

**ESTIMACION DE LA CAPTURA DE CARBONO EN BIOMASA AEREA EN
UN BOSQUE SECUNDARIO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO PASTO,
MUNICIPIO DE PASTO**

**ESTIMATE OF THE CAPTURE OF CARBON IN AERIAL BIOMASS IN A
SECONDARY FOREST IN THE PASTO RIVER HIGH GRASS,
MUNICIPALITY OF PASTO.**

David Jean Benavides Portillo*, Francisco Javier Tobar Tello*, Luz Amalia Forero Peña M.Sc**

RESUMEN

La presente investigación determinó el Carbono (C) almacenado en la biomasa aérea de árboles de bosque secundario de 15 años de edad, en la cuenca alta del río Pasto, vereda Mocondino, Municipio de Pasto, Departamento de Nariño, Colombia, a una altura sobre el nivel del mar de 3000 a 3100 m, con temperatura que oscilan entre 6 °C y 12 °C.

Se realizó un inventario al 100% en tres parcelas de 500 m² cada una, y se seleccionaron nueve especies de mayor importancia ecológica, que correspondió al 62.7% del Índice de Valor de Importancia (IVI). Del total de los árboles encontrados se cortó una muestra de 263 árboles (20 a 40 individuos por especie) a los cuales se les midió el diámetro a 1,3 m de altura y la altura total. Se determinó la biomasa y el C mediante el método destructivo seccionando los árboles en fuste, ramas y hojas.

Se encontró un valor de C acumulado en la biomasa aérea de las nueve especies más importantes de 96.7 t C ha⁻¹, encontrándose diferencias en el C almacenado entre especies. Las especies con mayor C almacenado fueron *Viburnum triphyllum* Benth con 41,6 t C ha⁻¹ y *Miconia cf orcheotoma* con 14,0 t C ha⁻¹. Casamarucha (N.N), mostro la menor cantidad con 1,47 t C ha⁻¹. El C aéreo por órganos correspondió a 52,5% en fuste, 38,7% en ramas y 8,7% en hojas.

PALABRAS CLAVE: bosque altoandino, estructura florística, carbono de especies nativas.

* Artículo presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Agroforestal de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño. 2008.

** Docente de la Universidad de Nariño, Ingeniera Forestal adscrita al Programa de Ingeniería Agroforestal.

ABSTRACT

The current investigation determined the carbon level stored in the biomass of trees of secondary forest of more than 15 years of age in the Pasto river high grass, at Mocondino village, municipality of Pasto, Colombia, which is located at an altitude above sea level of 3000 to 3100 m, with temperatures ranging from 6° C to 12° C.

An inventory was performed at a 100% in 3 plots of 500 m² each, and it was selected nine most important ecological species, which accounted for 62.7% of IVI (Importance Index Value). From the total number of trees found a short sample of 263 trees were cut (20 to 40 individuals per species) the trees from this sample were measured the diameter at 1.3 m height (D) and their total height. The biomass and the carbon, were determined by means of the destructive method sectioning trees in stem, branches and leaves.

It was a carbon value of found of 96,7 t C ha⁻¹, in the aerial biomass were also found differences in the C stored by species and among organs of the tree. The species with the highest C stored were *Viburnum triphyllum* Benth and *Miconia cf orcheotoma* with 41,6 and 13,9 t C ha⁻¹. Casamarucha (N.N), showed the lowest content of carbon with 1,4 t C ha⁻¹ on its own. The aerial C is distributed as follows: 52,5% in the shaft, branches 38,7% and 8,7% leaves.

KEY WORDS: high-forest, floral structure, carbon native species.

INTRODUCCION

Las actividades humanas están emitiendo Gases Efecto Invernadero (GEI) que están aumentando las concentraciones naturales de estos en la atmósfera. El dióxido de carbono (CO₂) se emite principalmente por el consumo de combustibles fósiles (carbón, petróleo y sus derivados y gas natural), por la tala y quema de bosques y por algunos procesos industriales como la fabricación del cemento. El óxido nitroso (N₂O) y el metano (CH₄) son emitidos por actividades agrícolas (especialmente por la aplicación de fertilizantes y por cultivos de arroz), cambios en el uso de la tierra y otras fuentes (Vasques, Isola y Tobar, 2002a). Cerca del 20% de las emisiones del CO₂ resultan de la eliminación y degradación de ecosistemas forestales (Brown et al, 1996). Se considera

que 100 toneladas de C son liberadas por una hectárea de bosque tropical deforestada (Pearce, 1990).

El exceso de CO₂ en la atmósfera acentúa el efecto invernadero y por lo tanto, el calentamiento global que tiene como consecuencia cambio en otras variables climáticas que conllevan aumentos globales de temperatura, cambios en la humedad del suelo, incrementos en el nivel medio del mar e inundaciones en algunos lugares, alteración de las lluvias incidiendo sobre la producción agrícola (Vasques, Isola y Tobar, 2002b).

