

Carbono aéreo almacenado en tres bosques del Jardín Botánico del Pacífico, Chocó, Colombia *

Jhon Jerley Torres-Torres

Ingeniero Agroforestal e investigador Universidad Tecnológica del Chocó, Quibdó, Colombia.
jhtonjerleytorres@gmail.com (Autor para correspondencia)

Víctor Eleazár Mena-Mosquera

MSc, en Agroforestería Tropical, del CATIE; Docente investigador Universidad Tecnológica del Chocó, Quibdó, Colombia.
memovie@gmail.com

Esteban Álvarez-Dávila

Ph. D en Cambio global y desarrollo sostenible, Universidad de Alcalá de Henares; MSc en Biología Universidad de Antioquia. Consultor área investigación del Jardín Botánico de Medellín (JBME), Colombia
esalvarez3000@gmail.com

RESUMEN

Los bosques tropicales son considerados como un importante depósito de carbono, cuya permanencia en el ecosistema depende en gran medida de que no se manifiesten fenómenos naturales y antropogénicos; por lo que se hace necesario emprender estrategias para su conservación y manejo. Se cuantificó el carbono almacenado en la biomasa aérea en bosques de 12, 30 y 40 años, ubicados en el Jardín Botánico del Pacífico, Bahía Solano Chocó Colombia. Para ello, se les midió diámetro y altura total a todos los individuos presentes con $DAP \geq 10$ cm, en nueve Parcelas Temporales de Muestreo de 0,1 ha. Se estimó la biomasa aérea a través de ecuaciones alométricas, el carbono almacenado en la biomasa aérea con una fracción de carbono de 0,5, la tasa de fijación de carbono y dióxido de carbono equivalentes (CO_2 eq) mediante el factor de 3,67. Se encontró un carbono almacenado promedio de $48,2 \text{ t ha}^{-1}$, una biomasa aérea de $96,3 \text{ t ha}^{-1}$, una tasa de fijación de carbono promedio de $1,9 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. El contenido de carbono de los bosques estudiados aumenta conforme crece la edad de estos, mientras que con la tasa de fijación de carbono sucede todo lo contrario.

PALABRAS CLAVE

Bahía Solano, biomasa aérea, bosques secundarios, carbono, Chocó, Jardín Botánico del Pacífico.

Quantization of the air carbon in three forests of the Botanical Garden of the Pacific, Chocó, Colombia

ABSTRACT

Tropical forests are considered as an important carbon deposit, whose permanence in the ecosystem depends to a large extent on the fact that natural and anthropogenic phenomena do not occur; So it is necessary to undertake strategies for its conservation and management. The carbon stored in the aerial biomass was quantified in forests of 12, 30 and 40 years, located in the Botanical Garden of the Pacific, Bahía Solano Chocó-Colombia. For that, total diameter and height were measured in all individuals present with $DBH \geq 10$ cm, in nine Temporary Sampling Plots of 0.1 ha. Aerial biomass was estimated through allometric equations, carbon stored in aerial biomass with a carbon fraction of 0.5, carbon-binding rate and carbon dioxide equivalent (CO_2 eq) by the factor of 3.67. An average stored carbon of 48.2 t ha^{-1} , an aerial biomass of 96.3 t ha^{-1} , an average carbon fixation rate of $1.9 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ was found. The carbon content of the studied forests increases as the age of these forests increases, while with the rate of carbon fixation the opposite happens.

KEYWORDS

Bahía Solano, aboveground biomass, secondary forests, Carbon, Chocó, Pacific Botanical Garden

Recibido: 30/06/2016 Aceptado: 20/10/2016

* Proyecto Dinámica del bosque tropical: crecimiento y tasas de fijación de carbono en un gradiente ambiental complejo en Colombia. Fecha de inicio febrero de 2010 y finalizó en diciembre de 2015. Cofinanciado por Colciencias (Contrato 393 de 2011) y desarrollado por el JBME.

<http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25110> Este es un artículo Open Access bajo la licencia BY-NC-SA (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

Cómo citar este artículo: TORRES-TORRES, Jhon Jerley; MENA-MOSQUERA, Víctor Eleazár; ÁLVAREZ-DÁVILA, Esteban. Carbono aéreo almacenado en tres bosques del Jardín Botánico del Pacífico, Chocó, Colombia. En: En: Entramado. Enero - Junio, 2017. vol. 13, no. 1, p. 200-209 <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25110>



Ar carbono almacenado em três florestas Jardim Botânico do Pacífico, Chocó, Colombia

RESUMO

Florestas tropicais são considerados como um importante reservatório de carbono, cuja presença no ecossistema depende em grande parte que não natural e antropogênicos fenômenos manifesto; por isso é necessário para empreender estratégias para a sua conservação e gestão. O carbono armazenado na biomassa em florestas 12, 30 e 40, localizado no Jardim Botânico Pacífico Baía Solano Colômbia Chocó foi quantificada. Para este efeito, nós medimos o diâmetro e a altura total de todos os indivíduos presentes com DAP ≥ 10 cm em nove lotes de amostragem temporária 0,1 ha. biomassa superficial foi estimada por equações alométrico, carbono armazenado na biomassa acima do solo com uma fração de carbono de 0,5, a taxa de fixação de carbono e emissões por factor de 3,67 equivalente de carbono (CO_2 eq) . um estoques médios de carbono encontrados $48,2 \text{ t ha}^{-1}$, uma biomassa de $96,3 \text{ t ha}^{-1}$, a taxa de fixação de carbono médio de $1,9 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O teor de carbono das florestas estudadas aumenta com a idade destes crescendo, enquanto a taxa de fixação de carbono oposto acontece.

PALAVRAS-CHAVE

Bahia Solano, biomassa, florestas secundárias, carbono, Chocó, o Jardim Botânico do Pacífico.

Introducción

La problemática actual de la biosfera es provocada por emisiones antropogénicas de Gases de Efecto Invernadero (GEI), como metano (CH_4), Óxido Nitroso (N_2O) y, en especial las de Dióxido de Carbono (CO_2) (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, 2007). De acuerdo con estudios recientes, estas emisiones han sobrepasado la capacidad de los bosques y los océanos para secuestrar el CO_2 (un elemento clave del metabolismo de las plantas) y como consecuencia su concentración en la atmósfera ha aumentado en más de un 30% desde 1850, alcanzando niveles críticos que ponen en riesgo la estabilidad climática del planeta (Harris, Birjandi y García, 2011). Esta situación ha generado una porción creciente de radiación infrarroja terrestre y un aumento de la temperatura en la superficie del planeta entre $1,4$ y $5,8^\circ\text{C}$ durante el presente siglo y el aumento en los niveles de los ríos y mares entre 10 y 80 cm (Arreaga, 2002; Ortiz y Riasco, 2008).

