

Secuestro de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Eucalyptus grandis* W. Hill

Carbon sequestration in the aerial biomass of a plantation of *Eucalyptus grandis* W. Hill

Jorge Luis Ramírez López¹

Eduardo Jaime Chagna Ávila²

¹Magister Scientiae en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. Profesor Auxiliar. Universidad Técnica del Norte (Ibarra-Ecuador). Correo electrónico: jlr Ramirez@utn.edu.ec

²Magister en Seguridad y Prevención de Riesgos del Trabajo. Profesor Auxiliar. Universidad Técnica del Norte (Ibarra-Ecuador). Correo electrónico: ejchagna@utn.edu.ec

Recibido: 22 de noviembre de 2018.

Aprobado: 10 de enero de 2019.

RESUMEN

El cambio de uso de suelo y la quema de combustibles fósiles incrementan las concentraciones de dióxido de carbono en el ambiente. Este gas es considerado como el de mayor impacto sobre el calentamiento global por sus niveles de concentración en la atmósfera. Con el objetivo de determinar la cantidad de carbono secuestrado por la plantación de *Eucalyptus grandis* ubicada en la granja experimental «La Favorita», se cuantificó la biomasa mediante la relación entre peso fresco y porcentaje de materia seca del fuste, corteza, ramas y hojas de una muestra de 32 árboles. El carbono secuestrado se obtuvo con la multiplicación de la biomasa por el factor de conversión de 0,5. La investigación se realizó con una muestra de 0,8 ha en una plantación de

48 años, de la costa ecuatoriana. El promedio de carbono aéreo secuestrado fue de 0,75 t/árbol y 312,10 t/ha. El 81,20 % del carbono secuestrado en la biomasa aérea de la plantación se encuentra en el fuste, el 7,57 % en cortezas, el 8,87 % en ramas y el 2,36 % en hojas. La ecuación alométrica derivada a partir de la combinación de las variables diámetro a 1,30 m y altura total (D^2ht), mostró el 98 % de ajuste para la predicción de carbono de la plantación. Estos resultados muestran el alto potencial de las plantaciones de *Eucalyptus grandis* como sumideros de carbono y como una alternativa de mitigación y adaptación al cambio climático. Los valores de carbono secuestrado son superiores a otras plantaciones de la misma especie.

Palabras clave: calentamiento global; mitigación; adaptación; cambio climático; ecuación alométrica.

ABSTRACT

Land use change and the burning of fossil fuels increase the concentrations of carbon dioxide in the environment. This gas is considered to have the greatest impact on global warming because of its concentration levels in the atmosphere. In order to determine the amount of carbon sequestered by the *Eucalyptus grandis* plantation located in the experimental farm "La Favorita", the biomass was quantified by means of the relation between fresh weight and percentage of dry matter of the shaft, bark, branches and leaves of a sample of 32 trees. The sequestered carbon was obtained by multiplying the biomass by the conversion factor of 0.5. The research was carried out with a sample of 0.8 ha in a 48-year plantation on the

Ecuadorian coast. The average aerial carbon sequestered was 0.75 t / tree and 312.10 t / ha. The 81.20 % of carbon sequestered in the aerial biomass of the plantation is found in the shaft, 7.57 % in bark, 8.87 % in branches and 2.36 % in leaves. The allometric equation derived from the combination of the variables diameter at 1.30 m and total height ($D_{1.30} \times H$), showed 98 % adjustment for the prediction of carbon of the plantation. These results show the high potential of the of *Eucalyptus grandis* plantations as carbon sinks and as an alternative for mitigation and adaptation to climate change. The values of sequestered carbon are higher than other plantations of the same species.

Keywords: global warming; mitigation; adaptation; climate change; allometric equation.

INTRODUCCIÓN

El calentamiento de la tierra debido a la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera, es un fenómeno comprobado Molina, Sarukhán y Carabias, (2017). La quema de combustibles fósiles, el cambio de uso de suelo y la deforestación producen un incremento de dióxido de carbono (CO_2) en el ambiente, lo que acompañado de la presencia de GEI como el metano (CH_4), óxido nitroso (NO_2) y clorofluorocarbonos (CFC), inexistentes de forma natural en la atmósfera López y otros., (2016), ratifican el impacto de las actividades antrópicas en la variación climática del planeta.

