

**CUANTIFICACION DEL ALMACENAMIENTO DE CARBONO DE LEÑOSAS
PERENNES EN EL MUNICIPIO DE PASTO DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

**ANA CATERINE TOVAR O.
DANIEL ALEJANDRO MENESES C.**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO**

2014

**CUANTIFICACION DEL ALMACENAMIENTO DE CARBONO DE LEÑOSAS
PERENNES EN EL MUNICIPIO DE PASTO DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

**ANA CATERINE TOVAR O.
DANIEL ALEJANDRO MENESES C.**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Agroforestal**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO
2014**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado son Responsabilidad de los autores.

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, Agosto de 2014

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCION	8
MATERIALES Y METODOS	10
RESULTADOS Y DISCUSION	13
CONCLUSIONES	22
BIBLIOGRAFIA	23

CUANTIFICACION DEL ALMACENAMIENTO DE CARBONO DE LEÑOSAS PERENNES EN EL MUNICIPIO DE PASTO DEPARTAMENTO DE NARIÑO

CARBONO STORAGE CUANTIFICATION ON WOODY PERENNIAL IN THE CITY OF PASTO DEPARTMENT OF NARIÑO

Ana Caterine Tovar O.¹

Daniel Alejandro Meneses C.²

Jesús Geovanny Solarte G.³

RESUMEN

Este trabajo se desarrolló en la Granja experimental CORPOICA, Obonuco, municipio de Pasto, departamento de Nariño, localizado a 1°13' latitud Norte y 77°16' longitud Oeste. El objetivo fue evaluar la biomasa aérea y radicular (fuste, ramas, hojas y raíces), así como también, la cantidad de carbono almacenado de las especies Aliso (*Alnus jorullensis*), Mote (*Tournefortia fuliginosa*), Acacia (*Acacia decurrens*), Guayacán (*Lafoensia acuminata*) y Jazmín (*Cestrum nocturnum*); las cuales tienen cuatro años de establecidas. Se generó modelos alométricos de biomasa, para dos de las especies evaluadas, Aliso (*Alnus jorullensis*), y Acacia (*Acacia decurrens*). La evaluación se realizó mediante el método destructivo, Mack Diken, (1997), Se encontró que las especies que presentan mayor biomasa aérea y radicular, fueron *Alnus jorullensis* con 68.67 Ton/ha⁻¹, seguida de *Acacia decurrens* con 47.46 Ton/ha⁻¹ y *Cestrum nocturnum* L. con 6.6 Ton/ha⁻¹. En cuanto al almacenamiento de carbono se obtuvo los mayores valores para *A. jorullensis* con 34.34 Ton/ha⁻¹ y *A. decurrens* con 23.73 Ton/ha⁻¹ seguido de *C. nocturnum* L. con el 3.3 Ton/ha⁻¹ y finalmente las especies *T. fuliginosa* y *L. acuminata* con 1.84 y 1.25 Ton/ha⁻¹

¹ Estudiante de Ingeniería Agroforestal; Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. 2014. E-mail: anic.91@hotmail.com

² Estudiante de Ingeniería Agroforestal; Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. 2014. E-mail: damenesesc@gmail.com

³I.Af, M.Sc, Docente de la Universidad de Nariño. E-mail: solarteg@hotmail.com

respectivamente. Como resultado de la sobrestimación por parte de los modelos de Bravo y Rosero (2010), se construyeron los nuevos modelos alométricos en base a datos de ocho individuos cortados y pesados para cada especie como lo recomienda MacDicken, (2006). Se construyeron dos modelos alométricos a través del software estadístico Info-Stat y se ajustaron mediante análisis de regresión múltiple. Los modelos alométricos obtenidos fueron, para *Alnus jorullensis* $Bt = -40,64 - 0,16 * A + 35,12 * DAP$ y *Acacia decurrens* $Bt = 38,1 - 0,023 * A + 5,6 * DAP$, con altos coeficientes de determinación de 98,81% y 95,5% respectivamente. Los modelos alométricos ajustados para cada especie pueden ser utilizados en condiciones similares a la de esta investigación para estimar biomasa almacenada de manera confiable.

Palabras claves: Biomasa aérea, biomasa radical, modelos alométricos, validación.