En la última década por medio de los programas REDD (siglas de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación del bosque), se han desarrollado grandes esfuerzos de investigación por conocer el papel de los bosques tropicales en el ciclo global del carbono (por ejemplo el proyecto RAINFOR, www.rainfor.org). Estos esfuerzos han permitido saber la contribución de muchos bosques tropicales en el almacenamiento y fijación de carbono. No obstante, existen muchos vacíos de información. Por ejemplo, algunas áreas y tipos de bosques tropicales (como los bosques pluviales del Chocó biogeográfico y los bosques de montaña) son prácticamente desconocidos en relación con su potencial de almacenamiento de carbono. Adicionalmente, dentro de cada región existe poca información sobre la

variación en el contenido de carbono entre los diferentes tipos de bosque (tierra firme, inundables, etc.). Esto dificulta realizar un balance sobre la cantidad de GEI emitida a la atmósfera y, la capturada y almacenada por los bosques en un tiempo determinado (Producción Primaria Neta) (Yepes *et al.*, 2011; Álvarez *et al.*, 2011).

Además de lo anterior, se debe aclarar que dada la heterogeneidad de los bosques extendidos en las diferentes latitudes, no es confiable, ni recomendable extrapolar los datos de captura, fijación y almacenamiento de carbono obtenidos en otros estudios, ya que cada lugar es único en condiciones climáticas, edáficas, vegetación y ubicación, y más si se habla de una zona de bosque húmedo tropical, como la del área donde se realizó el presente estudio (Bahía Solano, Chocó, Colombia), donde la variación en clima es bien marcada, actuando estas condiciones de forma directa o indirecta en la producción de biomasa de las especies allí presentes. Todo estos aspectos hacen que sea una incertidumbre estimar la cantidad de carbono almacenado en los bosques húmedos tropicales como los del departamento del Chocó y aún más predecir el futuro almacenamiento de estos mismos bosques (Álvarez *et al.*, 2011).

El presente trabajo de investigación se desarrolló buscando aumentar el conocimiento de los atributos florísticos presentes en el municipio de Bahía Solano, departamento del Chocó y su relación con la reducción del efecto invernadero. Específicamente, se cuantificó el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea de tres bosques de 12, 30 y 40 años (para lo cual se caracterizó florísticamente los bosques), ubicados en el Jardín Botánico del Pacífico (JBP). Esta información servirá de punto de partida para la toma de decisiones referente al manejo que debe dársele a estos ecosistemas.

I. Marco teórico

I.1. Evolución histórica de los métodos utilizados para cuantificar biomasa y carbono

Los primeros estudios de la fitomasa utilizaban métodos muy sencillos pero poco precisos, que consistían en cortar y medir un solo árbol de talla promedio y multiplicar la masa de sus diferentes partes por la capacidad de árboles plantados en parcelas de terreno, ya que ningún árbol es representativo del conjunto de la población, los estudios posteriores estratificaron la población, en otras palabras, se distinguían de tres a cinco categorías y se hacía una medición para cada una (Locatelli y Leonard, 2001).

Brown y Lugo (1982 y 1984) realizaron dos estimaciones del total de biomasa (hipogea y epigea) en bosques tropicales a partir de ecuaciones de regresión con datos provenientes de parcelas experimentales o métodos destructivos. Estos autores desarrollaron y probaron ecuaciones de regresión a partir de nueve bases de datos. Analizaron ecuaciones lineales y transformadas de tres tipos de bosques según clasificación de la zona de vida, asumiendo algunos supuestos técnicos. Al mismo tiempo, evaluaron ecuaciones multivariadas incluyendo una combinación de DAP, altura y gravedad específicas. Por último, los autores aplicaron los modelos a datos de parcelas de inventario y tablas de volumen.

En relación con la evaluación de ecuaciones multivariadas o de doble muestreo Catchpole y Wheeler (1992), afirman que esta técnica representa un costo y una precisión moderada al estudio. Además, consideran que si bien es cierto que las ecuaciones generadas pueden utilizarse para otros sitios con estimaciones mínimas, debieran ser probadas combinando algunas técnicas destructivas. Sin embargo, la eficiencia de este método depende del grado de correlación de la biomasa con las variables independientes usadas, la variabilidad espacial de la vegetación, el número de muestras y el número de repeticiones de la variable independiente. Por lo que Mena (2008), recomienda el uso de metodologías destructivas, siguiendo criterios estadísticos y la generación de modelos alométricos que incluyan las variables DAP y biomasa aérea total, principalmente. En lo que respecta a estudios sobre cuantificación de carbono en bosques cercanos a la costa pacífica sobresale el desarrollado por López *et al.* 2002, en el cual se estimó el carbono contenido en la biomasa de bosques secundarios y plantaciones forestales en el noroccidente de Ecuador.

En el caso de Colombia, el conocimiento del contenido de carbono apenas es incipiente, a pesar de que se han desarrollado trabajos destacados. Por ejemplo, Orrego y Del Valle (2001), realizaron un estudio sobre las existencias y

tasas de incremento neto de la biomasa y del carbono en bosques primarios y secundarios de Colombia, teniendo como epicentro los bosques del noreste antioqueño; del mismo modo Mena, Lemus y Sánchez (2013), desarrollaron un estudio titulado Línea base para el monitoreo de carbono almacenado en la biomasa aérea de bosques secundarios, ubicados en las fincas de la Empresa Yarima S.A, San Vicente de Chucurí, Santander, Colombia. Por otra parte, algunos investigadores Colombianos vienen trabajando con el consorcio RAINFOR, a partir de estudios realizados en la Amazonia Colombiana, lo que ha permitido presentar a nivel internacional datos sobre la biomasa y la dinámica de algunos bosques de esta región. Otros estudios reportan datos de biomasa y dinámica para un conjunto de sitios en las tres cordilleras de Colombia y para los bosques inundables del delta del Patía en la Costa Pacífica. Por fuera de estos estudios, es posible afirmar que la información existente es poca y mucho menos la publicada.

Más específicamente, en el departamento del Chocó se puede decir que la cantidad de estudios presentes en este campo son escasos, en comparación con la cantidad de recursos vegetales existentes en sus bosques, sobresaliendo en este el esfuerzo desarrollado por la Universidad Tecnológica del Chocó, con sus grupos de investigaciones, entre estos Agroforestería de trópico húmedo chocoano, el cual viene adelantando algunos trabajos de cuantificación de biomasa de los bosques del departamento, como lo son: Cuantificación de carbono almacenado en la biomasa en bosques naturales ubicados en la sub-cuenca del río Tutunendó, Quibdó, Chocó, Colombia, realizado y publicado por Mena (2013); Composición florística y carbono almacenado en los ecosistemas de manglar, sajal y guandal, ubicados en el municipio del Bajo Baudó, Chocó, Colombia, realizado por Mena y Ruiz (2013). Así mismo hay que resaltar los esfuerzos de varios grupos de investigaciones del país, entre ellos Servicios Ecosistémicos y Cambio Climático del Jardín Botánico de Medellín, quienes en asociación con el Jardín Botánico del Pacífico, vienen adelantando el estudio de la dinámica del carbono en Bosques de Colombia incluidos entre ellos los de Bahía Solano y Nuquí, Chocó, donde se cuenta con parcelas permanentes para el monitoreo del carbono.

