

**EVALUACION DE LA CAPTURA DE CARBONO DE LA BIOMASA
RADICAL EN LEÑOSAS PERENNES EN EL MUNICIPIO DE PASTO.**

**EVALUATION OF CARBON CAPTURE OF ROOT BIOMASS IN WOODY
PERENNIAL IN THE MUNICIPAL OF PASTO.**

Heber Leonardo Silva P.¹

Pablo Cesar Caicedo.²

Javier Aníbal León G.³

RESUMEN

Esta investigación se desarrolló en el centro de investigación FEDEPAPA, ubicado en el corregimiento de Obonuco, Municipio de Pasto, Departamento de Nariño, a una altura de 2710 msnm, temperatura promedio de 13°C y una precipitación promedio anual de 840 mm. Con el fin de estimar la cantidad de carbono almacenado en la biomasa radical en cinco leñosas perennes se establecieron cinco tratamientos correspondientes a las especies *Alnus acuminata*, *Acacia decurrens*, *Tournefortia fuliginosa*, *Cestrum nocturnum* y *Lafoensia acuminata*., ubicadas en un área de 720 m² distribuidas en cuatro hileras con 96 individuos por especie, sembradas a una distancia de 1m entre plantas y 1.5 m entre hileras y se evaluaron en dos épocas (12 y 18 meses), se seleccionaron 28 individuos en la primera época y 26 en la siguiente de acuerdo al diámetro y altura por especie para realizar las mediciones de biomasa y carbono utilizando el método directo destructivo. A partir de estos datos se realizó un análisis de varianza y comparaciones de media de Tukey para cada época, donde se encontraron diferencias estadísticas significativas en la biomasa y carbono almacenado entre las especies, de las cuales, *Alnus acuminata* fue la que mayor biomasa y carbono acumuló, con 0,32 t ha⁻¹ y 0,17 t ha⁻¹ respectivamente, mientras que *Lafoensia acuminata* fue la que menor valor presentó, con 0,04 t ha⁻¹ de biomasa y 0,01 t ha⁻¹ de carbono en la primera época. En la segunda época se detectó diferencias estadísticas altamente significativas donde *Alnus acuminata* fue la que mayor biomasa y carbono acumuló, con 1,44 t ha⁻¹ y 0,85 t ha⁻¹ respectivamente, mientras que *Lafoensia acuminata* fue la que menor valor presentó, con 0,10 t ha⁻¹ de biomasa y 0,05 t ha⁻¹ de carbono. Según las características de las especies evaluadas son consideradas de gran importancia en la implementación de sistemas agroforestales en diferentes tipos de

arreglos como cercas vivas y/o árboles dispersos y cultivos en callejones, en el departamento de Nariño.

Palabras claves:

Biomasa radical, carbono, sistemas agroforestales.

ABSTRACT

This research was developed in FEDEPAPA Research Center, located in the village of Obonuco, Municipality of Pasto, Nariño Department, at an altitude of 2710 msnm, average temperature 13 ° C and average annual rainfall of 840 mm, for 8 months. To estimate the amount of carbon stored in root biomass in five woody perennials, is established five treatments corresponding to the species *Alnus acuminata*, *Acacia decurrens*, *Tournefortia fuliginosa*, *Cestrum nocturnum* and *Lafoensia acuminata*., located in an area of 720 m² distributed in four rows with 96 individuals per species, planted at a distance of 1m between plants and 1.5 m between rows and were evaluated in two eras (12 and 18 months), 28 individuals were selected in the first period and 26 in of following according to the diameter and height by species, for measurement of biomass and carbon was used the direct method destructive. From these data was carried an analysis of variance and Tukey mean comparisons for each era, in where significant statistically differences in biomass and carbon storage between species, of which, *Alnus acuminata* had the greatest root biomass and storage carbon, with 0.32 t ha⁻¹ and 0.17 t ha⁻¹ respectively, while *Lafoensia acuminata* tapeworm the lowest value, with 0.04 t ha⁻¹ biomass and 0.01 t ha⁻¹ carbon in the first period. In the second period was detected highly significant differences, *Alnus acuminata* had the greatest root biomass and carbon accumulated, with 1.44 t ha⁻¹ and 0.85 t ha⁻¹ respectively, while *Lafoensia acuminata* tapeworm the lowest value, with 0.10 t ha⁻¹ biomass and 0.05 t ha⁻¹ of carbon. According to the characteristics of these species are considered of great importance in the implementation of agroforestry systems in different types of arrangements such as fences and / or scattered trees and crops in alleys in the department of Nariño.

