

Evaluación de la capacidad para almacenar carbono de un bosque secundario del municipio de Florencia, Caquetá

Diana Marcela Quiroga
Ismael Dussán Huaca
Junier Eduardo Torres Figueroa
Dolma Constanza Garzón Núñez
Lucerina Artunduaga Pimentel

Cómo citar: Quiroga, D., Dussán, I., Torres, J., Garzón, D. y Artunduaga, L. (2024). Evaluación de la capacidad para almacenar carbono de un bosque secundario del municipio de Florencia, Caquetá. En Méndez, N., Munar, A., (Comp.). *Biodiversidad y servicios ecosistémicos de bosques secundarios andino-amazónicos*. (107-120). Sello Editorial UNAD. <https://doi.org/10.22490/UNAD.9789586519878>

Resumen

El departamento del Caquetá se ha convertido en los últimos años en el mayor deforestador del bosque primario en Colombia. Esta región ha experimentado una deforestación particularmente grave en las últimas décadas, y sus bosques destruidos representan una pérdida significativa de biodiversidad y servicios ecosistémicos.

La pérdida del bosque primario representa el retorno a la atmósfera de altas cantidades de carbono, lo que acrecienta el problema del calentamiento global y la pérdida de los servicios ecosistémicos que brinda la biodiversidad de especies animales y vegetales. Sin embargo, con el tiempo, algunas de estas áreas se convierten en bosques secundarios, por regeneración natural. En consecuencia, el propósito de esta investigación es evaluar la capacidad de fijación de carbono de estos bosques secundarios.

Para realizar las determinaciones se utilizaron métodos no destructivos, como las ecuaciones alométricas que, a partir de variables dasométricas, calculan el carbono almacenado por los bosques en pie. Primero se calculó la biomasa aérea, mediante el modelo alométrico $\ln[BA] = a + B1 \ln(D)$, que presentó un total de 71,577 t/ha. Por su parte, el carbono almacenado en el área de estudio fue de 35,798 t/ha, en promedio, calculado mediante la fórmula $CA = BA * 0,5$. También, se llegó a una estimación promedio de carbono equivalente de 131,26 (t CO₂/ha), hallada con la fórmula $CO_{2eq} = CA * 3.67$. Las cantidades obtenidas corresponden a un bosque joven en proceso de maduración.

La evaluación de la capacidad de fijación de carbono de los bosques secundarios en el departamento del Caquetá es esencial para abordar el cambio climático, conservar la biodiversidad, mantener servicios ecosistémicos y promover la recuperación de

áreas previamente degradadas. La restauración y conservación de estos bosques desempeñan un papel crítico en la gestión ambiental y la sostenibilidad en la región, del país y a nivel global.

Palabras clave: deforestación, calentamiento global, bosque secundario, servicios ecosistémicos.

Abstract

The department of Caquetá has become the largest deforester of primary forest in Colombia in recent years. This region has experienced a particularly severe deforestation of its destroyed forests in recent decades. This represents a significant loss of biodiversity and ecosystem services.

The loss of primary forest represents the return of high amounts of carbon to the atmosphere, increasing the problem of global warming and the loss of ecosystem services provided by the biodiversity of plant and animal species. Over time, some of these areas become secondary forests by natural regeneration.

Thus, the purpose of this research is to evaluate the carbon fixation capacity of these secondary forests. To make the determinations, non-destructive methods were used, such as allometric equations, which from dasometric variables calculate the carbon stored by standing forests. First, the aerial biomass was calculated using the allometric model $\ln[BA] = a + B1 \ln(D)$ presenting a total of 71,577 t/ha of aerial biomass, the carbon stored in the study area was an average of 35,798 t/ha using the formula $CA = BA * 0.5$ and an average estimate of carbon equivalent of 131,26 (t CO₂/ha) found with the formula $CO_{2eq} = CA * 3,67$. The amounts obtained correspond to a young forest in the process of maturing. Assessing the carbon sequestration capacity of secondary forests in the department of Caquetá is essential to address climate change, conserve biodiversity, maintain ecosystem services and promote the recovery of previously degraded areas. The restoration and conservation of these forests play a critical role in environmental management and sustainability in the region, the country and globally.

Keywords: Deforestation, global warming, secondary forest, ecosystem services.