I.2. Estimación de biomasa y carbono

Brown (1997), propone varios métodos para la estimación del carbono en ecosistemas forestales: 1) Estimación de la biomasa con base en inventarios de volumen existente; 2) Estimación con base en inventarios forestales comerciales y aplicación de ecuaciones de biomasa; 3) Desarrollo de ecuaciones de biomasa e inventarios in situ; 4) Estimación con modelización utilizando sistemas de información geográfica. De acuerdo con experiencias la mejor aproximación a la estimación de la biomasa en una comunidad forestal se obtiene

ne desarrollando ecuaciones de biomasa con datos locales procedentes de parcelas permanentes (MacDicken, 1997).

Los estudios de biomasa son esenciales para lograr un aproximado de la capacidad de carbono almacenado, ya que de acuerdo con varios autores, la relación de la biomasa seca total con el carbono es de aproximadamente 2:1 (Malhi y Grace, 2000; Ciesla, 1995). Por esta razón las evaluaciones más recientes utilizan métodos estadísticos que permiten tomar en cuenta la diversidad de especies y sus dimensiones.

1.3. Metodologías para la cuantificación de biomasa y carbono en bosques naturales tropicales.

Entre las principales metodologías encontradas para cuantificar la biomasa y el carbono en bosques tropicales tenemos:

- **Método directo:** Este método consiste en medir las dimensiones básicas de un árbol, cortarlo y determinar la biomasa a través del peso directo de cada uno de los componentes (raíces, fuste, rama y follaje). A su vez, la biomasa de raíces y ramas se puede subdividir en categorías diamétricas extrapolando los resultados a grandes áreas. Al final se suman los valores para obtener el volumen total estimado del fuste o de las ramas gruesas. Se toman muestras de madera de estos componentes del árbol y se pesan en el campo, luego se calcula en el laboratorio los factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la densidad básica (g/cm^3) (Segura, 1999).
- **Método indirecto:** Para utilizar este método se parte de los datos de diámetro existentes a la altura del pecho (DAP en Cm), la altura total (h, m) y la densidad de la madera o la gravedad específica ($GE Mg/m^3$) para calcular el carbono almacenado en la biomasa total de cada árbol. Estos métodos se basan en ecuaciones alométricas, utilizadas para la estimación de biomasa generalmente para grupos de especies y bosques enteros (Mena, 2008).
- **Modelos alométricos.** Un modelo alométrico es una relación entre una variable independiente y una dependiente. La primera puede ser estimada a partir de métodos destructivos (peso de componentes de los individuos) o a partir de parámetros biofísicos estimados en campo (dap, altura). Se puede establecer allí el grado de relación entre ésta y alguna biomasa derivada de la biomasa (Nelson *et al.* 1999).

1.4. Potencial de los bosques en cuanto al almacenamiento de carbono

Los bosques cubren el 29% de las tierras y contienen el 60% del carbono de la vegetación terrestre. El carbono almacenado en los suelos forestales representa el 36% del total del carbono del suelo a un metro de profundidad (1500 Pg). Estudios en el trópico, adelantados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO (2002) reportan que en 540 parcelas de la red europea de supervisión forestal la media total del carbono del ecosistema fue de 137 t C ha⁻¹; de este total, el suelo representa el 51% (71 t), los restos vegetales superficiales 6% y las raíces 6%. De igual forma se reportan datos para los bosques tropicales cerca de Manaus (Brasil). El total de carbono en el sistema es mayor (447 t/ha) así como el depósito de suelo orgánico (162 t, 36% del total) (FAO 2002). Estos datos contrastan con los reportados por Mena (2013), en el estudio Cuantificación del carbono almacenado en la biomasa en bosques naturales ubicados en la sub-cuenca del río, Tutunendó, Quibdó, Chocó, Colombia. El carbono almacenado en los bosques de Tutunendo en promedio es de 442,7 t C ha⁻¹, de los cuales cerca del 91% se encuentra en los suelos (345,9 t C ha⁻¹ a 30 cm de profundidad). Pese a estas diferencias, sin duda alguna queda resaltado el potencial de los bosques en la mitigación del cambio climático. Aunque estos datos nos indican que los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de la tierra y sus suelos contienen cerca del 40 % del total del carbono, estos datos son de importancia cuando se considera el manejo de los bosques.

Las estimaciones de la FAO (2001 y 2002), indican que los bosques cubren una superficie aproximada de 3,87 G ha², es decir, el 47% del total de superficie en los trópicos. Brown (1997) estimó que estos contienen 618 Pg³ de C en el suelo y 340 Pg de C en la vegetación viva y muerta situada por encima y por debajo del nivel del suelo. Esta estimación concuerda con el criterio de Dixon *et al.* (1994) citados por Arreaga (2002), quienes expresan que el rango varía de 400 a 800 GT y que por lo tanto, contienen el 90 % del carbono almacenado en la vegetación terrestre. Lo estudios de estimaciones de biomasa de los ecosistemas forestales son esenciales para obtener un aproximado del carbono almacenado, ya que hay una estrecha relación entre la biomasa y el carbono de 2:1 (Ciesla, 1996).

Del total de bosques reportados, la mayoría de los sumideros de carbono están localizados en bosques tropicales de baja latitud (62%), mientras que la mayoría del carbono del suelo está ubicado en los bosques de alta latitud con 54% (Arreaga, 2002). En relación con lo anterior, Brown (1997), expresa que en estas zonas, la cantidad de carbono presen-

te en la vegetación forestal es prácticamente igual a la que se halla en el suelo.

El carbono presente en sumideros superficiales varía entre 60 y 230 t C ha⁻¹ y bosques primarios, y entre 25 y 190 t C ha⁻¹ en bosques secundarios (Arreaga, 2002). En términos generales, los trópicos poseen un potencial alto para secuestrar y almacenar la mayor cantidad de C (80%), seguido por la zona templada (17%) y la zona boreal (3%) (Arreaga, 2002).