El CO₂ atmosférico en ecosistemas forestales es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis. Según Snowdon (2001) los agroecosistemas acumulan C en cuatro grandes componentes: biomasa aérea (o biomasa sobre el suelo), hojarasca, sistema radical y C orgánico del suelo.

La estimación del potencial de fijación de C por bosques secundarios y de plantaciones forestales es de gran importancia frente al incremento de CO₂ en la atmósfera y su potencial efecto en el clima global. El C fijado se acumula en la biomasa durante la regeneración natural y la cantidad fijada depende de la edad de los bosques secundarios y aumenta hasta llegar a su máximo aproximadamente 1/3 del ciclo (edad) o sea a los 25 años; además se manifiesta que la cantidad de C fijado por hectárea cambia según la zona de vida (Lopez et al, 2002).

En Colombia se presenta una de las cinco mayores tasas de deforestación de bosque húmedo tropical en el mundo. Durante la década de 1980 se destruyeron en el mundo 15,4 millones de hectáreas de bosque húmedo tropical, de las cuales el 4,5 por ciento se deforestó en Colombia, principalmente en su región amazónica. (FAO, 1999).

En el año 1969 el área estimada en bosques para el municipio de pasto era de 45378 hectáreas, para el año 2003 se redujo a 21900 hectáreas (19,7%). En tal sentido, de continuar con ese ritmo de deforestación tomando como factor estándar la tasa del año 2003, la cuenca del río Pasto, perdería su cobertura en tres décadas. La ganadería y la expansión de la frontera agrícola son los factores mas importantes en la reducción de bosques (SIGAM, 2004a).

La contaminación atmosférica en el Municipio de Pasto y principalmente de su cuenca, se le atribuye a varias fuentes, entre ellas a la deforestación y a fuentes fijas como panaderías y asaderos, entre otras aportan un valor de contaminación del orden de 804 toneladas de CO₂, según estudios hechos por CORPONARIÑO (1995).

La importancia del estudio del C en la biomasa aérea, radica en que se puede utilizar para caracterizar los bosques naturales y obtener información sobre la productividad y beneficios para las comunidades locales como la fijación de CO₂ atmosférico (Andrade y Muhammad, 2003). La generación de información del potencial de fijación de C en sistemas boscosos es necesaria para incentivar a propietarios de fincas productivas al establecimiento y mantenimiento de reductos boscosos (Manso, 1998).

El presente estudio brinda una primera aproximación del C almacenado por especie en el bosque secundario de la cuenca del río Pasto. Esta investigación se desarrollo en el marco del proyecto “Restauración y Protección de Agroecosistemas Estratégicos en la Captura de Carbono, Municipio de Pasto, Nariño” (Forero et al, 2007), que benefició directamente a la población de la cuenca del río Pasto. En este trabajo el objetivo fue estimar el C almacenado en las especies de mayor importancia ecológica en el bosque secundario de la cuenca alta del río Pasto.

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se realizó en la cuenca alta del río Pasto, vereda Mocondino, Municipio de Pasto, suroriente del Departamento de Nariño. La ubicación geográfica se encuentra entre los 77° 12' 10 '' y 77°22'63'' de longitud oeste y a 1° 13' 15'' a 1°17'33'' de latitud norte, con alturas que oscilan entre 3350 m en la parte más alta, y 2570 m en la parte más baja de la cuenca, con una temperatura promedio de 8°C y una precipitación anual promedio de 950 mm. (SIGAM, 2004b)

Se realizó un reconocimiento de la zona por medio de cartografía básica, se delimitó un área de 1500 m² en el bosque secundario en predios de la Alcaldía Municipal de Pasto en la vereda Mocondino. En el bosque se establecieron tres parcelas, cada una con un área de 500 m² (10x50 m) tanto en la parte alta, media y baja del bosque. Las parcelas

fueron georeferenciadas, se utilizó equipos de geoposición GPS con un margen de error de $\pm 8\text{m}$ y sus datos se encuentra en la tabla 1.

Tabla 1. Localización geográfica de cada parcela en el bosque secundario de 15 años de edad, Mocondino Alto, Pasto-Nariño.

Parcela	Latitud	Longitud	Altitud msnm
A	01°17'71.2''	77°21'82.7''	3021
B	01°17'75.7''	77°21'83.8''	3022
C	01°17'80.8''	77°21'64.7''	3089

Fuente: esta investigación.

En los bosques secundarios, las especies se seleccionaron con base en los Índices de Valor de Importancia (IVI) calculados para la zona y se tomaron los árboles que representaron el 62,7% (188,02 del IVI, tabla 2) de las parcelas inventariadas (Eslava y Martínez, 2008a). El IVI se utilizó por ser una herramienta útil al momento de hacer estimaciones de la importancia ecológica de las especies vegetales, al combinar diferentes características estructurales como la abundancia, la frecuencia y la dominancia (Zapata, Colorado y del Valle, 2003a).

