

# Estimación de carbono almacenado mediante el uso de un modelo alométrico en *Ceiba pentandra* en los emplazamientos urbanos de la ciudad de Cali\*

## Estimation of stored carbon through the use of an allometric model in *Ceiba pentandra* in urban sites of the Cali city

Derlyn Johanna Solano López<sup>1</sup>; Jairo Mora-Delgado<sup>2</sup> y Guillermo Duque<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Consultora Forestal. Universidad del Valle, Cali.; <sup>2</sup>Profesor Titular, Grupo de Investigación Sistemas Agroforestales Pecuarios, Universidad del Tolima, Ibagué; <sup>3</sup>Profesor asociado, Facultad de Ingeniería y Administración, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.

hannasol133@hotmail.com

### Resumen

Los bosques son el mayor sumidero de carbono por excelencia, aunque se han adelantado diversos análisis y estimación de volumen, biomasa y carbono, con el fin de conocer la dinámica de las coberturas forestales, se requiere aunar esfuerzos e incrementar análisis de evaluación en coberturas como las integradas a centros urbanos, que presentan dinámicas diferentes y han sido poco evaluadas. El objetivo del presente estudio fue aplicar el modelo alométrico determinado en Honduras para estimar el volumen y carbono para la especie *Ceiba pentandra*. Se reportó que la media de captura de carbono para la especie *Ceiba pentandra* fue de 0,18 t para los árboles dispersos declarados en las 22 comunas del municipio de Santiago de Cali. La media de captura de carbono para la especie *Ceiba pentandra* fue de 5,71 t para los árboles dispersos declarados como notables en las 22 comunas del municipio de Santiago de Cali.

Palabras clave: modelaje, sostenibilidad, belleza escénica, biomasa

### Abstract

Forests are the largest carbon sink par excellence, although various analyzes and estimates of volume, biomass and carbon have been carried out, in order to know the dynamics of forest covers, it is necessary to join forces and increase evaluation analysis in covers such as those integrated into urban centers, which present different dynamics and have been little evaluated. The objective of the present study was to apply the allometric model determined in Honduras to estimate the volume and carbon for the species *Ceiba pentandra*. It was reported that the average carbon capture for the *Ceiba pentandra* species was 0.18 t for the dispersed trees declared in the 22 communes of the municipality of Santiago de Cali. The average carbon capture for the *Ceiba pentandra* species was 5.71 t for the dispersed trees declared as notable in the 22 communes of the municipality of Santiago de Cali.

Keywords: modeling, sustainability, scenic beauty, biomass

\* Artículo basado en un capítulo del trabajo de maestría: Solano, D.J (2019) Variación en la captura de carbono en *Ceiba pentandra* y *Albizia saman* según el grado de intervención, municipio Santiago de Cali (Colombia). Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Palmira

## Introducción

La deforestación es una de las actividades que aporta más a los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y es la segunda causa más importante del cambio climático después de la quema de combustible fósiles, representando casi el 20% de dichas emisiones (FAO, 2018). El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es uno de los gases de efecto invernadero que afecta a la capa de ozono e incide en la aceleración del cambio climático. Puesto que el aumento de la devastación de extensas zonas de bosque incrementa la emisión de CO<sub>2</sub> (Mondragón, Sandoval & Breña, 2019), y su evitación mantiene los stocks almacenados de carbono, es indispensable conocer las cantidades de este elemento que se retienen en las diferentes coberturas forestales; así, es menester establecer diversas estrategias metodológicas para el monitoreo de los ecosistemas naturales que aún persisten (Jauregui, 2016).

La diversidad de relictos de árboles es de gran potencial en la contabilidad del CO<sub>2</sub> almacenado, para su comparación con las emisiones por otros sistemas artificiales, como son los medios transporte y la agricultura, generándose una información que puede ser útil para promover estrategias de balance, y de esta manera contribuir a la descarbonización de los territorios. Tal información técnica, junto con la voluntad política, recursos financieros y profesionales para adelantar dichas investigaciones, es de utilidad en tal proceso (Domínguez, 2016).