1.5. Dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq)

Una emisión de CO₂ equivalentes es la cantidad de emisión de CO₂ que ocasionaría durante un horizonte temporal dado, el mismo forzamiento radiactivo integrado a lo largo del tiempo que una cantidad emitida de GEI de larga permanencia o de una mezcla de GEI. Las emisiones de CO₂ eq se obtienen multiplicando la cantidad de GEI emitida por su potencial de calentamiento global (PCG) para un horizonte temporal dado (3,67 para el caso del carbono). Para una mezcla de GEI, se obtienen sumando las emisiones de CO₂ eq de cada uno de los gases. Las emisiones de CO₂ eq constituyen un valor de referencia y una métrica útil para comparar emisiones de GEI diferentes, pero no implican respuestas idénticas al cambio climático (IPCC, 2007).

2. Metodología

El presente trabajo se realizó en el Jardín Botánico del Pacífico (JBP), localizado en el municipio de Bahía Solano, Chocó, Colombia, en la vereda Mecana a 6°13'27" Latitud Norte y 77°24'14" Longitud Oeste (Figura 1). Cuenta con un área total de 174 hectáreas. Según las zonas de vida de Holdridge (2000), el JBP se caracteriza por tener formacio-

nes vegetales de bosque húmedo tropical, generado a partir del cambio de uso del suelo (de ganadería a bosque secundario). Posee un clima definido por una temperatura media del aire de 26 °C, una precipitación superior a los 6.000 mm anuales, una humedad relativa del 85%, un brillo solar con valores que oscilan entre 52 y 100 horas mensuales, presentando al mes de noviembre como el más bajo y el mes de febrero como el más alto, una nubosidad que oscilan entre 5 y 7 octas (IDEAM, MAVDT y PNUD, 2009).

2.1. Selección y establecimiento de unidades de muestreo

Se seleccionaron tres bosques de 12, 30 y 40 años, en cada bosque se establecieron tres Parcelas Temporales de Muestreo (PTM), 20 x 50 m (0.1 ha), para un total de nueve PTM. Dichas PTM se distribuyeron sistemáticamente en cada bosque; estas se orientaron de sur a norte, y se delimitaron utilizando tubos blancos de 0,80 m de altura, dispuestos uno en cada esquina; el extremo superior de los tubos se cubrió con cinta reflectiva de color naranja, para una mejor identificación. Al interior de cada parcela se establecieron sub-parcelas de 25 y 100 m² para el muestreo de brinzales y latizales respectivamente.

Muestreo de biomasa aérea (brinzales, latizales y fustales)

Por medio del muestreo indirecto se midió el diámetro y la altura total de las especies leñosas.

Al interior de la parcela se realizó lo siguiente: en la sub-parcela 25 m², se midió con un calibrador el diámetro a la base (Db) a los individuos con Db ente ≥ 2 y ≤ 4,9 cm. En la sub-parcela de 100 m², se tomó con cinta diamétrica el DAP a todos los individuos con DAP entre ≥ 5 y ≤ 9,9 cm. En la parcela 1000 m², se midió con cinta diamétrica el DAP a todos los individuos con DAP ≥ 10 cm. En esta última parte se tuvo en cuenta las palmas.

Estimación de biomasa aérea, carbono, tasa de fijación de carbono y dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq)

Biomasa de brinzales, latizales y fustales. Para el cálculo de la biomasa aérea se asignó valores de densidad de la madera. Este valor fue extraído de la Base Global de Datos de Densidad de la Madera (BGDM) (Zanne *et al.*, 2009), la cual contiene información de 2004 especies de América tropical. Para las especies comunes entre los inventarios del JBP y la BGDM se asignó el valor de Dm a nivel específico; en el caso de las especies no comunes se utilizó el promedio de Dm a nivel de género, y finalmente para los géneros no registrados en la BGDM se utilizó el promedio de Dm a nivel de familia.

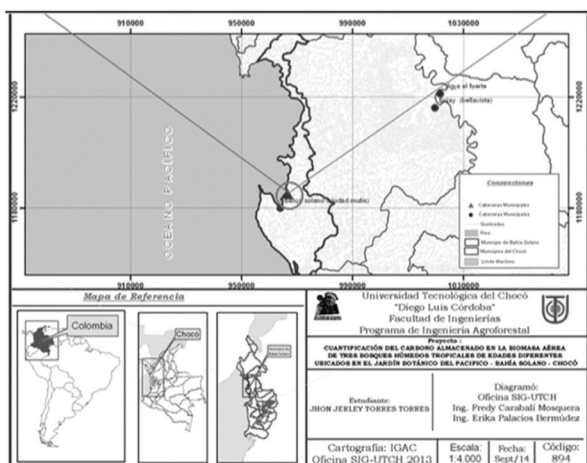


Figura 1. Ubicación del área de estudio
Fuente: Los autores

Del mismo modo, se estimó la altura de cada árbol con la ecuación calibrada para los datos observados, a partir de la relación DAPvs Altura (Mosquera y Álvarez, 2010).

Finalmente se estimó la biomasa utilizando las ecuaciones de Álvarez *et al.*, 2011 para el bosque pluvial tropical (I.1) (Tabla 1).

Tabla 1.

Ecuación alométrica utilizada en el presente trabajo

Autor	Ecuación
Álvarez <i>et al.</i> (2011)	$\exp(-2,857 + 2,081 \cdot \ln D + 0,587 \cdot \ln AI + 0,453 \cdot \ln Dm)$

D: Diámetro; AI: Altura total; Dm: Densidad de la madera

Carbono de brinzales, latizales y fustales. El carbono almacenado en la biomasa aérea se estimó mediante el uso de una fracción de carbono promedio de 0,5 (IPCC, 2007). Esto último se debe a que aproximadamente 50% del peso seco de cualquier organismo vegetal lo constituye el carbono. Para este cálculo se utilizaron los resultados de biomasa obtenidos mediante el modelo I.1 de Álvarez *et al.* (2011). Para cada uno de los individuos muestreados se empleó la siguiente fórmula:

$$CA = B \cdot Fc$$

Donde:

CA = Carbono almacenado en la biomasa (t C ha⁻¹);

B = biomasa total (t C ha⁻¹);

Fc = Fracción de carbono contenida en la biomasa.

Tasa de fijación de carbono. Para su cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

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

Donde:

TFC = Tasa de Fijación de Carbono;

CT = Carbono total almacenado;

NA = Número de años o edad del bosque

Dióxido de carbono equivalente. Se multiplicó la cantidad de toneladas de carbono almacenada en los bosques por 3,67.

3. Resultados

Biomasa aérea

El bosque de 40 años representa el 47,1% de biomasa, seguido por el bosque de 30 años con 31,2% y el bosque de 12 años con 21,6% (Tabla 2).