Introducción

La deforestación ha sido una práctica común durante siglos y ha tenido significativos impactos en el medio ambiente, cambio climático, calentamiento global y efecto invernadero. Estas actividades han provocado la pérdida de grandes superficies de

bosques, lo que ha impactado de manera importante el medio ambiente. La deforestación es una de las principales causas del cambio climático, ya que libera grandes cantidades de dióxido de carbono. Los árboles absorben dióxido de carbono durante la fotosíntesis y, cuando se talan, el carbono almacenado en ellos se libera a la atmósfera. Este proceso contribuye al aumento de los gases de efecto invernadero, que atrapan el calor en la atmósfera terrestre y provocan el calentamiento global.

La deforestación también tiene un impacto significativo en la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Los bosques albergan una amplia gama de especies de plantas y animales, por lo que la pérdida de estos hábitats puede provocar la extinción de estas especies. La deforestación también afecta la prestación de servicios ecosistémicos como el almacenamiento de carbono, la regulación del agua y la conservación del suelo. La pérdida de estos servicios puede tener impactos de gran alcance en el bienestar humano, incluidas la seguridad alimentaria y la disponibilidad de agua.

Ahora bien, el calentamiento global asociado (por supuesto) a la deforestación, cambio climático, etc. es el aumento gradual de la temperatura media de la superficie terrestre, causado principalmente por el incremento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. El efecto invernadero es el proceso mediante el cual estos gases atrapan el calor en la atmósfera terrestre y se provoca un aumento de la temperatura. Los principales gases de efecto invernadero son el dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso. Todos ellos se liberan a través de actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, la deforestación y la agricultura. El impacto del calentamiento global en los patrones climáticos, el aumento del nivel del mar y los desastres naturales es significativo; el incremento de la temperatura ha provocado cambios en los patrones de precipitación, lo que ha derivado en sequías, inundaciones y tormentas más frecuentes y graves.

La deforestación es un problema ambiental grave que claramente también afecta a Colombia y, de manera significativa, al departamento del Caquetá. En este departamento la deforestación ha sido especialmente preocupante: esta región, ubicada en la Amazonía colombiana, alberga una gran cantidad de bosques tropicales que son vitales para el equilibrio ambiental y la conservación de especies endémicas. Sin embargo, debido a la expansión de la agricultura, la minería ilegal y la tala indiscriminada, estos bosques se han visto amenazados.

Según cifras de Global Forest Watch (2022), en 2010, el departamento de Caquetá tenía 7,90 Mha de bosque natural, con una extensión del 88 % de su superficie. En 2022, perdió 42,8 kha de bosque natural, equivalente a 28,3 Mt de emisiones de CO₂. El mismo estudio indica que las dos principales regiones causantes del 74 % de toda la pérdida de cobertura arbórea entre 2001 y 2022 son: San Vicente del Caguán, región que en particular experimentó la mayor pérdida de cobertura arbórea, con un total de 338 000 hectáreas; y Cartagena del Chaira, con 232 000 hectáreas afectadas.

La deforestación en el Caquetá no solo tiene consecuencias ambientales, sino también sociales y económicas. Muchas comunidades indígenas y campesinas dependen de recursos naturales de los bosques —como la caza, la pesca y la recolección de frutas y plantas medicinales— para su subsistencia. Por eso, la pérdida de estos recursos afecta directamente su calidad de vida y su cultura.

En consecuencia, es fundamental tomar medidas urgentes para frenar la deforestación en Colombia y en el departamento del Caquetá. Esto incluye fortalecer la vigilancia y el control de actividades ilegales, promover prácticas sostenibles en la agricultura y la ganadería, y fomentar la conservación de los bosques, a través de programas de reforestación y educación ambiental. Por lo tanto, es crucial que se tomen medidas para proteger los bosques restantes y promover prácticas más sostenibles para garantizar un futuro más saludable para todos.

Los árboles son un importante recurso para el almacenamiento de carbono, por lo que su conservación y restauración es fundamental para la mitigación del cambio climático (United States Environmental Protection Agency, 2021). Los programas de reforestación y conservación de bosques pueden ayudar a aumentar el número de árboles y, por lo tanto, incrementar la cantidad de carbono almacenado en los bosques. La medición del stock de carbono en la vegetación es clave para evaluar su importancia como sumidero de carbono. Existen protocolos y guías disponibles para llevar a cabo esta tarea de manera precisa y confiable (Rügnitz Tito *et al.*, 2009).

