

**POTENCIAL DE CARBONO DE *Morella pubescens* Humb.& Bonpl, *Alnus jorullensis*
H.B.K., Y *Acacia decurrens* Willd, COMO CERCAS VIVAS EN EL
COREGIMIENTO DE CABRERA, MUNICIPIO DE PASTO. ¹**

**THE CARBON POTENTIAL OF *Morella pubescens* Humb.& Bonpl, *Alnus jorullensis*
H.B.K., Y *Acacia decurrens* Willd , AS NATURAL FENCES IN THE TOWN OF
CABRERA, WITHIN THE MUNICIPALITY OF PASTO¹**

**Clara Melo C.²
Nelson Chamorro D.²
Javier Anibal León G.³**

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el año 2008, en el corregimiento de Cabrera, municipio de Pasto, con el fin de evaluar el potencial de carbono de las especies Laurel de cera *Morella pubescens*, Acacia Amarilla *Acacia decurrens* y Aliso *Alnus jorullensis*, las cuales fueron establecidas en el año 2006 como plantaciones lineales, definidas como parcelas permanente para el monitoreo de carbono. En diez parcelas de 100 metros lineales se tomaron siete parcelas en total, cuatro de *Alnus jorullensis*, tres de *Morella pubescens*, y tres de *Acacia decurrens*. Se utilizó la metodología de MacDicken (1997), utilizando el método destructivo para posteriormente generar modelos alométricos.

Se tomó un total de 29 individuos como representantes del muestreo, los cuales permitieron estimar para *A. jorullensis*, *M. pubescens*, *A. decurrens*, con diámetro promedio de 30cm desde el suelo presentan una acumulación de biomasa aérea de 0.37kgC, 0.28kgC y

¹ Artículo presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Agroforestal

² Estudiantes Facultad de Ciencias Agrícolas, Programa de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Nariño

³ Docente Facultad de Ciencias Agrícolas. M Sc. Agroforestería Tropical. Universidad de Nariño.
aleon@catie.ac.cr

0.08kgC respectivamente. Presentándose la mayor acumulación de carbono en *A. jorullensis*.

Los modelos alométricos de acumulación de biomasa aérea total (Bat) con la variable independiente diámetro y altura, presentó la forma $Bat (kg) = 0,0219476 * Diám30 (cm)^2,88901$ ($R^2=95.4$) para *A. jorullensis*, y $Bat(kg) = 0,145756 * Alt (m)^2,08996$. Para *M. pubescens* los modelos $Bat (kg) = -0,22851 + 0,34783 * Diám30 (cm)$ ($R^2=96.14$) y $Bat (kg) = 1,76942 + 1,56887 * \ln (Alt (m))$ ($R^2= 90.55$) y para la especie *A. decurrens* $Bat (kg) = 0,257021 - 0,158593 / Diam30 (cm)$ ($R^2=81.32$). Modelos que permitirán el monitoreo de carbono en las plantaciones lineales para futuros estudios.

Palabras claves: biomasa aérea total, ecuaciones alométricas, cambio climático, servicios ambientales, captura de carbono.

ABSTRACT

This investigation was carried out in the year 2008 in the town of Cabrera, within the Pasto municipality. The aim was to evaluate the carbon potential of the Laurel de Cera *Morella pubescens*, Acacia Amarilla *Acacia decurrens* and Aliso *Alnus jorullensis* species, which were established in 2006 in linear plantations and used as land plots for carbon monitoring. From ten land plots measuring 100 linear metres, four were used for *Alnus jorullensis*, three for *Morella pubescens* and three for *Acacia decurrens*. The MackDicken methodology (1997) was used, using the destructive method to subsequently generate allometric models.

A total of 29 individuals were taken as representative samples. This allowed estimates to be taken for *A. jorullensis*, *M. pubescens* and *A. decurrens*, with an average diameter of 30cm, in the soil showing a biomass accumulation area of 0.37kgC, 0.28kgC and 0.08kgC respectively. *A. jorullensis* showed the greatest carbon accumulation.

The allometric models of total biomass accumulation area (Bat), with the variables being diameter and height, showed the following formula: $Bat (kg) = 0.00219476 * \text{diameter } 30 \text{ (cm)}^{2.88901}$ ($R^2 = 95.4$) for *A.Jorullensis*, and $Bat (kg) = 0.0145756 * \text{meters in height}^{2.08996}$. For *M.Pubescens* $Bat (kg) = -0.22851 + 0.34783 * \text{Diameter } 30 \text{ cm}$ ($R^2 = 96.14$) and $Bat (kg) = 1.76942 + 1.56887 * \ln(\text{Height (m)})$ ($R^2 = 90.55$) and for the *A.Decurrens* species $Bat (Kg) = 0.257021 - 0.158593 / \text{Diameter } 30 \text{ cm}$ ($R^2 = 81.32$). These models pave the way for Carbon monitoring in linear plantations in future studies.

Key Words: Total Biomass Area, Allometric Equations, Climate Change, Environmental Services, Capturing of Carbon.

