

ESTIMACIÓN DEL CARBONO RETENIDO POR *BAMBUSA VULGARIS* SCHRADER EX WENDLAND EN ÁREAS DEL BOSQUE MODELO SABANAS DE MANACAS, VILLA CLARA, CUBA

ESTIMATE OF CARBON RETAINED BY *BAMBUSA VULGARIS* SCHRADER EX WENDLAND IN MODEL FOREST "MANACAS'S SAVANNA", VILLA CLARA, CUBA

M.Sc. ARMANDO SOLANO-CABRERA,¹ DR.C. JOSÉ A. BRAVO-IGLESIAS¹ Y DR.C. CRISTÓBAL RÍOS-ALBUERNE²

¹ Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. Estación Experimental Agro-Forestal Placetos, finca Victoria, Oliver, Placetos, Villa Clara, Cuba

² Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Carretera Camajuaní Km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

RESUMEN

*El Bosque Modelo constituye un enfoque único, basado en asociaciones de las partes interesadas para llevar a la práctica políticas de manejo forestal sustentable. Su objetivo es conocer el carbono retenido por la especie *Bambusa vulgaris* Schrader ex Wendland bajo las condiciones del Bosque Modelo Sabanas de Manacas, localizado en la provincia de Villa Clara, región central de Cuba, con una extensión superficial de 1717 km². Se realizó un estudio en plantaciones de cinco años de edad, establecidas sobre un suelo ferralítico amarillento, donde se levantaron parcelas temporales de muestreo para determinar el número de individuos por clases diamétricas, midiéndose las variables dasométricas, diámetro externo del culmo, diámetro interno del culmo y altura total de tallos. Hallazgos más importantes: a partir de estas variables se calculó el volumen externo del culmo, volumen interno, volumen sólido, biomasa y el carbono retenido. En busca de métodos menos agresivos para determinar el carbono retenido, empleamos la modelación matemática evaluando tres modelos de regresión: lineal, polinomio de segundo y tercer grado. El modelo de mejor bondad de ajustes fue el polinomio de tercer grado, donde se obtuvo 7,7 t/ha de CO₂ retenido.*

Palabras claves: *Bambusa vulgaris*, Bosque Modelo, carbono retenido.

INTRODUCCIÓN

Entre los servicios ambientales más importantes que presta el bambú se encuentran el control de la erosión de los suelos, la restauración en sentido general de zonas degradadas, regulación del caudal hídrico de ríos, arroyos y embalses. El aporte de materia orgánica a los suelos es

ABSTRACT

*Model Forest is a unique approach, based on partnerships of stakeholders to implement sustainable forest management policies. Objective: to meet carbon retained by *Bambusa vulgaris* Schrader ex Wendland in the conditions of the Model Forest "Manacas located in Cuba's central province of Villa Clara, with an area of 1717 km². A study was conducted in plantation of five year old, established on a yellow Ferralitic soil, temporary sampling plots where established to determine the number of culms by dasometric diameter class, measured external diameter of the culm, culm diameter and total height of stems. Results: from these variables was calculated, the external volume of the culm, culm internal volume, solid volume, biomass and carbon retained. In seeking less aggressive methods for carbon retained, used mathematical modeling evaluating three regression models: linear, polynomial of 2nd and 3rd grade. The best model goodness of adjustments was the 3rd degree polynomial, which yielded 7.7 t/ha of carbon retained.*

Key words: *Bambusa vulgaris*, forest model, carbon retained.

hábitat de diversa flora y fauna, consumo y fijación de gran volumen de CO₂ atmosférico, la generación de grandes cantidades de oxígeno y contribuye también de muchas maneras con el ecoturismo y el paisajismo [Londoño 2004, 2006].

El objetivo del presente trabajo es estimar el carbono retenido por *Bambusa vulgaris* Schrad. ex Wendland en áreas del Bosque Modelo Sabanas de Manacas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en áreas del Bosque Modelo Sabanas de Manacas (BMSM), localizado en 22°39'25.9" de latitud norte y 80°17'43.43" de longitud oeste, en la región central de Cuba, en la provincia de Villa Clara, al noroeste de la ciudad de Santa Clara, con una extensión superficial de 1717 km², de ellos 880,1 km² corresponde al municipio de Santo Domingo y 836,9 km² al de Corralillo, representando el 20,4 % de la superficie total de la provincia. El relieve es generalmente llano, predominando en una buena parte de su territorio las pendientes inferiores al 15 %.

