0.47); y Palma meme (0.43). Estos resultados son similares a los obtenidos en este trabajo, y cabe aclarar que las variaciones observadas se deben a las condiciones ambientales, el crecimiento de los árboles y, en especial, la composición química que presenta cada una de las especies. En ese sentido, las causas de la variación de la Fc se deben al contenido de lignina y los extractos de cada una de las maderas. Por ejemplo, los lípidos, la lignina y las proteínas muestran concentraciones elevadas de carbono, mientras que los ácidos orgánicos y minerales contienen poco o nada de carbono.

Otros estudios, tales como los desarrollados por Catpo (2004) y Lam (2011), reportan índices de Fc entre 0.42 y 0.48, intervalo que abarca los valores hallados en el presente estudio. Sin embargo, Lammlom y Savidge (2003) encontraron

variaciones de Fc en especies forestales en un rango más amplio, que va de 0.47 a 0.59, asumiendo que cada tipo de madera tiende a ser química y anatómicamente única, por lo que es razonable que cada especie pueda tener una Fc característica. Esto puede estar influenciado más por la edad del árbol que por el diámetro del mismo.

De acuerdo con el método de calorimetría aplicado en esta investigación, los resultados de la fracción de carbono promedio están muy cerca a los resultados de Uceda (2015), quien aplicó el mismo método para 20 especies forestales de la Amazonía peruana, hallando un poder calorífico de 0.47 por la densidad promedio de todos los individuos, lo cual indica un alto nivel de similitud con las especies de los corregimientos de Salero y Pacurita.

Por otro lado, la investigación de Curo (2019), quien aplicó esta misma metodología de poder calorífico para determinar fracción aérea de bosques de relictos de *Polylepis* mediante la materia seca y la biomasa aérea seca de la especie, encontró Fc por individuo entre 0.42 y 0.44, con un valor promedio para la especie de 0.42, dato que está por debajo de los resultados de esta investigación.

## Conclusiones

Los ecosistemas estudiados presentaron comportamientos diferentes en cuanto su estructura florística en términos de familias, géneros y especies, a pesar que se encuentran en condiciones climáticas similares. Por otro lado, estos ecosistemas cuentan con gran diversidad, representada por un coeficiente de mezcla de 11/1, donde se registró una sola especie por cada 11 árboles inventariados. Las especies con mayor peso ecológico en las tres zonas de estudio fueron *P. pendula*, *B. alicastrum*, *C. argenteu*, *E. integrifolium* y *P. copaífera*. Otro rasgo importante es que las 39 especies con mayor IVI alcanzaron un promedio de fracción de carbono de 0.46 gr.cm<sup>3</sup>, dato que se constituye en una herramienta de utilidad para estimaciones más

precisas y confiables de almacenamiento y fijación del carbono en bosques húmedos tropicales, como también para la determinación de emisiones evitadas de CO<sub>2</sub> causa de la deforestación y degradación forestal.

## AGRADECIMIENTOS

Al proyecto “Desarrollo de herramientas de gestión para el posicionamiento de la biodiversidad como fuente de bienestar social y ambiental en el Chocó, occidente colombiano (Biochocó), línea 2: bases para el diseño e implementación de proyectos REDD en Bosques húmedos tropicales; al Grupo de Investigación Agroforestería del Trópico Húmedo Chocoano (AGROTROPICO); a los Consejos Comunitarios Locales de Pacurita, Salero y Puerto, municipios de Quibdó, Unión Panamericana y Unguía respectivamente; y a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Tecnológica del Chocó por financiamiento parcial del primer autor.

## CONTRIBUCIÓN POR AUTOR

Y. J. I. R. escribió el primer borrador del manuscrito. V. E. M. M. formuló y gestionó el proyecto del que se originó el manuscrito y revisó y retroalimentó los informes de investigación y los borradores. W. A. P. B. llevó a cabo la investigación en terreno.