ABSTRACT

This work was conducted in the experimental farm CORPOICA Obonuco municipality of Pasto, Nariño, located at 1 ° 13 'north latitude and 77 ° 16' West longitude. The objective was to evaluate the aerial and root biomass (stem, branches, leaves and roots), as well as the amount of carbon stored in the Alder (*Alnus jorullensis*), Mote (*Tournefortia fuliginosa*), Acacia (*Acacia decurrens*), Guaiacum species (*Lafoensia acuminata*) and Jasmine (*Cestrum nocturnum*); which have four years of establishment. Allometric biomass models for two of the species tested, Alder (*Alnus jorullensis*) and Acacia (*Acacia decurrens*) was generated. The evaluation was performed by the destructive method Diken Mack (1997), We found that species with greater aerial and root biomass were *Alnus jorullensis* Ton/ha⁻¹ with 68.67, followed by 47.46 *Acacia decurrens* and *Cestrum nocturnum* L. with 6.6 Ton/ha⁻¹. As to the biggest carbon storage values for *A. jorullensis* with 34.34 Ton/ha⁻¹ and *A. decurrens* with 23.73 Ton/ha⁻¹ followed by *C. nocturnum* L. with 3.3 Ton/ha⁻¹ was obtained and finally the species *T. fuliginosa acuminata* and 1.84 and 1.25 respectively Ton/ha⁻¹. As a result of the overestimation by Bravo models and Rosero (2010), new allometric models based on data from eight cut and heavy individuals for each

species as recommended MacDicken was built (2006). Two allometric models were constructed through the Info-Stat statistical software and adjusted by multiple regression analysis. The allometric models were obtained for *Alnus jorullensis* $Bt = +35.12 -40.64$ to $0.16 * A * DAP$ and *Acacia decurrens* $Bt = 38.1$ to $0.023 +5.6 * A * DAP$, with high coefficients of determination of 98.81% and 95.5% respectively. The allometric models adjusted for each species can be used in similar to that of this research for biomass estimations reliably stored conditions.

Key words: Biomass, root biomass, allometric models hedges, validation.

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 (CO₂) responsable del cambio climático (Andrade e Ibrahim, 2003). Por esta razón, como 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).

Las plantas leñosas y en particular los árboles son los que más tiempo retienen el carbono capturado y por consiguiente, los más utilizados en programas forestales que involucran mecanismos de desarrollos limpio (MDL) para tal fin, las plantas leñosas arbustivas, que presentan mayor posibilidad de adaptación a climas adversos, son igualmente captadoras de carbono, pero en la actualidad se desconoce o se dispone de muy poca información sobre este proceso ecofisiológico dentro de este grupo, lo que ha limitado su valor de uso para tal fin. (Bugmann, 2006)

De ahí la importancia que han adquirido últimamente los estudios ecofisiológicos, que permiten evaluar el comportamiento, de las plantas, su desarrollo y crecimiento puesto que es el CO₂, es el insumo principal que utilizan estos organismos para su funcionamiento, el cual es capturado de la atmósfera y transformado en biomasa. De esta manera el monitoreo de carbono a través de los bosques y las plantaciones, como sumideros del mismo, son esenciales para contribuir con algunas soluciones ante este problema mundial (Lambers, 2008).

Por otra parte, los modelos alométricos han surgido como ayuda en el cálculo de la biomasa de grandes áreas forestales, valiéndose de la correlación existente entre las variables de difícil medición (pesos) y aquellas directamente medidas en inventarios forestales (diámetro a la altura del pecho y altura comercial o total) (Watzlawick *et al.*, 2001). No obstante, su disponibilidad para especies maderables es nula o muy reducida.

El empleo de los modelos alométricos desarrollados en regiones diferentes para la estimación de la biomasa presenta limitaciones debido a las distintas condiciones que rigen el crecimiento de los árboles entre las cuales se incluyen la genética, las subpoblaciones locales, el clima y los suelos. Estos factores son determinantes en el incremento de la biomasa y por tanto en la fijación de CO₂. De ahí la importancia de generar modelos alométricos locales.

Esta investigación tuvo como fin estimar la biomasa aérea y radicular, posteriormente calcular la captura de carbono de especies leñosas perennes como *Alnus jorullensis*, *Tournefortia fuliginosa*, *Acacia decurrens*, *Lafoensia acuminata* y *Cestrum nocturnum* L. de cuatro años de edad; y generar modelos alométricos, para *Alnus jorullensis* y *Acacia decurrens* que se ajusten a la realidad, construyendo así, conocimientos que permitirán al productor pensar en obtener ingresos adicionales como pago por servicios ambientales (PSA).

MATERIALES Y METODOS

Esta investigación se realizó en el centro experimental CORPOICA, corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto, departamento de Nariño, localizado a 1° 13' Latitud Norte y 77° 16' Longitud Oeste, a una altura de 2710 msnm, precipitación de 840 mm/año, temperatura promedio de 12° C y una humedad relativa de 87.45%. Se encuentra dentro de la zona de vida bosque seco Montano Bajo (bs-Mb) (Holdridge, 1967).

Antecedentes y descripción actual del sistema evaluado

Rosero y Bravo, (2010) establecieron cinco especies en diferentes parcelas donde se plantaron 96 individuos por especie en un área de 720m² a una distancia de 1m entre planta x 1.5m entre surco, dispuestas en cuatro hileras por especie. Después de investigaciones realizadas en 2011 y 2012 el sistema cuenta con el siguiente número de árboles por especie: **Parcela 1:** Aliso (*Alnus jorullensis*) con 78 árboles, **Parcela 2:** Mote (*Tournefortia fuliginosa*) con 66 árboles, **Parcela 3:** Acacia (*Acacia decurrens*) con 32 árboles, **Parcela 4:** Guayacán de Manizales (*Lafoensia acuminata*) con 33 árboles y **Parcela 5:** Jazmín (*Cestrum nocturnum* L.) con 48 árboles.