INTRODUCCIÓN

El Cambio Climático es una problemática ambiental que desde hace varias décadas ha formado parte de las investigaciones del medio científico. Los avances en su comprensión y las crecientes evidencias de sus potenciales implicaciones ambientales, sociales y económicas, hacen necesario fomentar estrategias de conservación de bosques, reforestación de zonas altamente degradadas.

Las principales estrategias para reducir carbono en la atmósfera son la reducción de las emisiones antropogénicas de CO₂ y la creación e incremento de los sumideros de C en la biosfera (Albrecht y Kandji, 2003). En nuestro país, los ecosistemas naturales representan un gran potencial como sumideros de carbono; pues más de la mitad del territorio continental colombiano (56,05%) está constituido por ecosistemas naturales tales como bosque primarios, secundarios y páramos, que poseen un importante contenido de C acumulado y presente en la biomasa epigea y en la materia orgánica del suelo (IDEAM, 2001), de ahí la importancia de realizar cuantificaciones de Carbono.

Este trabajo de investigación permitió la realización de la metodología destructiva para llegar a generar modelos alométricos para la biomasa aérea total con las especies *Morella Pubescens*, *Acacia decurrens*, y *Alnus jorullensis*, luego de dos años de ser establecidas como barreras vivas en la microcuenca Cabrera.

DISEÑO METODOLÓGICO

Localización

La investigación se desarrolló en la microcuenca de la Quebrada Cabrera, localizada al oriente de la ciudad de Pasto a 7.5 kilómetros del centro de la misma, a una altura entre 2725m.s.n.m. y 3500m.s.n.m. Tiene una superficie de 1239,1ha, hace parte del corregimiento de Cabrera (89.2%), La Laguna (3,7%) y Buesaquillo (7,1%). Geográficamente se encuentra localizada a 1°12'24.8''y 1°15'29.4''de Latitud Norte; 77°11'45.2''y 77°13'55.3''de Longitud Oeste (Gómez, 2003).

Los muestreos se realizaron en las parcelas lineales de 100m² establecidas en la investigación de Hernández y Guerrero (2006), con el arreglo agroforestal en cercas vivas y bajo el proyecto “Restauración y protección de agroecosistemas estratégicos para captura de CO₂”. Se realizaron apeos y se evaluó el número de árboles que sobrevivieron desde el establecimiento (2006) hasta la época de evaluación (2008) en las diferentes parcelas, (Cuadro 1).

Cuadro 1. Datos de las parcelas evaluadas.

Especie	No de Parcela	No Árboles Vivos	Árboles Apeados	% de Supervivencia
ALISO	1	48	0	72,72
	2	62	3	93,93
	3	42	3	63,63
	4	41	3	63,12
LAUREL DE CERA	5	35	0	53
	6	8	5	12,12
	7	40	5	60,6
ACACIA AMARILLA	8	14	6	21,21
	9	14	0	21,21
	10	4	4	6,06

Fuente: esta investigación

Fase de campo

Las unidades del muestreo destructivo para el cálculo de biomasa aérea en *A. jorullensis*, *M. pubescens* y *A. decurrens*, partieron de la evaluación dendrométrica (medición de diámetros a 30 cm del suelo, altura total, condiciones fitosanitarias). Posterior a ello se apearon haciendo un corte a ras del suelo, los cuales se fraccionaron por componentes (hojas, ramas y fuste), posteriormente se pesó cada uno de ellos, se tomó un kilogramo de cada componente para ser llevado a laboratorios especializados de la Universidad de Nariño, para registrar la cantidad de materia seca, contenido de humedad (secado al horno a 80° C durante 48 horas).

El porcentaje de materia seca de cada componente por árbol se determinó con la relación

biomasa seca a biomasa fresca de las muestras en cada componente (Ecuación 1).

$$\%MS = (Psm/Pfm) * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

MS=Materia seca (%)

Psm = peso seco de la muestra tomada en cada órgano.

Pfm = peso fresco de la muestra de cada órgano (fuste, ramas y hojas).

Para Zapata (2003), la sumatoria de los pesos secos de todos los órganos representa la biomasa total del árbol.

La aplicación de la Ecuación 2 permitió conocer la biomasa de cada componente:

$$Bc = MS (\%) * Pfc \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

Bc= Biomasa del componente

MS= Porcentaje de materia seca del componente

Pfc= Peso fresco de todo el componente por árbol

Para calcular la biomasa aérea total de cada árbol por especie, se realizó la sumatoria de todos los datos de biomasa por componente (Ecuación 3):

$$Bat = Bh + Br + Bf \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Bat= Biomasa aérea total

Bh= Biomasa de hojas

Br= Biomasa de ramas

Bf= Biomasa de fuste

El carbono presente en cada árbol por especie se calculó aplicando la Ecuación 4:

$$\text{CO}_2 = \text{Bc} * \text{Fc}$$

Ecuación 4

Donde:

CO_2 = Dióxido de carbono acumulado en la vegetación

Bc= Biomasa del componente

Fc= Fracción de carbono (0.5)