## REFERENCIAS

- Alcaldía de Unguía-Chocó** (2015). *Esquema de ordenamiento territorial diagnostico administrativo de municipio de Unguía (EOT)*. Alcaldía de Unguía-Chocó.
- Alcaldía de Unión Panamericana-Chocó** (2015). *Plan municipal de gestión del riesgo de desastres municipio de Unión Panamericana (PMGRD)*. Alcaldía de Unión Panamericana-Chocó.
- Alcaldía de Quibdó-Chocó** (2005). *Diagnóstico de estructura general del territorio del municipio de Quibdó (POT)*. Alcaldía de Quibdó-Chocó.
- Álvarez, E., Jaramillo, G., Cogollo, C., Martínez, H., Rojas, E., & Méndez, F.** (2016). Structure and diversity of the three plant associations in the San Juan river delta, Chocó, Colombia. *Revista Árvore*, 40(5), 833-843.  
<http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000500007>
- Álvarez, C., Manrique, S., Vela, M., Cardoso, J., Callo, J., Bravo, P., Castañeda, I., & Álvarez, J.** (2021). Composición florística, estructura y diversidad arbórea de un bosque amazónico en Perú. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 73-82.  
<https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.009>
- Bennett, A., & Jiménez, J.** (2018). Descripción florística en un fragmento de bosque húmedo tropical en el área de margarita corregimiento de Cristóbal, provincia de Colón, Panamá. *Revista Saberes APUDEP*, 1(1), 9.  
[https://revistas.up.ac.pa/index.php/saberes\\_apudep/article/view/101](https://revistas.up.ac.pa/index.php/saberes_apudep/article/view/101)
- Casas, L., González, D., Beatriz, S., Mosquera, R., & Álvarez, E.** (2018). Diversidad y estructura de bosques contrastantes en la región del Chocó-Darién, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), 12.  
<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2328/3881>
- Catpo, J.** (2004). *Determinación de la ecuación alométrica de Pinus patula y estimación del contenido de carbono en su biomasa arbórea en Porcón, Cajamarca, Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú].
- Curu, Y. A.** (2019). *Estimación del stock de carbono fijado por la biomasa vegetal de los bosques relictos de polylepis en la microcuenca potaca del parque nacional huascarán – ancash* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo].
- Dryw, J., & Hara, K.** (2018). Variación de la fracción de carbono, la densidad y la densidad de carbono en los tejidos de las coníferas. *Revista Forests*, 9, 430.  
<https://doi.org/10.3390/f9070430>

- Duque, A.** (2020). Proyectos sectoriales de mitigación de GEI sector AFOLU, Directrices FOLU Directrices para la selección de ecuaciones, parámetros y datos para calcular las remociones de GEI de actividades forestales. *PROCLIMA*, 2, 1-43.  
<https://proclima.net.co/wp-content/uploads/2020/07/directrices-seleccion-ecuaciones.pdf>
- Escobar, N. F.** (2013). Diagnóstico de la composición florística Asociada a actividades agropecuarias en el cerro Quinini (Colombia). *Revista Ciencias Agropecuarias*, 1(1), 10-28.  
<https://doi.org/10.36436/24223484.181>
- Fonseca, W., Murillo, R., Ávila, C., Rojas, M., & Spino-la, R.** (2021). Modelos de biomasa y carbono para árboles de *Gmelina arbolea* en plantaciones. *Revista Ciencias Ambientales*, 55(1), 143-159.  
<http://doi.org/10.15359/rca.55-1.7>
- Tirado, M. F.** (2016). Composición florística y estructura de 1 hectárea de bosque en Angostura, Río Santiago, Esmeraldas. *Pontificia Universidad Católica del Ecuador*, 6(5), 1-26
- Fabián, M.** (2016). Composición florística y estructura de florística de bosques secundarios en Risaralda. *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza*, 5(2), 2-36.  
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/12238/Composici%C3%B3n%20flor%C3%ADstica%20y%20estructura%20de%201%20Hect%C3%A1rea%20de%20bosque%20en%20Angostura.pdf?sequence=1>
- Galeano, G.** (2002). Estructura, riqueza y composición de plantas leñosas en el Golfo de Tribugá, Chocó, Colombia. *Caldasia*, 23(1), 213-236.  
<http://www.jstor.org/stable/23641823>
- Henry, P. A., Bendlis L. K., & Noé, G.** (2017). Estructura y composición florística del Bosque Húmedo Tropical de la comunidad de San Jerónimo. *Revista Universitaria del Caribe*, 19(2), 89-101.  
<http://dx.doi.org/10.5377/ruc.v19i2.6474>
- IPCC** (1996). *Greenhouse gas inventory reference manual*. IPCC.
- IPCC** (2006). *Forest lands. Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines for national greenhouse gas inventories*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- Lam, R.** (2011). *Estimación de la cantidad de carbono capturado por el fuste del (Lexopterigium huasango Sprunce) en el bosque seco de Sullana, Piura, Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].  
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/1645>
- Lammlom, S. H., & Savidge, R. A.** (2003). A reassessment of carbon content in wood: Variation within and between 41 North American species. *Biomass and Bioenergy*, 25, 381-388.  
[https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(03\)00033-3](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00033-3)
- Manzanilla, G., Mata, G., Treviño, E., Aguirre, O., Rodríguez, E., & Yerena, J.** (2020). Diversidad, estructura y composición florística de bosques templados del sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(61), 1-29.  
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.703>
- Mena-Mosquera, V. E., Andrade C., H. J., & Torres-Torres, J. J.** (2019). 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>
- Montero, M., & Kanninen, M.** (2002). Biomasa y carbono en plantaciones de *Terminalia amazonia* en la zona Sur de Costa Rica. *Resvista Forestal de Centroamérica*, 39(8), 50-55.  
<https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/18799>
- Mosquera-Ramos, L. J., Robledo-Murillo, D., & Aspri-lla-Palacios, A.** (2007). Diversidad florística de dos zonas de bosque tropical húmedo en el municipio de Alto Baudó, Chocó-Colombia. *Revista Biológica Colombiana*, 12, 75-90.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319028602006>
- Navarro, M. C.** (2011). *Determinación de la fracción de carbono y peso específico básico de cuatro especies forestales en diferentes estadios sucesionales del Corredor Biológico Osa, Costa Rica* [Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico de Costa Rica].  
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/5749>