Los ecosistemas forestales constituyen uno de los principales sumideros de carbono del planeta Yepes y otros.,

(2015). Al secuestrar carbono en su biomasa y reducir la presión sobre los bosques nativos por madera, las plantaciones forestales son una alternativa de mitigación del cambio climático López y otros., (2016). La cantidad de carbono secuestrado por el ecosistema dependerá de la especie, edad, manejo, clima y suelo Somarriba y otros., (2013).

Pese a la importancia de las plantaciones forestales en la reducción de carbono en la atmósfera, en el Ecuador la mayoría de estas son establecidas solo con fines de producción maderera (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2018). Servicios ecosistémicos como el secuestro de CO_2 son vinculados y estudiados casi exclusivamente en

formaciones naturales Cadilhac y otros., (2017). Al existir interés del estado por reducir las emisiones provenientes del sector forestal equivalentes a un 25.35 % del total de emisiones generadas por el país (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2016), es necesaria la generación de datos específicos sobre el aporte de las plantaciones forestales; aún más si se toma en cuenta que el Ecuador es el primer país en recibir fondos del programa de políticas e incentivos positivos para la reducción de emisiones debidas a la deforestación y la degradación de los bosques (REDD+) (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2017).

Hasta 2014, las plantaciones comerciales en el Ecuador cubrían una superficie de 132 072 ha (*Food and Agriculture Organization*, 2014), que sustentaron el 66,80 % de la producción de madera legal del país con 2 411 271,52 m³ (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2014a). El 42,41 % de estas plantaciones se estableció en la región costera con especies de rápido crecimiento, de las que destacan por la superficie que cubren: Teca (*Tectona*

grandis L.f.), Pachaco [*Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake], y Eucalipto (*Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus «urograndis»*), respectivamente (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2013).

Plantaciones de *Eucalyptus grandis* ubicadas en Colombia almacenaron 239 t/ha de carbono a los siete años Martínez y otros., (2018), lo que representa más del doble de carbono capturado por el Bosque Siempre Verde de Tierras Bajas de la Amazonía, que, según la primera evaluación nacional forestal del Ecuador, es el ecosistema natural con la mayor tasa de captura de carbono con 108,69 t/ha Ministerio del Ambiente del Ecuador, (2014b). Pese a la presencia de la especie en varias plantaciones del litoral ecuatoriano y al potencial de secuestro de carbono, no se dispone de datos que cuantifiquen este aporte en el país.

Por lo que el objetivo de la presente investigación fue determinar la cantidad de carbono secuestrado por la plantación de *Eucalyptus grandis* ubicada en la granja experimental «La Favorita».

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del sitio de estudio

La investigación se desarrolló en una plantación de 8,03 ha de *Eucalyptus grandis*, establecida en marzo de 1970 en la granja experimental «La Favorita», propiedad de la Universidad Técnica del Norte. Se ubica a 0°13' de latitud S y 78°47' de longitud W, en el sector Chiriboga, parroquia San José de Alluruquín, cantón Santo Domingo, provincia Santo Domingo de los

Tsachilas. La altitud de la granja oscila entre los 1 700 y 2 300 msnm, con una precipitación media anual de 3 000 mm y una temperatura media de 16 °C. La plantación se consideró como sana según el criterio de Murillo y Camacho, (1997), pese a no recibir tratamientos silviculturales en ninguna etapa de su desarrollo.

Inventario Forestal

Para la realización del inventario se usó una intensidad de muestreo del 10 %, el doble de lo recomendado por la Subsecretaría de Producción Forestal para plantaciones de esta superficie (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2017). Se establecieron de forma sistemática 16 parcelas rectangulares de 20 m de ancho por 25 m de largo (500 m²). Para la ubicación de las parcelas en campo se usaron las coordenadas provenientes de una rejilla sobrepuesta en el mapa de la plantación. Dentro de las parcelas se realizaron mediciones del diámetro a 1.30 m (Di) y altura total (ht).