Suelo

El suelo sobre el cual se desarrollan las plantaciones estudiadas es ferralítico amarillento, según los criterios de la IV Clasificación Genética de los Suelos de Cuba [Hernández *et al.*, 1999].

Caracterización de las principales variables climáticas de la localidad

Según la clasificación de Köppen-Geiger [Kottek *et al.*, 2006], el clima predominante es el tipo cálido tropical estacionalmente húmedo, con estaciones lluviosas en el verano.

Temperatura

Los valores medios anuales de la temperatura están entre los 19-24 °C, siendo la humedad relativa media alta, con promedios cercanos al 80 %.

Vientos

Los vientos predominantes son los de componentes del este, aunque en el verano giran más al sudeste.

Precipitación

El elemento que más varía en el clima es la lluvia, con promedios de 1440 mm, reconociéndose dos temporadas fundamentales: lluviosas (mayo a octubre) y poco lluviosas (noviembre a abril). En la primera ocurre aproximadamente el 80 % del total de lluvia anual por año. Los mayores volúmenes de lluvia están asociados a

fenómenos meteorológicos como ciclones tropicales, frentes fríos y ondas tropicales, o tienen su origen en el calentamiento diurno.

Selección de la muestra

Para el estudio se seleccionaron dos sitios con idénticas características edafo-climáticas donde se desarrolla la especie *Bambusa vulgaris* de cinco años de edad, a un marco de plantación de 7 m x 7 m.

Sitio 1: con una superficie de 118,3 ha.

Sitio 2: con una superficie de 59,4 ha.

Colecta de datos

Se utilizó el mapa forestal 1: 25 000 para ubicar las Parcelas Temporales de Muestreo en los sitios seleccionados mediante un muestreo aleatorio simple. Se muestreó el 3 % de área según el criterio de la Norma Ramal 595 (1982).

Para cada plantón seleccionado se determinó el número de individuos representados por clases diamétricas y se tomaron las siguientes variables dasométricas:

- Diámetro externo del culmo a 1,30 m del suelo.
- Diámetro interno del culmo (mm).
- Altura total del culmo (m).

A partir de estas variables se calculó:

Volumen externo del culmo (m³):

$$VE = \frac{\pi}{4} \times DE^2 \times AT$$

DE: Diámetro externo (m)

AT: Altura total (m)

Volumen interno del culmo (m³):

$$VI = \frac{\pi}{4} \times DI^2 \times AT$$

DI: Diámetro interno (m)

Volumen sólido del culmo (m³):

$$VS = VE - VI$$

Para la conversión del volumen sólido en biomasa se utilizó la densidad básica de 570 kg/m³ determinada, según lo reportado por Álvarez (2010).

$$BMF = VS \times 570 \text{ kg/m}^3$$

BMF: Biomasa forestal (kg)

Para estimar el carbono retenido se multiplicó la biomasa forestal por el coeficiente de carbono 0,4815 reportado por Mercadet *et al.* (2010).

$$CCF = BMF \times 0,4815$$

CCF: Carbono retenido (t)

Análisis estadísticos

Para el carbono retenido se seleccionaron los modelos:

Modelo lineal $y = b + x$

Modelo polinomio de segundo grado

$$y = a + bx + cx^2$$

Modelo polinomio de tercer grado

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3$$

Carbono retenido

y : Carbono retenido (kg)

x : Clase diamétrica (cm)

a, b, c, d : Parámetros del modelo

Para el estudio de la bondad de ajuste de estos modelos se utilizaron los criterios estadísticos reportados por Prodan *et al.* (1997), Kiviste *et al.* (2002), Guerra *et al.* (2003) y Torres y Ortiz (2005).

Coeficiente de determinación (R^2), Coeficiente de determinación ajustado ($R^2_{ajustado}$), Diferencia agregada (DA) o sesgo, Error medio cuadrático (CME), Error medio en valor absoluto (EMA), Significación estadística del modelo, Significación estadística de los parámetros de los modelos, Error estándar del modelo, Error estándar de los estimadores de los parámetros del modelo, Estadístico Durbin-Watson (D-W).