Una de las estrategias para conocer la captura de carbono, es a través de la aplicación de modelos alométricos para estimar el volumen, biomasa aérea y carbono almacenado por los individuos forestales, obteniéndose así, estimaciones para dichas variables. Esto facilita el conocimiento de las

zonas en estudio y la toma de decisiones (Fernández, 2017; Jauregui, 2016; Mardiatmoko, 2016). Estudios de las reservas totales de carbono en un paisaje de bosque tropical dan cuenta de la importancia de los conjuntos de árboles como sumideros de carbono; un trabajo en la región de Porce, en Colombia, reportó un promedio total de reservas de carbono (TCS) de  $383.7 \pm 55.5$  Mg.C ha<sup>-1</sup> en los bosques primarios, y para los bosques secundarios, el TCS fue de  $228.2 \pm 13.1$  Mg.C ha<sup>-1</sup> (Sierra et al., 2007); no obstante, son limitados los estudios en conjuntos de especies arbóreas en zonas urbanas.

El objetivo del presente capítulo fue aplicar modelos alométricos, determinados previamente en otros estudios, para la especie *Ceiba pentandra*, con el fin de estimar volumen y biomasa, y finalmente contabilizar indirectamente el carbono que capturan los individuos forestales de las especies mencionada en dos espacios de estudio en la ciudad de Cali (Colombia).

## Materiales y métodos

El área de estudio corresponde a los emplazamientos arbolados de la zona urbana de la ciudad de Cali (Colombia); en este ambiente, se estimó la captura de carbono para los árboles notables de *Ceiba pentandra*. Para ello, se hizo el cálculo de la variable volumen total de cada uno de los individuos forestales, usando la fórmula de  $V = D^2 * \pi/4 * H * FF$  (FAO). Para el factor de forma (FF), se tomó el valor de 0,65 para las dos especies (Gutiérrez, Moreno & Villota, 2005). Con base a un exhaustiva revisión de literatura, se decidió usar el modelo alométrico determinado en Honduras por Jauregui (2016) para la especie *Ceiba pentandra*:

$$\ln(V) = -94.377 + 0.111 \times \ln(DAP^2)^{\ln(h)} + 34.336 \times \ln(h^2 \times \ln(DAP)) - 10.726 \times h - 0.282 \times DAP$$

Este modelo tienen un rango de aplicación según variables dasométricas, por tanto, para esta especie funciona para el rango de 31 a 126 cm sin restricción en la proporción DAP/altura (Jauregui, 2016).

En relación con la variable Biomasa, se usó la fórmula de  $B=V*g*1,74$ , que corresponde a Volumen, densidad de la madera ( $g/cm^3$ ) y el factor de expansión de biomasa (FEB) recomendado por Brown (FAO, 2000; Quiceno, Tangarife, & Álvarez, 2016). La densidad de la madera fue tomado a partir del estudio realizado en un bosque seco en Santa Marta, costa caribe de Colombia, quienes determinaron los valores de  $0,29g/cm^3$  para *Ceiba pentandra* (Álvarez, et al., 2013).

La variable carbono, se estimó con el uso de un factor de conversión a partir de los datos de biomasa; este considera el contenido de

carbono en la biomasa seca y la relación entre el peso de la molécula de  $CO_2$  y el peso del átomo de carbono, correspondiendo a 0,5gr de carbono. Así, el valor de biomasa se multiplica por el 50% (Chamorro, et al., 2007; Gayoso & Guerra, 2005).

### Resultados y discusión

De acuerdo con el modelo alométrico seleccionado para la especie, se revisó en la base de datos si los diámetros de los individuos forestales declarados como notables correspondían a los rangos establecidos para el modelo. Así, conociendo que para la especie *Ceiba pentandra* el modelo alométrico funciona para el rango de 31 a 126cm, se observó que el modelo era aplicable para treinta y uno (31) individuos forestales de ciento cuatro (104) árboles de los emplazamientos; en la Tablas 1 se presentan las medidas de tendencia central para la especie *Ceiba pentandra*

**Tabla 1. Medidas de tendencia central de la especie *Ceiba pentandra* en emplazamientos en la ciudad de Cali**

	Volumen ( $m^3$ )	Biomasa (t)	Carbono (t)
Media	1,27	0,37	0,18
$S^2$	8,09	0,68	0,17
S	2,85	0,83	0,43