De acuerdo a Eslava y Martínez (2008b), la comunidad vegetal del bosque secundario, en la vereda Mocondino Alto son pluriformes (variadas formas y especies), con una edad de 15 años. Posee árboles con un rango de altura entre 1,7 m hasta 6,8 m y diámetro entre 1,0 y 30,0 cm, con un total de 11910 árboles ha^{-1} , representadas en nueve especies. Según el IVI, pelotillo (*Viburnum triphyllum* Benth), majua (*Palicourea amethystena*), amarillo liso (*Miconia cf orcheotoma*), salado (*Hedyosmum goudotianum* Solms), charmuelan (*Geissanthus serrulatus*), moquillo (*Saurauia ursina* Tr & P), mote (*Cordia rhopaloides* (H.B.K) R & S), casamarucha (N.N) y helecho cuy (*Cyathea sp*), representaron el mayor peso ecológico (tabla 2).

Para esta investigación se tomo una muestra de 263 árboles de las nueve especies: 27 individuos de *Viburnum triphyllum* Benth, 42 de *Palicourea amethystena*, 31 de *Miconia cf orcheotoma*, 21 de *Hedyosmum goudotianum* Solms, 29 de *Geissanthus*

serrulatus, 37 de casamarucha (N.N), 33 de *Cordia rhopaloides* (H.B.K) R & S, 19 de *Saurauia ursina* Tr & P, y 24 de *Cyathea* sp (tabla 2).

Tabla 2. Índice de Valor de Importancia para las nueve especies del bosque secundario de 15 años de edad, Mocondino Alto, Pasto-Nariño.

FAMILIA	ESPECIE	Arboles ha ⁻¹	I.V.I.	Muestra
CAPRIFOLIACEAE	PELOTILLO (<i>Viburnum triphyllum</i> Benth)	1993	32,44	27
RUBIACEAE	MAJUA (<i>Palicourea amesthenysta</i>)	2973	29,6	42
CHLORANTHACEAE	AMARILLO LISO (<i>Miconia cf orcheotoma</i>)	946	24,45	31
MELASTOMATACEAE	SALADO (<i>Hedyosmum goudotianum</i> Solms)	900	24,34	21
MYRSINACEAE	CHARMUELAN (<i>Geissanthus serrulatus</i>)	1486	22,64	29
SOLANACEAE	CASAMARUCHA (N.N)	1980	19,12	37
BORRAGINACEAE	MOTE (<i>Cordia rhopaloides</i> (H.B.K) R & S)	706	13,33	33
ACTINIDACEAE	MOQUILLO (<i>Saurauia ursina</i> Tr & P)	573	13,19	19
CYATHEACEAE	HELECHO CUY (<i>Cyathea</i> sp)	353	8,91	24
TOTAL		11910	188,02	263

Fuente: Esta investigación

Se realizaron dos tipos de mediciones: a los árboles en pie y árboles cortados a 30 cm del suelo, a los cuales se les midió el diámetro (D) a 1.3 m y la altura total (H). Los diámetros se agruparon por categorías diamétricas: 1-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm, 20-25 cm y 25 a 30 cm, se tabulo el mínimo y máximo diámetro por especie, así como su promedio. La altura total se promedió.

De la biomasa aérea fresca, se tomó muestras compuestas de 500 g de cada órgano (fuste, ramas y hojas), estas se llevaron a los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño, donde fueron secadas en un horno a 80° C durante tres días, hasta alcanzar un peso constante.

• **Peso seco de cada órgano:** para determinar el peso seco, se utilizó la ecuación propuesta por Overman y Saldarriaga (1994):

$$P_{sm} = \frac{P_{so}}{P_{fm}} \times P_{fo}$$

Donde:

Pso = peso seco de cada órgano (fuste, ramas y hojas)

Psm = peso seco de la muestra tomada de cada órgano

Pfm = peso fresco de la muestra

Pfo = peso fresco total del órgano.

- **Peso seco del árbol:** el peso seco de cada uno de los árboles se obtuvo a partir de la suma de los pesos secos de todos los órganos del individuo.
- **Biomasa por especie:** la biomasa por especie comprendió la suma de todos los árboles de la misma especie y luego se extrapolo a una hectárea. La biomasa total se expresó en toneladas.

El almacenamiento de carbono se obtuvo a partir de los datos de biomasa, que fueron multiplicados por la fracción de C = 0,5, recomendada por MackDicken (1997). Para calcular el C almacenado en las nueve especies estudiadas del bosque, se sumó el C de todas las especies.