Cuantificación de la biomasa

Para la cuantificación de la biomasa fueron derribados dos árboles en cada unidad muestral a fin de tener 36 individuos, superior a lo recomendado por Pardé y Bouchon, (1988) para coberturas homogéneas como plantaciones menores a 15 ha Picard, Saint-André y Henry, (2012). Los árboles seleccionados fueron aquellos que mostraron valores de Di Y ht similares al del promedio de la parcela Vélez y Arango, (2002). Una vez en el suelo se separó el fuste de las ramas. Este fue cortado en secciones de 5 m de longitud, a excepción de la primera sección que midió 4,70 m para compensar la altura de corte del árbol. Finalmente, se realizó la medición del diámetro medio de cada sección (con y sin corteza). Para determinar el volumen del fuste con y sin corteza se aplicó la fórmula de Huber (ecuación 1) a cada sección Riaño y Lizarazo, (2017).

$$v = \frac{\pi}{4} * D_m^2 * L \quad (1)$$

Donde:

v=volumen de la sección (con y sin corteza).
D_m=diámetro a la mitad de la troza (con y sin corteza).
L= longitud de la sección (5 m).

Finalmente, el volumen de la corteza se obtuvo por la diferencia entre el volumen del fuste con corteza y sin corteza.

De cada árbol se obtuvo una rodaja del fuste de 4 cm de espesor, esta se pesó en campo con y sin corteza (peso verde). Cada rodaja y su corteza fueron empacadas y codificadas para ser enviadas al laboratorio, donde fueron

sometidas a temperatura constante de 105 °C dentro de un horno. Al alcanzar pesos constantes fueron registrados como peso en seco. Se obtuvo el valor de la biomasa de la rodaja y de la corteza mediante la ecuación 2, que se presenta a continuación. Estos valores se extrapolaron al volumen del fuste para obtener la cantidad total de biomasa de los componentes Segura y Andrade, (2008).

$$B=(Pf*Ms) /100 (2)$$

Donde:

B(kg)=biomasa.

Pf= peso fresco (kg).

Ms= materia seca (%).

Para determinar la biomasa de ramas y hojas se seleccionó una rama bifurcada directamente del fuste y ubicada en el centro de la copa (a fin de tener un valor promedio). La rama fue dividida en secciones parciales de 0.5 m y se obtuvo una rodaja de 1 cm de espesor, a fin de obtener la biomasa de la rama con la metodología usada en el fuste. El follaje de la rama fue pesado en campo y secado en horno, se aplicó la ecuación 2 y se obtuvo el valor de la biomasa de hojas. Finalmente, se multiplicaron los valores obtenidos por el número de ramas y se obtuvo un estimado de la biomasa de ramas y hojas.

Ajuste fórmula alométrica

Con los valores de la biomasa aérea de los 32 individuos se realizó un análisis de regresión simple y múltiple, a fin de obtener la ecuación predictora de mejor ajuste. Las variables independientes para el análisis de regresión múltiple fueron Di y ht, mientras que el análisis

de regresión simple fue realizado en función de la variable combinatoria Di*ht. El parámetro de selección en la regresión simple fue el R² ajustado. En la regresión múltiple se realizó una depuración por el método Stepwise y se seleccionó el mejor ajuste en base a al coeficiente de Mallows, el error estándar de la estimación y el R² ajustado. Picard, Saint-André y Henry, (2012).

Cuantificación del carbono

Se obtuvo el modelo alométrico de mejor ajuste y se aplicó a los datos levantados en el inventario forestal (Di y ht), obteniéndose los valores de biomasa aérea de las parcelas de estudio. Este valor fue ponderado a individuo promedio, unidad de superficie (hectárea) y plantación. Cada ponderación fue multiplicada por un factor de conversión de 0,5 Penman y otros., (2003) y se obtuvo el carbono secuestrado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Inventario forestal

La plantación cuenta con 1 610 individuos equivalente a 201 árboles/ha. El promedio de Di es de 0,44 m con un rango de 0,14 m a 0,88 m. La altura total promedio de la plantación es de 32,44 m, con valores que van desde los 10 m hasta los 65 m. Los rangos registrados en las variables dasométricas Di y HT, muestran cierta heterogeneidad en la

plantación debido a la falta de tratamientos silviculturales, lo que se ratifica con los estimadores estadísticos (Tabla 1).