Fuente. Elaboración propia

De acuerdo con la tabla anterior, se señala que el promedio de volumen para los individuos forestales declarados en las 22 comunas corresponde a  $1,27 \pm 8,09 m^3$  en contraste con el promedio  $45,14 m^3$  de los árboles estudiados en la sede Meléndez de la Universidad del Valle por Solano (2019). Posiblemente, se debe a que los árboles a los que se les puede aplicar el modelo conforman un conjunto de datos muy heterogéneos, por

lo que se observa una mayor concentración de carbono para la pequeña representación de los árboles (nueve individuos) en la sede Meléndez de la Universidad del Valle en contraste con los ciento cuatro (104) individuos de los emplazamientos en las comunas.

**Tabla 2.** Estimaciones de carbono y biomasa de individuos forestales de la especie *Ceiba pentandra* por clase diamétrica en los emplazamientos de la ciudad de Cali

Clase	Individuos (#)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Biomasa (t)	Carbono (t)
0-1	10	1,65±1,58	0,48±0,46	0,24±0,23
1-2	21	1,09±3,31	0,32±0,96	0,16±0,48

**Fuente.** Elaboración propia

Se puede observar en la Tabla 2, que la clase diamétrica 1-2 es la que contenía más individuos forestales con un volumen promedio de 1,09±3,31 m<sup>3</sup>; esta cifra contrasta con los datos reportados por Solano (2019) para los árboles de la misma especie plantados en la sede de Meléndez de la Universidad del Valle, correspondiendo a 0,21 m<sup>3</sup> con tan solo dos (2) individuos forestales; esto se refleja en un mayor valor de carbono almacenado en esta clase.

Así, se estima entonces que la media de captura de carbono para la especie *Ceiba pentandra* fue de 5,71 t para los árboles dispersos declarados como notables en las 22 comunas del municipio de Santiago de Cali.

La comparación de los datos generados en este estudio con los reportes de literatura da cuenta de una importante variabilidad, pues esto dependen de las condiciones ambientales, de la edad de los individuos, del manejo y del arreglo espacial, entre otros factores. En un estudio realizado para la especie *Ceiba pentandra*, en África, se reportó una media de volumen de 64,84m<sup>3</sup> y una biomasa media total de 17,05 Kg, para un DAP de 170 cm, mientras que para un DAP de 132 cm el volumen fue de 28,55 m<sup>3</sup> y 15,39 kg, de volumen y biomasa respectivamente; en dicho estudio se realizó un fraccionamiento de volumen y biomasa por componentes, por lo cual los valores generados dan a conocer un mejor valor para las variables analizadas (Henry et al, 2010; FAO, 2012b). En la misma línea, en Honduras, se realizó el análisis de un modelo alométrico para la estimación del volumen, a través del método destructivo en el que se obtuvo el valor de volumen por

componentes separados, es decir volumen de ramas y volumen de fuste para luego obtener el volumen total y biomasa total. Así, se demostró la utilidad de la ecuación generada para el caso de los diámetros entre 45,47 a 125,98 cm DAP, valores de volumen que oscilaron entre 1,11 a 8,60 m<sup>3</sup> y entre 265,46 y 2063,28 Kg de biomasa total, con lo que se espera un captura de C entre 0,13 a 1,03 t (Jauregui, 2016). Por otra parte, el trabajo desarrollado en el CATIE para un total de 39 individuos forestales de nueve especies, incluida la especie *Ceiba pentandra*, estima una biomasa de 2512,63Kg, para una media diamétrica de 59,02cm de DAP y un volumen total de 6,36m<sup>3</sup> (Chaves, 2000).

En Sur América, en el municipio de Labrea, Brasil, se reportó un volumen comercial de 10,42m<sup>3</sup> para un DAP medio de 100,59cm para un total de ocho (8) individuos forestales estudiados (Thaines, et al., 2010). En el mismo país, se estimó para un fragmento de bosque secundario de 70 ha del Área de Protección Ambiental, con una edad estimada entre 25-30 años, aproximadamente un valor medio de biomasa y carbono de 5913,47 y 1,774 Kg/árbol, respectivamente (Ferreira et al., 2020).