En lo que se refiere a la regeneración natural cabe resaltar que para el caso de los brinzales se nota una pequeña diferencia en la cantidad de biomasa contenida en los tres bosques, lo que se debe a que el número de individuos de la categoría brinzal fue mayor en el bosque de 30 años que en el de 40 años y más cercano al de este último con el de 12 años (Tabla 2).

Tabla 2.

Biomasa aérea de los tres bosques estudiados

Edad del Bosque (Años)	Reservorios	Contenido de Biomasa (t)	Total ha ⁻¹	%
12	Brinzal	0,019	2,5	
	Latizal	0,187	6,2	
	Fustal	16,154	53,8	
	Total	16,360	62,6	21,64
30	Brinzal	0,025	3,3	
	Latizal	0,153	5,1	
	Fustal	24,573	81,9	
	Total	24,751	90,3	31,23
40	Brinzal	0,016	2,2	
	Latizal	0,253	8,4	
	Fustal	37,662	125,5	
	Total	37,932	136,1	47,08
Total		79,042	96,3	100

Fuente: Los autores

Carbono almacenado

En toda el área de estudio se obtuvo un promedio de 48,2 t C ha⁻¹ almacenado en la biomasa aérea. Los bosques de 40 y 12 años fueron los de mayor y menor contenido de carbono, con un 47,1% y 21,6 %, respectivamente. Para el caso de los brinzales sobresale el bosque de 30 años, mientras que para los latizales fue el de 40 años, esto debido a que en estos bosques se halló mayor número de individuos de estas categorías de tamaño (Figura 2).

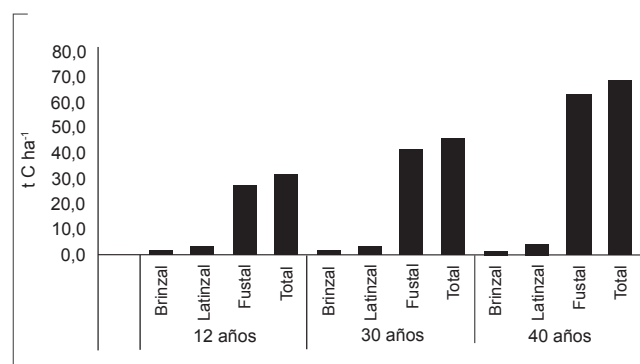


Figura 2. Carbono almacenado en la biomasa aérea de los bosques estudiados.

Fuente: Los autores

Tasa de Fijación de Carbono (TFC)

Para el área de estudio se obtuvo una Tasa de Fijación de Carbono (TFC) promedio de 1,9 t C ha⁻¹ año⁻¹. Los bosques de 12 y 40 años poseen la mayor y la menor TFC, respectivamente (Figura 3).

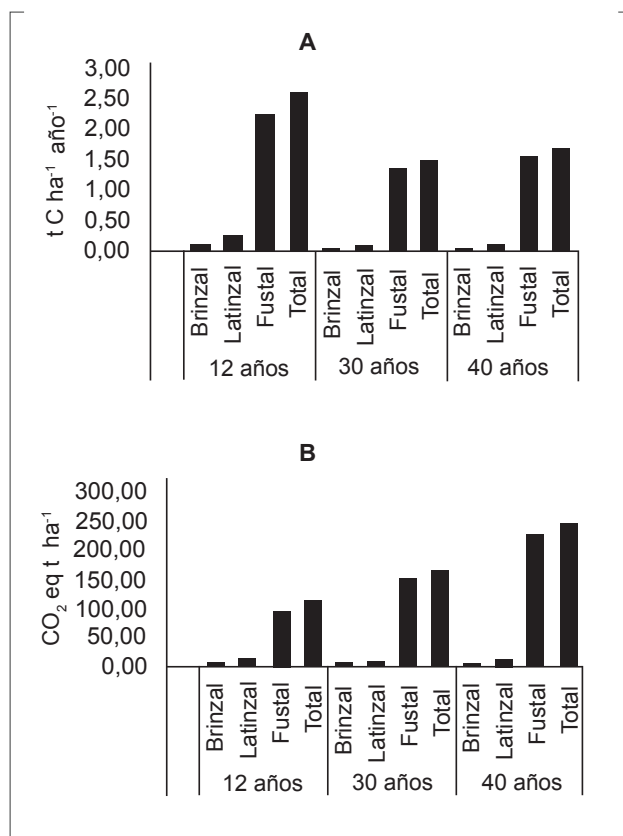


Figura 3. (A) Tasa de fijación de carbono y (B) Dióxido de carbono equivalente para los bosques estudiados

Fuente: Los autores

Dióxido de Carbono Equivalente (CO₂ eq)

Para toda el área de estudio se obtuvo un valor promedio de 176,8 t CO₂ eq ha⁻¹, sobresaliendo el bosque de 40 años, mientras que el de menor valor fue el de 12 años (Figura 3). Para el caso de la regeneración natural se observa el mismo comportamiento que se aprecia en la Figura 2.

4. Discusión

Biomasa aérea y carbono almacenado

La biomasa aérea y por tanto, el contenido de carbono almacenado en los bosques del Jardín Botánico del Pacífico, tiende a incrementarse con la edad de estos ecosistemas forestales (datos similares a los registrados para otros bosques tropicales “Ulate (2011) y Yquise, Pocomucha y Ytav-

clerh (2012)”; tal como lo describen Alegre, Arévalo y Ricse (2002) y Callo-Concha, Crishnamurthy y Alegre (2002), los sistemas con mayor crecimiento e incremento de la biomasa presentan mayor acumulación de carbono, esto debido a que los árboles, al crecer, absorben carbono de la atmósfera y lo fijan en su madera (FONAM, 2005). Esta teoría también es apoyada por reportes de IPCC (2007), quienes detallan que el almacenamiento de carbono por parte de los árboles no es uniforme a lo largo de su vida, sino que está en relación directa con su crecimiento, dado que aproximadamente el 50 % de la biomasa está formado por carbono.

Los valores de carbono obtenidos en este trabajo para el bosque de 12 años, se encuentran entre el rango formado por los resultados obtenidos por Ulate (2011), en este mismo tipo de bosques en Costa Rica y Perú, respectivamente, para bosques menores de 20 años (24,2 – 42,3 t ha⁻¹). Del mismo modo, la biomasa obtenida para los bosques de 30 y 40 años se halla más cercana a la revelada por Ulate (2011), lo que da a entender que aunque existen diferencias metodológicas entre los trabajos, hay una correlación entre sus resultados, lo cual permite llegar a inferir que la cantidad óptima de carbono que debe tener un bosque húmedo tropical es de 63,2 t ha⁻¹.