RESULTADOS Y DISCUSION

Dentro de las especies de mayor peso ecológico encontradas, la especie que presentó mayor número de árboles por hectárea fue *Palicourea amesthenysta* con 2973, seguido por *Viburnum triphyllum* Benth con 1993, casamarucha (*N.N*) con 1980 y *Geissanthus serrulatus* con 1486, la especie con menor número de árboles por hectárea fue *Cyathea sp* con 353 (tabla 2). Estas especies seleccionadas por su alto IVI se caracterizan por el rápido crecimiento y buena capacidad para establecerse en lugares con alto grado de competencia como son los bosques secundarios, donde se las encuentra creciendo en altas densidades; algunas de estas especies fueron reportadas creciendo como habitantes de los cercos vivos naturales (lugares con plena radiación solar) y alta abundancia. Rosas y Salazar (2004) reportaron para el corregimiento de Mocondino la presencia de las especies *Geissantus serrulatus*, *Viburnum triphyllum* Benth, *Cordia rhopaloides* y *Palicourea amesthystena* (H.B.K) R & S, con un IVI de 21,06, 8,68, 6,8 y 4,61% respectivamente.

Para todas las especies, la mayoría de los árboles (70,0%) se concentra en las categorías diamétricas I (1-5cm) con 36,06% y II (5 a 10cm) con 33,96%, encontrándose muy

pocos árboles en las categorías mayores a 10 cm exceptuando a *Miconia cf orcheotoma* y *Cyathea* sp, el 30% restante se encuentra en las clases diamétricas III a VI (tabla, 3), presentando una distribución en forma de j invertida, esto significa que a medida que se incrementa la clase diamétrica disminuye el número de individuos, que ubicando al bosque en una fase muy joven.

Ordoñez, Martínez y Zarama (1996), reportaron que el 98,2% de los arboles presentes en el bosque secundario de la cuenca alta del río Pasto se encontraron entre los diámetros de 0 a 10 cm y el 1,8% se encuentra en las clases superiores, lo cual es típico en bosques secundarios establecidos, presentando un incremento en el porcentaje de individuos a las categorías superiores con el paso del tiempo.

Otra característica de los árboles es que no superan los 30 cm de diámetro y para cada especie el promedio está entre 2,42 y 11,7 cm, característico en comunidades vegetales de alta densidad y gran competencia. La altura se encuentra entre 1,7 y 6,8 m, ubicando la comunidad en una estructura vertical de estrato arbustivo (tabla 3).

Tabla 3: Estructura de la población de nueve especies seleccionadas en el bosque secundario de 15 años de edad, Vereda Mocondino Alto, Pasto-Nariño.

ESPECIE	Arboles ha ⁻¹	I 1-5cm	II 5-10cm	III 10-15cm	IV 15-20cm	V 20-25cm	VI 25-30cm	Diámetro promedio(cm)	Altura total promedio(cm)
PELOTILLO (<i>Viburnum triphyllum</i> Benth)	1993	18,5	33,3	22,2	22,2	3,7		10,6	6,6
MAJUA (<i>Palicourea amesthenysta</i>)	2973	54,7	45,2					5,1	4
AMARILLO LISO (<i>Miconia cf orcheotoma</i>)	946	19,4	25,8	45,2	3,2	3,2	3,2	10,2	6,6
SALADO (<i>Hedyosmum goudotianum</i> Solms)	900	9,5	47,6	9,5	14,3	14,3	4,8	11,7	5,8
CHARMUELAN (<i>Geissanthus serrulatus</i>)	1486	37,9	41,4	20,7				6,74	6,1
MOQUILLO (<i>Saurauia ursina</i> Tr & P)	1980	42,1	31,6	10,5	5,3	5,3	5,3	8,2	6,8
MOTE (<i>Cordia rhopaloides</i> (H.B.K) R & S)	706	42,4	39,4	6,1	9,1	3		11,4	6,2
CASAMARUCHA (NN)	573	100						2,42	3,3
HELECHO CUY (<i>Cyathea</i> sp)	353		41,3	54,3			4,3	11,4	1,7
TOTAL	11910	36,06	33,96	18,72	6,01	3,28	1,96		

Fuente: Esta investigación.

Biomasa por especie y por órganos.

Se encontró diferencia en la cantidad de biomasa acumulada por especie, la más representativa es *Viburnum triphyllum* Benth con 83,2 t ha⁻¹, seguida por *Miconia cf orcheotoma* con 28,0 t ha⁻¹, *Palicourea amethystema* con 20,5 t ha⁻¹. La especie con menor acumulación de biomasa fue Casamarucha (N.N) con 2,9 t ha⁻¹ (tabla 4).