Análisis estadístico

A partir de los datos obtenidos, se realizó el ajuste, selección y validación de modelos para estimar biomasa aérea. Las ecuaciones fueron evaluadas con los estadígrafos: coeficiente de determinación (R^2), cuadrado medio del error (CME), Suma de cuadrados del error (PRESS), homogeneidad de varianzas y diferencias estadísticas no significativas entre las medias de los valores predichos y los observados. El programa estadístico utilizado fue STATGRAPHIC Plus Versión 5. Los datos se organizaron en las siguientes variables: diámetro a 30cm del suelo (diám30), altura Total (hT), Biomasa aérea Total (Bt),

Con base a los modelos de cada especie desarrollados en esta investigación y usando los registros de las variables independientes (diam30 y altura total) de los árboles muestreados se realizó estimaciones de biomasa aérea total para cada predio. Finalmente, estos datos fueron multiplicados por la fracción de carbono (0,5), recomendada por MackDicken (1997), con el fin de estimar la capacidad de almacenamiento de carbono de cada especie estudiada..

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La totalidad de árboles seleccionados (29) permitieron generar ecuaciones alométricas, de biomasa aérea total, con modelos de regresión por cada especie tal como *A. jorullensis*, *A. decurrens* y *M. pubescens*, (MacDiken 1997, citado por Zapata, Colorado y del Valle 2003).

Se encontró que las ecuaciones para las tres especies, las variables independientes fueron la altura total y el diámetro a 30cm del suelo, mientras la variable dependiente se formó con la biomasa aérea, puesto que en cada una de las especies tenían diferentes cantidades de biomasa aérea, la cual es la que permite generar la información de mayor o menor cantidad de carbono.

Ecuaciones alométricas de biomasa aérea total para aliso *Alnus jorullensis*

Los árboles muestreados presentaron en promedio un diámetro a la altura del pecho de 2.76cm, diámetro a 30cm del suelo de 3.94cm, una biomasa aérea total de 1.20kg y 2.82m de altura total. La desviación estándar de cada variable en la población muestreada indica una moderada dispersión de los valores respecto al promedio (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resumen de la población muestreada de *A. jorullensis*

Variable	Pomedio	Mínimo	Máximo	Desv. Estandar
Diám30 (cm)	3,94	2,40	4,95	1,01
Diám RS (cm)	5,32	3,41	6,66	1,30
DAP (cm)	2,76	0,70	4,23	1,08
Altura Total (m)	2,82	1,29	4,42	0,94
Biomasa de Hojas (kg)	0,22	0,05	0,62	0,19
Biomasa de Ramas (kg)	0,32	0,06	0,60	0,22
Biomasa de Fuste (kg)	0,67	0,12	1,27	0,41
Biomasa Aérea Total (kg)	1,20	0,23	1,41	0,74

Diám30: Diámetro a 30cm del suelo; Diám RS: Diámetro a Ras del Suelo; Dap: Diámetro a la altura del pecho (1,30m)

Fuente: esta investigación

De acuerdo a los resultados estadísticos obtenidos, se consideró que el modelo que mejor predijo Biomasa aérea total (Bat) fue de tipo multiplicativo (Cuadro 3). En este modelo se eliminaron una y dos observaciones remotas “*outliers*” para las variables independientes respectivamente, teniendo en cuenta que presentaron problemas de residuales estandarizados superiores a dos desviaciones estándar.

Cuadro 3. Modelos escogidos para estimar biomasa aérea total en la especie *A. jorullensis* en la microcuenca de la quebrada Cabrera.

Variable independiente	Modelo	a	b	R2	CME	PRESS
Diám30 (cm)	$Y = a \cdot X^b$	0,0219476	2,88901	95,4	0,04	0,24
Altura Total (m)	$Y = a \cdot X^b$	0,145756	2,08996	92,41	0,08	0,38

Y: Variable independiente; X: Variable dependiente (Biomasa aérea Total); a y b: Coeficientes de regresión; R2: Coeficientes de determinación; CME: Cuadrado medio del error; PRESS: Suma de cuadrados del error

Fuente: esta investigación

Existe una alta relación entre biomasa aérea total (Bat) y las variables independientes en el modelo (Figura 1 y 2), donde presentan coeficientes de determinación (*R2*) que explican el 95.4% y 92.41% de la variabilidad de los datos. Los valores del cuadrado medio del error (*CME*) y la suma de cuadrados del error (*PRESS*) del modelo, reafirman la confiabilidad de las ecuaciones para predecir la Biomasa aérea total; además se ajusto los valores reales frente a las medias de valores estimados, mediante una *prueba de T*. el valor obtenido en esta prueba para la ecuación resultó que no tiene diferencias significativas ($P > 0.05$) es decir, no se presentaron diferencias estadísticas entre la media comparada y el modelo escogido.

