

Estimación de la biomasa aérea y captura de carbono en árboles dispersos en potreros con motilon silvestre (*Freziera canescens*) en el Municipio de Pasto Nariño – Colombia.

*Héctor Ramiro Ordóñez Jurado*¹

*Diego Andrés Muñoz Guerrero*²

*William Ballesteros Possu*³

*Genith Cabrera Chamorro*⁴

*John Mosquera González*⁴

RESUMEN

En el municipio de Pasto, Nariño, se establecieron 4 parcelas circulares de 500 m², donde se realizó la medición de variables dasométricas de árboles dispersos en potreros de motilón silvestre *Freziera canescens*, con el fin de estimar la biomasa aérea y determinar la capacidad de captura de carbono en esta práctica silvopastoril tradicional. Para determinar la biomasa aérea y el C en las parcelas de muestreo se utilizó el método destructivo que consistió en apear todos los individuos con diámetros (dap) mayores a 10 cm. Los árboles muestreados fueron separados en tres componentes: fustes, ramas y hojas, los cuales fueron pesados por separado en fresco, tomando una submuestra para ser sometida a 80°C para determinar la biomasa seca.

Se realizaron pruebas de correlación probando diferentes modelos lineales, cuadráticos y logarítmicos, para lo cual se utilizó el programa Stagraphics plus versión 5.1; se probaron modelos alométricos para estimar la biomasa aérea total, en función de las variables diámetro a la altura de pecho (dap), altura

^{1,2,3} Profesores Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.

⁴ Ingenieros Agroforestales. Egresados, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.

total, área basal y volumen., siendo los de tipo exponencial los que se ajustaron con mayor precisión a los datos reales de biomasa. Se encontró que el diámetro es la variable predictora más significativa de la biomasa aérea total, con el modelo de la forma $Y = \exp(2,61282 + 13,9972 * dap)$, Para el motilón silvestre se determinó una biomasa aérea de 9,57 ton/ha, que equivale a 4.78 ton de C/ha.

Palabras claves: Biomasa aérea, calentamiento global, captura de carbono, modelos de biomasa inventario.

ABSTRACT

In the municipality of Pasto, Narino, 4 circular plots of 500 m² were established, which made measuring variables dasometric of scattered trees in pastures of *Freziera canescens*, in order to estimate the aerial biomass and the ability to determine carbon uptake in this forest grazing traditional practices. To determine the aerial biomass and the C in the sampling plots was used a destructive method, it was felled all individuals (dap) with diameters greater than 10 cm. The trees sampled were separated into three components: trunk, branches and leaves, which were weighed separately in cool, taking a subsample to be subjected to 80 ° C for determining the dry biomass.

Tests of correlation testing different models linear were done, quadratic and logarithmic, which used the program Stagraphics plus version 5.1; allometric models were tested to estimate the total aerial biomass, depending on the variable diameter at breast height (dap), total height, basal area and volume, being the kind of exponential which were adjusted to more accurately to the real data of biomass. It was found that the diameter is the most significant predictor variable of the total aerial biomass, with the model of the form $Y = \exp(13.9972 + 2.61282 * dap)$. For *Freziera canescens* was identified a aerial biomass of 9,57 ton/ha, equivalent to 4.78 ton of C/ha.

Key words: Aerial biomass, global warming, carbon uptake, biomass models, inventory.

INTRODUCCION

Una de las manifestaciones del cambio climático es el calentamiento global, producido por el incremento en la concentración de diversos gases en la atmósfera, conocidos como de Efecto Invernadero, entre los que se destacan: el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), óxido de nitrógeno (NO_2) y los clorofluorocarbonos; siendo el primero el que más predomina. Las concentraciones atmosféricas de CO_2 se han elevado hasta alcanzar las 379 ppm en marzo de 2004, un 35% por encima de los niveles preindustriales cuya concentración atmosférica era de 280 ppm; las actividades humanas que desde la revolución industrial han intensificado el uso de combustibles fósiles, así como la destrucción de muchos sistemas ecológicos que aportan un equilibrio dinámico de gases en la atmósfera, son sus principales causas (GREENPEACE, 2004).