A pesar de que *Palicourea amethystema* es la especie con el mayor número de árboles (2973 ha), presenta una acumulación de biomasa de 20,51 t ha⁻¹, menor en comparación con otras especies como *Viburnum triphyllum* Benth (1993 árboles ha⁻¹) con una acumulación de 41,63 t ha⁻¹ y *Miconia cf orcheotoma* (946 árboles ha⁻¹) con una acumulación de 28 t ha⁻¹. (tabla 3 y 4). Las diferencias de acumulación de biomasa son intrínsecas de cada especie y por lo tanto dependen de la arquitectura, densidad de la madera y el crecimiento. (Zapata, Colorado y del Valle, 2003b)

Biomasa en fuste: *Viburnum triphyllum* Benth es la especie que más biomasa acumula en el fuste, con 38,99 t ha⁻¹, seguido por *Palicourea amethystema*, *Miconia cf orcheotoma* y *Hedyosmum goudotianum* Solms (12,04, 16,0 y 10,87 t ha⁻¹ respectivamente) (tabla 4), estas especies mencionadas representan el 76,37% (77,9 t ha⁻¹), de la biomasa de fuste acumulada para las nueve especies.

Biomasa en ramas: *Viburnum triphyllum* Benth es la especie que más biomasa acumula, seguido por, *Miconia cf orcheotoma* y *Hedyosmum goudotianum* Solms (38,8, 9,85 y 7,1 t ha⁻¹ respectivamente) (tabla 4).

Biomasa en hojas: *Viburnum triphyllum* Benth es la especie que más biomasa acumula, seguido por, *Geissanthus serrulatus* y *Miconia cf orcheotoma* (5,48, 3,67 y 2,15 t ha⁻¹ respectivamente) (tabla 4).

Según Montero (2004), las diferencias de biomasa aumentan de manera proporcional al diámetro de los árboles, al aumentar el diámetro hay mayor biomasa (mayor cantidad de hojas y ramas), característico para las especies *Viburnum triphyllum* Benth y *Miconia cf orcheotoma* que presentan mayores acumulaciones en los tres componentes del árbol, pero no se aplica para *Palicourea amethystema*, que es una de las especies que se

destaca por su alta acumulación en fuste y no en los demás órganos, debido a que los individuos por hectárea se encuentran entre los diámetros de 1 a 10 cm. (tabla, 3)

Tabla 4. Distribución de Biomasa y Carbono acumulado en cada órgano del árbol, de nueve especies en el bosque secundario de 15 años de edad. Mocondino Alto, Pasto-Nariño

Especie	Órgano	Biomasa seca t ha ⁻¹	Carbono t ha ⁻¹	% de C
Pelotillo (<i>Viburnum triphyllum</i> Benth)	Fuste	38,99	19,49	46,8
	Ramas	38,8	19,4	46,6
	Hojas	5,48	2,74	6,6
	Total	83,27	41,63	100
Majua (<i>Palicourea amethystena</i>)	Fuste	12,04	6,02	58,7
	Ramas	6,42	3,21	31,3
	Hojas	2,05	1,02	10
	Total	20,51	10,31	100
Amarillo Liso (<i>Miconia cf orcheotoma</i>)	Fuste	16	8	57,1
	Ramas	9,85	4,92	35,2
	Hojas	2,15	1,08	7,7
	Total	28	14	100
Salado (<i>Hedyosmum goudotianum</i> Solms)	Fuste	10,87	5,43	55,8
	Ramas	7,1	3,55	36,5
	Hojas	1,5	0,75	7,7
	Total	19,46	9,73	100
Charmulan (<i>Geissanthus serrulatus</i>)	Fuste	9,7	4,85	48
	Ramas	6,85	3,42	33,9
	Hojas	3,67	1,84	18,2
	Total	20,21	8,72	100
(Moquillo) <i>Saurauia ursina</i> Tr & P	Fuste	5,84	2,92	72,3
	Ramas	1,81	0,91	22,4
	Hojas	0,42	0,21	5,2
	Total	8,08	4,04	100
Mote (<i>Cordia rhopaloides</i> (H.B.K) R & S)	Fuste	3,98	1,99	51,2
	Ramas	3,39	1,69	43,6
	Hojas	0,4	0,2	5,2
	Total	7,77	3,89	100
Casamarucha (N.N)	Fuste	1,79	0,9	60,8
	Ramas	0,77	0,39	26,2
	Hojas	0,38	0,19	13
	Total	2,95	1,47	100
Helecho Cuy (<i>Cyathea</i> sp)	Fuste	2,84	1,42	89,1
	Hojas	0,35	0,17	10,9
	Total	3,19	1,59	100
TOTAL		193,43	96,72	

* *Cyathea* sp, es un helecho y por lo tanto no posee ramas. Fuente: esta investigación.

Biomasa de las nueve especies

En general se determinó que la biomasa total de las nueve especies fue de 193,43 t ha⁻¹, el fuste concentró en promedio el 52,7% (102,0 t ha⁻¹) (tabla 5). Feldpausch, et al (2004), estimaron 120,9 t ha⁻¹ para la biomasa encontrada en los fustes de bosques secundarios de 12 a 14 años originados de pasturas en la Amazonia Central de Brasil. En este estudio la biomasa encontrada corresponde solo a nueve especies que representan el 62,7% del IVI total del bosque.