Tabla 1. - Resúmenes estimadores estadísticos

ESTIMADOR	HT (m)	Di (m)	g (m ² /ha)	Vol (m ³ /ha)
PROMEDIO	32.44	0.44	38.95	988.47
S	8.25	0.14	10.18	357.89
CV (%)	25.43	31.67	26.13	36.21

Leyenda: HT: altura total; Di: diámetro a 1.30 m; g: área basal; Vol: volumen; S: desviación estándar de la muestra; CV: coeficiente de variación

Plantaciones en Colombia registran rendimientos de hasta 200 m³/ha en turnos de seis a ocho años Gómez, Ríos y Peña, (2012). En Argentina, se registran volúmenes de 525 m³/ha en plantaciones de 12 años Aparicio y López, (1995). La plantación estudiada muestra un rendimiento volumétrico superior, atribuible a los 40 años que permitieron un mayor crecimiento en Di y HT; sin embargo, el Di promedio de la plantación es inferior al del potencial de la especie con la aplicación de tratamientos silviculturales, que llega a 0,45 m a los 14 años Sepliansky, (2002).

Adicionalmente, la falta de estos tratamientos pudo generar competencia por luz entre individuos, lo que podría ser una de las razones del crecimiento en altura desproporcional al Di. El

Incremento Medio Anual (IMA) de la plantación fue de 24,71 m³/ha/año, similar a los 25 m³/ha/año registrados en Colombia Gómez, Ríos y Peña, (2012) e inferior a los 43,75 m³/ha/año observados en Argentina. Aparicio y López, (1995).

Biomasa de la plantación

El total de biomasa aérea de la plantación fue de 5 012,31 t, correspondiente a 624,20 t/ha. De este valor el 81,20 % se concentró en los fustes, el 7,57 % en cortezas, el 8,87 % en ramas y el 2,36 % en hojas. Esta distribución puede atribuirse a las características propias de la especie. Paixão y otros., (2006) en su investigación determinaron una distribución de biomasa aérea similar.

El 81,84 % concentrado en el fuste, el 8,05 % en la corteza y el 7,74 % en ramas y hojas. Una tendencia análoga se presenta en el trabajo de Ribeiro y otros., (2015), quienes mencionan que el 82 % de la biomasa aérea se concentra en el fuste, el 8 % en la corteza, el 7 % en las ramas y el 3 % en las hojas.

Fórmula alométrica

La ecuación alométrica para predicción de carbono secuestrado en plantaciones de *Eucalyptus grandis* mostró un buen ajuste con un R^2 de 0,98. La ecuación de mejor ajuste se obtuvo en base a la

combinación de las variables D_i y ht (Véase la figura), lo que muestra la importancia de estas variables en la estimación de carbono secuestrado. El uso de D_i^2ht como variable predictora del contenido de carbono es consistente con investigaciones realizadas por Pacheco y otros., (2007), Zewdie, Olsson y Verwijst, (2009) y Ribeiro y otros., (2015). En un análisis por separado se mostró que el D_i tiene mayor influencia que la ht en el carbono presente en cada individuo. Dado el ajuste de la ecuación, esta podría ser usada en la estimación de carbono secuestrado en plantaciones de similares características.

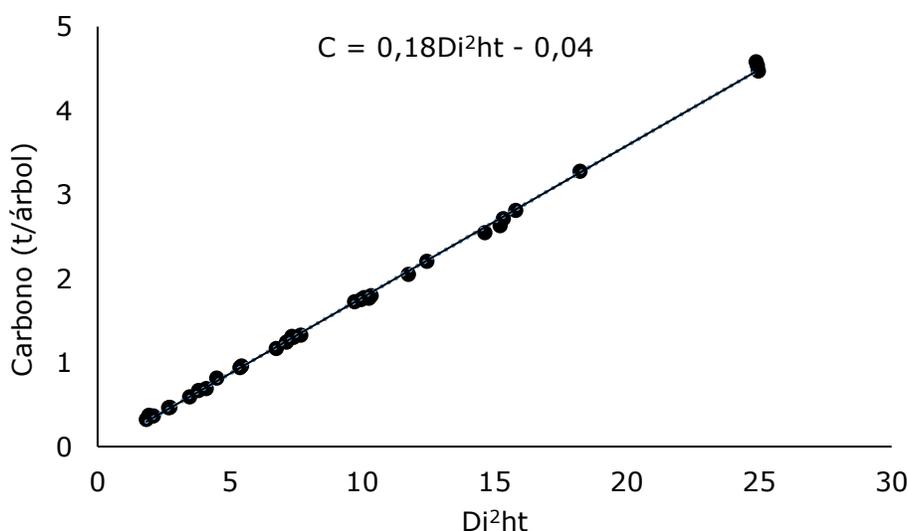


Fig 1. - Relación entre biomasa aérea total y la variable D_i^2ht

El uso de las variables Di y ht por separado mostró un buen ajuste, sin embargo, el R² ajustado fue menor que el de la ecuación obtenida con la variable combinada Di²ht. Esto pese a que en el caso de regresiones múltiples el R² aumenta debido al número de variables, lo que hace que pierda representatividad en este tipo de regresiones; por lo que