Toma de datos en campo

Para el análisis de biomasa y carbono se tuvo en cuenta cuatro momentos de la investigación; es decir, en el primer (1), tercer (3), sexto(6) y noveno (9) mes del cuarto año de establecidas. Se seleccionó dos árboles por especie para cada evaluación, lo que corresponde a ocho arboles por especie durante la investigación. Se utilizó el método destructivo el cual consiste en medir las dimensiones básicas de un árbol y determinar en campo la biomasa a través del peso de cada uno de sus componentes (Mac Dicken, 1997).

Para las cinco especies se estimó la biomasa en peso fresco de los componentes hojas (H), ramas (R), fuste (F) y raíz (R). Para el muestreo radicular, se extrajo en su totalidad el

árbol utilizando palas y picos. Se aplicó abundante agua al suelo con el fin de ablandar la tierra y así facilitar la extracción de las raíces (Mac Dicken, 1997).

Fase de laboratorio

Para determinar el peso seco de la biomasa producida en los árboles de cada especie se tomó las muestras correspondientes a hojas (H), ramas (R), fuste (F) y raíz (Ra). De cada componente se tomaron 300 gramos en fresco y se llevó a los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño, donde fueron secados en un horno a 80°C durante un periodo de 72 horas para encontrar el peso constante (Segura y Kanninen, 2002). Luego, se procedió a pesar la muestra seca y los datos se registraron en una hoja de cálculo del programa Microsoft Excel.

La biomasa se calculó con base en la ecuaciones propuestas por Segura y Kanninen, (2002) donde (%MS) es el porcentaje de materia seca, (PSH) es el peso seco al horno (g), (PFM) es el peso fresco de la muestra (g), (B) es la biomasa (Kg) y (PTV) es el peso total verde del componente (Kg) (Ecuación 1).

Ecuación 1. Ecuación para el porcentaje de materia seca y biomasa.

$$\%MS = \left(\frac{PSH}{PFM} \right) \times 100$$

$$B = \left(\frac{PVT}{100} \right) \times \%MS$$

Fuente: Segura y Kanninen, (2002)

Determinación del Carbono Almacenado

Para la estimación de carbono almacenado en la biomasa aérea y radicular de cada una de las especies, el carbono se calculó con base a la ecuación propuesta por Segura y Kanninen, (2002) donde, (CA) es el carbono almacenado, (B) es la biomasa total y (FC) es la fracción

de carbono que es igual a 0.5 para especies arbóreas de acuerdo a lo establecido por el Panel Intergubernamental de Cambio climático (IPCC) (Ecuación 2).

Ecuación 2. Ecuación para determinar el carbono almacenado.

$$CA = B \times Fc$$

Fuente: Segura y Kanninen, (2002)

Validación y Generación de modelos alométricos para biomasa

Se comparó los datos obtenidos en esta investigación, con los esperados según los modelos alométricos de Bravo y Rosero, (2010) para Aliso (*Alnus jorullensis*) y Acacia (*Acacia decurrens*) (Tabla 1). Las nuevas ecuaciones alométricas se construyeron en base a datos de ocho individuos cortados y pesados para cada especie como lo recomienda MacDicken, (2006). Se construyeron dos modelos alométricos a través del software estadístico Info-Stat y se ajustaron mediante análisis de regresión múltiple con las variables colectadas en campo (diámetro a la altura del pecho (DAP =1,3m y altura total del cuarto año de crecimiento)

Tabla 1. Modelos alométricos de biomasa reportados por Bravo y Rosero, (2010)

Especie	Modelo	R²
<i>Alnus jorullensis</i>	Bt=-0.154168+0.00162122*A+0.148337*D	93,29 %
<i>Acacia decurrens</i>	Bt=0.0151365+0.0178337*A-0.2465*D	91,88 %

Bt: Biomasa total (t ha⁻¹); **A:** Altura total (cm); **D:** diámetro a los 10cm del suelo (cm)

Fuente: Bravo y Rosero, (2010)

RESULTADOS Y DISCUSION

Cuantificación de Biomasa aérea y radicular por especie

Las especies que tuvieron mayor cantidad de biomasa total acumulada fueron *Alnus jorullensis* con 68.67 Ton/ha⁻¹, *Acacia decurrens* con 47.46Ton/ha⁻¹ y *Cestrum nocturnum* L. con 6.6 Ton/ha⁻¹; Sin embargo, las que presentaron menor acumulación de biomasa fueron *Tournefortia fuliginosa* y *Lafoensia acuminata* con 3.67 y 2.49 Ton/ha⁻¹ respectivamente (Tabla 2).