El protocolo de Kyoto y las subsecuentes conferencias de las partes (COP) de la convención de Cambio Climático han despertado interés sobre el potencial de los ecosistemas forestales y agroforestales para fijar carbono, ya que la única forma de limpiar el CO_2 de la atmósfera es a través de la fotosíntesis. Considerar este servicio ambiental y evaluarlo en términos ecológicos puede estimular proyectos forestales dentro del marco del mecanismo de Desarrollo Limpio (Benítez et al. 2002). Así, para contrarrestar las emisiones de carbono (C), un número creciente de empresas y agencias de gobierno de diferentes países están considerando planes para establecer plantaciones, mejorar el manejo del bosque, preservar bosques naturales e impulsar prácticas agroforestales.

Los sistemas silvopastoriles, al incluir el componente arbóreo, pueden remover cantidades significativas de carbono de la atmósfera al incorporarlo a su biomasa, además de otros beneficios productivos y ambientales. Estos sistemas se pueden constituir como importantes sumideros de carbono en altas proporciones debido a que se concentra carbono en los diferentes componentes tanto de la especie arbórea como la pastura en asocio.

Para determinar la biomasa aérea de algunas especies forestales se han realizado estudios de campo y laboratorio que han generado modelos alométricos específicos, los cuales para estimar la biomasa requieren tomar en campo el dap y altura del árbol y por simple aplicación del modelo se obtiene la biomasa para un determinada sistema forestal o agroforestal.

En las partes altas de la cuenca Alta del Río Pasto, es característico encontrar prácticas silvopastoriles de árboles dispersos de motilón silvestre (*Freziera canescens*) en asocio con pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) es por ello que se realizó esta investigación con el fin de estimar la biomasa aérea y la capacidad de captura de carbono e igualmente generar modelos alométricos para el componente arbóreo de un sistema silvopastoril del trópico de altura.

METODOLOGIA

Localización. La investigación se realizó en el corregimiento de Cabrera, cuenca alta del río Pasto, presenta una altitud de 2800 m.s.n.m, una temperatura que oscila entre los 7°C y 14°C, y una precipitación media de 750 mm incrementándose hasta los 1500 mm anuales. Según la clasificación de las zonas de vida propuesta por Holdridge (1987), la zona de estudio se encuentra ubicada en el bosque seco montano bajo (bs-MB).

Reconocimiento y selección de sitios de muestreo. La especie evaluada es el componente arbóreo de un sistema silvopastoril que esta formado por árboles dispersos en asocio con pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) Los sitios para el montaje de las parcelas fueron seleccionados con el apoyo de los propietarios y considerando la distribución irregular de los árboles en el campo, se tuvo en cuenta la metodología descrita por MacDiken (1997) para árboles dispersos, por ello se utilizaron cuatro unidades de muestreo de tamaño fijo de forma circular de 500 mts², las cuales para lograr una correcta ubicación en el terreno se georeferenciaron con un GPS.

Caracterización estructural. Los árboles a partir de 10 m de dap que se encontraron en cada parcela, se les registró la altura total, área de copa y diámetros a la altura del pecho. Con los anteriores registros se determinó el área basal, volumen y la abundancia.

Determinación de materia fresca. Con el fin de determinar la biomasa aérea, se apeó la totalidad de los individuos, separando en tres componentes: fuste, ramas y hojas, Los componentes fueron pesados por separado en fresco, tomando una submuestra, para el caso de ramas y hojas se tomo 600 gramos, para fuste se cortaron discos y se pesaron utilizando una balanza de precisión.

Medición de materia seca. Las muestras se llevaron a laboratorio y se sometieron a secado en horno a 80°C para poder extraer la humedad, por un periodo de 2 a 3 días hasta alcanzar un peso constante.