En lo que se refiere específicamente al bosque de 12 años, su resultado es ocho veces inferior al reportado por Yquise *et al.* (2012) para bosques de esta misma edad en el Distrito José Crespo, Perú (Tabla 3), al respecto, FONAM (2005), Leuschner *et al.* (2007) y Yepes-Quintero *et al.* (2011), afirman que las grandes diferencias en el contenido de biomasa y carbono almacenado de un lugar a otro se presentan como consecuencia del aumento sistémico de limitaciones fisiológicas impuesto por la plantas leñosas, influyendo en esto la temperatura, el grado de pendiente, la nubosidad y la disponibilidad de nutrientes de los suelos en los que se encuentran los árboles. Pero también se debe asumir que estas diferencias se pueden deber en gran parte al uso de diversas metodologías, especialmente a la selección y uso de ecuaciones con una sola variable (Tabla 3).

Por otro lado, el carbono almacenado en los bosques de 12, 30 y 40 años del presente estudio, difieren en gran proporción de los resultados obtenidos en bosques tropicales del noreste antioqueño colombiano (Tabla 3), lo que se puede deber a que el estado sucesional de estos bosques es diferente. Así mismo, estos resultados difieren de forma negativa, de los obtenidos por López *et al.* (2002), Mena (2008) y Mena *et al.* (2013 b); al respecto Yquise *et al.* (2012) mencionan que los niveles de carbono presentan una alta dispersión entre zona, debido a la variabilidad innata de los ecosistemas y que también está influenciado por la variabilidad del suelo en que se desarrollan. Mientras que Fonam (2005) afirma que el potencial de almacenamiento de car-

Tabla 3.

Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques del JBP y otros bosques de Colombia y América.

Ubicación y Autor	Especificación	C almacenado (t ha ⁻¹)
Bosques del Jardín Botánico del Pacífico, Mecana, Bahía Solano, Chocó, Colombia	Bosque de 12 años	31,3
	Bosque de 30 años	45,2
	Bosque de 40 años	68,1
Bosques del municipio de Quibdó, Chocó, Colombia (Mena et al, 2013 a)	Subcuenca del río Tutunendó	81,9
Bosques del distrito de José Crespo Huánuco, Perú (Yquise et a, 2012)	Los Milagros - 12 años	273,1
	Aucayacú - 12 años	232, 6
Bosques de Costa Rica - caso húmedo tropical (bh-T) (Ulate 2011)	Bosques > 20 años	51,2
	Bosques entre 5 - 20 años	24,2
Bosques secundarios de San Vicente de Chucurí, Santander, Colombia (Mena et al, 2013 b)	Empresa Yarima S.A .	76,5
Bosques secundarios del noreste antioqueño (Orrego y Del Valle, 2001)	Central Hidroeléctrica Porce II	22,91
Bosques de la costa ecuatoriana (López et al, 2002)	Noroccidente de Ecuador	82
	Aquiares	58,02
Bosques secundarios del Corredor Biológico Volcánico Central-Talamanca, Costa Rica (Mena, 2008)	Atirro	161,4
	Jardín Botánico CATIE	154,9

Fuente: Los autores

bono varía considerablemente dependiendo del tipo de especies, clima, condiciones de suelo. De igual forma, Segura & Kanninen (2002), indica que la captura de carbono depende principalmente de las condiciones edafológicas y climáticas, además de la capacidad de respuesta que presenten las especies. Sin embargo, se deben considerar variaciones de los resultados por las diferentes metodologías empleadas en cada uno de los estudios.

Tasa de Fijación de Carbono (TFC)

Se puede observar que la TFC disminuye conforme al aumento de la edad, hallando explicación en lo expresado por el IPCC (2007), quienes detallan que la TFC por parte de los árboles no es uniforme a lo largo de su vida, sino que está en relación directa con su crecimiento. Por otro lado, estos resultados (2,6 t C ha⁻¹ año⁻¹ para el bosque de 12 años, 1,5 t C ha⁻¹ año⁻¹ para el bosque de 30 años y 1,7t C ha⁻¹ año⁻¹ para el bosque de 40 años), son menores que los obtenidos por Orrego y Del Valle (2001) en bosques del noreste antioqueño (2,77 t C ha⁻¹ año⁻¹), estas diversidades pueden deberse en gran medida a las diferencias metodológicas.

Dióxido de Carbono Equivalente (CO₂ eq)

Se observa un mayor valor de CO₂ eq ha⁻¹ al aumentar la edad del bosque, esto debido a que la base de este cálculo es el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea

de los bosques en estudio. Los datos obtenidos en este estudio difieren en gran proporción de los reportados por MAP (2012) en bosques administrados por la comunidad nativa Ese Eja de Infierno, Perú (889,9 t CO₂ eq ha⁻¹), esta diferencia se puede deber a que el área utilizada por MAP es mayor que la del presente trabajo, lo que infiere de forma directa en la ocurrencia de errores de estimación (mayor área inventariada, menos errores), al respecto el IPCC (2007) y Buitrago *et al.* (2009), exponen que los valores de GEI expresados en unidades de CO₂ eq permiten hacerse una idea del impacto que causan estos gases a la atmósfera. Para este caso se mide la cantidad de CO₂ capturada por los bosques de 12, 30 y 40 años del JBP, lo que muestra en qué dimensión contribuyen estos bosques a la mitigación del cambio climático.

5. Conclusiones

Existe una relación directa entre la edad y la biomasa aérea de los bosques de 12, 30 y 40 años del Jardín Botánico del Pacífico

El contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea de los bosques estudiados aumenta conforme crece la edad de estos mismos.

Entre los bosques estudiados y la Tasa de Fijación de Carbono hay una relación inversa, queriendo decir con esto que

para los bosques de menor edad, se obtuvo mayor Tasa de Fijación de Carbono.

Con un promedio de 176,8 t CO₂ eq ha⁻¹ contenida en la biomasa aérea del área estudiada (0,9 ha), se puede decir que estos bosques hacen un aporte importante a la reducción de GEI presentes en la atmósfera, por lo que esta investigación se convierte en un punto de partida para estrategias de manejo de estos ecosistemas. ≡

Agradecimientos

El presente trabajo se realizó en el marco del proyecto Dinámica del bosque tropical: crecimiento y tasas de fijación de carbono en un gradiente ambiental complejo en Colombia, cofinanciado por el Departamento Administrativo de Ciencia Tecnología e Innovación (Colciencias; Contrato 393 de 2011) y desarrollado por el Jardín Botánico de Medellín (JBMED), con su grupo de investigación en Servicios Ecosistémicos y Cambio Climático y la asesoría del grupo de investigación Agroforestería del Trópico Húmedo Chocó (Agrotrópico) de la Universidad Tecnológica del Chocó. El Convenio Universidad de Leeds-JBMED aportó fondos para el procesamiento de las muestras y el convenio Fundación Natura-JBMED (Tasas de fijación de carbono de 200 especies de árboles nativos de Colombia) apoyaron la fase de campo del estudio. A Víctor Mena y Esteban Álvarez, por su asesoría en todas las fases del estudio; a Wilmar López e Ismael Pineda por su ayuda con el trabajo de campo. Finalmente, este trabajo no hubiera sido posible sin la colaboración de Tatiana Gómez y Sergio Puerta quienes facilitaron la logística y la reserva del Jardín Botánico del Pacífico para su desarrollo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias bibliográficas