Figura 1. Modelo de la forma $BaT (kg) = 0,0219476 * Diám30 (cm) ^{2,88901}$

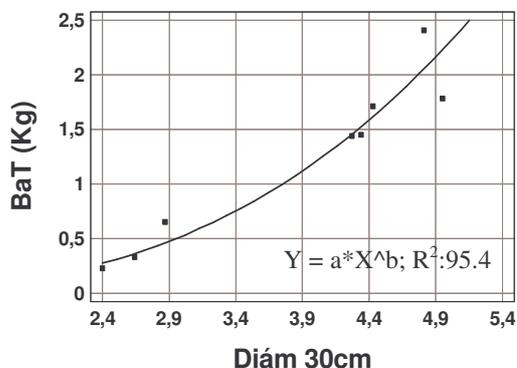
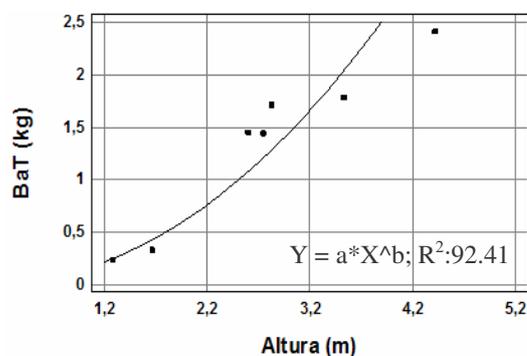


Figura 2. Modelo de la forma $BaT(kg) = 0,145756 * Alt (m) ^{2,08996}$.



Fuente: esta investigación

Estimaciones de biomasa aérea total para *Aliso Alnus jorullensis*

Se tomo los modelos desarrollados en esta investigación y se realizaron algunas estimaciones para biomasa aérea total (Cuadro 4). Para las variables independientes se colocaron valores desde 1 a 5 cm respectivamente. Se debe recordar que el rango de distribución de la población para la variable Diam30 es de 2.40 a 4.95cm y de la variable Altura Total es de 1.29 a .4.42m y por tanto valores superiores o inferiores a ellos, son extrapolaciones del modelo.

Cuadro 4. Estimaciones de biomasa aérea total para la especie *A. jorullensis*.

Diám30 (cm)	BaT (Kg)	Altura (m)	BaT (Kg)
1,00	0,022	1,00	0,160
1,50	0,071	1,50	0,340
2,00	0,163	1,80	0,500
2,30	0,243	2,00	0,620
2,50	0,310	2,50	0,990
3,00	0,525	3,00	1,450
3,50	0,819	3,50	2,000
4,00	1,204	4,00	2,640
4,50	1,692	4,50	3,380
5,00	2,295	5,00	4,210
Prom.	2,93	0,73	2,88

Diám30 (cm): Diámetro a 30cm del suelo; BaT: Biomasa aérea Total

Fuente: esta investigación

Se puede estimar que en un arreglo agroforestal cerca viva de dos años de edad, un árbol de *A. jorullensis* con un diámetro promedio a 30cm del suelo de 2.93cm, presenta una acumulación de biomasa aérea total de 0.73kg y por tanto acumula 0.37kgC. Las ecuaciones alométricas creadas, fueron corridas con la base de datos de campo (Diámetro a 30cm del suelo y Altura total); de donde se toma el promedio de acumulación de biomasa aérea total para multiplicarlo por el número de árboles vivos. Los resultados se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Estimaciones de Biomasa aérea Total en función del Diámetro a 30cm sobre el suelo y la Altura Total en las parcelas de monitoreo de carbono.

Especie	Parcela	No Árboles Vivos	Biomasa Aérea Total (1)		Biomasa Aérea Total (2)	
			Promedio BaT (1)	BaT (kg) *	Promedio BaT (2)	BaT (kg) *
ALISO	1	48	1,06	50,88	1,27	60,96
	2	62	1,77	109,74	1,56	96,72
	3	42	2,77	116,34	2,19	91,98
	4	41	0,36	14,76	0,37	15,17
Promedio		48,25	1,49	72,93	1,35	66,21

Biomasa Aérea Total (1) estimada con el modelo: $BaT (kg) = 0,0219476 \cdot Diám30(cm)^2 \cdot 2,88901$; Biomasa Aérea Total (2) estimada con el modelo: $BaT (kg) = 0,145756 \cdot Alt (m)^2$

Fuente: esta investigación

Se puede predecir que una cerca viva de 100 metros lineales, con una distancia de siembra de 1.50m (67 árboles) tiene 49kg de biomasa aérea total y 24.50kgC.

Ecuaciones alométricas de biomasa aérea total para laurel de cera *Morella pubescens*

A partir de los árboles muestreados se obtuvo en promedio un diámetro a 30cm del suelo de 1.77cm, diámetro a ras del suelo de 2.71cm, una biomasa aérea total de 0.37kg y 1.11m de altura total. La desviación estándar en la población indica una moderada dispersión respecto al promedio (Cuadro 6).