La variabilidad de los anteriores datos refleja diferentes condiciones ambientales y de edad de los individuos o bosques analizados. Hay que anotar que la mayoría de los datos reportados para valores de biomasa y carbono almacenado se presentan por tipo de bosque, o por conjunto de las especies encontradas, y no son frecuentes aquellos que se enfoquen en el análisis de estas variables para coberturas urbanas, cuyos

individuos forestales se encuentran dispersos.

De ahí que es importante resaltar lo generado en este estudio, en el sentido de confirmar que para los individuos forestales ubicados en las zonas urbanas, su arquitectura natural puede verse afectado por las intervenciones silviculturales a los que suelen ser sometidos al estar en integración con las demás infraestructuras urbanas (Min & Lum, 2018). Por ejemplo, sufren más aquellos que se encuentran ubicados en los emplazamientos como los andenes y bajo los tendidos eléctricos para el caso de la localización del presente estudio.

Los datos registrados en el presente estudio se consideran de gran utilidad, debido a que es un estudio pionero en la estimación de la captura de carbono en las especies declaradas como Árboles Notables para el municipio de Santiago de Cali. Esto, proporciona una herramienta de gran utilidad para resaltar y fortalecer los esfuerzos de conservación y manejo de los individuos forestales de las especies *Ceiba pentandra*. De igual forma genera una pauta para que se incremente el interés por realizar estudios de este tipo con el fin de calcular el servicio ecosistémico correspondiente a captura de carbono para el resto de las especies declaradas como árboles notables y las especies nativas que integran el bosque seco tropical del municipio de Santiago de Cali.

No obstante, se debe tener cuidado en el uso de las ecuaciones o modelos alométricos existentes ya que pueden llegar a sobreestimar los valores de volumen, biomasa y carbono (Min y Lum, 2018).

### Conclusiones

Realizar esfuerzos con el fin de conocer y/o cuantificar un servicio ecosistémico como la captura de carbono, se vuelve imprescindible, sobre todo en el proceso en que se requieren

generar estrategias de conservación e incremento de la cobertura forestal de los diferentes tipos de ecosistemas, especialmente en las zonas urbanas.

La mayor concentración de carbono, en relación a *Ceiba pentandra*, para los árboles integrados en el rango de validación del modelo alométrico se registraron en la primera categoría alcanzando  $0,24 \pm 0,23$  t, aunque es en la clase 1-2 en donde se almacena más carbono por la mayor cantidad de individuos. Cabe denotar, que no se pudo evaluar la clase diamétrica de  $> 2$ , ya que los mayores valores en DAP quedaron fuera del rango de funcionalidad de los modelos alométricos aplicados.

### Referencias

- Álvarez, E., Benítez, D., Velásquez, C., Cogollo, Á. (2013). Stem Basic Density of Dry Forests Trees in the Colombian Caribbean Coast. *Revista Intropica*, 8(1794-161X), 17–28. Retrieved from <http://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/729>
- Chamorro, G.; González, J. ., Jurado, H.; Guerrero, D. ., & Possu, W. (2007, January). Estimación de la biomasa aérea y captura de carbono en árboles dispersos en potreros con motilon silvestre (*Freziera canescens*) en el Municipio de Pasto Nariño-Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 24, 46–55. Retrieved from <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/88>
- Chaves, M. (2000). Aplicación de una metodología para la estimación de biomasa lenosa arriba del suelo en arboles individuales, en la region atlantica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. Retrieved from <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A11133e/A11133e.pdf>
- Domínguez, A. (2016). Estimaciones de captura de los parques y emisiones de