Key words

Root biomass, carbon, agroforestry systems

INTRODUCCION

El clima de la tierra está constantemente cambiando debido a factores naturales. Además de los cambios y ciclos climáticos normales de la tierra, la influencia del hombre sobre su ambiente ha ocasionado alteraciones del clima a nivel global. (IPCC, 2001).

La contaminación atmosférica ha causado daños ecológicos principalmente por el uso de combustibles fósiles y dando como resultado el incremento excesivo de dióxido de carbono. El resultado de esto es el efecto invernadero causante del calentamiento global ocasionando desordenes climáticos bruscos alterando así el hábitat de los seres vivos. A pesar de la gran problemática ambiental que se está presentando a nivel mundial como es el cambio climático, existen muy pocos estudios sobre la captura de carbono en la biomasa radical de especies forestales que permitan conocer la tasa de almacenamiento de CO₂.

Según Dixon (1995), los sistemas agroforestales permiten reducir las emisiones de gases como el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y oxido nitroso (N₂O) quienes son los responsables del efecto de invernadero. Para Andrade e Ibrahim (2003), los sistemas agroforestales acumulan carbono en el sistema en cuatro componentes: sistemas radicales, biomasa sobre el suelo, hojarasca y carbono orgánico del suelo.

En Nariño se están realizando investigaciones de captura de carbono en sistemas agroforestales en varios tipos de arreglos, de gran importancia para mitigar los gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global como es el caso de la especie *Alnus jorullensis* donde se evaluó la cantidad de carbono almacenado en dos arreglos agroforestales: sistema silvopastoril: arboles disperso y sistema cultivo en callejones donde se determinó que *Alnus jorullensis* en el sistema silvopastoril con la edad de nueve años acumuló 21,01 t ha⁻¹ de biomasa radical, fijando un valor de 9,87 t ha⁻¹ de

carbono total. Mientras que en el sistema cultivo en callejones, con siete años de edad *Alnus jorullensis* generó una acumulación de 19,31 t ha⁻¹ con 9,20 t ha⁻¹. Existiendo una correlación de su concentración exponencial a medida que avanza el estado sucesional de crecimiento de la especie (Jaramillo, 2007). Daza y Delgado (2008), reportan la captura de carbono en la biomasa radical de la especie *Morella pubescens* en un arreglo silvopastoril con 27,6 t ha⁻¹ a distancias de 4x3, y 12,1 t ha⁻¹ a distancia de 4x4 y 2.9 t ha⁻¹ en regeneración natural.

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 se puede destacar el almacenamiento de carbono y reforestaciones, métodos necesarios para mantener los ecosistemas naturales (Forero *et al*, 2006).

Este estudio se realizó con el fin de dar a conocer la cantidad de carbono almacenado en la biomasa radical en cinco leñosas perennes *Alnus acuminata*, *Acacia decurrens*, *Cestrum nocturnum*, *Tournefortia fuliginosa* y *Lafoensia acuminata*, como una alternativa viable para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero causantes del cambio climático. Además, generarle un valor agregado a los agricultores del departamento de Nariño mediante el pago por servicio ambiental de captura de carbono.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en el Centro de Investigación FEDEPAPA, corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto, departamento de Nariño, localizado a 5 km hacia el sur occidente de la ciudad San Juan de Pasto a 1° 13' latitud norte y 77° 16' longitud oeste a una altura de 2.710 msnm, con una temperatura promedio de 13° C, precipitación promedio anual de 840 mm, suelos franco arcillosos (Mera y Zamora, 2003). Según la clasificación de Holdridge esta zona de vida pertenece a un bosque seco montano bajo (bs-MB).

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).

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%, Fósforo 4,02 p.m.m y Potasio 0,844 meq/100 gr, con una densidad aparente de 1,04 g/cm³ (Bravo y Rosero, 2011).