Cuadro 6. Resumen de la población muestreada de *M. pubescens*

Variable	Pomedio	Mínimo	Máximo	Desv. Estandar
Diám30 (cm)	1,77	0,97	2,80	0,76
Diám RS (cm)	2,71	1,18	3,85	0,99
Altura Total (m)	1,11	0,53	2,21	0,55
Biomasa de Hojas (kg)	0,14	0,01	0,29	0,11
Biomasa de Ramas (kg)	0,11	0,01	0,20	0,07
Biomasa de Fuste (kg)	0,12	0,03	0,37	0,11
Biomasa Aérea Total (kg)	0,37	0,06	0,75	0,25

Diám30: Diámetro a 30cm del suelo; Diám RS: Diámetro a Ras del Suelo

Fuente: esta investigación

Los mejores modelos para predecir Biomasa aérea total en *M. pubescens*, se muestran en el Cuadro 7. En los modelos se presentaron uno y tres observaciones remotas “outliers” que mostraron residuales superiores a dos desviaciones estándar y por tanto fueron eliminados para demostrar mayor confiabilidad.

Cuadro 7. Modelos escogidos para estimar biomasa aérea total en la especie *M. pubescens*, en la microcuenca de la Quebrada Cabrera.

Variable independiente	Modelo	a	b	R2	CME	PRESS
Diám30 (cm)	$Y = a + b \cdot X$	-0,22851	0,34783	96,14	0,003	0,02
Altura Total (m)	$Y = a + b \cdot \ln(X)$	1,76942	1,56887	90,55	0,06	0,49

Y: Variable independiente; X: Variable dependiente (Biomasa aérea Total); a y b: Coeficientes de regresión; R2: Coeficientes CME: Cuadrado medio del error; PRESS: Suma de cuadrados del error

Fuente: esta investigación

Las líneas de tendencia de los modelos realizados se observan en la Figura 3 y 4; donde se aprecia que existe una alta similitud entre la biomasa aérea total y cada una de las variables independientes ajustadas (valor $P < 0.05$). donde las ecuaciones compensan el supuesto de normalidad de las varianzas y las comparaciones de medias, entre los valores observados y los valores predichos utilizando la prueba de t, indicando que no existen diferencias significativas entre las medias comparadas del modelo.

Figura 3. Modelo de la forma Bat (kg) = $-0,22851 + 0,34783 \cdot \text{Diám}30$ (cm)

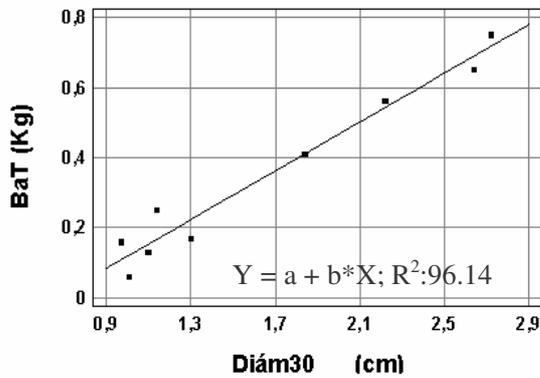
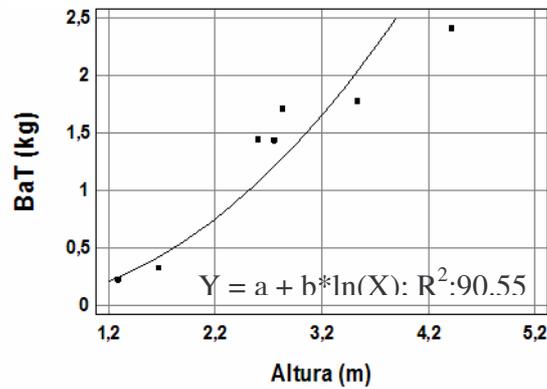


Figura 4. Modelo de la forma Bat (kg) = $1,76942 + 1,56887 \cdot \ln(\text{Alt})$ (m)



Fuente: esta investigación

Estimaciones de biomasa aérea total para Laurel de Cera *M. pubescens*

Se realizó estimaciones de biomasa aérea total teniendo en cuenta los modelos encontrados para esta especie en la presente investigación (Cuadro 8). El diámetro a 30cm tomo valores de 0.97 a 4cm y la altura total de 0.5 a 3m, partiendo de un rango de distribución de la población de Diam30 de 0.97 a 2.80cm y de la Altura Total de 0.53 a 2.21m; por tanto valores superiores o inferiores a ellos, son extrapolaciones del modelo.

Cuadro 8. Estimaciones de biomasa aérea total para la especie *M. pubescens*.

Diám30 (cm)	BaT (Kg)	Altura (m)	BaT (Kg)
0,97	0,11	0,50	0,69
1,00	0,12	0,70	1,19
1,40	0,26	1,00	1,72
1,80	0,40	1,20	2,00
2,00	0,47	1,50	2,33
2,20	0,54	1,80	2,60
2,50	0,64	2,00	2,76
3,00	0,82	2,20	2,90
3,50	1,00	2,50	3,09
4,00	1,16	3,00	3,49
Prom.	2,24	0,55	1,64

Diám30 (cm): Diámetro a 30cm del suelo; BaT: Biomasa aérea Total

Fuente: esta investigación

Se estima que un árbol promedio de *M. pubescens* de dos años de establecido en una cerca

viva con un diám30cm de 2.24cm, presenta una acumulación de biomasa aérea de 0.55kg y por tanto acumula 0.28kgC. Así mismo, las ecuaciones alométrica, fueron corridas con la base de datos de campo (Diám30cm y Altura total) de las parcelas monitoreadas, se tomó el promedio de acumulación de Bat para multiplicarlo por el número de árboles vivos y así encontrar la Bat por parcela. Los resultados se muestran en el Cuadro 9.