- CO<sub>2</sub> vehicular en Tijuana, b.c. El Colegio de la Frontera Norte. Retrieved from <https://www.colef.mx/posgrado/wp-content/uploads/2016/12/TEsis-Domínguez-Madrid-Ana-Yurendy.pdf>
- FAO. (2000). *Directrices para la evaluación en los países tropicales y subtropicales*. Roma. Retrieved from <http://www.fao.org/3/ae218s/AE218S00.htm#TopOfPage>
- FAO. (2012). *Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles*. Cirad. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/018/i3058s/i3058s.pdf>
- FAO. (2018). *El estado de los bosques del mundo* (FAO). Roma. Retrieved from <http://www.fao.org/publications/es>
- Fernández, M. (2017). *Revisión de métodos para la estimación de captura de carbono almacenadas en bosques naturales*. Universidad Militar Nueva Granada. Retrieved from <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/16394?mode=full>
- Ferreira, A., Santos, S., Araújo, E., Cavalcante, C., Nogueira, J., & Linhares, E. (2020). Estimativa de biomassa e carbono de espécies arbóreas existentes em um fragmento florestal em regeneração da APA 'Igarapé São Francisco', em Rio Branco, Acre. Rio Branco, Brasil. Retrieved from <http://www.sbpnet.org.br/livro/65ra/resumos/resumos/4011.htm>
- Gayoso, J., & Guerra, J. (2005). Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile\* Carbon content in the above-ground biomass of evergreen forest in Chile. *Bosque*, 26, 33–38. Retrieved from [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-92002005000200005](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002005000200005)
- Gutiérrez, E.; Moreno, R.; Villota, N. (2005). *Guía práctica para la cubicación de maderas*. Pereira, Colombia. Retrieved from [http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Gobernanza\\_forestal\\_2/10\\_Guía\\_de\\_Cubicación\\_de\\_Madera.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Gobernanza_forestal_2/10_Guía_de_Cubicación_de_Madera.pdf)
- Henry, M., Besnard, A., Asante, W.A., Eshun, J., Adu-Bredu, S., Valentini, R., Bernoux, M. & Saint-André, L. 2010. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. *Forest Ecology and Management*, 260(8): 1375–1388
- Jauregui, K. (2016). Ecuaciones alométricas para estimar volumen y biomasa aérea de *Enterolobium cyclocarpum* y *Ceiba pentandra* en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras. Retrieved from <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5731/1/IAD-2016-T022.pdf>
- Mardiatmoko, G. U. N. (2016). Allometric equations for predicting above and below-ground biomass of young rain tree [*Albizia saman* (jacq.) merr.] to handle climate change. *Asian Jr. of Microbiol. Biotech*, 18(0972–3005), 821–830. Retrieved from [http://www.envirobiotechjournals.com/article\\_abstract.php?aid=7365&iid=221&jid=1](http://www.envirobiotechjournals.com/article_abstract.php?aid=7365&iid=221&jid=1)
- Min, K & Lum, S. (2018). Aboveground biomass estimation of tropical street trees. *Journal of Urban Ecology*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jue/jux020>
- Mondragón, J.; Sandoval, A., Breña, F. (2019). Calentamiento global : una secuencia didáctica. *Revista Mexicana de Física*, 65(1870–3542), 52–57. Retrieved from <https://doi.org/10.31349/RevMexFisE.65.52>
- Quiceno-Urbina, N.-J., Tangarife-Marín, G.-M., & Álvarez-León, R. (2016).

Estimación del contenido de biomasa, fijación de carbono y servicios ambientales, en un área de bosque primario en el resguardo indígena Piapoco Chigüiro-chátare de Barrancominas, departamento del Guainía (Colombia). *Luaz Luna Azul*, 43(43), 171–202.  
<https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.9>

Sierra, C., Valle, J. ., Orrego, S., Moreno, F. ., Harmon, M. ., Zapata, M. Colorado, G.J., Herrera, M.A., Lara, W. ., Restrepo, D.E., Berrouet, L.M., Loaiza, L.M., Benjumea, J.F. Benjumea, J. (2007). Total carbon stocks in a tropical forest landscape of the Porce region, Colombia. *Science Direct*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112707002411>

Thaines, F., Braz, E. M., Mattos, P. P. de, & Thaines, A. A. R. (2010). Equações para estimativa de volume de madeira para a região da bacia do Rio Ituxi, Lábrea, AM. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 30(64), 283–289.  
<https://doi.org/10.4336/2010.pfb.30.64.283>