De acuerdo a lo anterior, se deduce que *A. jorullensis* y *A. decurrens* presentaron la mayor producción de biomasa debido a que tuvieron mejores características en cuanto a diámetro y altura (D=4.57cm A= 525.7cm y D= 3.53cm y A= 404.8 cm respectivamente para cada especie), Tabla 2, Según Montero, (2004) las diferencias de biomasa aumentan de manera proporcional al diámetro del árbol; por lo tanto, al aumentar el diámetro hay mayor biomasa en raíz, ramas y hojas. En comparación con las demás especies en estudio, los resultados concuerdan con los obtenidos por Bravo y Rosero, (2010) en donde las mismas especies evaluadas se posicionan en el mismo orden en cuanto a biomasa.

A. jorullensis fue la especie con mayor cantidad de biomasa acumulada y la que presentó los valores más altos en cuanto a diámetro y altura (D=4.57cm A= 525.7cm) siendo la que mejor se adapta a la zona a la edad de cuatro años. Gayoso, *et al*, 2002 afirma que esta especie crece en lugares donde la temperatura esta entre 4°C y 20°C, con precipitaciones entre 1000mm y 3000mm, con altos porcentajes de humedad y alturas comprendidas entre 1200 y 3200 msnm; en cuanto a suelos, *A. jorullensis* prefiere suelos profundos, bien drenados, limosos o limoso-arenosos de origen volcánico; lo anterior concuerda con los datos agroclimatológicos de la zona. Añazco, (1996) menciona que el crecimiento de *A. jorullensis* varía de un sitio a otro, cambia dependiendo de algunos factores, entre ellos el clima, el suelo, y el tipo de plantación, lo que influyó directamente en su buen desarrollo y por ende en la cantidad de biomasa acumulada.

A. decurrens fue la segunda especie con mayor cantidad de biomasa, mostrando además, una tasa de crecimiento medio mensual de 1cm en altura y 0.033cm 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/cm³ Bravo y Rosero, (2010) determinando una compactación superficial que posiblemente perjudico el desarrollo de raíces de *A. decurrens*, disminuyendo su captación de nutrientes del suelo.

Cestrum nocturnum, obtuvo 6.6 Ton/ha⁻¹ en biomasa, ubicándose en el tercer lugar para esta investigación entre las cinco especies; esto puede explicarse debido a que esta especie se caracteriza por tolerar principalmente suelos franco arenosos; además, necesita como mínimo ser fertilizada una vez por año con fertilizantes compuestos (15-15-15 ó 18-18-18), ricos en hierro (Calle y Gómez, 2006). Según Bravo y Rosero, (2010) las características de los suelos del área de estudio no cumplen con estos requerimientos, ya que poseen una textura franco arcillosa. Esto posiblemente pudo haber impedido que *C. nocturnum* obtenga altos niveles de desarrollo y acumulación de biomasa y carbono; además de que no se realizaron actividades culturales, como plateos.

La especie con menor cantidad de biomasa fue *Lafoensia acuminata* con 2.49 Ton/ha⁻¹, que presentó en promedio 98.1 cm en altura y 2.38 cm en diámetro. Esta especie se establece en altitudes comprendidas entre 1500 a 2800 m.s.n.m. (Pérez y Arbeláez, 1990); por lo tanto, su baja efectividad en crecimiento se podría explicar debido a que, por encontrarse a una altitud de 2710 m.s.n.m., cercana al límite de su rango de tolerancia; por lo cual, no mostró una adaptación óptima al área de estudio (Bravo y Rosero, 2010).

L. acuminata se desarrolla en suelos bien drenados y aireados (Barrero *et al.*, 2004) y posiblemente se vio afectada por la densidad aparente (1.04 g/cm³) 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 (Bravo y Rosero, 2010).

Tabla 2. Biomasa acumulada por especie y componente (Ton/ha⁻¹ y %).

Especie	Tallo		Raíz		Ramas		Hojas		Total	
	T/ha	%	T/ha	%	T/ha	%	T/ha	%	T/ha	%
<i>Alnus jorullensis</i>	23,7	34,5	19,4	28,3	15,4	22,5	10,16	14,8	68,67	100
<i>Acacia decurrens</i>	16,4	34,6	15,7	33,0	7,9	16,7	7,49	15,8	47,46	100
<i>Cestrum nocturnum L.</i>	1,6	24,3	2,3	35,1	0,9	14,3	1,74	26,3	6,60	100
<i>Tournefortia fuliginosa</i>	1,3	34,6	1,7	46,0	0,3	8,2	0,41	11,2	3,67	100
<i>Lafoensia acuminata</i>	0,7	28,0	0,8	33,8	0,5	18,3	0,50	19,9	2,49	100

Fuente: Esta investigación, (2014)