Una cerca viva de 100 metros lineales con dos años de establecida a una distancia de, 1.50m (67 árboles) obtiene 36.85kg de biomasa aérea total y 18.43kgC.

Cuadro 9. Estimaciones de biomasa aérea total en función del diámetro a 30cm sobre el suelo y la altura total en las parcelas de monitoreo de carbono.

Especie	Parcela	No Árboles Vivos	Biomasa Aérea Total (1)		Biomasa Aérea Total (2)	
			Promedio BaT (1)	BaT (kg)	Promedio BaT (2)	BaT (kg)
LAUREL DE CERA	5	35	0,54	18,90	2,37	82,95
	6	8	0,13	1,04	1,14	9,12
	7	40	0,72	28,80	2,57	102,80
Promedio		27,67	0,46	16,25	2,03	64,96

Biomasa Aérea Total (1) estimada con el modelo: $BaT (kg) = -0,22851 + 0,34783 \cdot Diám30 (cm)$; Biomasa Aérea Total (2) estimada con el modelo: $BaT (kg) = 1,76942 + 1,5688 \cdot$

Fuente: esta investigación

Ecuaciones alométricas de biomasa aérea total acacia amarilla *Acacia decurrens*

Los individuos tomados mostraron en promedio un diámetro a 30cm del suelo de 1.49cm, una biomasa aérea total de 0.18kg y 1.33m de altura total. Las variables de la población muestran una moderada dispersión de los valores respecto al promedio (Cuadro 10).

Cuadro 10. Resumen de la población muestreada de *A. decurrens*

Variable	Pomedio	Mínimo	Máximo	Desv. Estandar
Diám30 (cm)	1,49	0,87	2,63	0,56
Altura Total (m)	1,33	0,67	3,15	0,69
Biomasa de Hojas (kg)	0,05	0,01	0,23	0,06
Biomasa de Ramas (kg)	0,05	0,01	0,09	0,03
Biomasa de Fuste (kg)	0,08	0,03	0,38	0,11
Biomasa Aérea Total (kg)	0,18	0,06	0,70	0,19

Diám30: Diámetro a 30cm del suelo; Diám RS: Diámetro a Ras del Suelo

Fuente: esta investigación

De acuerdo al análisis estadístico obtenido, se encontró que no existe una alta correlación entre la variable independiente Altura Total y Bat, por tanto, únicamente se escogió como variable predictora el Diám30cm. En el Cuadro 11 se presenta el mejor modelo ajustado para la especie *A. decurrens*, se observó la presencia de observaciones remotas “outliers” que presentaron problemas de residuales estandarizados superiores a dos desviaciones estándar y por tanto fueron descartadas.

Cuadro 11. Modelos escogidos para estimar biomasa aérea total en la especie *A. decurrens* en la microcuenca de la quebrada Cabrera.

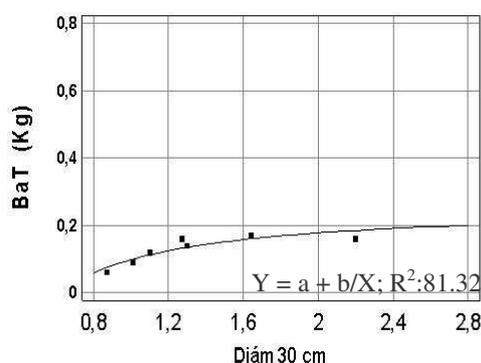
Variable independiente	Modelo	a	b	R2	CME	PRESS
Diám30 (cm)	$Y = a + b/X$	0,257021	0,158593	81,32	0,00	0,00

Y: Variable independiente; X: Variable dependiente (Biomasa aérea Total); a y b: Coeficientes de regresión; R2: Coeficientes de determinación; CME: Cuadrado medio del error; PRESS: Suma de cuadrados del error

Fuente: esta investigación

La línea de tendencia del modelo desarrollado se observan en la Figura 5. En el cual se aprecia que existe una alta correlación entre la biomasa aérea total (Bat) y el diámetro30cm como variable independiente ajustada (valor $P < 0.05$). La ecuación satisface el supuesto de normalidad de las varianzas y la comparación de medias, realizada a través de una prueba de t, indica que no existen diferencias significativas entre las medias de los valores observados y los valores predichos.

Figura 5. Modelo de la forma $BaT (kg) = 0,257021 - 0,158593/Diam30 (cm)$ ($R^2=81.32$).



