

# EVALUACIÓN DE BIOMASA AEREA Y CANTIDAD DE CARBONO EN LEÑOSAS PERENNES

## EVALUATION OF AERIAL BIOMASS AND CARBON QUANTITIES IN WOODY PERENNIAL SPECIES

Karen Laura M. Bravo Q.<sup>1</sup>  
Diana Carolina Rosero L.<sup>2</sup>  
Javier Aníbal León G.<sup>3</sup>

### RESUMEN

Esta investigación se desarrolló en el centro de investigación FEDEPAPA (Federación Colombiana de Productores de Papa), ubicado en el corregimiento de Obonuco (Pasto – Nariño), a una altura de 2710 msnm y una temperatura promedio de 13° C, donde se registró durante un año la altura, diámetro, cantidad de biomasa aérea y carbono en cinco leñosas perennes, con el objetivo de desarrollar modelos alométricos. Se establecieron cinco tratamientos correspondientes a las especies *Alnus acuminata*, *Tournefortia fuliginosa*, *Acacia decurrens*, *Lafoensia acuminata* y *Cestrum nocturnum* L., ubicadas en un área de 720 m<sup>2</sup> en cuatro hileras de 96 individuos por especie. Se seleccionaron 12 individuos por especie para las mediciones de biomasa y carbono utilizando un método destructivo. A partir de estos datos se realizó un análisis de varianza entre especies y posteriormente se generaron modelos alométricos mediante regresiones lineales múltiples. Se encontraron diferencias significativas en la biomasa aérea y el carbono almacenado entre las especies, de las cuales, *Alnus acuminata* fue la que mayor biomasa y carbono acumuló, con 1,07 t ha<sup>-1</sup> y 0,58 t ha<sup>-1</sup> respectivamente, mientras que *Lafoensia acuminata* fue la que menores valores presentó, con 0,08 t ha<sup>-1</sup> en biomasa y 0,04 t ha<sup>-1</sup> en carbono. Los mejores modelos alométricos fueron los de *Alnus acuminata* tanto para biomasa ( $B_t = -0,154168 + 0,00162122 * \text{Altura} + 0,148337 * \text{Diámetro}$ ,  $r^2 = 0,93$ ) como para carbono ( $C_t = -0,0824991 + 0,00102437 * \text{Altura} + 0,0789202 * \text{Diámetro}$ ,  $r^2 = 0,94$ ). Aunque *Alnus acuminata* fue la que mayor

---

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Agroforestal; Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. 2011. kbravo5@hotmail.com

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniería Agroforestal; Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. 2011. dicaro1085@hotmail.com

<sup>3</sup> I.A.F., M. Sc. Investigador del proyecto Evaluación y desarrollo de Alternativas de mitigación frente al cambio climático en diferentes agroecosistemas del departamento de Nariño. 2011. leon\_anibal@hotmail.com

efectividad mostró en cuanto a acumulación de biomasa y carbono, todas las especies estudiadas se consideran importantes en la implementación de sistemas agroforestales como cercas vivas y/o arboles dispersos, siendo las más utilizadas en el departamento de Nariño.

**Palabras claves:**

Modelos alométricos, captura de carbono, biomasa aérea, sistemas agroforestales.

**ABSTRACT**

This research was developed in the FEDEPAPA research center (Federación Colombiana de Productores de Papa) located in Pasto, Nariño, at 2710 msnm and 13°C. During one year, the height, diameter, aerial biomass and storage carbon in five woody perennial species were registered, in order to generate allometric models. We established five treatments, corresponding to the species *Alnus acuminata*, *Tournefortia fuliginosa*, *Acacia decurrens*, *Lafoensia acuminata* y *Cestrum nocturnum* L., which were arranged in four lines of 96 individuals per species, in a total area of 729 m<sup>2</sup>. Was selected 12 individuals per species to measure biomass and carbon via a destructive method. Was applied simple ANOVA to evaluate the differences among species and multiple linear regressions to generate the allometric models. Was found significant differences in aerial biomass and storage carbon among the five species. *Alnus acuminata* showed the major levels of biomass and carbon, with 1,07 t ha<sup>-1</sup> y 0,58 t ha<sup>-1</sup> respectively, whilst *Lafoensia acuminata* obtained the lowest values, 0,08 t ha<sup>-1</sup> y 0,04 t ha<sup>-1</sup> respectively. The best allometric models were for *Alnus acuminata* both for biomass and carbon ( $B_t = -0,154168 + 0,00162122 * \text{Height} + 0,148337 * \text{Diameter}$ ,  $r^2 = 0,93$ ) and ( $C_t = -0,0824991 + 0,00102437 * \text{Height} + 0,0789202 * \text{Diameter}$ ,  $r^2 = 0,94$ ). Although *Alnus acuminata* showed the best effectivity to store biomass and carbon, all the species can be considered important for the implementation of agro forestall systems, hedges and dispersed trees.

**Key words**

Allometric models, carbon capturing, aerial biomass, agroforestal systems

## INTRODUCCION

El calentamiento global de la atmosfera ha originado la necesidad de reducir a escala mundial las emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero, entre ellos está el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que ha aumentado considerablemente desde la era industrial. Como es uno de los gases con efecto de invernadero más importantes, el carbono atmosférico es el principal factor del calentamiento del clima (Andrade e Ibrahim, 2003).