- ALEGRE, Julio; ARÉVALO, Luis y RICSE, Auberto. Reservas de Carbono con Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en dos Sitios de la Amazonia Peruana. ICRAF/INIA. Perú. 2002. (En línea). Consultado el 7 de septiembre de 2014. URL: <http://www.fao.org/docrep/006/y4435s/y4435s0a.htm>
- ÁLVAREZ, Esteban, DUQUE, Alvaro, SALDARRIAGA, Juan, CABRERA, Kenneth, DE LAS SALAS, Gonzalo DEL VALLE, Ignacio, LEMA, Álvaro, MORENO, Flavio, ORREGO, Sergio y RODRÍGUEZ Leonidas. Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. In: *Forest Ecology And Management*, ISSN: 2011. Vol. 267, p. 297 – 308. (En línea). Consultado el 20 de Noviembre de 2013. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112711007444>
- ARREAGA, William Eduino. Almacenamiento de Carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la reserva de Biosfera maya Peten, Guatemala. Tesis, Magister Scientiae. Turrialba, CR. (En línea). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 2002. Consultado el 9 de Noviembre de 2013. URL: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0249E/A0249E.PDF>
- BROWN, Sandra y LUGO, Ariel. 1984. Biomass of tropical forests a new estimate based on forest volumes. In: *Science*. vol 123: p 1290-1293. (En línea). Consultado el 17 de Noviembre de 2013. URL: http://www.planta.cn/forum/files_planta/1290_834.pdf
- BROWN, Sandra y LUGO, Ariel. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forest and their role in the global carbon cycle. In: *Biotropical*. vol 14, no 3 p 161-189. (En línea). Consultado el 6 de Noviembre de 2013. URL: http://ctfs.arnarb.harvard.edu/Public/pdfs/ToDelete/Brown_1982_Biotropica.pdf
- BROWN, Sandra y LUGO, Ariel. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. Department of Natural Resources and Environmental Sciences. University, Press, Stanford, CA. (En línea). Consultado el 14 de Noviembre de 2013. URL: <http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e00.HTM>
- BUITRAGO, Dalia Mercedes, CABRERA, Mauricio, CARDONA, María Cecilia, CASTILLO, Shirley, DUARTE, Martha, GUTIÉRREZ, María Margarita, LAMPREA, Pedro Simón, LOZANO, Ricardo José, NIEVES, Helmuth, OLARTE, Claudia Patricia, PADILLA, Luis Gabriel, PEDRAZA, Adriana, PULIDO, Ana Derly, RODRÍGUEZ, Carmen, SALDARRIAGA, Gabriel de Jesus, SIERRA, Magda Mallén y YEPES, Luz Dary. Inventario nacional de emisiones de gases efecto invernadero. República de Colombia segunda comunicación nacional ante la convención marco de las naciones unidas sobre cambio climático. 2009. 152 p. En: IDEAM, MAVDT y PNUD (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial) y (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). Inventario nacional de gases de efecto invernadero, años 2000 y 2004. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Bogotá, 2009. 345 p
- CALLO-CONCHA, Daniel, CRISHNAMURTHY y ALEGRE, Julio. Cuantificación del Carbono Secuestrado por Algunos SAF y Testigos, en Tres pisos Ecológicos de la Amazonía del Perú. En: c. Valdivia, Chile, 2001. 23 p.
- CATCHPOLE, W. R. y WHEELER, 1992. Estimating plant biomass: a review of techniques. (En línea). Consultado el 15 de Noviembre de 2013. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1442-9993.1992.tb00790.x/abstract>
- CIESLA, William. Cambio Climático, Bosque y Ordenación Forestal: Una visión de Conjunto. Estudios. FAO. Roma, Italia. 1996. 147 p. (En línea). Consultado el 10 de Noviembre de 2013. Disponible en: http://books.google.com.co/books/about/Cambio_climatico_bosques_y_ordenacion_fo.html?id=DzoW7rZmY5QC&redir_esc=y
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Base de datos estadísticos. 2001. (En línea). Consultado el 06 de noviembre del 2013. URL: http://www.fao.org/forestry/fofra/menu.jsp?lang_id=3
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informe sobre recursos mundiales de suelos. FAO. Roma, IT. No. 96. 2002. 61 p. (En línea). Consultado el 10 de Noviembre de 2013. URL: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsr96s.pdf>
- FONAM (Fondo Nacional del Ambiente). Boletín CO₂ comercio. Dedicado a Informar Sobre las Oportunidades del Mercado de Carbono, 2005. (En línea). Consultado el 7 de septiembre de 2014. Disponible en: <http://www.fonamperu.org/general/mdl/documentos/guia%20MDL.pdf>