En razón a lo anterior, el objetivo de esta investigación es evaluar la capacidad de fijación de carbono de los mencionados bosques secundarios, a través de métodos no destructivos, como las ecuaciones alométricas. Estas, a partir de variables dasométricas, calculan el carbono almacenado por los bosques en pie.

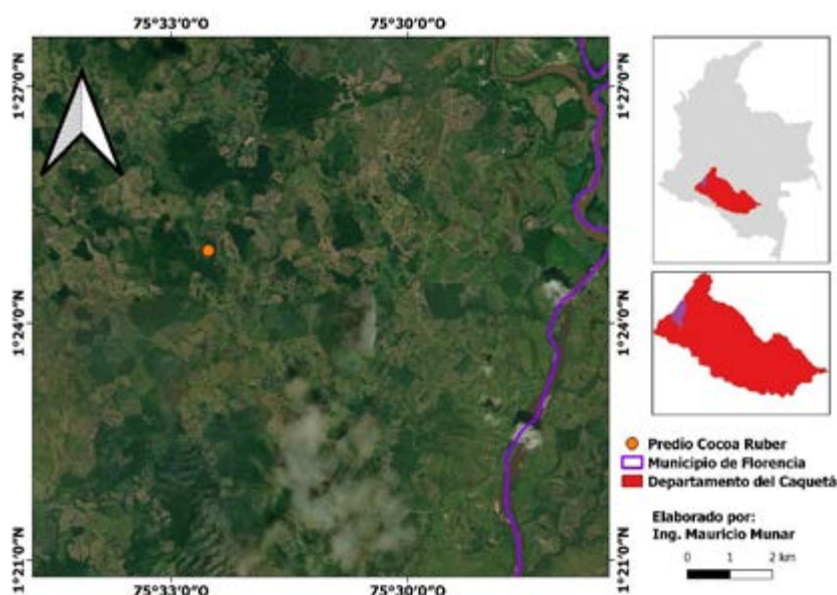
Materiales y métodos

Ubicación del área de estudio

El proyecto se llevó a cabo en el predio Cocoa Ruber, situado en la vereda Germania, dentro del municipio de Florencia, en el departamento del Caquetá, Colombia. Las coordenadas geográficas del lugar son latitud 1.415326° y longitud -75.542165°. La zona presenta una temperatura promedio de 26,1 °C, una humedad promedio del 70 % y una elevación de 238 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Además, la zona experimenta precipitaciones promedio anuales de 3700 mm. Según las condiciones climáticas descritas, el área de estudio se clasifica como un «bosque tropical húmedo»

(bh-t), de acuerdo con la leyenda de estratificación utilizada (IDEAM, 2005; citado por Phillips *et al.*, 2011, p. 25). Esta información proporciona un contexto importante sobre las condiciones ambientales y geográficas en las que se realizó el proyecto en la región Amazónica colombiana.

Figura 1. Localización del área de estudio



Fuente: Munar (2023)

La parcela en estudio corresponde a un bosque secundario de aproximadamente 25 años. La PMPC está conformada por 5 cuadrantes (A, B, C, D, y E), cada uno de 20 m x 100 m; es decir, 2000 m². A su vez, cada cuadrante se ha dividido en 5 cuadros de 20 m cada uno, para facilitar el conteo, marcación e identificación de cada individuo encontrado o presente.

Según Garzón y Torres (2022), el inventario forestal de la parcela de monitoreo permanente ubicada en el predio Cocoa Ruber fue realizado por estudiantes y dos docentes de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), además de un experto en reconocimiento de especies arbóreas y el apoyo del laboratorio de la Universidad de la Amazonia para el reconocimiento de algunos árboles no identificados en la zona de estudio.

Para hallar la proporcionalidad de cada variable, se realizó una operación matemática conocida como *regla de tres simple*: donde b=variable (BA, CA y CO₂eq), c=edad bosque Cocoa Ruber (25 años) y c=edad bosque JBC (30 años).