Descripción del ensayo experimental. Este estudio se realizó en un área de 720 m² donde se seleccionaron cinco especies, las cuales corresponden a los siguientes tratamientos:

T1: Aliso *Alnus acuminata*

T2: Acacia *Acacia decurrens*

T3: Mote *Tournefortia fuliginosa*

T4: Jazmín *Cestrum nocturnum*

T5: Guayacán *Lafoensia acuminata*

Para cada tratamiento se tomaron 96 individuos distribuidos en cuatro hileras sembradas a una distancia de 1m entre planta y 1.5 entre hilera, correspondiente a 144m² por especie. Se realizaron dos muestreos de raíces durante el transcurso de la investigación en periodos de seis meses, a los doce (Noviembre de 2010) y dieciocho (mayo de 2011) respectivamente, con el fin de determinar la biomasa radical y almacenamiento de carbono de cada especie. Se seleccionaron 28 individuos del total de las especies en la primera época y 26 en la segunda, de acuerdo al diámetro y altura como lo recomienda Jaramillo (2007).

Para los muestreos de raíces se tomaron las raíces gruesas (diámetro 5mm) y finas (diámetro 5 mm) según la clasificación recomendada por Sierra *et al* (2003), la excavación y extracción del sistema radical de los árboles seleccionados se realizó

usando el método directo destructivo como lo recomienda MacDiken (1997). Las raíces seleccionadas se lavaron y pesaron directamente en campo en una balanza después de secarse al aire durante aproximadamente dos horas, posteriormente se empacaron y sellaron en bolsas herméticas rotuladas indicando la fecha, el sitio, la especie, el número del árbol y edad.

Análisis de laboratorio. Las muestras de raíces fueron llevadas al laboratorio de bromatología de la Universidad de Nariño, donde se pasó cada muestra fresca a bolsas de papel y se pesaron en una balanza electrónica, posteriormente se sometieron a un secado a 80°C durante 48 horas hasta que se obtuvo un peso constante y finalmente se estimó el porcentaje de materia seca. Dentro de los controles para evitar problemas de contaminación de las raíces con suelo mineral se procedió a cenizar la muestra y se expresó los valores como peso seco libre de ceniza (Schlönvoigt *et al*, 2000).

Determinación de biomasa y carbono de los componentes. Se estimó el porcentaje de materia seca de las muestras mediante la ecuación recomendada por Segura y Kanninen (2002):

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

Dónde:

MS: Porcentaje de materia seca

PSM: Peso seco de la muestra (gr)

PFM: Peso fresco total en campo (gr).

Una vez se obtuvo la cantidad de materia seca, se calculó la biomasa radical multiplicando el porcentaje de materia seca por el peso del componente registrado en campo. Para cada uno de los árboles evaluados mediante la ecuación recomendada por Segura y Venegas (1999):

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

Dónde:

Bc: Biomasa del componente (gr)

PFC: peso fresco total tomado en el campo (gr)

MS (%): Porcentaje de materia seca.

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

$$CA = Bt * FC$$

Dónde:

CA: carbono almacenado (gr)

Bt: biomasa total (gr)

FC: fracción de carbono.

Análisis estadístico. Con los datos obtenidos en la evaluación se realizaron análisis de varianza para cada época (12 y 18 meses) con el fin de encontrar si existían diferencias estadísticas significativas en la biomasa radical y almacenamiento de carbono entre las especies. Así mismo se realizaron las pruebas de comparaciones de medias de Tukey entre los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Biomasa en la primera época. El análisis de varianza detectó diferencias estadísticas significativas entre especies en la biomasa radical transcurrido 12 meses de evaluación (Tabla 1). La prueba de comparación de medias de Tukey indica que las especies *Alnus acuminata*, *Acacia decurrens*, *Tournefortia fuliginosa* y *Cestrum nocturnum* con promedios de 0.34, 0.32, 0.17 y 0.14 t ha⁻¹ presentaron diferencias estadísticas

significativas frente a la especie *Lafoensia acuminata* con promedio de 0.04 t ha⁻¹ (Tabla 2).

Tabla 1. Análisis de Varianza para biomasa radical en leñosas perennes en el municipio de Pasto.

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,4262	4	0,1066	3,5299*	0,0219
Especie	0,4262	4	0,1066	3,5299*	0,0219
Error	0,6943	23	0,0302		
Total	1,1205	27			

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

Tabla 2. Prueba de comparación de media de Tukey para biomasa radical en leñosas perennes en el municipio de Pasto.