De acuerdo a la Tabla 2, el mayor porcentaje de biomasa para las especies *A. jorullensis* y *A. decurrens*, se acumula en el tallo, seguido de la raíz, ramas y hojas; Acosta y Tupaz, (2007) en (*Alnus jorullensis* H.B.K.) encontraron que el componente fuste representó el mayor aporte de biomasa seca y carbono, en un arreglo de cultivo en callejones (CC) y en el sistema silvopastoril (SSP), de cinco y siete años de edad respectivamente; representado el 43% en el arreglo cultivo en callejones (CC) y el 57% de la biomasa seca total en el sistema silvopastoril (SSP) de la biomasa seca total, seguido de las ramas con 32% en (CC) y 29% en (SSP) y hojas 25% en (CC) y 14% en (SSP). Lo anterior concuerda con los resultados encontrados en esta investigación para la especie Aliso (*A. jorullensis*) ya que el componente fuste representa el 34.5% de la biomasa total seguido del componente ramas el cual representa el 22.5% y finalmente el componente hojas el cual representa el 14.8% del total de biomasa seca acumulada; sin embargo, para las especies *C. nocturnum*, *T. fuliginosa*, *L. acuminata*, se encontró mayor porcentaje en raíz, seguido del tallo, hojas y ramas.

Para MacDiken, (1997) la estimación del almacenamiento de carbono en la biomasa bajo raíces es importante en proyectos de fijación de carbono ya que está representa entre un 10 y un 40 % de la biomasa total, lo que concuerda con los resultados de esta investigación, en donde el porcentaje de biomasa radicular de las cinco especies se encuentra entre el 28% y 46%.

Cuantificación de carbono Total por especie

Se encontró diferencia en la cantidad de carbono acumulado por especie, siendo la más representativa *A. jorullensis* con 34.34 Ton/ha⁻¹, seguida de *A. decurrens* con 23.73 Ton/ha⁻¹ y *C. nocturnum* L. con el 3.3 Ton/ha⁻¹; finalmente las especies *T. fuliginosa* y *L. acuminata* acumularon la menor cantidad de carbono con 1.84 y 1.25 Ton/ha⁻¹ respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3, para Rosas y Salazar, (2004) la cantidad de carbono está relacionado proporcionalmente con la cantidad de biomasa, concluyendo que a mayor biomasa había mayor cantidad de carbono. Lo anterior es corroborado en esta investigación donde se determinó que las especies *A. jorullensis* y *A. decurrens* que presentaron mayor cantidad de biomasa fueron también las que obtuvieron mayor acumulación de carbono.

De la misma manera lo afirma Bravo y Rosero, (2010) con sus estudios realizados en cinco especies vegetales arbóreas en este mismo ensayo, con resultados que corresponden al primer año de establecidas, en donde relacionan que la *A. decurrens* produjo de 2.6 Ton/ha⁻¹ de biomasa seca y 1.4 Ton/ha⁻¹ de carbono y *A. acuminata* obtuvo 5.1 Ton/ha⁻¹ en biomasa seca y 2.7 Ton/ha⁻¹ en carbono, estando de acuerdo que a mayor biomasa, mayor carbono para cualquier especie forestal. Por otra parte; Acosta y Tupaz, (2007) reportan que el contenido de biomasa aérea almacenada en el arreglo de cultivo en callejones (CC) de *Alnus jorullensis* de cinco años, fue de 2.41 Ton/ha⁻¹ y el contenido de carbono almacenado total fue de 1.20 Ton/ha⁻¹ y para el arreglo de árboles dispersos de siete años fue de 0.647 Ton/ha⁻¹ de Biomasa y 0.323 Ton/ha⁻¹ para carbono. Muñoz, (2007) en un sistema agroforestal de Aliso (*A. jorullensis*) y Retamo (*S. junceum*) de tres años de edad reporta una acumulación total de Biomasa de 18.30 ± 2.30 Ton/ha⁻¹ y 9.15 ± 1.15 Ton/ha⁻¹ de carbono almacenado.

Los autores anteriormente mencionados reportan datos inferiores a los obtenidos en esta investigación; esto se debe posiblemente a la edad en la que se hicieron las evaluaciones, la densidad y el manejo que se le hacen a los arreglos evaluados, resaltando que Acosta y

Tupaz, (2007) reportan podas en el arreglo cultivo en callejones de su investigación lo que se convierte directamente en una fuga de carbono en el sistema; por el contrario, en esta evaluación no se realizó ningún tipo de poda.

Tabla 3: Carbono almacenado por especies leñosas perennes (Ton/ha⁻¹).

Espece	Carbono (Ton/ha ⁻¹)
<i>A. jorullensis</i>	34.34
<i>A. decurrens</i>	23.73
<i>C. nocturnum</i>	3.30
<i>T. fuliginosa</i>	1.84
<i>L. acuminata</i>	1.25

Fuente: Esta investigación, (2014)

En concordancia con la Tabla 3 las especies *T. fuliginosa* *C. nocturnum* y *L. acuminata* presentaron la menor acumulación del carbono radical almacenado. Silva y Caicedo, (2011) reportan un una acumulación de carbono radical de 0.29 0.11 y 0.05 Ton/ha⁻¹ para las especies antes mencionadas en su primer año de evaluación (Tabla 4). Se presentaron diferencias entre los datos obtenidos en esta investigación y los reportados por los autores. Se puede asegurar que la edad de la plantación es la responsable de las diferencias en la acumulación de carbono radical entre las especies evaluadas ya que a mayor edad el sistema radicular se desarrolla aumentando su biomasa y por ende la acumulación de carbono.