Para tratar de mitigar estos efectos fue necesario crear un acuerdo internacional que resolviera la problemática de los gases de efecto invernadero, llamado el Protocolo de Kyoto en el que se discutieron métodos para desacelerar este calentamiento. Algunos objetivos que se establece en este protocolo son reforzar o establecer políticas nacionales de reducción de las emisiones (fomento de formas de agricultura sostenibles, desarrollo de fuentes de energías renovables, incentivar los mecanismos de desarrollo, limpio (UNFCCC, 2008). Como otra medida de mitigación contra el calentamiento global, se han desarrollado alternativas para reducir la contaminación en bosques y prolongar la vida de ecosistemas, por lo tanto es de gran importancia desarrollar y promover investigaciones encaminadas a cuantificar el carbono, en ecosistemas naturales, plantaciones y sistemas agroforestales para mejorar la calidad del ambiente (Beer *et al*, 2003).

En el contexto del cambio climático y el ciclo global del carbono, los sistemas forestales, productivos, al igual que la agroforestería, son de mucho interés, ya que pueden contribuir de manera importante en cuanto a la mitigación de los gases que afectan al calentamiento global (Acosta y Tupaz, 2007). Se conoce que la cantidad de carbono almacenado directamente por los arboles dentro de diferentes sistemas agroforestales oscila normalmente de 3 a 25 t ha<sup>-1</sup> (López, 1998).

Las investigaciones en captura de carbono han aumentado considerablemente debido a la gran importancia que tienen sobre el calentamiento global, en el departamento de Nariño se han realizado innumerables estudios en captura de carbono como es el caso de

la especie *Pinus patula*, en la que se evaluó la cantidad de carbono almacenado en una plantación de 15 años de edad, se encontró que esta especie, captura  $50,07 \text{ t ha}^{-1}$ , ubicándose la mayor cantidad, en el fuste con un 33,37% del total del árbol, esto permitió evaluar por medio de la cubicación la fuga de carbono, representada por su permanencia en la superficie del suelo (Benavides *et al*, 2008). Acosta y Tupaz, (2007) describen la captura de carbono de *Alnus acuminata* en dos sistemas agroforestales en donde se encontró que el mejor contenido de biomasa seca aérea total fue en el arreglo de cultivo en callejones con  $2.41 \text{ t ha}^{-1}$  y el contenido de carbono almacenado total fue de  $1.20 \text{ t ha}^{-1}$ , frente al arreglo sistemas silvopastoriles posterior a esto se realizaron modelos alométricos para estimar la cantidad de carbono de los sistemas estudiados, concluyendo que los sistemas agroforestales son importantes en la captura de carbono.

Por lo anterior se puede decir que Nariño se caracteriza por presentar sistemas agroforestales tradicionales y corredores biológicos, que pueden potencializar la generación de servicios ambientales, entre los cuales cabe destacar el almacenamiento de carbono y reforestaciones métodos necesarios para mantener los ecosistemas naturales (Forero *et al*, 2006).

Es por ello, que esta investigación tuvo como fin estimar la biomasa aérea total, captura de carbono y generación de modelos alométricos en *Alnus acuminata*, *Tournefortia fuliginosa*, *Acacia decurrens*, *Lafoensia acuminata*, *Cestrum nocturnum L.*, teniendo en cuenta que estas especies carecen de información respecto a su contribución al medio ambiente como sumideros de carbono, además que son utilizadas en los sistemas productivos del departamento de Nariño.

## MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en el Centro de Investigación FEDEPAPA, corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto, departamento de Nariño, localizada a 5 km hacia el sur occidente de la ciudad de San Juan de Pasto a  $1^{\circ} 13'$  latitud norte y  $77^{\circ} 16'$  longitud oeste a una altura de 2.710 msnm, con temperatura promedio de  $13^{\circ}\text{C}$ , precipitación

media anual de 840mm, suelos franco arcillosos (Mera y Zamora, 2003).Según Holdridge, (2000) esta zona de vida pertenece a bosque seco montano bajo(bs-MB).

El suelo en el que se desarrolló la investigación presento un pH de 5,2 siendo muy ácido, con un porcentaje de materia orgánica de 7,25%, cantidad de Nitrógeno de 0,27%, Fosforo 4,02 mg kg y Potasio 0,844 mEq/100 gr, con una densidad aparente de 1,04 g/cm<sup>3</sup>.

Primordialmente Nariño está constituido por suelos andisoles los cuales son de evolución media, desarrollados a partir de materiales piroclásticos (cenizas, pómez, lapilli, lava) y que tienen propiedades ándicas.Cumplen además con algunas propiedades químicas y físicas presentan altos valores en contenido de materia orgánica, sobre un 20%, tienen una gran capacidad de retención de agua y mucha capacidad de cambio. (IGAC, 2004).

Se seleccionaron cinco especies, las cuales corresponden a los siguientes tratamientos:

**T1:** Aliso (*Alnus acuminata*).

**T2:** Mote (*Tournefortia fuliginosa*)

**T3:** Acacia (*Acacia decurrens*)

**T4:** Guayacán de Manizales(*Lafoensia acuminata*)

**T5:**Jasmín (*Cestrum nocturnum L.*)

Para cada tratamiento se tomaron 96 individuos, obtenidos del vivero de CORPONARIÑO, en el momento de la adquisición se tuvo en cuenta el estado de la planta es decir que esté libre de enfermedades, deformación o daño por animales.

En un área de 720m<sup>2</sup> se sembró 5 diferentes especies (*A. acuminata*, *A. decurrens*, *L. acuminata*, *T. fuliginosa*, *C. nocturnum L.*) a una distancia de 1 x 1,5m; cada especie se estableció en 4 hileras correspondiente a 144m<sup>2</sup> destinados por especie. Se consideró una parcela útil de 66m<sup>2</sup>.