Especie	Promedio (t ha ⁻¹)	
<i>A. acuminata</i>	0,34	a
<i>A. decurrens</i>	0,32	a b
<i>T. fuliginosa</i>	0,17	a b
<i>C. nocturnum</i>	0,14	a b
<i>L. acuminata</i>	0,04	b

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

Los resultados obtenidos de *Alnus acuminata* y *Acacia decurrens* muestran que estas especies presentaron la mejor adaptación y desarrollo de biomasa radical durante los primeros 12 meses de la investigación, posiblemente esto ocurrió ya que estas especies son introducidas, por lo cual se considera que el proceso de desarrollo y adaptación es mejor en comparación a las especies nativas. Además, Esto concuerda con investigaciones que muestran evidencia de que *Alnus acuminata* crece rápidamente en suelos andinos erosionados (Gonzaga, 2004), y en sus raíces se desarrollan de manera simbiótica, un Actinomiceto del género *Frankia*, el cual fija nitrógeno al suelo (Añazco, 1996). De acuerdo a lo mencionado Taiz y Zeiger (2006), afirman que 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 radical.

Acacia decurrens fue la segunda especie con mayor cantidad de biomasa radical y se caracteriza por ser un árbol leguminoso. Ferrari y Wall (2004), afirman que los árboles leguminosos pueden formar simbiosis con hongos micorrícicos y estas asociaciones permiten la fijación de nitrógeno atmosférico y mejoran la absorción de agua y la asimilación de nutrientes del suelo por medio de la raíces finas, aumentando el sistema radical y menciona que en muchos sitios disturbados, los árboles fijadores de nitrógeno pueden crecer mejor que los no-fijadores, como es el caso de las especies *Tournefortia fuliginosa*, *Cestrum nocturnum* y *Lafoensia acuminata*, quizás esta sea la causa principal por la cual *Alnus acuminata* y *Acacia decurrens* presentaron los mayores valores en biomasa radical.

Tournefortia fuliginosa, *Cestrum nocturnum* y *Lafoensia acuminata* fueron la que menores cantidad de biomasa radical presentaron, esto posiblemente se debe a las características fisiológicas y morfológicas de cada una, las condiciones ambientales y de suelo del área de estudio. Complementado esta hipótesis Calle y Gómez (2006) afirman que *Cestrum nocturnum* 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 gr por planta, adicional a esto, también se aplican fertilizantes ricos en hierro. Por lo anterior Bravo y Rosero (2011) afirman que 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 impidió que *Cestrum nocturnum* obtuviera altos niveles de desarrollo de biomasa radical.

Biomasa en la segunda época. El análisis de varianza detectó diferencias estadísticas altamente significativas entre especies en la biomasa radical transcurridos 18 meses de evaluación (Tabla 3). La prueba de comparación de medias de Tukey indica que las especies *Alnus acuminata*, *Acacia decurrens* y *Tournefortia fuliginosa* con promedios de 1.45, 0.62, y 0.54 t ha⁻¹ presentaron diferencias estadísticas significativas frente a la especies *Cestrum nocturnum* y *Lafoensia acuminata* con promedios de 0.21 y 0.11 t ha⁻¹ (Tabla 4).

Tabla 3. Análisis de Varianza para biomasa radical en leñosas perennes en el municipio de Pasto.

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	5,8339	4	1,4585	4,6398**	0,0077
Especie	5,8339	4	1,4585	4,6398**	0,0077
Error	6,6012	21	0,3143		
Total	12,4351	25			

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

Tabla 4. Prueba de comparación de media de Tukey para biomasa radical de leñosas perennes en el municipio de Pasto.

Especie	Promedio (t ha ⁻¹)	
<i>A. acuminata</i>	1,45	a
<i>A. decurrens</i>	0,62	a b
<i>T. fuliginosa</i>	0,54	a b
<i>C. nocturnum</i>	0,21	b
<i>L. acuminata</i>	0,11	b

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

Los datos obtenidos en la evaluación de la segunda época reportan que la especie *Alnus acuminata* mantiene su tendencia de mejor desarrollo y cantidad de biomasa radical frente a las demás especies, superando los valores obtenidos en la primera época. Esto explica la cantidad de biomasa radical encontrada y concuerda con investigaciones que muestran evidencia de que *Alnus acuminata* crece rápidamente en suelos andinos (Gonzaga, 2004), Al respecto Sierra *et al* (2003) afirman que la dinámica de las raíces, es alta debido a que dentro de las fases tempranas de la sucesión, crecimiento y adaptación, las plantas asignan una mayor proporción de recursos fotosintéticos al desarrollo de un buen sistema radical, en especial de raíces finas, las cuales muestran una tendencia creciente para suplir los requerimientos de agua y nutrientes.