Determinación de carbono en la biomasa. El carbono se calculó por el factor de conversión en el que los datos de biomasa se multiplican por un factor que involucre el contenido de carbono en la biomasa seca y la relación entre el peso de la molécula de CO₂ y el peso del átomo de carbono. Para Brown, citado por Salazar y Rosas (2004): “el contenido de carbono (CC) en un gramo de biomasa aérea es igual a 0.5 gramos de C.

Construcción de modelos de biomasa. Se efectuaron regresiones entre altura total vs. biomasa aérea total, DAP vs. biomasa aérea total, área basal vs. biomasa aérea total y volumen vs. biomasa aérea total y se determinaron los coeficientes de correlación probando diferentes modelos lineales, cuadráticos y logarítmicos, para lo cual se utilizó el programa Statgraphics plus versión 5.1.

Selección y validación de los mejores modelos. Para escoger los modelos de mejor ajuste, se tuvo en cuenta estadígrafos como el coeficiente de determinación (R^2), error estándar de estimación o raíz del cuadrado medio del error (RMSE) y la suma de cuadrados del error (PRESS), así como la lógica biológica del modelo (alometría). La validación de las ecuaciones se realizó mediante una prueba de comparación de medias (prueba de T) entre los valores predichos y los reales, según lo recomendado por Moret y Ruiz (1998).

RESULTADOS Y DISCUSION

Caracterización estructural. El Motilón silvestre (*Freziera canescens*) presentó una abundancia de 13 árboles en 2000 mts², que inferidos a un hectárea da un promedio de 65 árboles/ha. El rango diamétrico osciló entre los 12 y 23 cm. las alturas están comprendidas entre los 6 a 13.8 m, con un área basal promedio de 0.0225 m² y volumen de 0.1306 mts³ por árbol (Cuadro 1).

CUADRO 1. Variables dendrométricas para el motilón silvestre (*Freziera canescens*) cuenca alta del río Pasto.

| Parcela | No. árbol | d.a.p (cm) | Altura Total (m) | Área Basal (m ²) | Volumen (m ³) |
|-----------------|-----------|------------|------------------|------------------------------|---------------------------|
| 1 | 1 | 18 | 8,3 | 0,0254 | 0,1267 |
| | 2 | 20 | 10,5 | 0,0314 | 0,1979 |
| | 3 | 19 | 9 | 0,0284 | 0,1531 |
| 2 | 4 | 13 | 9,4 | 0,0133 | 0,0749 |
| | 5 | 14 | 8 | 0,0154 | 0,0739 |
| | 6 | 13 | 9,4 | 0,0133 | 0,0749 |
| | 7 | 16 | 6,7 | 0,0201 | 0,0808 |
| | 8 | 13 | 7,5 | 0,0133 | 0,0597 |
| 3 | 9 | 17,5 | 7 | 0,0241 | 0,1010 |
| | 10 | 13 | 6,4 | 0,0133 | 0,0510 |
| | 11 | 12 | 6 | 0,0113 | 0,0407 |
| 4 | 12 | 23 | 13,8 | 0,0415 | 0,3440 |
| | 13 | 23 | 12,8 | 0,0415 | 0,3191 |
| Promedio | | 16,5 | 8,83 | 0,0225 | 0,1306 |

Biomasa y carbono almacenado. Se encontró 1913,36 kg de biomasa aérea en 2000 m², con un estimado por hectárea de 9566,80 kg, con un promedio de 147,18 kg por árbol de biomasa seca. (Cuadro 2). Partiendo de la relación directa entre biomasa y carbono, en donde la biomasa de los árboles contiene aproximadamente un 50% de carbono, en la presente investigación se encontró que el carbono almacenado por los árboles de motilón silvestre en el sistema silvo-pastoril evaluado es de 4783,40 kg/ha.