Para el ajuste del modelo se utilizaron 250 muestras. Se utilizaron los programas estadísticos Statgraphics Plus versión 5.1 (1995) e InfoStat (2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estimación del carbono retenido por *Bambusa vulgaris* Schrader ex Wendland en áreas del Bosque Modelo Sabanas de Manacas

Varios autores informan acerca del carbono retenido, principalmente en especies de bambúes leñosos [Arias *et al.*, 2004, Leiva *et al.*, 2011a y Oramas, 2011]. Consideran tanto este aspecto relacionado con el contenido de materia seca de la biomasa aérea, así como el fijado por los primeros horizontes del suelo.

Para realizar el cálculo varios de ellos utilizan métodos destructivos donde los culmos son cortados de los rodales, determinando los contenidos de materia seca de los mismos.

En este caso, y con los valores encontrados con la determinación de la biomasa aérea según Mercadet *et al.* (2011), se utilizaron las variables dasométricas en modelos matemáticos y sus ajustes para de esta forma estimar el carbono retenido, disminuyendo la agresividad a la plantación. Alegre *et al.* (2001), Arévalo *et al.* (2003) y Mendizábal y Suárez (2009) realizan estas estimaciones empleando modelos matemáticos con resultados satisfactorios para diferentes sistemas agroforestales y *Cedrela odorata* L., respectivamente.

En la *Tabla 1* se muestra que el modelo de mejor ajuste para el carbono retenido resultó el polinomio de tercer grado, donde se aprecia en todos los casos coeficientes de determinación y coeficientes de determinación ajustados por encima del 99 %, bajos valores de desviación global, error medio absoluto y cuadrado medio del error, con altos niveles de significación de los modelos ($p < 0,001$) y valores adecuados del estadístico Durbin-Watson que indican la independencia de los errores.

TABLA 1
Estadísticos de ajuste y estimaciones de los parámetros del modelo. Variable respuesta: CCF Variable regresora: CD

Modelo	Polinomio de tercer grado
R^2	99,2
$R^2_{ajustado}$	99,2
Diferencia agregada	0,00
Error estándar de estimación	$\pm 0,1050$
Error medio absoluto	0,0738
Cuadrado medio del error	0,0110
Estadístico Durbin-Watson	1,66 NS
P-valor	***

Parámetros	a	2,6310 ±0,0712***
	b	-1,6543 ±0,0545***
	c	0,4036 ±0,0120***
	d	-0,0225 ±0,0008 ***

*** $p < 0,001$ ** $p < 0,01$ * $p < 0,05$ NS- $P > 0,05$
CCF: Carbono retenido (kg) CD: Clase diamétrica (cm)

La Fig. 1 ilustra el ajuste del modelo polinomio de tercer grado, donde se ve el agrupamiento de los valores alrededor de la curva de ajuste, indicando la alta homogeneidad de las plantaciones de

Bambusa vulgaris, lo cual puede estar dado por el desarrollo en iguales condiciones edáfico-climáticas y presentar la misma edad, lo que garantiza la efectividad de los modelos seleccionados.

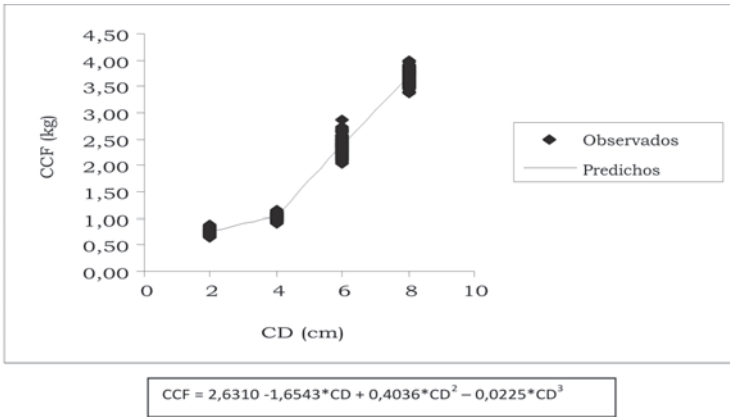


Figura 1. Modelo polinomio de tercer grado ajustado al carbono retenido.