En esta época las cinco leñosas perennes presentaron mayores valores de biomasa radical que en la primera época, de acuerdo a esto podemos decir que el crecimiento y desarrollo de biomasa de raíces, está directamente relacionado con la edad.

Carbono en la primera época. El análisis de varianza detectó diferencias estadísticas significativas entre especies en el carbono almacenado transcurrido 12 meses de evaluación (Tabla 5). La prueba de comparación de medias de Tukey indica que las especies *Alnus acuminata*, *Acacia decurrens*, *Tournefortia fuliginosa* y *Cestrum nocturnum* con promedios de 0.19, 0.15, 0.09 y 0.07 presentaron diferencias estadísticas significativas frente a la especie *Lafoensia acuminata* con promedio de 0.01 t – ha⁻¹ (Tabla 6).

Tabla 5. Análisis de Varianza para carbono almacenado en leñosas perennes en el municipio de Pasto.

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,1132	4	0,0283	3,4894*	0,0229
Especie	0,1132	4	0,0283	3,4894*	0,0229
Error	0,1865	23	0,0081		
Total	1,2997	27			

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

Tabla 6. Prueba de comparación de media de Tukey para carbono de leñosas perennes en el municipio de Pasto.

Especie	Promedio (t ha ⁻¹)	
<i>A. acuminata</i>	0,19	a
<i>A. decurrens</i>	0,15	a b
<i>T. fuliginosa</i>	0,09	a b
<i>C. nocturnum</i>	0,07	a b
<i>L. acuminata</i>	0,01	b

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

Los datos obtenidos para el almacenamiento de carbono en los primeros 12 meses reportan que las especies *Alnus acuminata* y *Acacia decurrens* presentaron mayor almacenamiento de carbono en la biomasa radical, sin embargo no hay diferencias estadísticas significativas con las especies *Tournefortia fuliginosa* y *Cestrum nocturnum* aunque presentan valores diferentes. Esto posiblemente se debe a que estas especies aportan nitrógeno al suelo lo que les permite mejorar algunas propiedades del mismo. Añazco (1996) afirma que *Alnus acuminata* tiene una proporción carbono-nitrógeno

favorable para una rápida descomposición y una mineralización del nitrógeno en forma aprovechable para otras plantas. La especie *Acacia decurrens* de acuerdo a su ubicación de siembra en el sitio de evaluación, quizás se vio beneficiada por la asociación simbiótica entre hongo y raíz de esta especie, lo cual pudo a ver influido en el desarrollo de la biomasa radical y por ende en la captura de carbono, frente a las demás especies. MacDiken (1997), reporta que en promedio la materia vegetal (biomasa radical) contiene un 50% de carbono. Por lo cual el carbono almacenado en esta época está directamente relacionado con la biomasa radical de la primera época donde estas especies obtuvieron los mejores resultados.

Al respecto Barahona y Preciado (2010) reportan un alto porcentaje de captura de carbono almacenado en raíces de *Lolium perenne* en cercas sembrada con *Alnus acuminata* y *Acacia melanoxylon*, con valores de 35,4 y 34,8 t ha⁻¹. Lo que demuestra que estas especies mejoran algunas propiedades del suelo gracias al aporte de nitrógeno que permite el buen desarrollo de raíces y un alto almacenamiento de carbono de otras especies.

Carbono en la segunda época. El análisis de varianza detectó diferencias estadísticas altamente significativas entre especies en el carbono almacenado transcurrido 18 meses de evaluación (Tabla 7). La prueba de comparación de medias de Tukey indica que la especie *Alnus acuminata* con promedio de 0,85 t - ha⁻¹ presentó diferencias estadísticas significativas frente a las especies *Acacia decurrens*, *Tournefortia fuliginosa*, *Cestrum nocturnum* y *Lafoensia acuminata* con promedios de 0,33, 0,29, 0,11, y 0,05 t - ha⁻¹ (Tabla 8).

Tabla 7. Análisis de Varianza para carbono almacenado en leñosas perennes en el municipio de Pasto.