- Quinto, H., & Álvarez, D.** (2010). Estructura de la vegetación arbórea aledaña a las líneas de interconexión de energía eléctrica en Salero, Chocó. *Investigación Biodiversidad y Desarrollo*, 29(2), 155-65.  
[https://revistas.utch.edu.co/index.php/Bioneotropical/article/view/197/html\\_2](https://revistas.utch.edu.co/index.php/Bioneotropical/article/view/197/html_2)
- Quinto, H., & Moreno, F.** (2014). Diversidad florística arbórea y su relación con el suelo en un bosque pluvial tropical del chocó biogeográfico. *Revista Árvore*, 38(6), 1123-1132.  
<https://doi.org/10.1590/s0100-67622014000600017>
- Ríos, F., & Triana, M.** (2018). Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea de un bosque húmedo tropical en Paimadó, Chocó. *Revista Ingenierías USBMed*, 9(1), 18-29.  
<https://doi.org/10.21500/20275846.3180>
- Rojas, A., Suárez, J., Guauque, J., & Rodríguez, E.** (2002). *Guía técnica para la ordenación y manejo sostenible de los bosques naturales*. Gente Nueva.
- Rojas, W., Estvez, J., & Rocancio, N.** (2008). Estructura y composición florística de remanentes de bosque húmedo tropical en el oriente de Caldas, Colombia. *Revista Historia Natural*, 12(1), 24-27.  
<https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/boletincientifico/article/download/5347/4827>
- Sánchez, D.F.** (2016). *Evaluación del carbono almacenado en la biomasa, necromasa y carbono orgánico del suelo de tres diferentes hábitats en la Península de Osa, Costa Rica* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Costa Rica].  
[https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/13491/Tesis\\_Dami%C3%A1n\\_Felipe\\_S%C3%A1nchez\\_Rodr%C3%ADguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/13491/Tesis_Dami%C3%A1n_Felipe_S%C3%A1nchez_Rodr%C3%ADguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Segura, M. A.** (1997). *Almacenamiento y fijación de carbono en Quercus costaricensis, en un bosque de altura en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Costa Rica].  
<http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A11100e/A11100e.pdf>
- Segura, M., Andrade, H., & Sierra, E.** (2020). Diversidad florística y captura de carbono en robledales y pasturas con árboles en Santa Isabel, Tolima, Colombia. *Revista Biología Tropical*, 68(2), 383-393.  
<https://doi.org/10.15517/rbt.v68i2.37579>
- Sione, S., Ledesma, S., Rosenberger, L., Oszust, J., Carrp, Ignacio., Wilson, M., Andrade, H., & Sasal, M.** (2019). Fracción de carbono en la biomasa de *Prosopis Affinis Sprengel* (Fabaceae) en un bosque nativo del Espinal (Argentina). *Revista de Agronomía y Ambiente*, 39(2), 6-15.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12123/5744>
- Ticona, R.** (2012). *Captura de Carbono (CO<sub>2</sub>) por la vegetación arbustiva Añahuaya (Adesmia miraflorensis Remy) CIP ILLPA-Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].  
<https://1library.co/document/q5m0k8gy-captura-dioxido-carbono-chillihua-festuca-dolichophylla-pastizales-illpa.html>
- Uceda, M. E.** (2015). Determinación del poder calorífico de 20 especies forestales de la Amazonia peruana. *Revista Forestal del Perú*, 12(1-2), 1-15.  
[http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos\\_RFP/Vol12\\_no1-2\\_84\\_\(16\)/vol12\\_art8.pdf](http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol12_no1-2_84_(16)/vol12_art8.pdf)
- Valera, V., & Carvajal, N.** (2014). Valoración económica del secuestro de carbono en un sector del Parque Nacional Waraira Repano. *Revista Universidad Nacional de los estados Unidos de Colombia*, 14(2), 241-264.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4994785>
- Zarco, V., Hernández, J., Pérez, G., & Castillo, O.** (2010). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Revista Uniciencia*, 26(1), 1-17.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15416251001>