Las ramas concentraron el 38,7% (74,9 t ha⁻¹) (tabla 5), mayor a lo reportado por Chacón, Leblanc y Ruso (2007a), que encontraron 5,4 t ha⁻¹ para 37 especies del bosque secundario de 15 años ubicado en la región tropical húmeda de Costa Rica; esto probablemente es debido a que las especies evaluadas en el bosque altoandino presenta alta ramificación y posiblemente mayor estado de lignificación en este órgano.

Las hojas representaron el 8,7% (16,40 t ha⁻¹) (tabla 5), también mayor a lo reportado por Chacón, Leblanc y Ruso (2007b), que encontró 2,9 t ha⁻¹, esta diferencia se presenta debido a que las especies evaluadas en nuestra investigación tienen la característica particular de tener gran cantidad de follaje en sus ramas.

Tabla 5. Biomasa y carbono aéreo total por órganos en las nueve especies del bosque secundario de 15 años de edad, Mocondino Alto, Pasto-Nariño.

Órganos	Biomasa t ha ⁻¹	C t ha ⁻¹	Porcentaje de acumulación
Fuste	102,0	51,0	52,7%
Ramas	74,9	37,4	38,7%
Hojas	16,4	8,3	8,7%
Biomasa Total	193,3	96,7	100%

Fuente: Esta investigación.

Estos resultados coinciden con lo reportado en la literatura (Pedrasa, 1989) ya que se estima que el fuste del árbol concentra la mayor cantidad de biomasa aérea, representado entre 55 al 77 % del total, al igual que las hojas (1 a 15 %). El valor reportado para las ramas de 5 a 37 % de este mismo autor, no coincide con este estudio

debido probablemente a que en nuestra investigación se realizó en bosques jóvenes con especies muy ramificadas.

Las diferencias encontradas con otros estudios podrían deberse al tipo de vegetación evaluada en esta investigación (regeneración natural), como también al desarrollo de órganos como ramas y hojas, que en el bosque secundario de 15 años mostraron un gran aporte de biomasa. Esta última condición es explicada por Moraes (2001) quien considera que las altas acumulaciones de biomasa se deben a un mayor contenido de lignina y minerales en hojas y ramas.

Carbono en la biomasa aérea

Como el valor calculado del C proviene de multiplicar la biomasa por el factor 0,5 consecuentemente los análisis de esta variable son similares a los de biomasa.

Carbono en fuste: *Viburnum triphyllum* Benth es la especie que mas C acumula en el fuste, seguido por *Miconia cf orcheotoma*, *Palicourea amethystena* y *Hedyosmum goudotianum* Solms (19,49, 8,0, 6,02 y 5,43 t ha⁻¹ respectivamente) (tabla 4). La distribución del C en los diferentes órganos del árbol muestra que el fuste almacena la mayor cantidad con acumulaciones superiores al 50%, excepto para *Viburnum triphyllum* Benth con 46,8 % y *Geissanthus serrulatus* con 48%. El fuste de *Cyathea* sp, acumuló el 89,1 % de C debido a que es un helecho arbóreo y por lo tanto no presenta ramas, pero no se considera una de las especies que mas C acumula dentro de esta investigación (tabla 4).

Carbono en ramas: *Viburnum triphyllum* Benth es la especie que mas C acumula, seguido por *Miconia cf orcheotoma* y *Hedyosmum goudotianum* Solms (19,4, 4,92 y 3,55 t ha⁻¹ respectivamente) (tabla 4). Para todas las especies, las ramas son un órgano importante de acumulación de C y su almacenamiento se encuentra en un rango entre el 22,4 y 46,6% (tabla 4), probablemente se debe a que el bosque secundario presenta especies muy ramificadas.

Carbono en hojas: *Viburnum triphyllum* Benth es la especie que mas C acumula, seguido por, *Geissanthus serrulatus* y *Miconia cf orcheotoma* (2,74, 1,84 y 1,08 t ha⁻¹ respectivamente) (tabla 4). En todas las especies estudiadas las hojas acumulan menos del 13 %, excepto para *Geissantus serrulatus* con 18,2% (tabla 4).

La cantidad total de C por especie presentó diferencias entre ellas. Los valores oscilaron entre 1,4 t C ha⁻¹ para casamarucha (N.N) y 41,6 t C ha⁻¹ *Viburnum triphyllum* Benth (tabla 4), Zapata, Colorado y del Valle (2003) mencionan que las diferencias en la acumulación de C varía según la especie, y pueden ser consideradas como una propiedad o característica particular del ecosistema.

Carbono de las nueve especies.

La mayor concentración de C se encontró en el fuste (51,0 t ha⁻¹), seguida por las ramas (37,4 t ha⁻¹) y las hojas (8,3 t ha⁻¹) (tabla 5). Se considera el fuste de los arboles como sumidero de C con mayor permanencia, por esta razón en la actualidad los proyectos de fijación de este elemento, únicamente remuneran el C fijado en el fuste (Chacón, Leblanc y Ruso, 2009c).