En la Tabla 2 se muestra la estimación del carbono retenido a partir de la clase diamétrica, donde se observa que el promedio de carbono retenido fue de 1,97 kg.

con un 42,1 % de representación fue la correspondiente a 6 cm, en este caso la de mayor carbono retenido con 0,02216 t., lo que representa un 58,7 % del total.

TABLA 2
Estimación de la retención de carbono a partir de la clase diamétrica

Clase diamétrica (cm)	CCF (t)
2	0,76
4	1,03
6	2,37
8	3,71
Promedio	1,97

El carbono retenido en el fuste por clase diamétrica en el plantón promedio se observa en la Tabla 3. Se aprecia que la clase predominante

TABLA 3
Carbono retenido en el fuste por clase diamétrica en el plantón promedio

Clase diamétrica (cm)	Culmos (n)	Porciento	CCF (t)	Porciento
2	4	21,1	0,00304	8,1
4	5	26,3	0,00515	13,6
6	8	42,1	0,02216	58,7
8	2	10,5	0,00741	19,6
Total	19	100	0,03776	100

En la Tabla 4 se muestra el carbono retenido en los dos sitios (7,7 t/ha). Se aprecia que el

área total investigada retiene 1368,27 t de CO₂. Se observa una eficiente retención de carbono a pesar de que las plantaciones de *Bambusa vulgaris* cuentan con cinco años, se desarrollan en condiciones de secano, a expensas de las precipitaciones acaecidas en ese tiempo y bajo un suelo con pobre en materia orgánica, bajos contenidos de nutrientes y concentraciones de microelementos, corroborándose lo planteado por Betancourt *et al.* (2007), quienes refieren que *Bambusa vulgaris* en Cuba capta entre 7-15 t /ha de CO₂ anual, según la edad de la plantación.

TABLA 4
Retención de CO₂ en los dos sitios estudiados

Sitios	Área de los sitios (ha)	CCF (t/ha)	CCF total (t)
1	118,3	7,7	910,90
2	59,4	7,7	457,38
Total	177,7		1368,27

Trabajos conducidos por Leiva *et al.*, 2011a y 2011b referentes al carbono retenido por *B. vulgaris* en condiciones edafoclimáticas, densidad y edades diferentes a este estudio, ofrecen resultados superiores a los encontrados en esta investigación.

Por otra parte, Cruz (2012) informa una retención de carbono de 54,3 t/ha en siete años de *Guadua angustifolia* en Colombia, mientras que Nath *et al.* (2009) refirieron valores superiores a los presentados en este trabajo respecto al potencial de secuestro de CO₂ de especies de bambúes cultivados en la India. Se debe aclarar que estos autores calcularon el total de biomasa sobre la superficie del suelo, lo cual además de los culmos incluyó ramas y hojas.

CONCLUSIONES

- El promedio de carbono retenido por clase diamétrica es de 1,97 kg.
- Se comprobó que la clase diamétrica seis fue la de mayor carbono retenido con 0,02216 t, representando el 58,7 %.
- El carbono retenido en los dos sitios de estudio fue de 7,7 t/ha.

BIBLIOGRAFÍA

Alegre, J., *et al.* 2001. Reservas de Carbono y emisión de gases con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios

de la amazonía peruana. Symposium Internacional de Agroforestería. Manaus, Brazil EMBRAPA 21-24 de Noviembre, 2000.

Álvarez, A. 2010. Base de datos de densidad de la madera para la versión 3.0 del sistema SUMFOR. Informe Final del Subproyecto 11.69.03. La mitigación del cambio climático por los bosques cubanos; Proyecto 11.69, Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal. Instituto de Investigaciones Forestales, La Habana, Cuba. 20 p.

Arévalo, L., Alegre, J., Palm, C. 2003. Manual de determinación de las reservas de carbono en los diferentes sistemas de uso de tierras en Perú. ICRAF, CODESU, INIA, INRENA. Ediciones Gráfica Miguel Álvarez.

Arias, L. Hoyos, D. Camargo, J. 2004. El almacenamiento de CO₂ atmosférico, un servicio ambiental prestado por los suelos bajo rodales de *Guadua angustifolia* Kunth en el Eje Cafetero de Colombia, Guadua 2004.