CUADRO 2. Valores de biomasa aérea (peso seco) por árbol y por componente en motilón silvestre (Freziera canescens)

| PARCELA | No. ARBOL | BIOMASA (kg) | | | |
|-----------------|-----------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| | | FUSTE | RAMAS | HOJAS | TOTAL |
| 1 | 1 | 32,76 | 64,82 | 11,9 | 109,48 |
| | 2 | 62,76 | 171,04 | 26,38 | 260,18 |
| | 3 | 79,11 | 136,83 | 24,59 | 240,53 |
| 2 | 1 | 31,47 | 51,65 | 9,53 | 92,65 |
| | 2 | 39,34 | 59,12 | 9,96 | 108,42 |
| | 3 | 42,71 | 56,01 | 8,23 | 106,95 |
| | 4 | 45,01 | 59,12 | 11,91 | 116,04 |
| | 5 | 20 | 39,21 | 9,09 | 68,3 |
| 3 | 1 | 69,71 | 55,65 | 6,46 | 131,82 |
| | 2 | 30,5 | 50,29 | 6,47 | 87,26 |
| | 3 | 20,87 | 32,98 | 5,65 | 59,5 |
| 4 | 1 | 113,25 | 151,24 | 28,58 | 293,07 |
| | 2 | 120,13 | 101,97 | 17,06 | 239,16 |
| TOTAL | 13 | 707,62 | 1029,93 | 175,81 | 1913,36 |
| PROMEDIO | | 54,43 | 79,23 | 13,52 | 147,18 |

Según el cuadro 2, el contenido de biomasa aérea en ramas es mayor que el fijado por el fuste y hojas, esto se debe a que los árboles de motilón silvestre en potreros empiezan a bifurcarse a partir de 1.5 m aproximadamente, generando a su vez una mayor cantidad de biomasa en este componente.

Modelos de biomasa: El cuadro 3 se presenta los resultados de la estimación de los parámetros y del mejor modelo para estimar biomasa aérea total en función de las variables predictoras (dap, altura total, volumen y área basal).

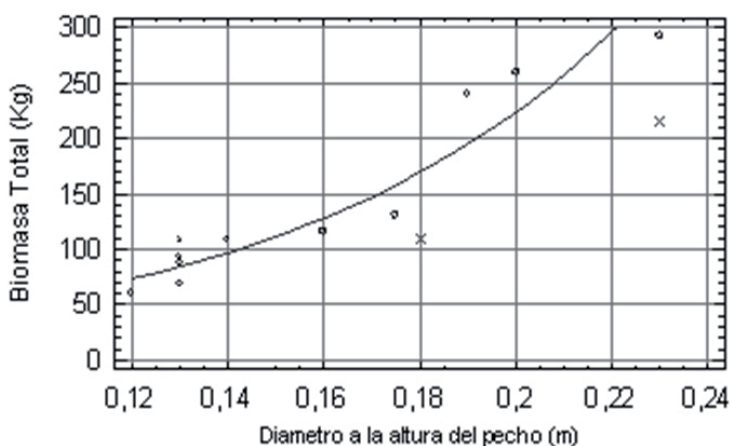
Cuadro 3 Ecuaciones de biomasa aérea total en función del (dap, altura total, volumen y área basal) en motilón silvestre *Freziera canescens*.

| Modelo | a | b | R ² | RMSE | PRESS |
|---------------------|---------|----------|----------------|----------|--------|
| $Y = \exp(a + b*x)$ | 2,61282 | 13,9972 | 89,61 | 0.03323 | 0.2991 |
| $Y = \exp(a + b*h)$ | 3,40787 | 0,152818 | 71,807 | 0.06657 | 0.5991 |
| $Y = \exp(a + b*v)$ | 4,30996 | 3,43815 | 87,5984 | 0.025835 | 0.2066 |
| $Y = \exp(a + b*g)$ | 3,76886 | 51,3541 | 87,5742 | 0.03974 | 0.3577 |

Y: biomasa total (Kg); x: diámetro a la altura del pecho (1.3m) en cm.; h: altura total en m; v: volumen en m³; g: área basal en m²; a y b: Coeficientes de regresión; R²: Coeficiente de determinación; RMSE: Raíz del cuadrado medio del error; PRESS: Suma de cuadrados del error.