En el bosque de 15 años de edad, se encontró un total acumulado de 96,7 t C ha⁻¹ para las nueve especies de mayor peso ecológico, menor a lo reportado por Bautista y Torres (2003) en el bosque tropical secundario con un valor de 353,3 t C ha⁻¹. En bosque primario, Lapeyre, Alegre y Arévalo (2004a) reportaron un valor de 485 t C ha⁻¹, superando ampliamente las reservas del bosque secundario de 50 años con 234 t C ha⁻¹, a los sistemas agroforestales (19 a 47 t C ha⁻¹) y a los sistemas agrícolas (5 t C ha⁻¹).

Flujo de Carbono

El conjunto de especies presentó un flujo de biomasa de 12.8 t ha año⁻¹ (tabla 6), mayor a lo reportado por Lapeyre, Alegre y Arévalo (2004b) que encontró un flujo anual de 3,2 t ha año⁻¹ en un bosque secundario de 20 años de edad en San Martin, Perú.

La fijación de C anual que presentó el bosque estudiado fue de 6,4 t C ha⁻¹ año⁻¹ (Tabla 6), inferior a lo reportado por Tosi (1998) para bosques en el trópico, quien afirma una tasa de 10 a 15 t C ha⁻¹ año⁻¹.

Tabla 6. Flujo anual de biomasa y C para nueve especies del bosque secundario de 15 años de edad. Mocondino Alto, Pasto-Nariño.

Órgano	Biomasa t ha ⁻¹ año ⁻¹	t C ha ⁻¹ año ⁻¹
Fuste	6,8	3,4
Ramas	4,9	2,5
Hojas	1,1	0,5
Total	12,8	6,4

Fuente: Esta investigación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La vegetación secundaria de zonas altoandinas, representa un potencial para los proyectos de captura o secuestro de C por su acumulación de biomasa (193,3 t ha⁻¹) y Carbono (96,3 t ha⁻¹)

Se encontró diferencia en la cantidad de biomasa acumulada por especie, la más representativa fue *Viburnum triphyllum* Benth con 83,2 t ha⁻¹, seguida por *Miconia cf orcheotoma* con 29,7 t ha⁻¹, *Palicourea amethystyema* con 20,6 t ha⁻¹. La especie con menor acumulación de biomasa fue Casamarucha (N.N) con 2,9 t ha⁻¹, lo que afirma que la acumulación de C varía según la especie. Estas diferencias pueden ser consideradas como una propiedad o característica particular del ecosistema.

En bosque secundario, la mayor cantidad de C almacenado en la parte aérea la presenta la especie *Viburnum triphyllum* Benth, con 41,6 t ha⁻¹, superando en más del 50% a las otras especies estudiadas, la cual podría utilizarse para la restauración de áreas degradadas, teniendo en cuenta previos estudios en cuanto a propagación y adaptación en otras zonas.

El fuste fue el órgano con mayor acumulación de biomasa, 102,0 t ha⁻¹, seguido por ramas con 74,9 t ha⁻¹ y hojas 16,4 t ha⁻¹.

Es de gran importancia continuar realizando estudios en especies del trópico de altura, las cuales permitan seguir descubriendo los beneficios que ofrecen un gran valor ecológico para nuestra región. Además, es necesario continuar con investigaciones similares, con el fin de obtener una valoración económica que permita participar en el mercado mundial del carbono.

De acuerdo con estudios realizados en otros lugares del trópico, es necesario realizar evaluaciones locales, ya que este estudio demostró que hubo particularidades para cada ecosistema.

Especies muy abundantes como Pelotillo (*Viburnum triphyllum Benth*) y Majua (*Palicourea amethystema*) (20,07% y 13,37% respectivamente) almacenan gran cantidad de C con 41,6 t ha⁻¹ y 10,3 t ha⁻¹, mientras que otras como Casamarucha (N.N) (13,37% de abundancia), no presentan grandes existencias de C (1,47 t ha⁻¹).

Agradecimientos

A nuestros padres por su esfuerzo, sus consejos y su continuo apoyo

A Luz Amalia Forero Peña. I.F. M.Sc. Docente de Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño, por su amistad y dedicación en este trabajo de investigación, en calidad de presidente de tesis.

A los profesores Javier Aníbal León Guevara M.Sc y Diego Muñoz M.Sc y Germán Chaves, miembros del comité asesor de la Universidad de Nariño, por sus sugerencias y recomendaciones.

A la Facultad de Ciencias Agrícolas, al programa de Ingeniería Agroforestal al personal docente y administrativo.

BIBLIOGRAFIA.

ANDRADE, J. MUHAMMAD, Ibrahim. Como monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles. En: Agroforestería en las Américas. Vol 10 N 39-40. 2003. pp 109-115.