Se hizo un seguimiento en altura y diámetro en los 3 primeros meses, después se hizo 5 mediciones más, las cuales fueron intercaladas entre los 9 meses siguientes hasta completar un año. Para esto se utilizó un metro y un pie de rey respectivamente.

Con el fin de determinar cuál fue la mejor especie que tuvo mejor desarrollo fisiológico y proporcione los más altos valores de biomasa y carbono, se realizó un análisis de carbono el cual se llevó a cabo en tres momentos de la investigación, es decir se tomó datos en el momento de la siembra (noviembre 2009), en el sexto mes (mayo 2010) y en el mes doce que fue la finalización de la investigación (noviembre 2010).

Se seleccionaron 12 árboles por especie lo que corresponde a tres árboles por cada hilera, las especies fueron llevadas a laboratorio y se sometieron al método destructivo, que consiste en cortar el árbol y determinar la biomasa pesando directamente cada componente tallo, hojas, ramas y raíz (Giraldo y Zapata, 2003).

**Materia seca de los componentes.** Los factores de conversión de peso fresco a peso seco, se calcularon colocando las muestras en el horno aproximadamente a 70°C por un período de 24 a 72 horas, hasta obtener peso constante (Segura y Kanninen, 2002).

En las bolsas se registró la especie, la fecha de ingreso al horno y el peso fresco. Una vez se sacaron las muestras del horno se procedió a pesar una por una en peso seco, todo esto se hizo en una balanza con exactitud de 0.01mm. Posteriormente, se estimó el porcentaje de materia seca de las muestras mediante la ecuación propuesta por Segura y Kanninen (2002):

$$MS\% = (PSM/PFM)*100$$

Dónde:

**MS:** Porcentaje de materia seca

**PSM:** Peso seco de la muestra (g)

**PFM:** Peso fresco en campo (g).

**Biomasa de los componentes.** Una vez se obtuvo la cantidad de materia seca, se calculó la biomasa multiplicando el porcentaje de materia seca por el peso del

componente registrado en campo. Para cada uno de los árboles en evaluación mediante la ecuación recomendada por Segura y Venegas(1999):

$$B_c = [PFC * MS (\%)]/100$$

Dónde:

**B<sub>c</sub>**: Biomasa del componente (g.)

**PFC**: peso fresco tomado en el campo (g.)

**MS(%)**: Porcentaje de materia seca.

**La biomasa total de cada árbol.** Se calculó a partir de la sumatoria de la biomasa de cada componente: fuste, ramas, hojas:

$$B_T = B_F + B_R + B_H$$

Dónde:

**B<sub>T</sub>**: biomasa total (g)

**B<sub>F</sub>**: biomasa del fuste (g)

**B<sub>R</sub>**: biomasa ramas (g)

**B<sub>H</sub>**: biomasa hojas (g)

Posteriormente se determinó el carbono almacenado en toneladas por hectárea, a partir de la fracción de carbono (0.5) recomendada por MacDikens(1997), que reporta que en promedio la materia vegetal contiene un 50% de carbono. Para estimar el carbono almacenado en estas especies, se empleó la ecuación recomendada por Ávila(2000).

$$CA = B_t * FC$$

Dónde:

**CA**: carbono almacenado (g)

**B<sub>t</sub>**: biomasa total (g)

**FC:** fracción de carbono.

### **Construcción de modelos alométricos**

Los modelos se ajustaron, mediante análisis de regresión múltiple relacionando la biomasa y carbono, con las variables colectadas en campo (dap y altura total).

Una vez seleccionado el modelo y obtenida la ecuación ajustada se graficó los residuales para detectar la presencia de normalidad en los errores y homogeneidad en las varianzas, permitiendo eliminar valores atípicos (*outliers*) que podían influir en errores del modelo (Zapata *et al*, 2002).

Para correr los modelos se utilizó el programa estadístico Statgraphics plus versión 5.

### **Análisis estadístico**

Se realizó un análisis de varianza con los datos de biomasa y carbono, con el fin de determinar cuál fue la mejor especie en relación a estas características, cuando se presentaron diferencias significativas se realizó la comparación de medias de Tukey.

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

**BIOMASA.**El análisis de varianza detectó que existen diferencias significativas en la biomasa acumulada entre las cinco especies ( $p = 0,02$ ) (tabla 1). Sin embargo, la prueba de comparación de medias de Tukey reveló que estas diferencias se presentan en tres niveles definidos. En el más alto se ubica *Alnusacuminata*, que registró la mayor cantidad de biomasa con  $1,07 \text{ t ha}^{-1}$ , un nivel intermedio conformado por *Acacia decurrens* con  $0,71 \text{ t ha}^{-1}$ , *Tournefortia fuliginosa* con  $0,70 \text{ t ha}^{-1}$ , *Cestrum nocturnum* con  $0,53 \text{ t ha}^{-1}$  y un nivel inferior representado por *Lafoensia acuminata*, que fue la especie de menor acumulación de biomasa, con  $0,08 \text{ t ha}^{-1}$  (Tabla 2).