14. HARRIS, Jonathan, BIRJANDI, Jonathan y GARCÍA, Agustín. Bosques, Agricultura y Clima: Consideraciones Económicas y Políticas, 2011. (En línea). Consultado el 06 de Noviembre de 2013. URL: http://ase.tufts.edu/gdae/education_materials/modules/REDD_Spanish.pdf
15. HOLDRIDGE, Leslie. Ecología basada en Zonas de vida. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2000. 143 p.
16. IDEAM, MAVDT y PNUD (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial) y (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). Inventario nacional de gases de efecto invernadero, años 2000 y 2004. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. IDEAM, MAVDT y PNUD. Bogotá: Autores, 2009. 345 p.
17. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Cambio climático Informe de síntesis, 2007. (En línea). Consultado el 10 de Noviembre de 2013. URL: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
18. LOCATELLI, Bruno y LEONARD, Sylvain. Un método para medir el carbono almacenado en los bosques de Malleco, Chile. *En: Bois et forets des Tropiques*. 2001 vol 267 no 1: p 69-81.
19. LÓPEZ, Magdalena, DE KONINIG, Free, PAREDES, Hugo y BENÍTEZ, Pablo. Estimación de carbono contenido en la biomasa de bosques secundarios y plantaciones forestales en el noroccidente de Ecuador, 2002.
20. MACDICKEN, K. A guide to monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Alington, VA: Winrock International Institute for Agricultural Development. 1997. (En línea). Consultado el 9 de Mayo de 2013. URL: <http://www.forestclimatecenter.org/files/1997-10%20A%20Guide%20to%20Measuring%20Carbon%20Storage.pdf>
21. MALHI, Yadvinder y GRACE, John. Tropical forests and atmospheric carbon Dioxide. *In: Tree*. 2000. vol 15 no 8. p 332-337. (En línea). Consultado el 10 de Noviembre de 2013. Disponible en: <http://studentresearch.wcp.muohio.edu/RainforestsClimateChange/TropForestsAtmosCO200.pdf>
22. MAP (Ministerio de Agricultura de Perú) 2012. Estimación del carbono almacenado en la biomasa del bosque de la comunidad nativa ese' esa de infierno – madre de dios, Perú. Proyecto Gestión Forestal Sostenible y Aprovechamiento de los Servicios Ecosistémicos en los Bosques Administrados por la Comunidad Nativa Ese Eja de Infierno, Perú. 32 pg.
23. MENA MOSQUERA, Víctor. 2008. Relación entre el carbono almacenado en la biomasa total y la composición fisionómica de la vegetación en los sistemas Agroforestales con Café y en bosques secundarios del corredor biológico Volcánica Central–Talamanca, Costa Rica. Tesis de Maestría en Agroforestería Tropical. CATIE, Turrialba CR. 90p. (En Línea). Consultado el 12 de diciembre de 2012. URL: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2929e/A2929e.pdf>
24. MENA MOSQUERA, Víctor y VALDERRAMA, Leison; GARCÍA, Harold. Valoración del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono en un bosque pluvial tropical ubicado en la Sub-cuenca del río Tutunendo, Municipio de Quibdó, Chocó, Colombia. *En: IV Seminario Internacional de Agroforestería "Desde el Chocó Biogeográfico para el mundo"*. Quibdó, Chocó, Colombia 17 al 20 de septiembre de 2013. Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba", 2013a.
25. MENA MOSQUERA, Víctor, LEMUS, Eleuterio y SÁNCHEZ, Jeiffer. Línea base para el monitoreo de carbono almacenado en la biomasa aérea de bosques secundarios ubicados en las fincas de la Empresa Yarima SA, San Vicente de Chucurí, Santander, Colombia. *En: IV Seminario Internacional de Agroforestería "Desde el Chocó Biogeográfico para el mundo"*. Quibdó, Chocó, Colombia 17 al 20 de septiembre de 2013. Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba", 2013b.
26. MENA MOSQUERA, Víctor y RUIZ, Juan Carlos. Composición florística y carbono almacenado en los ecosistemas de Manglar, Sajal y Guandal, ubicados en el municipio de Bajo Baudó, Chocó, Colombia. *En: IV Seminario Internacional de Agroforestería "Desde el Chocó Biogeográfico para el mundo"*. Quibdó, Chocó, Colombia 17 al 20 de septiembre de 2013. Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba".
27. MOSQUERA QUINTO, Harley y ÁLVAREZ, Esteban. Estructura de la vegetación arbórea aledaña a las líneas de interconexión de energía eléctrica en Salero, Chocó. *En: Revista institucional de la Universidad Tecnológica del Chocó: Enero-Junio, 2010. vol 29, no 2, p. 155-165.*
28. NELSON, Bruce, MESQUITA, Rita, PEREIRA, Jorge, AQUINO, Silas, TEIXEIRA, Getulio y BOVINO, Luciana. Allometric Regressions for improved estimate of Sedondary forest biomass in the central Amazon. *In: Forest Ecology and Management*. 1999. vol 117: 149-167. (En línea). Consultado el 11 de Noviembre de 2013. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112798004757>
29. ORTIZ, Angélica Milena y RIASCOS, Lorena Dayana. Almacenamiento y Fijación de Carbono del sistema Agroforestal Cacao Theobroma cacao L. y Laurel Cordia alliodora (Ruiz & Pavón) Oken en la reserva indígena de Talamanca, Costa Rica. Trabajo de grado Ingeniero Agroforestal. Universidad de Nariño, 2008. (En Línea). Consultado el 12 de noviembre de 2013. URL: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A3706e/A3706e.pdf>
30. ORREGO, Sergio Alonso y DEL VALLE, Jorge Ignacio. Existencias y tasas de incremento neto de la biomasa y del carbono en bosques primarios y secundarios de Colombia. *En: Simposio Internacional Medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales*. 18 al 20 de Octubre de 2001. Valdivia Chile, 2001.
31. SEGURA, Milena y KANNINEN, Markku. Allometric Models for Tree Volume and Total Aboveground Biomass in a Tropical Humid Forest in Costa Rica. *En: BIOTROPICA*, 2005. vol 37 no 1, p 2–8. (En línea). Consultado el 10 de Noviembre de 2015. URL: http://www.cifor.org/publications/pdf_files/articles/asegura0501.pdf
32. SEGURA, Milena. Valoración del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados en el área de conservación Cordillera Volcánica central, Costa Rica. Tesis de Maestría, CATIE, Turrialba. Costa Rica. Costa Rica, 1999. 120 p. (En línea). Consultado el 12 de Noviembre de 2013. URL: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0178E/A0178E.PDF>
33. ULATE, Carmen Amelia. Análisis y comparación de la biomasa aérea de la cobertura forestal según zona de vida y tipo de bosque para Costa Rica. Tesis de Licenciatura, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería Forestal, 2011. 61 p.
34. YEPES-QUINTERO Adriana; DUQUE-MONTOYA Álvaro; NAVARRETE-ENCINALES Diego; PHILLIPS-BERNAL Juan; CABRERA-MONTENEGRO Ederson; CORRALES-OSORIO Adriana; ÁLVAREZ DÁVILA Esteban.; GALINDO-GARCÍA Gustavo; GARCÍA-DÁVILA María; IDÁRRAGA Álvaro y VARGAS-GALVIS Diana. Estimación de las reservas y pérdidas de carbono por deforestación en los bosques del departamento de Antioquia, Colombia. *En: Acta Biol.* vol 33 no 95. p 193-208. (En línea). Consultado el 20 de Noviembre de 2013. URL: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0304-35842011000200005&script=sci_arttext
35. YQUISE, P.A.; POCOMUCHA, V. y YTAVCLERH, V. C. Carbono almacenado en diferentes sistemas de uso de la tierra del distrito de José Crespo y Castillo, Huánuco, Perú, 2012. 49 p.
36. ZANNE, A. E., LÓPEZ-GONZÁLEZ, G., COOMES, D.A., LLIC, J., JANSEN, S., LEWIS, S. L., MILLER, R. B., SWENSON, N. G., WEMANN, M. C. y CHAVE, J. 2009. Global wood density database. (En línea). Consultado el 5 de Octubre de 2014. URL: <http://datadryad.org/handle/10255/dryad.235>