Tabla 4: Comparación de Carbono radical acumulado para leñosas perennes en el Municipio de Pasto, departamento de Nariño, 2011-2013.

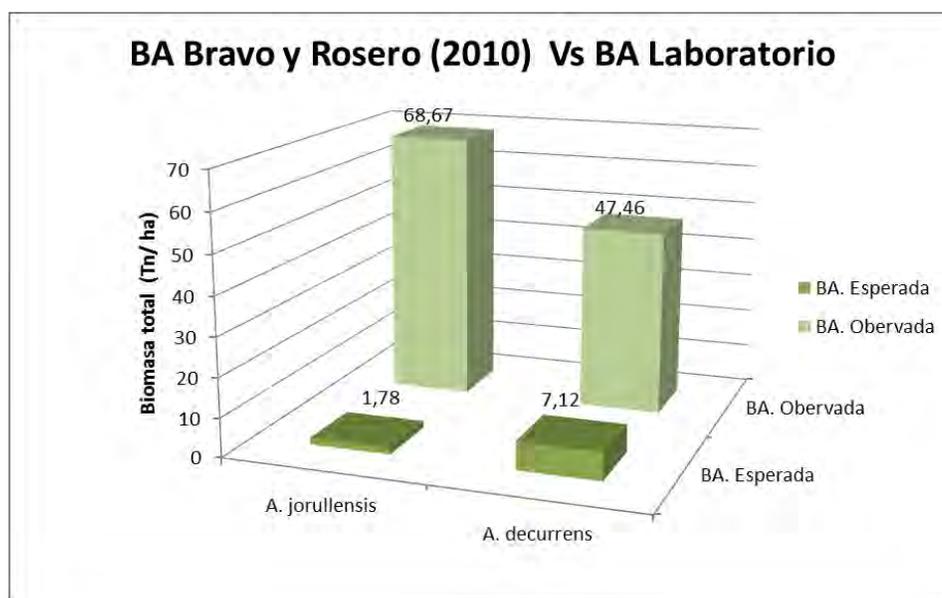
Espece	Esta investigación (2013)	Silva y Caicedo (2011)
<i>Cestrum nocturnum L.</i>	1.16	0.11
<i>Tournefortia fuliginosa</i>	0.84	0.29
<i>Lafoensia acuminata</i>	0.42	0.05

Fuente: Esta investigación, (2014)

Validación de modelos alométricos

El análisis de las ecuaciones para biomasa almacenada (BA) propuestas por Bravo y Rosero, (2010) para *Alnus jorullensis* y *Acacia decurrens* presentó una subestimación de la biomasa almacenada para el cuarto año de evaluación, dado que al compararlas con la biomasa almacenada obtenida en esta investigación por método directo, se encontró una diferencia entre los estimados de los modelos (figura 1).

Figura 1: Biomasa acumulada esperada por el modelo de Bravo y Rosero (2010) comparada con la biomasa observada esta investigación.



Fuente: Esta investigación, (2014)

En la Figura 1, se presenta la comparación de los valores reales frente a los estimados por el modelo, observando que los modelos alométricos para biomasa acumulada propuestos por Bravo y Rosero, (2010) aplicados para el cuarto año de evaluación presentan resultados sesgados para las especies comparadas *A. jorullensis* y *A. decurrens*. Existe una subestimación de la biomasa almacenada, con una diferencia de 66,89 y 40,34 ton/ha^{-1} respectivamente con los resultados encontrados a partir de la metodología destructiva de MackDiken, (1997).

La diferencia en biomasa acumulada probablemente se deben a que las los modelos se generaron con datos de diámetro y altura del primer año con promedios de 2.37cm y 72,80 cm en *A. jorullensis* y 2.55cm y 53,47cm en *A. decurrens* respectivamente, por lo tanto no son útiles a la hora de hacer predicciones de biomasa ya que los datos difieren entre el año uno y el año cuatro.

Generación de modelos alométricos de Biomasa Total

En la Tabla 5 se observan las ecuaciones resultantes para biomasa total para las especies *A. jorullensis* y *A. decurrens* las cuales se ajustaron a un modelo lineal con niveles de confiabilidad del 95% para los dos casos. Esto indica que estos modelos alométricos generados pueden ser usados para la estimación de biomasa en base a las variables de diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura a una edad de cuatro años y bajo las mismas condiciones de esta investigación.

Tabla 5: Modelos alométricos para para la estimación de Biomasa Total para las especies *A. jorullensis* y *A. decurrens* a partir de variables diámetro y altura.