**Tabla 1.** Análisis de la Varianza para biomasa de especies leñosas Obonuco, municipio de Pasto. 2010

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,07	4	0,52	3,69*	0,0276
Especies	2,07	4	0,52	3,69*	0,0276
Error	2,10	15	0,14		
Total	4,17	19			

\*: Diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Tabla 2.** Prueba de comparación de medias de Tukey para biomasa de especies leñosas Obonuco, municipio de Pasto. 2010

Especie	Promedio (t ha <sup>-1</sup> )		
<i>A. acuminata</i>	1,07	a	
<i>A. decurrens</i>	0,71	a	b
<i>T. fuliginosa</i>	0,70	a	b
<i>C. nocturnum</i>	0,53	a	b
<i>L. acuminata</i>	0,08		b

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

Los datos encontrados para *Alnus acuminata* sugieren que esta especie presentó la mejor adaptación y desarrollo durante la investigación. Esto concuerda con investigaciones que muestran evidencia de que esta especie crece rápidamente en suelos andinos erosionados. Además, presenta en sus raíces una simbiosis con un actinomicete del género *Frankia*, y con especies de hongos micorrícicos formando ectomicorizas esto permite que las plantas sean capaces de fijar nitrógeno y absorber fósforo, representando una ventaja para su crecimiento y desarrollo con mayor tolerancia al estrés medioambiental (Gonzaga, 2004). El nitrógeno ayuda en la síntesis de la clorofila que estimula el proceso de fotosíntesis y es un componente básico de aminoácidos y proteínas para la formación de tejidos, proporcionando una mayor cantidad de nutrientes útiles para su desarrollo (Taiz y Zeiger, 2006). Este fenómeno es posiblemente la causa principal por la cual *Alnus acuminata* obtuvo los mayores valores en carbono y biomasa acumulados. Además, se debe tener en cuenta que esta especie presentó una altura promedio de 53,46 cm y un diámetro promedio de 2,37 cm, siendo los mayores valores en comparación a las demás especies. Esto explica la cantidad de biomasa y carbono encontrados, ya que un tamaño mayor implica necesariamente mayores valores en estas

variables. Kanninen, (2002) evaluó una plantación de *Alnus acuminata* con 30 años de edad, encontrando que su cantidad de biomasa es de 25 t ha<sup>-1</sup>. Comparando este valor con una estimación a 30 años para este estudio, se tendrían 32,1 t ha<sup>-1</sup>, dato aproximado a la cantidad encontrada por este autor. Sin embargo, esto dependería del manejo de la plantación a futuro y varía según el tipo de ambiente en el que se desarrolla.

*Acacia decurrens* fue la segunda especie con mayor cantidad de biomasa y carbono, mostrando además, tasas de crecimiento anual de 72,80cm/año en altura y 2,55cm/año en diámetro. Aunque es una especie leguminosa caracterizada por fijar nitrógeno, se ha reportado que es susceptible a los vientos por poseer raíces superficiales (Muñoz *et al*, 2009). Por esta razón, requiere de suelos profundos para poder desarrollarse, condición que no cumplen los suelos del área de estudio, los cuales poseen una densidad aparente de 1,04 g/cm<sup>3</sup>, determinando una compactación superficial que posiblemente perjudica el desarrollo de raíces de *Acacia decurrens*, disminuyendo su captación de nutrientes del suelo.

*Cestrum nocturnum* obtuvo 0,53 t ha<sup>-1</sup> en biomasa, ubicándose en el cuarto lugar entre las cinco especies, esto puede explicarse ya que se caracteriza por tolerar principalmente suelos franco arenosos y además, necesita como mínimo una abonada por año con un fertilizante 15-15-15 ó 18-18-18, 50 g por planta, adicional a esto, también se aplican fertilizantes ricos en hierro (Calle y Gómez, 2006). Las características de los suelos del área de estudio no cumplen con estos requerimientos, ya que poseen una textura franco arcillosa y además, no se realizó ninguna labor cultural (abonamiento). Esto posiblemente pudo haber impedido que *Cestrum nocturnum* obtenga altos niveles de desarrollo y acumulación de biomasa y carbono.

La especie con menor cantidad de biomasa fue *Lafoensia acuminata* con 0,08 t ha<sup>-1</sup>, que presentó 12,95 cm en altura y 1,17 cm en diámetro promedio. Esta especie se establece en altitudes comprendidas entre 1500 a 2800 msnm y por lo tanto, su baja efectividad en crecimiento se podría explicar debido a que, por encontrarse a una altitud de 2710 msnm, cercana al límite de su rango de tolerancia, no mostró una adaptación óptima al área de estudio. Además, esta especie se desarrolla en suelos bien drenados y aireados (Barrero *et al*, 2004) y posiblemente se vio afectada por la densidad aparente (1,04 g/cm<sup>3</sup>) del suelo donde se sembró, ya que la cantidad de macroporos existentes en la

estructura tiende a disminuir, impidiendo la buena filtración de agua, aireación y movilidad de nutrientes en su interior.

**CARBONO.** El análisis de varianza detectó diferencias significativas en el carbono acumulado entre las cinco especies ( $p = 0,02$ ) (Tabla 3). Sin embargo, la prueba de comparación de medias de Tukey, reveló que estas diferencias se presentan entre tres niveles definidos. En el más alto se ubica *Alnus acuminata*, que registró la mayor cantidad de carbono con  $0,58 \text{ t ha}^{-1}$ , un nivel intermedio conformado por *Acacia decurrens* con  $0,39 \text{ t ha}^{-1}$ , *Tournefortia fuliginosa* con  $0,34 \text{ t ha}^{-1}$ , *Cestrum nocturnum* con  $0,29 \text{ t ha}^{-1}$  y un nivel inferior representado por *Lafoensia acuminata*, que fue la especie de menor acumulación de carbono, con  $0,04 \text{ t ha}^{-1}$  (Tabla 4).