Métodos alométricos no destructivos

Los métodos alométricos son una herramienta útil y comúnmente empleada para estimar el carbono almacenado en la biomasa aérea de la vegetación en Colombia. Existen diversas ecuaciones disponibles para diferentes tipos de bosque y vegetación; no obstante, es importante utilizarlos con precaución y complementarlos con otras metodologías, para obtener estimaciones más precisas y completas del stock de carbono en los bosques y otros ecosistemas. Estos métodos consisten en medir algunas características de los árboles (como el diámetro a la altura del pecho, la altura total o la densidad de la madera) y, a partir de estas mediciones, desarrollar ecuaciones que permitan estimar la biomasa aérea total y (por ende) el carbono almacenado.

En Colombia se han desarrollado diversas ecuaciones alométricas para diferentes tipos de bosques y vegetación, como los bosques andinos, la selva amazónica, los sistemas silvopastoriles y otros ecosistemas. Algunas de estas ecuaciones han sido desarrolladas por Albarracín *et al.* (2019), y están disponibles en diferentes publicaciones y bases de datos. Es importante tener en cuenta que los métodos alométricos tienen limitaciones, ya que pueden presentar cierta variabilidad en las estimaciones y pueden no ser aplicables para todos los tipos de bosques y vegetación. Por lo tanto, es importante utilizarlos con precaución y complementarlos con otras metodologías de medición del carbono.

De acuerdo con Fonseca *et al.* (2013; citado por Garzón y Torres, 2022), los métodos alométricos más empleados son el Coeficiente de determinación (R^2) y Coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado). Estos demuestran que, cuando el valor de R^2 y R^2 ajustado sea más cercano a uno ($R^2=1$; R^2 ajustado=1), el valor del modelo es más confiable.

Variables de respuesta

- Estimación biomasa aérea

Para la estimar la biomasa aérea de la PMPC se utilizaron dos modelos alométricos adaptados para bosques colombianos reportados en el estudio de Álvarez *et al.* (2011). Los modelos fueron tomados y ajustados del trabajo de Álvarez *et al.* (2011). El primero se describe en la siguiente ecuación:

$$\ln[BA] = a + B1 \ln(D)$$

Donde, (BA) corresponde a la biomasa aérea, expresada en kg ; (a) es una constante equivalente a -1,5442 para bosque húmedo tropical; ($B1$) es una constante equivalente a 2,37 para bosque húmedo tropical; y (D) es el diámetro del árbol, a una altura de 1,30 m, expresada en cm .

La segunda ecuación se describe de la siguiente manera:

$$\ln[BA] = a + B1 \ln(D^2 H \rho)$$

En esta ecuación, (*BA*) corresponde a la biomasa aérea, expresada en *kg*; (*a*) es una constante equivalente a -2,218 para bosque húmedo tropical; (*B1*) es una constante equivalente a 0,932 para bosque húmedo tropical; (*D*) es el diámetro del árbol, a una altura de 1,30 m, expresada en *cm*; *H* es la altura del árbol, preferiblemente de fuste, expresada en *cm*; y (*ρ*) es la densidad de la madera de la especie, expresada en *g/cm³*.

El valor de la densidad para árbol vivo será de 0,632 *g/cm³*; este es el dato usado en áreas tropicales de alta diversidad de especies (Chave *et al.*, 2009).

- **Estimación del carbón almacenado**

Para estimar el carbono almacenado en la biomasa aérea de las parcelas se asume que este corresponde a un porcentaje de peso de la biomasa. En varios de los estudios se tolera el valor del 50%; es decir que el carbón secuestrado por la biomasa corresponde al 50% de su peso total (Phillips *et al.*, 2011, pp. 52–57). La ecuación para determinar la estimación de CO₂ es la siguiente:

$$CA = BA * 0,5$$

Donde, (*CA*) es el carbón almacenado, estimado en *kg* y (*BA*) es la biomasa aérea calculada en *kg*.

- **Cálculo de CO₂ equivalente**

Para calcular el dióxido de carbono equivalente, y así determinar el grado potencial de calentamiento global del planeta, es necesario tomar la cantidad de carbono almacenado convertido en toneladas multiplicado por 3,67; resultado de dividir el peso atómico de CO₂ (44) sobre el peso atómico del C (12) (IPPC, 2003-2006; citado por Díaz, 2020, pp. 20-21). Así, CO₂eq = CA*3,67. El carbón almacenado estimado en toneladas es CA en kg, y 3,67 es el factor multiplicador.