Espece	Modelo alométrico	R ²
<i>Alnus jorullensis</i>	$Bt = -40,64 - 0,16 * A + 35,12 * DAP$	98,81%
<i>Acacia decurrens</i>	$Bt = 38,1 - 0,023 * A + 5,6 * DAP$	95,5%

Bt = Biomasa Total (Ton/ha) A= Altura Total (cm) DAP = Diámetro a la altura del pecho (Cm)

Los nuevos modelos generados para estimar biomasa total para las especies *A. jorullensis* y *A. decurrens* presentaron un alto coeficiente de determinación (98,81% y 95,5% respectivamente) lo cual lo que quiere decir que los datos obtenidos en campo son similares a los datos encontrados mediante el modelo generado (Figura 2) haciendo este modelo útil para futuras predicciones. Moriassi, et al, (2007) hace una clasificación en base al desempeño de estadísticos resaltando el coeficiente de determinación y mencionando que los valores que superen el 95% son los que tienen un desempeño Muy Satisfactorio y

resaltando que los valores observados son semejantes a los valores esperados en la construcción de modelos de predicción.

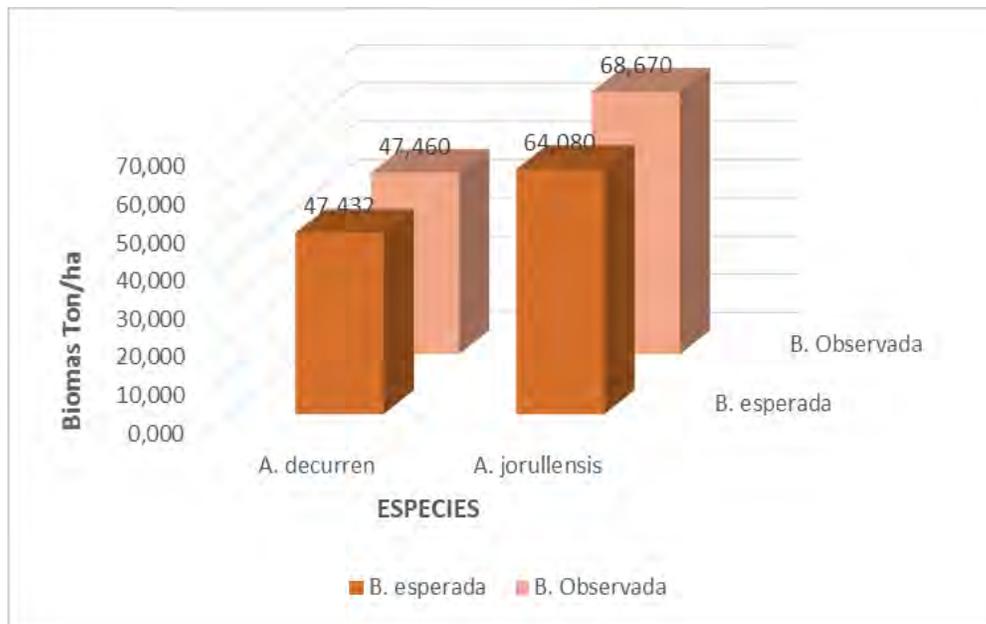
La validación de estos modelos se realizó comparando las medias de los valores reales del método directo frente a las medias de los valores estimados con el método indirecto (alométrico) tal y como lo recomienda Burbano (2012). Al realizar lo recomendado por el autor, no se presentaron diferencias entre las medias comparadas, debido a esto, los modelos escogidos no subestiman ni sobreestiman la biomasa de estas especies en función de su altura y diámetro a la altura del pecho (DAP), como se indica en la figura 2.

Bravo y Rosero (2010) obtuvieron en su trabajo un coeficiente de determinación (R^2) para *A. decurrens* del 93,36% para el primer año de establecimiento lo cual es satisfactorio para realizar trabajos a esa edad y obtener resultados aproximados. Por otra parte, Calvache y Ortiz (2011) obtuvieron un R^2 de 86,63% concluyendo que los modelos alométricos obtenidos para esta especie pueden utilizarse para generar estimación de biomasa teniendo en cuenta las dos variables, diámetro y Altura y en un tiempo deseado.

Muñoz (2007) encontró un R^2 de 91% para el género *Acacia* lo cual es similar a este estudio.

Por otra parte, Acosta y Tupaz (2007) obtuvieron un modelo alométrico con un coeficiente de determinación igual al 93% y en sistema arboles dispersos y el 92% en un sistema de Cultivo en callejones; Calvache y Ortiz (2011) en trabajos similares con la especie *Alnus jorullensis* reportan un coeficiente de determinación R^2 equivalente al 93% para la validación de modelos de biomasa con respecto a la altura y deducen que el modelo tiene un alto grado de confiabilidad para ser usados en otras investigaciones.