**Tabla 3.** Análisis de la Varianza para carbono de especies leñosas en Obonuco, municipio de Pasto. 2010

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,60	4	0,15	3,63*	0,0291
Especies	0,60	4	0,15	3,63*	0,0291
Error	0,62	15	0,04		
Total	1,21	19			

\*: Diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0,05$ )

**Tabla 4.** Prueba de comparación de medias de Tukey para carbono de especies leñosas en Obonuco, municipio de Pasto. 2010.

Especie	Promedio ( $\text{t ha}^{-1}$ )	
<i>A. acuminata</i>	0,58	a
<i>A. decurrens</i>	0,39	a b
<i>T. fuliginosa</i>	0,34	a b
<i>C. nocturnum</i>	0,29	a b
<i>L. acuminata</i>	0,04	b

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

Debido a que el valor calculado de carbono proviene de multiplicar la biomasa por la fracción de carbono igual a 0,5 (Mac Dicken, 1997) la interpretación de los resultados de esta variable están correlacionados con los de biomasa. Rosas y Salazar (2004) afirman lo anterior con estudios realizados en cinco especies vegetales arbóreas, en donde relacionan que *Verbesina arborea* (colla blanca) tuvo  $0,2 \text{ t ha}^{-1}$  de biomasa y  $0,1 \text{ t}$

ha<sup>-1</sup> de carbono; a diferencia de *Rubus glaucus* (mora) tuvo 0,006 t ha<sup>-1</sup> de biomasa y 0,003t ha<sup>-1</sup>de carbono. Concluyendo que la cantidad de carbono está relacionada proporcionalmente con la cantidad de biomasa.

El alto promedio de carbono almacenado por *Alnus acuminata* es similar a los datos obtenidos por Burbano *et al* (2009), quienes evaluaron la cantidad de fitomasa producida por *Alnus jorullensis*, encontrando que 153 árboles presentes en el arreglo agroforestal de cultivo en callejones, representan una acumulación de carbono total de 551.565kg (0.55 t C)por árbol.

### **MODELOS ALOMÉTRICOS DE BIOMASA**

Como se observa en la tabla 5, las ecuaciones de regresión múltiple calculadas para las cinco especies presentaron un alto nivel de confiabilidad, mayor al 95% en todos los casos. Esto indica que estas ecuaciones pueden ser usadas como modelos alométricos efectivos para estimar la biomasa de un individuo a partir de sus valores de altura y diámetro a una edad determinada. Por lo tanto, estos resultados permitieron establecer un método no destructivo para la estimación de esta variable. Sin embargo, ciertas diferencias se observaron entre el poder estimativo de los modelos alométricos entre las cinco especies, ya que el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) fue mayor en *Alnus acuminata*, el cual alcanzó un 93,29%, demostrando que la variación en la biomasa está explicada en este porcentaje por la variación en altura y diámetro para esta especie. Por el contrario, *Tournefortia fuliginosa* obtuvo el menor coeficiente de determinación alcanzando un 89,77%, otorgándole un menor poder de estimación a su modelo alométrico.

**Tabla 5.** Modelos alométricos para biomasa calculados de cinco especies de estudio a partir de las variables diámetro y altura en FEDEPAPA, Obonuco, municipio de Pasto 2010.

Especie	Ecuación	r <sup>2</sup>
<i>Alnus acuminata</i>	Bt= -0,154168 + 0,00162122 * A + 0,148337* D	93,29
<i>Tournefortia fuliginosa</i>	Bt= 0,0180506 + 0,0121952* A - 0,0556753* D	89,77
<i>Acacia decurrens</i>	Bt= 0,0151365 + 0,0178337* A - 0,2465* D	91,88
<i>Lafoensia acuminata</i>	Bt= -0,0376271 + 0,00341386* A + 0,0170188* D	90,57
<i>Cestrum nocturnum</i>	Bt= -0,0814468 + 0,0169219* A + 0,0107137 * D	90,73

**Ct:** carbono total (t ha árbol); **D:** diámetro a los 10 cm encima del suelo (cm); **A:** altura total (cm); **r<sup>2</sup>:** coeficiente de determinación.

Para la construcción de los modelos se tomó como variable independiente valores registrados en campo de diámetro y altura y como variable dependiente los datos de biomasa calculados en laboratorio. La mayor cantidad de datos para altura se encuentra entre el rango de 8,8 a 50 cm, que a su vez corresponde a la cantidad de biomasa almacenada entre 0,002 y 0,5 t ha<sup>-1</sup>. Para diámetro la mayor distribución de datos se encuentra entre 0,63 a 2 cm, correspondientes al rango de 0,002 a 0,5 t ha<sup>-1</sup> de biomasa, lo cual fue demostrado en el análisis estadístico.

Posteriormente se confirmó el modelo de regresión múltiple de *Alnus acuminata* (Bt=0,154168 + 0,00162122\* Altura + 0,148337\* Diámetro) mediante el ajuste de diámetros y alturas obtenidos en campo para la tercera evaluación (18 meses) y demostrando que los datos calculados y medidos son muy similares, no existiendo diferencias significativas entre ellos. En la tabla 6 se observa que la diferencia entre datos de biomasa obtenidos a partir del modelo en relación con los datos de campo, varían únicamente en 0,03 t ha<sup>-1</sup> promedio, siendo por lo tanto un resultado satisfactorio en cuanto a la aplicabilidad y efectividad del modelo.