- **Cálculo de la tasa de fijación de carbono (TFC)**

Para hallar la TFC se empleará la siguiente fórmula (Torres-Torres, Mena-Mosquera & Álvarez-Dávila, 2017):

$$TFC = \frac{CT}{NA}$$

TFC: Tasa de fijación de carbono, *CT*= carbono total almacenado y *NA*= número de años o edad del bosque.

Resultados y discusión

Cálculo de la biomasa e inventario forestal

El resultado de la recolección de la información fue de 580 individuos con DAP > 10 cm en los cinco cuadrantes de la PMPC.

Figura 2. Toma de datos en la Parcela Permanente de Monitoreo de Carbono PMPC, predio Cocoa Ruber, municipio de Florencia, Caquetá



Fuente: Garzón y Torres (2022)

Selección y aplicación de los modelos alométricos

Para la presente investigación se propusieron dos modelos alométricos, los cuales se aplicaron para encontrar el más adecuado para la presentación de la información y de los resultados.

Tabla 1. Modelos alométricos propuestos

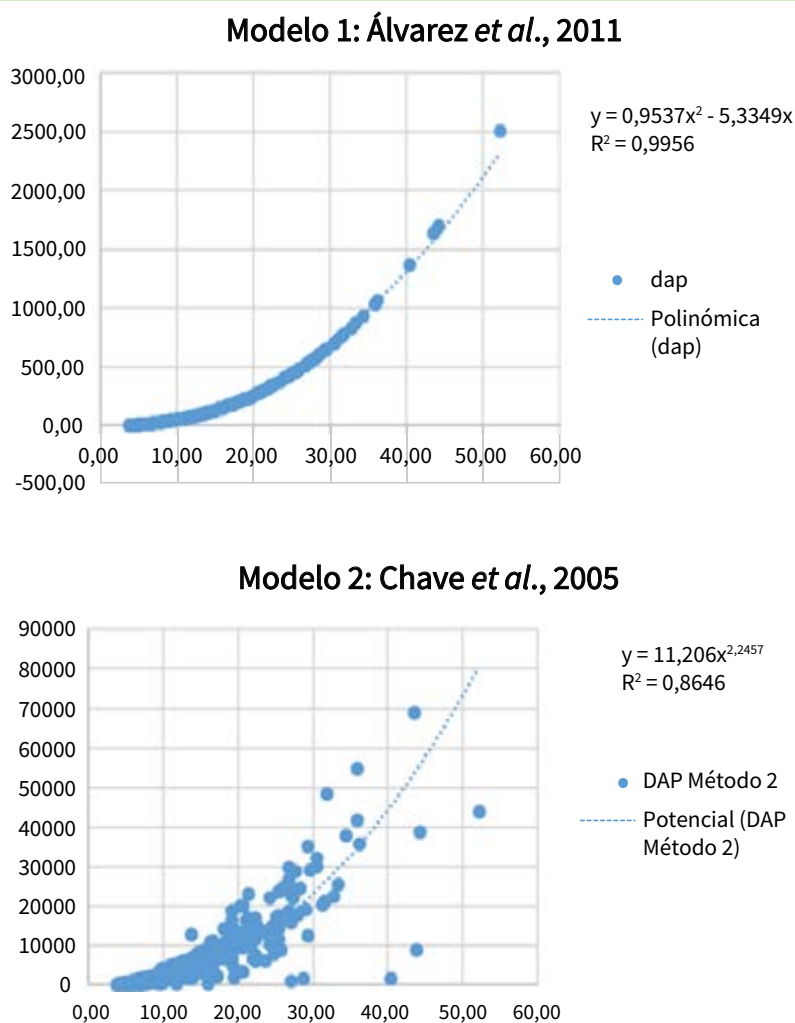
Ecuación	Tipo de bosque	Fuente
$\ln[BA]=a+B1 \ln(D)$	Bosque tropical	Álvarez <i>et al.</i> (2011), IDEAM, (2011); Phillips <i>et al.</i> (2011), IDEAM, (2011).
$\ln[BA]=a+B1 \ln(D2Hp)$	Bosque tropical	Álvarez <i>et al.</i> (2011), IDEAM, (2011); Phillips <i>et al.</i> (2011); IDEAM, (2011).