BAUTIST, J; TORREZ , J. A. Valoración económica del almacenamiento de Carbono del bosque tropical del Ejido Noh Bec, Quintana Roo, Mexico. En: Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 9 (1): 69-75. 2003.

BROWN, S; J. SATHEYE; M. CANNELL; P. KAUPPI.1996. Mitigation of carbon emission to the atmosphere by forest management. Commonwealth forestry Review. 75(1): 80-91.

CHACÓN, H.A, LEBLANC, L, RUSO, R.O.. Fijación de carbono en un bosque secundario de la región tropical húmeda de Costa Rica. 2007.

CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE NARIÑO. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Alta del Río Pasto. Diagnostico Forestal. Pasto. La Corporación, 1995.

ESLAVA, Edwin y MARTINEZ, Paula. Caracterización fisionómica de la cobertura vegetal de bosques secundarios en la cuenca alta del rio Pasto, en el Municipio de Pasto, departamento de Nariño, Colombia. 2008.

FAO. 1999. Special: biodiversity for food and agriculture. *SD Dimensions*. <http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/SUSTDEV/Epdirect>

FELDPAUSCH, T.; RONDON, M.; FERNANDES, E.; RIHA, S.; WANDELLI, E. 2004. Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in Central Amazonia. *Ecological Applications* 14(4) Suplemento 2004: En <http://www.lbaeco.org/cgi-bin/web/investigations/>

FORERO–Peña et al. 2007. Restauración y Protección de Agroecosistemas Estratégicos en la Captura de Carbono, Municipio de Pasto, Nariño. Empopasto, Alcaldía de Pasto - Secretaria del Medio Ambiente y Vicerectoria de Posgrados e Investigaciones-VIPRI, Universidad de Nariño.

LAPEYRE, T, ALEGRE, J Y AREVALO, L. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Ecol. apl.* 2004, vol.3, En: <<http://www.scielo.org.pe>

LOPEZ, M, KONING, F, PAREDES, H, BENITES, P. Estimación de carbono en biomasa de bosques secundarios y plantaciones forestales en el noroccidente del Ecuador. Quito. GTZ. 2002.

MAcDICKEN, K.G. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Forest Carbon Monitoring Program. S.L.: Winrock International Institute for Agricultural Development, 1997. 84 p.

MANSO, P. Cambio climático y fijación de carbono. La experiencia de Costa Rica. En: ciencias ambientales. N° 15. Heredia.Costa Rica, 1998.

MONTERO, J. Determinación de Biomasa y Desarrollo de Modelos Alométricos, en una Plantación Experimental de *Vochysia guatemalensis*, Estación Biológica La Selva, Puerto Viejo de Sarapiquí, Costa Rica.2004.

MORAES, C. Almacenamiento de Carbono en bosques secundarios del Municipio de San Carlos, Nicaragua. Centro Agronomico de Investigacion y Enseñanza (CATIE). Programa de Enseñanza para el Desarrollo y la Conservación. Escuela de Posgrado. 2001.

ORDOÑEZ, H, MARTINEZ, H y ZARAMA, R. Caracterización Ecológica de los Bosques de la Cuenca Alta del Río Pasto para su posible manejo Silvicultural. San Juan de Pasto. Universidad de Nariño. Facultad de Naturales y Matemáticas. Especialización en Ecología, Énfasis en Gestión Ambiental. 1996. 98p.

OVERMAN, M. Y SALDARRIAGA, J. Evaluación de modelos de regresión. Amazonas, Colombia: Ecología Tropical, 1994. p. 22-35.

PEARCE, D. Economic approach to saving the tropical forest. LEEC DP90-06. International Institute for Enviroment. and Development. Londres 1990.

PEDRASA, M. Producción de biomasa y circulación de nutrientes en un rodal de *Nothofagus alessandrii* espinosa (Ruil) en la zona de Constitución. Tesis, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Escuela de Ciencias Forestales, Santiago: Universidad de Chile, 1989. 122p.

ROSAS, W, SALASAR, M. Estimación de la biomasa y el carbono en sistemas agroforestales, cercos vivos en la vereda Mocondino Municipio de Pasto, San Juan de Pasto. Universidad de Nariño, 2004.

SIGAM (Sistemas de Gestión Ambiental Municipal-Municipio de Pasto). Agenda Ambiental de Municipio de Pasto. 2004.

SNOWDON. Protocol for sampling tree and stand biomass. En: National carbon accounting system technical report, no.3. Australia: Greenhouse Office, 2001.114p.

TOSI, J. Carbon sequestration by life zone in the Monteverde Biological Corridor. Centro Científico Tropical. Costa Rica 1998.

VASQUES, P. ISOLA, E. TOBAR, N. cambios climáticos y sus efectos en las montañas sur americana. Boletín electrónico InfoAndina. - FM 2002

ZAPATA, M, COLORADO, G, DEL VALLE; J. Mecanismo de Captura de Carbono, en ecosistemas tropicales de Colombia. 2003