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,1264	4	0,5316	8,1668**	0,0004
Especie	2,1264	4	0,5316	8,1668**	0,0004
Error	1,3670	21	0,0651		
Total	3,4934	25			

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

Tabla 8. Prueba de comparación de media de Tukey para carbono almacenado en leñosas perennes en el municipio de Pasto.

Especie	Promedio (t ha ⁻¹)	
<i>A. acuminata</i>	0,85	a
<i>A. decurrens</i>	0,33	b
<i>T. fuliginosa</i>	0,29	b
<i>C. nocturnum</i>	0,11	b
<i>L. acuminata</i>	0,05	b

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Los resultados obtenidos reportan que la especie *Alnus acuminata* acumuló 0,85 t ha⁻¹ de carbono en la biomasa radical transcurridos 18 meses de evaluación, siendo el valor más alto, este buen comportamiento lo reporta Jaramillo (2007) donde afirma que *Alnus jorullensis*, en un sistema silvopastoril almacena un valor promedio de carbono 9,87 t ha⁻¹ y en un arreglo agroforestal cultivo en callejones 9,20 t ha⁻¹ dichos resultados, muestran que existen valores superiores a los de esta investigación, esta diferencia se debe principalmente a la edad del establecimiento de los sistemas agroforestales comparados, ya que tenían nueve y siete años de establecido y los de esta investigación solo 18 meses, Comparando este valor con una estimación a 7 y 9 años para este estudio, se tendrían 4,67 y 6,32 t ha⁻¹, dato que estaría un poco más de la mitad encontrada por este autor. Sin embargo, aumento de estos datos dependería del manejo de la plantación a futuro y varía según el tipo de ambiente en el que se desarrolle, la densidad de siembra y el tipo de arreglo agroforestal.

Alnus acuminata presentó diferencias estadísticas altamente significativa de almacenamiento de carbono frente a las demás especies, esto posiblemente se debe a que esta especie se caracteriza por fijar nitrógeno y absorber fósforo, representando una ventaja para su crecimiento y desarrollo de raíces, con mayor tolerancia al estrés ambiental (Gonzaga, 2004). Esto se ajusta a lo que se observó en campo durante el transcurso de esta investigación, donde esta especie presentó lo más altos valores en altura, diámetro y biomasa radical frente a la demás especies seguido por la *Acacia decurrens*, *Tournefortia fuliginosa*, *Cestrum nocturnum* y por ultimo *Lafoensia acuminata*.

Tournefortia fuliginosa con un valor promedio de 0.29 t-ha¹ de carbono almacenado en la biomasa radical es similar a la reportada por Daza y Delgado (2008), en la especie *Morella pubescens* con 0,28 t ha⁻¹ en un arreglo pastura en callejones a una distancia de una parcela de 4x3. Mientras que *Cestrum nocturnum* con valor promedio de 0.11 t ha⁻¹ se asemeja a la *Morella pubescens* con 0,18 t ha⁻¹ en un arreglo pastura en callejones a una distancia de una parcela de 4x4. Lo que indica que estas especies no almacenan carbono suficiente comparado con las especies *Alnus acuminata* y *Acacia decurrens*.

CONCLUSIONES

La especie con mayor cantidad de biomasa radical en la primera y segunda época fue *Alnus acuminata* con un valor de 0.34 y 1,45 t ha⁻¹, seguida de *Acacia decurrens* con 0,32 y 0,62 t ha⁻¹, *Tournefortia fuliginosa* con 0,17 y 0.54 t ha⁻¹, *Cestrum nocturnum* con 0,14 y 0.21, t ha⁻¹ a diferencia de *Lafoensia acuminata* que obtuvo el menor valor con 0,04 y 0.11 t ha⁻¹.

Alnus acuminata obtuvo mayores resultados en cuanto a la evaluación de carbono almacenado en las dos épocas con un valor de 0,19 y 0,85 t ha⁻¹, seguido por *Acacia decurrens* con 0,15 y 0.33 t ha⁻¹, *Tournefortia fuliginosa* con 0,09 y 0.29, t ha⁻¹ *Cestrum nocturnum* con 0,07 y 0.11 t ha⁻¹, por el contrario *Lafoensia acuminata* obtuvo el menor valor de carbono almacenado con 0,01 y 0,05 t ha⁻¹,

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por ser nuestro padre celestial y guía de nuestras vidas, a Nuestros Padres, familiares y amigos por el apoyo incondicional, a la Universidad de Nariño, a nuestro presidente de tesis Javier Aníbal León Guevara Ing. A.F. M.Sc y nuestros jurados Jorge Fernando Navia Estrada PhD, Jorge Alberto Vélez Lozano Ing. A.F. M.Sc, al proyecto Evaluación y desarrollo de Alternativas de mitigación frente al cambio climático en diferentes Agroecosistemas del departamento de Nariño por su financiación.