Nota: Se observa la ecuación del modelo, el tipo de bosque al cual se puede aplicar el modelo y la referencia bibliográfica.

Fuente: Garzón y Torres (2022).

Para el cálculo de la biomasa del área de estudio del presente proyecto en función del DAP, Garzón y Torres (2022) analizaron dos modelos alométricos propuestos por diferentes autores (tabla 1). Una vez comparados y estudiados, se determinó finalmente el más confiable o cuyo coeficiente de correlación ajustado (R^2) fuese más cercano a uno (1) (Fonseca *et al.*, 2013, p. 41), como se evidencia en la figura 2. Este correspondió al modelo de Álvarez *et al.* (2011), con un (R^2) ajustado de 0,9956; por lo que fue el modelo elegido para el desarrollo del presente trabajo.

Figura 3. Gráfica de modelos analizados para calcular biomasa aérea PMPC



Nota: Se observan las gráficas del análisis de los modelos alométricos usados: A) Álvarez, B) Chave. Puede notarse el coeficiente R^2 , que mide el ajuste del modelo.

Fuente: Garzón y Torres.

Estimación de biomasa aérea, carbono fijado y carbono equivalente

En la tabla 2 y el Anexo 3 se observa que en la parcela de monitoreo permanente de bosque secundario ubicado en el predio Cocoa Ruber la biomasa aérea total estimada es de 71,576 t/ha⁻¹, la fijación de Carbono de 35,798 t/ha⁻¹ y el dióxido de carbono equivalente es de 131,260 t/ha⁻¹. Los resultados obtenidos en el presente estudio son coherentes con Arreaga, (2002; citado por Torres-Torres, Mena-Mosquera & Álvarez-Dávila, 2017), quien reporta para los bosques secundarios una captura de carbono de entre 25 y 190 t/ha⁻¹.

De igual manera Torres (2017), en un estudio realizado en un bosque de 30 años del Jardín Botánico del Pacífico (Bahía Solano, Chocó, Colombia), utilizando diferentes rangos de diámetro (≤ 5 y ≥ 15), obtuvo resultados muy similares en BA=90,3 t/ha, CA=45,2 t/ha y CO₂eq=165,88 t/ha.

La mayor cantidad de biomasa aérea, carbono almacenado y dióxido de carbono equivalente está concentrada en la subparcela E, con 29,596 t/ha, 14,800 t C/ha y 54,267 t CO₂eq/ha respectivamente (figura 4). Por otra parte, el dióxido de carbono que dejó de recibir la atmósfera fue de 131,260 t/ha, cantidad significativa en la huella de carbono de esta región del país.

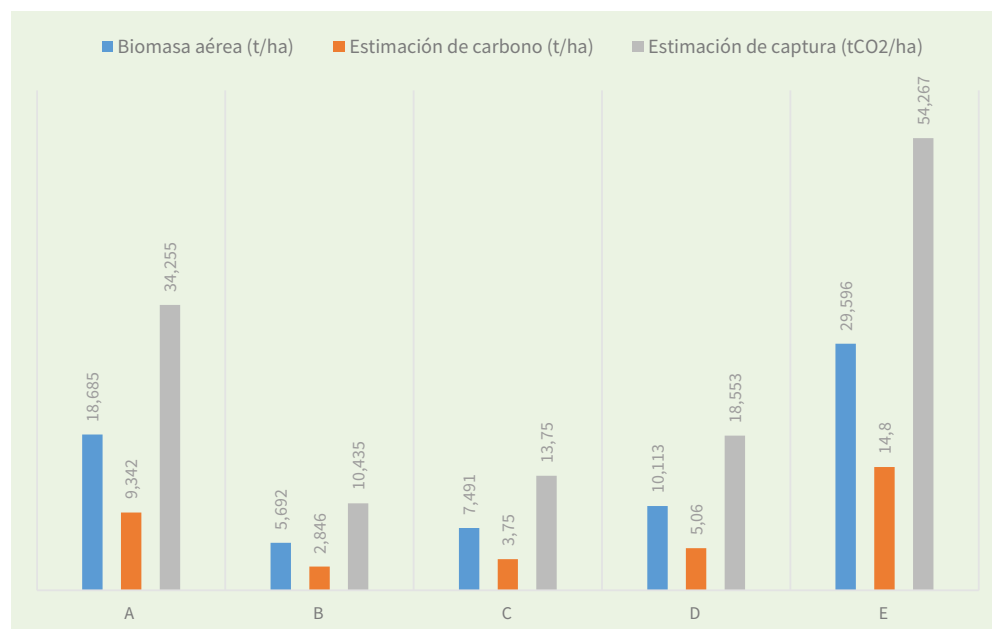
Tabla 2. Biomasa aérea, carbono almacenado y CO² equivalente por cuadrante de la PMPC del municipio de Florencia, Caquetá