**Tabla 6.** Valores estimados de biomasa para *A. acuminata* según al modelo múltiple ajustado.

<b>Altura</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Biomasa obtenida a partir del modelo t ha<sup>-1</sup></b>	<b>Biomasa obtenida en campo t ha<sup>-1</sup></b>
42	1,88	0,21	0,19
39,2	1,88	0,18	0,15
92,6	4,71	0,69	0,65
104	7,85	1,17	1,12
130,3	6,91	1,08	1,08

La prueba de Chi-cuadrado mostró que no existen diferencias significativas entre los datos calculados con el modelo y los datos medidos en campo ( $\chi^2 = 0,012$ ,  $p = 0,9$ )

Con la finalidad de comparar la efectividad de los datos de esta investigación con otros estudios, se usaron modelos generados por Acosta *et al.*, (2002) y Camacho (1987), para estimar la biomasa aérea en especies del género *Alnus* (Tabla 7).

**Tabla 7.** Modelos de biomasa presentados para el género *Alnus* por diferentes autores.

<b>AUTOR</b>	<b>MODELO</b>	<b>r<sup>2</sup></b>
Acosta <i>et al</i> 2001	$\text{LnBt} = -2,4134 + 2,329 (\text{ln DAP})$	0,95
Camacho 1987	$\text{Bt} = 0,6792 + 0,0446 \times \text{A} + 0,2084 \text{DAP}^2 - 0,0026 \times \text{DAP}^2 \times \text{A}$	0,99

**Bt:** Biomasa total (t ha<sup>-1</sup>); **DAP:** diámetro a la altura del pecho (cm); **r<sup>2</sup>:** coeficiente de determinación; **A:** Altura total

Al comparar la biomasa aérea total observada con la estimada por los modelos de Acosta *et al.* (2001) y Camacho (1987), se observó que los resultados no se ajustan con el modelo generado en esta investigación. Estas diferencias se deben posiblemente a que los ensayos de estos autores, estuvieron sometidos a condiciones y características diferentes a las de este estudio (Tabla 8).

**Tabla 8.** Comparación entre los modelos de biomasa por Acosta *et al.*,(2001), Camacho (1987) y esta investigación.

<b>Altura</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Acosta et al 2001</b>	<b>Camacho 1987</b>	<b>Esta investigación</b>
42,0	1,88	-0,95	2,90	0,21
39,2	1,88	-0,95	2,80	0,18
92,6	4,71	1,17	4,09	0,69
104,0	7,85	2,38	1,50	1,17
130,3	6,91	2,08	0,27	1,08

La aplicación de las ecuaciones de regresión generadas por los autores referidos, no podrían ser aplicadas a los individuos muestreados en este estudio, pues presentarían una amplia subestimación en biomasa aérea total, debido posiblemente a la diferencia de densidades, diferencia de edades de los árboles y al tipo de plantación en que fueron generadas.

### **MODELOS ALOMÉTRICOS DE CARBONO**

Como se observa en la tabla 9, las ecuaciones de regresión calculadas para las cinco especies presentaron un alto nivel de confiabilidad, mayor a 95% en todos los casos. Esto indica que estas ecuaciones pueden ser usadas como modelos alométricos para estimar el carbono de un individuo a partir de sus valores en altura y diámetro a una edad determinada. Por lo tanto, estos resultados permitieron establecer un método no destructivo para la estimación de esta variable. Sin embargo, ciertas diferencias se observaron entre la estimación de los modelos alométricos entre las cinco especies, ya que el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) fue mayor en *Alnus acuminata*, el cual alcanzó un 94,52%, demostrando que la variación en el carbono está explicada en este porcentaje por la variación en altura y diámetro. Por el contrario, *Tournefortia fuliginosa* obtuvo el menor coeficiente de determinación, con 89,94%, otorgándole un menor poder de estimación a su modelo alométrico.

**Tabla 9.** Modelos alométricos decarbono calculados para las cinco especies de estudio a partir de las variables diámetro y altura en Obonuco, municipio de Pasto 2010.

Especie	Ecuación	r <sup>2</sup>
<i>Alnus acuminata</i>	Ct= -0,0824991 + 0,00102437* A + 0,0789202*D	94,52
<i>Tournefortia fuliginosa</i>	Ct= 0,00545298 + 0,00610989*A - 0,029248*D	89,94
<i>Acacia decurrens</i>	Ct= -0,61145 - 0,0203133*A + 1,50699*D	93,36
<i>Lafoensia acuminata</i>	Ct= -0,0207021 + 0,00186599*A + 0,00944971*D	90,64
<i>Cestrum nocturnum</i>	Ct= -0,0441072 + 0,00916404*A + 0,00540312*D	90,79

**Ct:** carbono total (t ha<sup>-1</sup>); **D:** diámetro a los 10 cm encima del suelo (cm); **A:** altura total (cm); **r<sup>2</sup>:** coeficiente de determinación.

La mayor distribución de datos de altura se encuentra entre rangos de 8,8 y 55 cm, con relación a la cantidad de carbono que osciló entre 0,009 y 0,2 t ha<sup>-1</sup>. Para diámetro, la mayor cantidad de datos se presentó entre 0,66 y 2 cm, correspondientes a una cantidad de carbono de 0,002 y 0,2 t ha<sup>-1</sup>.

El modelo alométrico de *Alnus acuminata* (Ct= -0,0824991 + 0,00102437 \* Altura + 0,0789202 \* Diámetro) fue ajustado a los datos obtenidos en campo para la tercera evaluación (18 meses), demostrando que no existieron diferencias significativas entre los datos del modelo y los datos obtenidos en campo, con lo cual se puede afirmar que el modelo se ajusta a las alturas y diámetros reportadas en la tercera evaluación. (Tabla 10).