BIBLIOGRAFÍA

Andrade, H. y Ibrahim, M. 2003. Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas Silvopastoriles en Agroforestería en las Américas (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 10 (39-40). 109 -116 p.

Añazco, M. 1996. El Aliso *Alnus acuminata*. Quito, Ecuador. Proyecto Desarrollo Forestal Campesino en los Andes del Ecuador. 116 p.

Ávila, G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas Silvopastoriles y pasturas a pleno sol. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 99 p.

Barahona, Y. y Preciado, A. 2010. Estimación del almacenamiento de carbono en la biomasa radical en diferentes pasturas de arreglos silvopastoriles en el Municipio de Pasto, Departamento de Nariño, Tesis de grado Ingeniero Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. 9 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. 871 p.

Bravo, K. y Rosero, D. 2011. Evaluación de biomasa aérea y cantidad de Carbono en leñosas perennes. En el Centro Experimental FEDEPAPA, Municipio de Pasto, Departamento de Nariño, Tesis de grado Ingeniero Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. 10 p.

Calle, M. y Gómez, J. 2006. Guía de plantas - Waste Magazine on line. [Citado 10 Noviembre 2010]. Disponible en <http://aste.ideal.es/galandenoches.htm>.

Daza, J. y Delgado, I. 2008. Cuantificación de carbono secuestrado en la biomasa radical, de Laurel de cera *Morella pubescens* Hums & Bompl. ex Willd. Willbur. En dos Agroecosistemas En el Municipio de San Pablo, Departamento de Nariño, Tesis de grado Ingeniero Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. 48 p.

Dixon, R. 1995. Sistemas agroforestales y gases invernadero. En: Agroforestería en las Américas (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 2. (7). 22-36 p.

Ferrari, A. y Wall, L. 2004. Utilization of nitrogen fixing trees for revegetation of degraded soils. *Rev. Fac. Agron.* 105 (2): p 63-87.

Forero, L. Leonel, H. Ordoñez, H. 2006. Proyecto Restauración y Protección de Agroecosistemas 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, Colombia. 117 p.

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

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

IPCC, 2001 en: Delgado, D. 2001 Bases ecológicas para el manejo de los recursos naturales: Cambio global antropogénico. 30 p.

Jaramillo, S. 2007. Estimación de la Captura de Carbono en la Biomasa Radicular en aliso *Alnus Jorullensis* H.B.K. En dos Sistemas Agroforestales En la Granja Experimental Botana, Municipio de Pasto, Departamento de Nariño, Tesis de grado Ingeniero Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. 15-76 p.

Macdiken, K. 1997. Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock International, 1611 N. Kent St., Suite 600, Arlington, 22 (209). USA. 87 p

Mera, A. y Zamora, C. 2003. Establecimiento y evaluación inicial de los arreglos árboles dispersos en asocio con pasto kikuyo en el altiplano de Pasto. Tesis de grado Ingeniero Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. 15 p.

Schlönvoigt, A. Chesney, P. Schsller, M. Kanten, R. 2000. Estudios ecológicos de raíces en Sistemas Agroforestales: Experiencias metodológicas en el CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2. 1 p.

Segura, M. y Kanninen, M. 2002. Inventarios para estimar carbono en ecosistemas forestales tropicales. In. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Eds. Orozco, L; Brumér, C. Turrialba, CR. CATIE. 202-22 p.

Segura, M. y 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. Serie Técnica No. 306. Turrialba, CR, CATIE. 46 p.

Sierra, C. Del Valle, J. Orrego, S. 2003. Ecuaciones de biomasa de raíces en bosques primarios intervenidos y secundarios. En: Orrego, S. Del Valle, J. Moreno, F. Arbeláez, T. 2003. Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: Contribuciones para la mitigación del cambio climático. 169 – 188 p.

Taiz, L. y Zeiger, E. 2006. Plant Physiology. 4th ed. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachussets. USA. 764 p.