se analizó el Cp de Mallows y el error estándar de la estimación, ratificando la ecuación de mejor ajuste como la obtenida con la variable combinada. La complejidad de las fórmulas resultantes con las variables por separado y sus polinomios es mayor que la ecuación seleccionada, como se observa en la tabla 2 (Tabla 2).

Ecuación	R ² Aj	Cp Mallows	s
CC = 0.18 Di ² ht-0.04	0,98	2	0,14
CC = 6.7Di ² -0.64Di+0.03ht-0.79	0,97	4	0,19
CC = 6.17Di ² +0.03ht-0.91	0,96	3	0,22
CC = 7.28Di+0.01ht-2.28	0,94	3	0,31
CC = 7.28Di+0.0005ht ² -0.02ht-1.82	0,92	4	0,31

Leyenda: CC: contenido carbono; Aj: jjustado; Cp: Coeficiente; ht: altura total; Di: diámetro a 1.30 m; s: error estándar de la estimación.

Carbono de la plantación

El carbono secuestrado por árbol fue en promedio 0,75 t, equivalente a 312,10 t/ha y 2506,16 t en toda la plantación, lo que indica que el carbono secuestrado en el componente aéreo de plantaciones de ocho años fue de 63,7 t/ha Ribeiro y otros., (2015). Estos datos son similares a los obtenidos por Paixão y otros., (2006), quienes registraron valores de 47,7 t/ha en plantaciones de igual edad. La diferencia en comparación a la presente investigación radica en la relación seis a uno de la edad. Cabe recalcar que en el estudio se usó la fracción genérica del 50 % de carbono

por unidad de biomasa, lo que pudo generar sobreestimaciones Lamlo y Savidge, (2003).

El contenido de carbono secuestrado en la biomasa aérea de *Eucalyptus grandis* mostró el potencial como sumidero de carbono de la especie. La mayor cantidad de biomasa aérea de la plantación se encontró en el fuste. Para las condiciones de estudio, la ecuación alométrica basada en la combinación de DAP y ht (DAP²ht) mostró el mejor ajuste, lo que simplifica los cálculos y predice valores de carbono más cercanos a los reales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APARICIO, J.L. y LÓPEZ, J.A., 1995. «Potencial de *Eucalyptus grandis* en los suelos del sudeste de la provincia de Corrientes y algunos factores edáficos relacionados con la producción de madera». *Bosque* [en línea]. Valdivia: Universidad Austral de Chile, vol. 16, no. 2, pp. 81-89. [consulta: 10 octubre 2018]. ISSN 0717-9200. Disponible en: http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S07192001995000200007&lng=es&nr_m=iso&tlng=bib [consulta: 25 septiembre 2018]. ISSN 0718-0764. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S07180764201200060009&script=sci_arttext&tlng=en
- CADILHAC, L., TORRES, R., CALLES, J., VANACKER, V. y CALDERÓN, E., 2017. «Desafíos para la investigación sobre el cambio climático en Ecuador». *Neotropical Biodiversity* [en línea]. Tena: IKIAM, vol. 3, no. 1, pp. 168-181. [consulta: 01 octubre 2018]. ISSN 2376-6808. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/23766808.2017.1328247>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), 2015. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015 - Informe Nacional Ecuador [en línea]. Roma: Food and Agriculture Organization (FAO) 2015. [consulta: 25 septiembre 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/aau190s.pdf>
- GÓMEZ, E.A., RÍOS, L.A. y PEÑA, J.D., 2012. «Madera, un potencial material lignocelulósico para la producción de biocombustibles en Colombia». *Información tecnológica* [en línea], vol. 23, no. 6, pp. 73-86.
- LAMLON, S.H. y SAVIDGE, R.A., 2003. «A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species». *Biomass and Bioenergy* [en línea]. Boulder: Elsevier, vol. 25, no. 4, pp. 381-388. [consulta: 25 septiembre 2018]. ISSN 0961-9534. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953403000333>
- LÓPEZ REYES, L.Y., DOMÍNGUEZ DOMÍNGUEZ, M., MARTÍNEZ ZURIMENDI, P., ZAVALA CRUZ, J., GÓMEZ GUERRERO, A. y POSADA CRUZ, S., 2016. «Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) de diferentes edades». *Madera y bosques* [en línea]. Xalapa: Instituto de Ecología A.C., vol. 22, no. 3, pp. 49-60. [consulta: 15 septiembre 2018]. ISSN 1405-0471. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S140504712016000300049&script=sci_arttext
- MARTÍNEZ, L.A., CUÉLLAR, Y., PÁEZ, N.J. y PEDRAZA, J.I., 2018. «Huella de Carbono del Ciclo de Vida de Plantaciones Forestales Comerciales (*Eucalyptus grandis*, *Pinus patula*) y Forestal Protectora (*Guadua angustifolia kunth*) en Colombia». *Advances in Cleaner Production, Proceedings of the 7th*