Fuente: esta investigación

Estimaciones de biomasa aérea total para la especie *A. decurrens*

Con base en el modelo desarrollado en esta investigación (Cuadro 11) se realizaron algunas estimaciones biomasa aérea total (Cuadro 12). Las variable independientes diámetro a 30cm del suelo, tomaron valores desde 0.8 a 3 cm. Se debe recordar que el rango de distribución de la población para la variable Diam30 es de 0.87 a 2.63cm y por tanto valores superiores o inferiores a ellos, son extrapolaciones del modelo.

Cuadro 12. Estimaciones de biomasa aérea total para la especie *A. decurrens*.

Díam30 (cm)	BaT (Kg)	
0,80	0,060	
1,00	0,100	
1,20	0,130	
1,50	0,150	
1,80	0,170	
2,00	0,180	
2,20	0,190	
2,50	0,194	
2,80	0,200	
3,00	0,200	
Prom.	1,88	0,16

Díam30 (cm): Diámetro a 30cm del suelo;
BaT: Biomasa aérea Total

Fuente: esta investigación

Después de dos años del establecimiento del sistema agroforestal como cerca viva, se estima que un árbol promedio de *A. decurrens* con un diámetro a 30cm del suelo de 1.88cm, presenta una acumulación de biomasa aérea de 0.16kg y por tanto acumula 0.08kgC. De igual manera, las ecuaciones alométricas generadas, fueron corridas con la base de datos de campo (Diámetro a 30cm del suelo) y se tomó el promedio de acumulación de biomasa aérea total para multiplicarlo por el número de árboles vivos. Los resultados se muestran en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Estimaciones de Biomasa aérea Total en función del Diámetro a 30cm sobre el suelo en las parcelas de monitoreo de carbono.

Especie	Parcela	No Árboles Vivos	Biomasa Aérea Total	
			Promedio BaT	BaT (kg)
ACACIA AMARILLA	8	14	0,09	1,27
	9	14	0,20	2,83
	10	4	0,17	0,70
Promedio		10,67	0,16	1,60

Biomasa Aérea Total (1) estimada con el modelo: $BaT (kg) = 0,257021 - 0,158593/Dap30 (cm)$

Fuente: esta investigación

Además, se puede predecir que un área de cerca viva de 1m x 100m, con una distancia de siembra de 1.50m (67 árboles) tiene 10.72kg de biomasa aérea total y 5.36kgC.

COMPARACIÓN ENTRE ESPECIES EVALUADAS

Para realizar la comparación entre los árboles de *Alnus jorullensis*, *Morella Pubescens* y *Acacia decurrens* se da el mismo valor de 3cm al diámetro (diám30cm) como variable predictora del comportamiento de la BaT para las tres especies evaluadas. Donde se encontró que *M. Pubescens* es la especie que presenta mayor acumulación de biomasa y por tanto carbono, con un valor de 0.82kg (0.41kgC), en tanto que para *A. jorullensis* y *A. decurrens* se calcula 0.53kg (0,26kgC) y 0.20kg (0.10kgC), respectivamente.

Macdicken (1997) realizó estudios para biomasa y contenido de carbono en tallos leñosos con DAP mayor a 5 centímetros y determinó ecuaciones de acuerdo al clima basado en la precipitación anual de donde se toma la ecuación $Y = 34.4703 - 8.067D + 0.6589D^2$ con un R^2 ajustado de 0.67 que corresponde para un clima seco con una precipitación anual menor a 1500mm anuales; lo cual podría compararse con esta investigación por haberse realizado esta en una zona con una precipitación promedio anual de 1116mm. El diámetro utilizado por el autor corresponde al DAP (1.30cm) y la presente investigación se realizó con Diam a los 30 cm. del suelo, lo cual genera diferencia entre datos para ser reemplazados en el modelo, arrojando resultados de biomasa no representativos.

Se encontró una investigación realizada por Segura (2005), donde estima que un árbol de

cacao (*Theobroma cacao*) con un diámetro a 30cm del suelo de 3cm, acumula 0.41kg de biomasa aérea y por tanto 0.20kgC. Estos cálculos permiten afirmar que en los estados iniciales de crecimiento y con el mismo diam30, las especies arbóreas *M. Pubescens* y *A. jorullensis* presentan mayor cantidad de biomasa aérea total y carbono que la especie *T. cacao* y *A. decurrens*.

Cabe notar que para medir carbono en los árboles se han generado diferentes ecuaciones para distintos géneros de plantas, así como para diferentes climas, tomando en cuenta que para determinar la cantidad de carbono que se fija en las plantas tiene mucha relación con la cantidad y calidad de luz que perciben las mismas, la cantidad de agua que tienen disponible, y la calidad de los suelos, entre otros aspectos que ayudan a que la biomasa de una planta sea mayor y en consecuencia el carbono que se fija aumente.

El Cuadro 14 Estimaciones de Bat encontrada en cada parcela de monitoreo de carbono. Estos valores fueron estimados con base en los registros realizados de toda la parcela.