Figura 2: Biomasa almacenada de acuerdo al método directo vs a Biomasa estimada con Modelos alométricos.



Fuente: Esta investigación (2014)

CONCLUSIONES

Las especies que acumularon mayor cantidad de biomasa y carbono fueron *Alnus jorullensis* y *Acacia decurrens* y la especie que presentó el valor más bajo fue *Lafoensia acuminata*.

Los modelos alométricos para biomasa para las especies *Alnus jorullensis* y *Acacia decurrens* propuestos por Bravo y Rosero 2010 no pueden ser aplicados cuando las especies superan los dos años de edad debido a que subestiman la cantidad real de biomasa acumulada.

Los modelos alométricos para la estimación de biomasa obtenidos para *A. jorullensis* ($Bt = -40,64 - 0,16 * A + 35,12 * DAP$) y *A. decurrens* ($Bt = -40,64 - 0,16 * A + 35,12 * DAP$) presentaron coeficientes de determinación altos razón por la cual se ajustaron a los datos reales obtenidos en campo

Los resultados obtenidos en esta investigación resaltan la importancia de especies promisorias como *Alnus jorullensis* y *Acacia decurrens* en su función de sumideros de carbono las cuales pueden ser usadas en la implementación de Sistemas Agroforestales que contribuyan a la mitigación del cambio climático.

BIBLIOGRAFIA

ACOSTA, J. y 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. e IBRAHIM, M. 2003. Como monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles. En: Agroforestería en las Américas. Vol. 10 39-40. p 109.

AÑAZCO, M. El aliso (*Alnus jorullensi*). Proyecto desarrollo forestal del campesino en los Andes del Ecuador. (DFC). 1996. P 157

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

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. Pp 80-87.

BRAVO, K. y ROSERO, D. 2010. Evaluación de biomasa aérea y cantidad de carbono en leñosas perennes en el municipio de Pasto, departamento de Nariño. Tesis de grado Ingeniero Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. p 101.

CALLE, M. y GÓMEZ, J. 2006. Guía de plantas –Waste Magazine on line. Consultado: en <http://aste.ideal.es/galandenoche.html>. 1 p.; Consulta: febrero 2014.

CHAVE, J; RIÉRA, B; DUBOIS, M. 2001. Estimation of biomass in a neotropical forest of French Guiana: spatial and temporal variability. *Journal of Tropical Ecology*. 17. Pp 79 – 96.

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 río Pasto. Empopasto, Alcaldía de Pasto – Secretaria del Medio Ambiente y Vicerrectoría de Postgrados en investigaciones- VIPRI, Universidad de Nariño. Pasto, Nariño, Colombia. p 117.

GAYOSO, J; GUERRA, J; ALARCON, D. 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Valdivia, Chile. s.e. p 157.

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

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 Institut efor Agricultural Development.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations, Transactions of the ASABE, 50 (3), 885–900 p.

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. Consultado en: <http://www.cipav.org.co/pdf/red%20de%20agroforesteria/seminarios%20y%20congresos/Panama2010/Jesus.Solarte.pdf>. 37 p.; Consulta: febrero 2014

OVERMAN, J; WITTE, H; SALDARRIAGA, J. 1994. Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazon rainforest. *Journal of Tropical Ecology*. Pp. 218 – 297.

PÉREZ. A E. *Plantas Útiles de Colombia*. 14 ed. Medellín: Editorial Víctor Hugo.1990. p 83.

REGINA, S. 2000. Biomass estimation and nutrient pools in four *Quercus pyrenaica* in Sierra de Gata, Salamanca, Spain. *Forest Ecology Management*. Pp 127 – 141.

ROSAS W. y SALAZAR, M. Estimación de la biomasa y el carbono en el sistema agroforestal cercos vivos en la vereda Mocondino, municipio de Pasto. Pasto, 2004. 81p. Trabajo de grado (Ingeniero agroforestal). Universidad de Nariño. Facultad de ciencias Agrícolas. Programa de Ingeniería Agroforestal.

SILVA, L y CAICEDO, P. Evaluación de la captura de carbono de la biomasa radical en leñosas perennes en el Municipio de Pasto. Pasto 2011, 17 p. Trabajo de grado (Ingeniero agroforestal). Universidad de Nariño. Facultad de ciencias Agrícolas. Programa de Ingeniería Agroforestal.

WATZLAWICK, L.F; SANQUETTA, C.R; DE MELLO, A.A. 2001. Ecuaciones de biomasa aérea en plantaciones de *Araucaria angustifolia* en el sur del estado de Paraná, Brasil. Simposio “Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en ecosistemas Forestales” 2001, Valdivia, Universidad Austral de Chile. p 10.

BUGMANN H.B.K.M.A simplified forest model to study species composition along climate gradients. *Ecology*. 2006. P 2055 – 2074.

LAMBERS h., CHAPING F.S. and PONS T.L. *plant physiology ecology*. Second Edition. Springer, Berlin; 2008. 604 p.