La relación entre biomasa total y las variable predictoras: dap, altura total, volumen y área basal en los modelos ajustados fue estadísticamente significativo dado que el p-valor es inferior a 0.01 para un nivel de confianza del 99%, con coeficientes de determinación (R²) que explica en un alto % la variabilidad de los datos después de transformarlos a escala logarítmica para linealizar el modelo. Los valores de la raíz del cuadrado medio del error (RMSE) y la suma de cuadrados del error (PRESS) del modelo, reafirma la confiabilidad de las ecuaciones para predecir la Biomasa aérea total con un bajo error de estimación como se indica en las figuras: 1, 2, 3 y 4.

Figura 1. Ecuación de biomasa en función del dap $Y = \exp(2,61282 + 13,9972*dap)$



En este modelo se eliminaron dos observaciones atípicas “outliers”, teniendo en cuenta aquellos residuales estandarizados superiores a dos desviaciones estándar.

Figura 2. Ecuación de biomasa en función de la altura total,
 $Y = \exp(3,40787 + 0,152818 * h)$

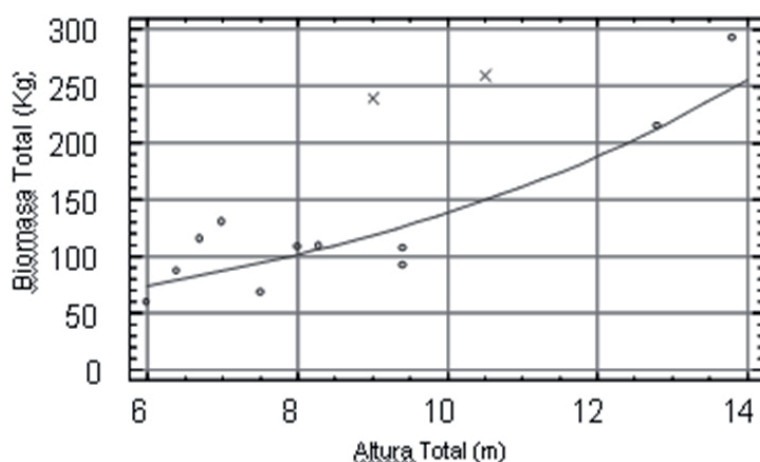


Figura 3. Ecuación de biomasa en función del volumen,
 $Y = \exp(4,30996 + 3,43815 * v)$

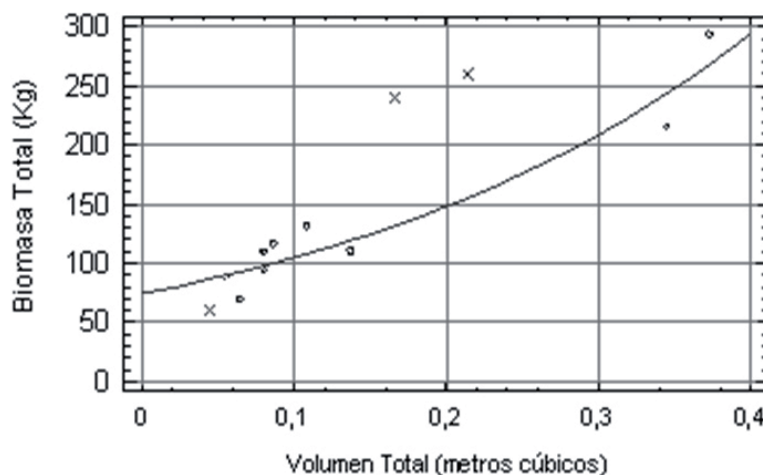
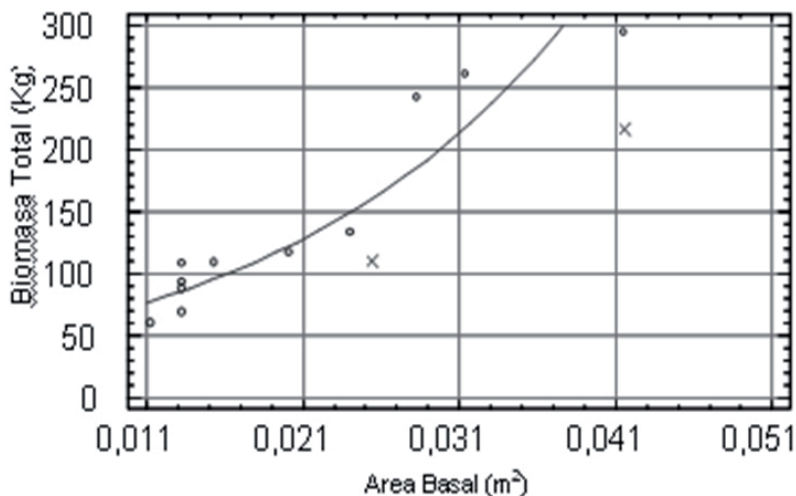