Cuadro 14. Biomasa aérea total (kg) en cada parcela de monitoreo de carbono

Especie	No de Parcela	No Arboles Vivos	Biomasa Aérea Total (1)		Biomasa Aérea Total (2)	
			Promedio BaT (1)	BaT F (kg)	Promedio BaT (2)	BaT F(kg)
ALISO	1	48	1,06	50,88	1,27	60,96
	2	62	1,77	109,74	1,56	96,72
	3	42	2,77	116,34	2,19	91,98
	4	41	0,36	14,76	0,37	15,17
LAUREL DE CERA	5	35	0,54	18,90	2,37	82,95
	6	8	0,13	1,04	1,14	9,12
	7	40	0,72	28,80	2,57	102,80
ACACIA AMARILLA	8	14	0,09	1,27	-	-
	9	14	0,20	2,83	-	-
	10	4	0,17	0,70	-	-

BaT: Biomasa aérea Total (1) estimada en función del Diám30 (cm); (2) estimada en función de la altura total (m)
BaTF: Biomasa aérea Total de la Finca

Fuente: esta investigación

En general se observa que la mayor sobrevivencia y acumulación de carbono se presenta en el orden de la especie *Alnus jorullensis*, *Morella pubescens* y *Acacia decurrens*. La parcela 3 de monitoreo de carbono como cerca viva con Aliso, presentó los valores más altos de biomasa aérea. De igual manera, las cercas vivas establecidas con Laurel de cera en la

parcela 7 y Acacia en la parcela 9, presentaron las mayores acumulaciones de biomasa aérea total y por tanto carbono.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1 Para la especie Aliso *Alnus jorullensis*, los modelos que mejor predijeron la Biomasa aérea total en función del Diám30 y la Altura Total fueron $Bat (kg) = 0,0219476 * Diám30 (cm) ^2,88901$ y $Bat (kg) = 0,145756 * Alt (m) ^2,08996$, respectivamente, los cuales explicaron mas del 92% de la variabilidad de los datos.
- 2 Los mejores modelos para predecir biomasa aérea Total en la especie *M. pubescens* en función del diám30 y altura total son: $Bat (kg) = -0,22851 + 0,34783 * Diám30 (cm)$ $Bat (kg) = 1,76942 + 1,56887 * \ln(Alt (m))$.
- 3 El modelo que presentó mejor ajustes estadísticos para la estimación de biomasa aérea total en función del diám30 fue $Bat (kg) = 0,257021 - 0,158593 / Dap30 (cm)$
- 4 Al comparar las tres especies evaluadas, se encontró que en los dos primeros años de crecimiento, la especie que presenta mayores acumulaciones de biomasa aérea total es el laurel de cera *M. pubescens*
- 5 Se recomienda continuar con las evaluaciones periódicas de las parcelas de monitoreo de carbono establecidas en la Microcuenca Quebrada Cabrera, donde se evalúe parámetros fitosanitarios y dendrométricos y sean la base de datos para realizar ecuaciones alométricas de crecimiento.
- 6 Realizar simulaciones de captura y fijación de carbono en escenarios agroforestales para las diferentes especies evaluadas en esta investigación.

BIBLIOGRAFIA

Albretch, A; Kandji, S. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems.

IDEAM, Ministerio del Medio Ambiente y PNUD, 2001

Gómez, O. Plan de ordenamiento y manejo ambiental de la microcuenca Quebrada Cabrera: Corregimiento de Cabrera - Municipio de Pasto. Alcaldía Municipal de Pasto y Secretaría

de Medio Ambiente. Pasto, 2003. p. 44.

Hernandez, J y Guerrero, D. Establecimiento de arreglos agroforestales como parcelas permanentes para evaluación y monitoreo de secuestro de carbono con participación de la comunidad de la microcuenca cabrera, cuenca alta del río pasto, municipio de Pasto, departamento de Nariño. Pasto, 2006. 111p. Trabajo de grado (Ingeniero agroforestal). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.

Mackdicken, KG. Aguide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Forest Carbon Monitoring Program. S.L: Winrock International Institute for Agricultural Development, 1997.84p

Proyecto Restauración Y Protección De Agroecosistemas Estratégicos En La Captura De Carbono, Municipio de Pasto, Nariño. Empopasto, Alcaldía de Pasto - Secretaria del Medio Ambiente y VIPRI, Universidad de Nariño.2005

Segura, M. Estimación del Carbono almacenado y fijado en sistemas agroforestales indígenas con cacao en la zona de Talamanca, Costa Rica. Turrialba: Proyecto Captura de Carbono y desarrollo de mercados ambientales en sistemas agroforestales indígenas con cacao en Costa Rica, (TF-052118), 2005. 139p. (Informe final de consultoría).

Zapata, M., et al. Estimación de biomasa aérea en los bosques secundarios por el método del árbol medio. Medellín: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, 2003, 95 p

Zapata, M.; Colorado, G. y Del Valle, J.. Ecuaciones de biomasa aérea para bosques primarios intervenidos y secundarios. En: Orrego, S.; Del Valle, J. y Moreno F. Medición de la captura de Carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: contribuciones para la mitigación del cambio climático. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2003. p. 87-119.