- International Workshop: 21 a 22 de junio.* Barranquilla. s.n., pp. 88-89.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA (MAG), 2018. Tabla de leyenda en formato (.xls) de la temática plantaciones forestales incentivadas. [en línea]. [Consulta: 17 octubre 2018]. Disponible en: <http://geoportal.agricultura.gob.ec/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/427ef898-a404-4eba-8cc7-800a90f1eb37>.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA, ACUACULTURA Y PESCA (MAGAP), 2013. Estadísticas Forestales. *I Congreso Internacional de Producción Forestal Sostenible: 12 a 14 de junio.* Quito.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA, ACUACULTURA Y PESCA (MAGAP), 2016. *Manual de procedimientos para la evaluación de la sobrevivencia y el mantenimiento de las plantaciones forestales comerciales.* Quito: Dirección de Desarrollo Forestal-MAGAP.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR (MAE), 2016. *Bosques para el Buen Vivir-Plan de Acción REDD + Ecuador (2016-2025).* Quito: Subsecretaría de Patrimonio Natural, Dirección Nacional Forestal, Ministerio del Ambiente del Ecuador. ISBN 978-9942-22-079-0.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR (MAE), 2014a. *Estadísticas forestales 2011-2014.* Quito: Subsecretaría de Patrimonio Natural, Dirección Nacional Forestal, Ministerio del Ambiente del Ecuador.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR (MAE), 2014b. *Evaluación Nacional Forestal, Resultados.* [en línea]. [Consulta: 24 septiembre 2018]. Disponible en: http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185860/Evaluación+Nacional+Forestal_NREFD+1.pdf/955aaa3834b6-4b4d-9278-8fe915df893f.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR (MAE), 2017. *Tercera Comunicación Nacional del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.* [en línea]. [Consulta: 24 septiembre 2018]. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/TERCERACOMUNICACIONBAJA-septiembre-2017-ilovepdf-compressed1.pdf>.
- MOLINA, M., SARUKHÁN, J. y CARABIAS, J., 2017. *El cambio climático: causas, efectos y soluciones.* México: Fondo de Cultura Económica. ISBN 6071650771.
- PACHECO ESCALONA, F.C., ALDRETE, A., GÓMEZ GUERRERO, A., FIERROS GONZÁLEZ, A.M., CETINA ALCALÁ, V.M. y VAQUERA HUERTA, H., 2007. «Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de pinus greggii Engelm». *Revista Fitotecnia Mexicana* [en línea], vol. 30, no. 3. ISSN 0187-7380. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61003006>.