Cuadrante	Biomasa aérea (t/ha)	Estimación de carbono (t/ha)	Estimación de captura (t CO ₂ /ha)
A	18,685	9,342	34,255
B	5,692	2,846	10,435
C	7,491	3,75	13,75
D	10,113	5,06	18,553
E	29,596	14,8	54,267
Parcela total (t/ha)	71,577	35,798	131,26

Nota: Se reportan los valores obtenidos de cada variable: biomasa aérea, carbono almacenado y carbono equivalente (CO₂eq) de cada transepto.

Fuente: Garzón y Torres (2022)

Figura 4. Representación de la biomasa aérea, carbono fijado y carbono equivalente estimado en la PMPC del municipio de Florencia, Caquetá



Existen reportes y estudios realizados sobre la cantidad de carbono almacenado en bosques secundarios en Colombia que pueden ser de interés. Por ejemplo, el Fondo Adaptación y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2019) realizaron un estudio en 2019 para medir el carbono almacenado en diferentes tipos de bosques en Colombia. En este estudio se incluyeron bosques primarios, bosques secundarios con una edad de entre 10 y 50 años, y bosques en proceso de restauración. Los resultados encontrados mostraron que los bosques secundarios tenían una densidad de carbono promedio de 111 toneladas por hectárea (Ramírez *et al.*, 2022).

Otro estudio interesante se llevó a cabo en la Reserva Natural Tambito, en el departamento de Cauca, donde se midió el carbono almacenado en bosques secundarios con edades que oscilaban entre los 10 y 40 años. Los resultados mostraron que los bosques secundarios almacenaron en promedio 19,6 toneladas de carbono por hectárea (Torres *et al.*, 2017).

Cálculo de la tasa de fijación de carbono

Según Garzón y Torres (2022), la parcela de monitoreo permanente ubicada en el predio Cocoa Ruber presenta una TFC estimada de $1,431 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Este resultado que indica que la fijación de carbono de este bosque secundario de aproximadamente 25 años es coherente y muy aproximado con el estudio realizado por Torres *et al.* (2017) en los bos-

ques del Jardín Botánico del Pacífico, Mecana, Bahía, Solano, Choco, Colombia. Donde el resultado fue de TFC $1,5 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para bosques aproximadamente de 30 años.

Socialización de los resultados con la comunidad de la vereda la Germania, en el municipio de Florencia

Se realizó la socialización de los resultados obtenidos en el presente trabajo con la comunidad de la vereda la Germania, el día 10 de julio de 2022 a las 3:00 p.m., con la asistencia de 16 integrantes de la junta directiva de la zona, en las instalaciones de la institución educativa Bruselas (Anexo 4). La experiencia y los resultados obtenidos en las variables de biomasa aérea, fijación de carbono, dióxido de carbono equivalente y fijación de carbono de una hectárea de bosque secundario en esta zona del país fue socializada y compartida con la comunidad, resaltando la importancia y el aporte de los bosques a la huella de carbono en el planeta; también, se entregó un poster a cada integrante para ilustrar lo expuesto.

Conclusiones

La cantidad de carbono almacenado en la parcela de monitoreo permanente del bosque secundario del predio Cocoa Ruber fue de 35,788 t/ha, cifra que representa un potencial de deterioro de la capa de ozono de 131,223 t/ha de dióxido de carbono equivalente que no recibió la atmósfera; lo que representa un aporte importante en la huella de carbono de esta región. Se considera bajo este contenido, considerando que es un bosque joven en proceso de maduración.