Figura 4. Ecuación de biomasa en función del área basal

$$Y = \exp(3,76886 + 51,3541 * g)$$



CONCLUSIONES

Se estimó la cantidad de biomasa aérea y carbono presente en árboles de motilón silvestre *Freziera canescens* dispersos en potreros, obteniendo como resultado que en un área de 2000 m² se encontraron 1.91 ton de biomasa y 0.95 ton de carbono, que inferidos a 1 ha se estima en 9.57 ton y 4.78 ton/C respectivamente. Igualmente se pudo observar que la cantidad de carbono almacenado fue superior en el compartimiento ramas con respecto a los componentes fuste y hojas.

Del total de modelos generados para estimar la biomasa aérea en un sistema silvopastoril tradicional de árboles dispersos de motilón silvestre *Freziera canescens* en asocio con pasto kikuyu *Pennisetum clandestinum*, los modelos que mejor explicaron la biomasa fueron los de tipo exponencial, en donde la variable más predictora fue el diámetro a la altura de pecho (DAP), con un alto coeficiente de determinación (R²) que explica un 89,61 % de la variabilidad de los datos.

Para este estudio, los árboles dispersos en potreros con motilón silvestre *Freziera canescens* como especie nativa, tienen una escasa capacidad de almacenamiento de carbono, por lo que este sistema silvopastoril no se considera como una alternativa para poder acceder a programas relacionados con el pago por servicios ambientales.

BIBLIOGRAFIA

BENITEZ, P; DE KONING, F.; LOPEZ, M.; PAREDES, H. Estimación de carbono en biomasa de bosques secundarios y plantaciones forestales en el Noroccidente del Ecuador. Informe TWF-31s. Del programa de apoyo Ecológico (TOB) de la cooperación técnica Alemana GTZ. Eschborn — Alemania. 2002, 2p.

BROWN, S. Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. In Congreso Forestal Mundial (II, Natalia, Turquía). Actas. Natalia, TURQUÍA, Ministry of Forestry. 1997. p. 107-128

GREENPEACE. Captura y secuestro de carbono (CSC), una inyección arriesgada. Disponible en internet: <http://www.greenpeace.org/raw/content/espana/reports/captura-y-secuestro-de-carbono.pdf>

HOLDRIDGE, L. Ecología Basada en Zonas de Vida. San José de Costa Rica: IICA, 1978. 216. p.

MACDIKEN, K. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Win-rock International Institute for Agricultural Development, 1997. 87 p.

MORET, Y. y RUIZ P. Determinación de ecuaciones de volumen para mureillo (*Erismia uncinatum*) en la unidad C4 de la Reserva Forestal Imataca, Bolívar. En: Revista Forestal Venezolana. Venezuela, Vol. 42, no. 2, 1998; 187-197 p.

PEÑAFIEL, A. y UNIGARRO, C. Determinación de la variabilidad, distribución y manejo del motilón silvestre (*Freziera sp.*) en la cuenca alta del Río Pasto, municipio de Pasto. Pasto, 2006. p. Trabajo de grado (Ingeniero Agroforestal). Universidad de Nariño. Facultad de ciencias Agrícolas. Programa de Ingeniería Agroforestal. 86 p.

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