**Tabla 10.** Valores estimados de carbono para *A. acuminata* según al modelo ajustado.

Altura	Diámetro	Carbono obtenido a partir del modelo t ha <sup>-1</sup>	Carbono obtenido en campo t ha <sup>-1</sup>
42,0	1,88	0,11	0,10
92,6	4,71	0,38	0,35
104,0	7,85	0,64	0,60
130,3	6,91	0,58	0,59
132,5	7,23	0,62	0,72

La prueba de Chi-cuadrado mostró que no existen diferencias significativas entre los datos calculados con el modelo y los datos medidos en campo ( $\chi^2 = 0,012$ , p = 0,9)

Se compararon los modelos para estimar la cantidad de carbono almacenado reportado en otras investigaciones y las ecuaciones generadas en este estudio. Los modelos generados por Muñoz (2007), Riofrío (2007) presentaron un alto coeficiente de determinación para *Alnus acuminata*, sin embargo estos modelos fueron obtenidos con rangos de edad superiores a los de este estudio. (Tabla 11)

**Tabla 11.** Comparación de modelos de carbono generados para los géneros *Alnus* con este estudio.

AUTOR	MODELO	r <sup>2</sup>
<b>Muñoz 2007</b>	$Ct = -22,222 + 2,188 * DAP + 0,119 * DAP^2$	0,94
<b>Riofrío 2007</b>	$Ct = -6,648 + 0,193 * DAP^2$	0,94

**Ct:** carbono total (t ha<sup>-1</sup>); **DAP:** diámetro a la altura del pecho (cm); **r<sup>2</sup>:** coeficiente de determinación.

El carbono total observado con la estimada por el modelo, en las ecuaciones presentadas por Riofrío (2007) y Muñoz (2007) indicó que el ajuste no fue lo suficientemente apto para su aplicación en ensayos con condiciones y características similares a las de este estudio. (Tabla 12).

**Tabla 12.** Modelos de Riofrío (2007) y Muñoz (2007) comparados con datos reales de campo de esta investigación

Altura	Diámetro	Riofrío 2007	Muñoz 2007	Esta investigación
<b>42,0</b>	1,88	-6,02	-17,73	0,11
<b>92,6</b>	4,71	-2,36	-11,39	0,38
<b>104,0</b>	7,85	5,24	2,22	0,64
<b>130,3</b>	6,91	2,56	-1,42	0,58
<b>132,5</b>	7,23	3,44	-0,18	0,62

La aplicación de las ecuaciones de regresión generadas por los autores referidos no pueden ser usadas en este estudio, pues presentarían una amplia sobreestimación de los valores de carbono almacenado. Esto debido posiblemente a que los datos de diámetro y altura obtenidos en campo fueron relativamente bajos, lo que explicaría los valores negativos de carbono de la tabla 12.

## CONCLUSIONES

La especie con mayor cantidad de biomasa encontrada fue *Alnus acuminata* con un valor de 1,07 t ha<sup>-1</sup> seguida de *Acacia decurrens* con 0,71 t ha<sup>-1</sup>, *Tournefortia fuliginosa* con 0,70 t ha<sup>-1</sup>, *Cestrum nocturnum* con 0,53 t ha<sup>-1</sup>, a diferencia de *Lafoensia acuminata* que obtuvo el menor valor con 0,08 t ha<sup>-1</sup>.

*Alnus acuminata* obtuvo los más altos resultados en cuanto a evaluación de carbono almacenado con un valor de 0,58 t ha<sup>-1</sup>, seguido por *Acacia decurrens* con 0,39 t ha<sup>-1</sup>, *Tournefortia fuliginosa* con 0,34 t ha<sup>-1</sup>, *Cestrum nocturnum* con 0,29 t ha<sup>-1</sup>, por el contrario *Lafoensia acuminata* obtuvo el menor valor de carbono almacenado con 0,04 ton por ha<sup>-1</sup>.

Para la estimación de biomasa el modelo alométrico que mejor se ajustó fue el presentado por la especie *Alnus acuminata*  $Bt = -0,154168 + 0,00162122 * \text{Altura} + 0,148337 * \text{Diámetro}$ , con un coeficiente de determinación  $r^2 = 93,29\%$ .

El modelo alométrico que mejor se ajustó para la estimación de carbono fue  $Ct = -0,0824991 + 0,00102437 * \text{Altura} + 0,0789202 * \text{Diámetro}$  de la especie *Alnus acuminata*, con un coeficiente de determinación de  $r^2 = 94,52\%$ .

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Nariño, a nuestro presidente de tesis Javier Aníbal León Guevara Ing. A.F. MScy nuestros jurados Jorge Fernando Navia Estrada PhD, Jorge Alberto Vélez Lozano Ing. A.F. MSc, al proyecto Evaluación y desarrollo de Alternativas de mitigación frente al cambio climático en diferentes agroecosistemas del departamento de Nariño por su financiación.

Al biólogo Iván Felipe Benavides, gracias por el apoyo en la realización de la tesis.

## BIBLIOGRAFIA

ACOSTA, M;ETCHEVERS, J;VARGAS, J; VELÁSQUEZ, A.2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca – México. *Agrociencia* 36:735-736.

ACOSTA, J; TUPAZ, F. 2007. Cuantificación de la captura de carbono por la biomasa aérea de aliso (*Alnus jorullensis* H.B.K.) en dos arreglos agroforestales de la granja experimental Botana, Universidad de Nariño, municipio de Pasto, departamento de Nariño. Tesis de grado, Ingeniería Agroforestal, Pasto, Universidad de Nariño.

ANDRADE, H; IBRAHIM, M. 2003. Como monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles. En: *Agroforestería en las Américas*. Vol. 10 39-40. p 109.