La participación de la comunidad en este estudio fue importante por cuanto la conservación y protección de bosques permite a los seres vivos y a la misma naturaleza seguir gozando de los servicios ecosistémicos (suministro, regulación, apoyo y cultura) que estos prestan y aportan a la vida y equilibrio del planeta.

Los resultados de la investigación permiten a la comunidad académica y científica contar con una línea base útil para futuras investigaciones en la fijación de carbono en una Parcela de Monitoreo Permanente de un bosque secundario de la región Amazónica de Colombia; y, específicamente, en el municipio de Florencia, del departamento del Caquetá. Asimismo, este tipo de estudios son esenciales para comprender el papel en el ciclo global del carbono, al proporcionar estimaciones precisas de biomasa y, por lo tanto, del carbono almacenado en los árboles. Esta información es crucial para evaluar la contribución de los bosques secundarios a la mitigación del cambio climático y la conservación de la biodiversidad. Además, estas evaluaciones respaldan la toma de decisiones en la gestión forestal, la planificación de la restauración y el desarrollo de políticas para la conservación de los ecosistemas forestales y la sostenibilidad ambiental.

Referencias

- Albarracín Álvarez, O. L., Novoa Mahecha, D., & Rodríguez Peña, S. M. (2019). Elementos de enfoque y estudio de caso para abordar los servicios ecosistémicos en áreas protegidas de la Amazonia colombiana. *Biodiversidad en la Práctica. Documentos de trabajo del Instituto Humboldt*, 4(1 [edición Cambio Climático]), 30–50. <http://hdl.handle.net/20.500.11761/35253>
- Álvarez, E., Saldarriaga, J., Duque, A., Cabrera, K., Yepes, A., Navarrete, D., & Phillips, J. (2011). *Selección y validación de modelos para la estimación de la biomasa aérea en los bosques naturales de Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13548/Modelos+alometricos+Carbono.pdf/cc9e929f-50c2-4f6c-90d9-0a9affc20e3c>
- Chave J., C Andalo., S Brown., M Cairns., J Chambers., D Eamus., H Fölster., F Fromard., N Higuchi y T Kira. (2005). *Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests*. *Oecologia* 145(1):87-99.
- Fonseca, W., Ruíz, L., Rojas, M., & Alice, F. (2013). Modelos alométricos para la estimación de biomasa y carbono en *Alnus acuminata*. *Revista de Ciencias Ambientales*, 0(46), 37–50. <https://doi.org/10.15359/rca.46-2.4>
- Global Forest Watch. (2022). *Caquetá, Colombia, Deforestation Rates and Statistics [dataset]*. <https://gfw.global/46HIdTB>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2019). *Monitoreo y seguimiento de bosques/ Carbono forestal*. <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/carbono-forestal>
- Phillips, J., Duque, A., Yepes, A., Cabrera, K., García, M., Navarrete, D., Álvarez, E., & Cárdenas, D. (2011). *Estimación de las reservas actuales (2010) de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13548/Estimaci%C3%B3n+Carbono+2010.pdf/e0861b29-7cf2-4c43-8fd3-ea50cbbba7db>
- Ramírez, J., Córdova, M., Imbaquingo, J., & Chagna, E. (2022). Modelos alométricos para estimar biomasa aérea en bosques secundarios montanos del noroccidente de Ecuador. *Caldasia*, 44(1), 82–94. JSTOR. <https://www.jstor.org/stable/48658431>
- Rügnitz Tito, M., Chacón León, M., & R, P. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas Propiedades rurales*. Centro Mundial Agroforestal & Consórcio Iniciativa Amazônica. <https://apps.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/B16293.pdf>

- Torres, J., Mena Mosquera, V., & Álvarez Dávila, E. (2017). Carbono aéreo almacenado en tres bosques del Jardín Botánico del Pacífico, Chocó, Colombia. *Entramado*, 13(1), 200–209. <http://www.scielo.org.co/pdf/entra/v13n1/1900-3803-entra-13-01-00200.pdf>
- United States Environmental Protection Agency. (2021, febrero 3). *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2019* [Reports and Assessments]. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2019>