- PAIXÃO, F.A., SOARES, C.P.B., JACOVINE, L.A.G., DA SILVA, M.L., LEITE, H.G. y DA SILVA, G.F., 2006. «Quantification of carbon stock and economic evaluation of management alternatives in a eucalypt plantation». *Revista Arvore* [en línea]. Minas Gerais: Sociedade de Investigações Florestais, vol. 30, no. 3, pp. 411-420. [consulta:15 septiembre 2018]. I SSN 1806 9088. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2s2.033748096788&partnerID=40&md5=3901f8c9b348f0ffa4fb71fc8b24223e>.
- PARDÉ, J. y BOUCHON, J., 1988. *Dendrométrie*. 2ème éd. France: AGROPARISTECH. ISBN: 9782857100805.
- PENMAN, J., GYTARSKY, M., HIRAISHI, T., KRUG, T., KURGER, D., PIPATTI, R., BUENDIA, L., MIWA, K., NGARA, T. y TANABE, K., 2003. *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*. Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies. ISBN 4887880030.
- PICARD, N., SAINT-ANDRÉ, L. y HENRY, M., 2012. *Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción*. Roma: Food and Agriculture Organization (FAO). ISBN 978-92-5-307347-4.
- RIAÑO MELO, O. y LIZARAZO, I., 2017. Estimating the volume of the wood of trees through the unique taper polynomial. *Colombia Forestal* [en línea]. Bogota: Proyecto Curricular de Ingeniería Forestal, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, vol. 20, no. 1, pp. 55-62. [consulta:15 septiembre 2018]. ISSN0120 0739. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-07392017000100005.
- RIBEIRO, S.C., SOARES, C.P.B., FEHRMANN, L., JACOVINE, L.A.G. y VON GADOW, K., 2015. «Aboveground and belowground biomass and carbon estimates for clonal eucalyptus trees in Southeast Brazil». *Revista Arvore* [en línea]. Minas Gerais: Sociedade de Investigações Florestais, vol. 39, no. 2, pp. 353-363. [consulta: 27 septiembre 2018]. ISSN1806 9088. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2s2.084931062326&doi=10.1590%2F010067622015000200015&partnerID=40&md5=57c6880308ccd5ba9c20f34ef73f0ecb>.
- SEGURA, M. y ANDRADE CASTAÑEDA, H.J., 2008. «¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes?». *Agroforestería en las Américas* [en línea]. Turrialba: CATIE, vol. a5, no. 48, pp. 89-96. [consulta: 27 septiembre 2018]. ISSN1022 7482. Disponible en: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/6935>.
- SEPLIARSKY, F.F., 2002. I.: «Producción y Mercado de Madera de Eucalyptus grandis». *17 Jornadas Forestales de Entre Ríos: 24 y 25 de octubre de 2002*. Concordia, Entre Ríos, Argentina.

- SOMARRIBA, E., CERDA, R., OROZCO, L., CIFUENTES, M., DÁVILA, H., ESPIN, T., MAVISOY, H., ÁVILA, G., ALVARADO, E. y POVEDA, V., 2013. «Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America». *Agriculture, ecosystems & environment* [en línea]. Boulder: Elsevier, vol. 173, pp. 46-57. [consulta: 10 septiembre 2018]. ISSN0167 8809. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880913001230>.
- VÉLEZ, V.H.G. y ARANGO, G.J.L., 2002. «Metodología para la cuantificación de existencias y flujo de carbono en plantaciones forestales». GAYOSO, J. y SCHLEGEL, B. *Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales 18 a 20 de octubre Valdivia-Chile*. Viena: IUFRO. pp. 75-86. ISBN 3-901347-31-3.
- YEPES, A., HERRERA, J., PHILLIPS, J., CABRERA, E., GALINDO, G., GRANADOS, E., DUQUE, Á., BARBOSA, A., OLARTE, C. y CARDONA, M., 2015. «Contribución de los bosques tropicales de montaña en el almacenamiento de carbono en Colombia». *Revista de Biología Tropical* [en línea]. Costa Rica: Universidad de Costa Rica, vol. 63, no. 1. [consulta: 09 septiembre 2018]. ISSN 0034-7744. Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/449/44933764007/>.
- ZEWDIE, M., OLSSON, M. y VERWIJST, T., 2009. «Above-ground biomass production and allometric relations of *Eucalyptus globulus* Labill. coppice plantations along a chronosequence in the central highlands of Ethiopia». *Biomass and Bioenergy* [en línea]. Boulder: Elsevier, vol. 33, no. 3, pp. 421-428. [consulta: 09 de octubre 2018]. ISSN 0961 9534. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953408002018>.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial
4.0 Internacional.

Copyright (c) 2018 Jorge Luis Ramírez López, Eduardo Jaime Chagna Ávila