AVILA V. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de Café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. *Catie*. Turrialba Costa Rica. 99.p

BARRERO, D; CAMELO, D;MAHECHA G; OVALLE, A; ROZO, A. 2004 *Vegetación del territorio CAR. 450 especies de sus llanuras y montañas*.Bogotá, Colombia 871pp

BEER, J; HARVEY, C; HARMAND, J; IBRAHIM, M; JIMÉNEZ, F; SOMARRIBA, E. 2003. Servicios Ambientales de los Sistemas Agroforestales. *Agroforestería de las Américas*, Vol. 10 No 37-38. *CATIE*, Turrialba, Costa Rica. p 80-87.

BENAVIDES, V;LEON, J;MONTENEGRO, N.2008. Captura de carbono en la biomasa aérea en pino (*Pinuspatula*) municipio de pasto, departamento de Nariño. Tesis. Universidad de Nariño.

BURBANO, B; CORDOBA, J; LEON, J. 2009. Cuantificación de carbono total del componente aliso (*Alnus jorullensis*) y suelo en arreglos agroforestales – municipio de Pasto, Nariño. Artículo presentado como requisito parcial para optar el título de Ingeniero Agroforestal. Facultad de ciencias agrícolas. Universidad de Nariño.

CALLE M; GÓMEZ, J. 2006. Guía de plantas - Waste Magazine on line. Disponible en <http://aste.ideal.es/galandenoche.html>.

CAMACHO, P. 1987. Productividad de *Alnus acuminata* en dos sitios de Costa Rica. Proyecto Cultivo de árboles de uso múltiple, CATIE – ROCAP. En: Silvoenergía. 21.4 p.

FORERO, L; LEONEL, H; ORDOÑEZ, H. 2006. Proyecto Restauración y Protección de Agro ecosistemas Estratégicos en la Captura de Carbono, en la cuenca alta del rio Pasto. Empopasto, Alcaldía de Pasto – Secretaria del Medio Ambiente y Vicerrectoría de Postgrados en investigaciones- VIPRI, Universidad de Nariño. Pasto, Nariño, Colombia. 117.p.

GIRALDO,L; ZAPATA, M. 2003.Estimación de la existencias de carbono en el sistema silvopastoril *Acacia decurrens* con *Pennisetum clandestinum*. En ORREGO, S.; DEL VALLE, J. y MORENO, F. Medición de captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: contribución para la mitigación del cambio climático. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, p.298.

GONZAGA, L. 2004 Marcadores moleculares AFLP de plantas donadoras de Aliso (*Alnus acuminata*). Pereira. 288 p.

HOLDRIDGE, L. 2000. Ecología basada en zonas de vida. Quinta reimpresión. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA. San José. Costa Rica.

IGAC. 2004. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Nariño.

KANNINEN, M. 2002. Secuestro de Carbono en los Bosques: El papel de los bosques en el Ciclo Global de Carbono. CATIE. Turrialba. Costa Rica.

MAC DICKENS, K. 1997. A guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Arlington, VA: Winrock International Institute for Agricultural Development.

MERA, A; ZAMORA, C. 2003. Establecimiento y evaluación inicial de los arreglos arboles dispersos en asocio con pasto kikuyo en el altiplano de Pasto. Universidad de Nariño. Pág. 15.

MUÑOZ, J. 2007. Cuantificación de carbono almacenado en dos sistemas agroforestales en la estación experimental Santa Catalina – INIAP, Ecuador. Tesis de grado, Ingeniería Agroforestal, Pasto, Universidad de Nariño.

MUÑOZ, D; NAVIA, F; SOLARTE, J. 2009 Caracterización del Conocimiento Local del Componente Arbóreo en prácticas Silvopastoriles Tradicionales en el Trópico Alto Andino, Departamento de Nariño, Colombia. <http://www.cipav.org.co/pdf/red%20de%20agroforesteria/seminarios%20y%20congresos/Panamá2010/Jesus.Solarte.pdf>.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Secretaría sobre el Cambio Climático (UNFCCC). 2008. <http://www.cambioclimatico.org/content/resumen-del-protocolo-de-kyoto>

RIOFRÍO, J. 2007. Cuantificación del carbono almacenado en dos sistemas agroforestales en la estación experimental santa catalina - INIAP. Riopamba. Ecuador. 106.p.

ROSAS, W; SALAZAR, M. 2004. Estimación de la biomasa y el carbono en el sistema agroforestal, cercos vivos en la vereda Mocondino municipio de Pasto. Tesis de grado, Ingeniería Agroforestal, Pasto, Universidad de Nariño.

SEGURA, M; VENEGAS, G. 1999. Tablas de volumen comercial con corteza para encino, roble y otras especies del bosque pluvial montano de la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 110.p.

SEGURA, M; KANNINEN, M. 2002. Inventario para estimar carbono en ecosistemas forestales. *In* Orozco L, C Brumer eds. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Turrialba, Costa Rica. CATIE. p. 173-212. (Serie Técnica. Manual Técnico N° 50).

TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2006. *Plant Physiology*. 4th ed. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachussets. USA. 764 p.

ZAPATA, M.; DEL VALLE, J. y ORREGO, S. Corrección por sesgos en modelos Log-normales alométricos linealizados utilizados para la estimación de la biomasa aérea. En: simposio internacional: medición y monitoreo de la captura de carbono en sistemas forestales (Valdivia, 2002) Memorias del Simposio Internacional: Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Sistemas Forestales. Valdivia: Universidad Austral de Chile, 2002. p. 47.