Cruz, H. 2012. Biomasa y atrapamiento de carbono en bambú Guadua. www.bambuguaduapremier.com [Consulta 25 de agosto 2012].

Guerra, C., Cabrera, A., Fernández, L. 2003. Criterios para la selección de modelos estadísticos en la investigación científica. Revista Cubana de Ciencia Agrícola (CU) 37(1): 3-10.

Hernández, A., Pérez, J., Bosch, D., Rivero, L. 1999. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. Ciudad Habana. Instituto de Suelos, AGRINFOR. 64 p.

InfoStat. 2008. InfoStat, versión 2008. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.

Kiviste, A., Álvarez, G., Rojo, A., Ruiz, D. 2002. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Madrid. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto de Investigaciones y Tecnología Agraria y Alimentaria, 190 p.

Kottek, M., *et al.* 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification Updated. Meteorologische Zeitschrift (DD) 15(3): 259-263.

Leiva, M., *et al.* 2011a. Variables asociadas con la productividad de *Bambusa vulgaris* var. *vulgaris* Schard. ex Wendl. y su potencial de secuestro de dióxido de carbono. Biotecnología Vegetal (CU) 11(3): 183 – 187.

Leiva, M., *et al.* 2011b. Evaluación del Potencial de Secuestro de CO₂, el Contenido de Agua y la Productividad de Tres Especies de Bambú en la Subcuenca del Río Bayamo, Cuba. Informe Científico-Técnico. p. 6-10.

Londoño, X. 2004. Bambúes Exóticos en Colombia. Colombia. Editorial Sociedad Colombiana de Bambú. 74 p.

Londoño, X. 2006. Botánica y Diversidad Genética del Género *Guadua* y otros *Bambusoideae* de América. En III Simposio Latinoamericano del Bambú, Guayaquil Ecuador. 73 p.

Mendizábal, L., Alba, J., Suárez, T. 2009. Captura de carbono por *Cedrela odorata* L. en una plantación de origen genético conocido. Foresta Veracruzana (VE) 11(1): 13-18

Mercadet, A., Álvarez, A., Escarré A., Ortiz, O. 2010. Ampliación de la base de datos de los coeficientes de carbono y de nitrógeno en la madera de especies forestales arbóreas cubanas. Informe Final del Subproyecto 11.69.01 *La retención de carbono por los bosques cubanos*; Proyecto 11.69, Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Sub-

- sector Forestal. Instituto de Investigaciones Forestales, La Habana, Cuba. 12 p.
- Mercadet, A., et al. 2011. Una alternativa para estimar la retención de carbono atmosférico por el bambú (*Bambusa Vulgaris Schrad.*). Biotecnología vegetal (CU) 3: 175-182. Julio-Septiembre.
- Nath, A., Das, G., Das, A. 2009. Above ground standing biomass and carbon storage in village bamboos in North East India. Biomass and Bioenergy (US) 33: 1188-1196.
- Normal Ramal 595. 1982. Tratamientos silviculturales. Ministerio de la Agricultura. 25 p.
- Oramas, E. 2010. Impacto ambiental del bambú (*Bambusa vulgaris* var. *vulgaris* Schard) en comparación con otras coberturas forestales sobre un suelo Pardo Ócrico sin Carbonato. Tesis (en opción al título en Master en Ciencias en Agricultura Sostenible). Universidad Central de Las Villas.
- Prodan, M., Peters, R., Cox F., Real P. 1997. Mensura Forestal. Proyecto IICA/ GTZ sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible. 561 p.
- Software estadístico Statgraphics *Plus* version 5.1 sobre Windows, 1995.
- Torres, V., Ortiz, J. 2005. Aplicaciones de la modelación y simulación en la producción y alimentación de animales de granja. Revista Cubana de Ciencias Agrícolas (CU). Tomo 39. Número especial.

RESEÑA CURRICULAR

Autor principal: Armando Solano Cabrera

Ingeniero Forestal, máster en Agricultura Sostenible, director de la UCTB Placetas, profesor instructor adjunto de la Universidad Central de las Villas, responsable y participante en proyectos de investigación, innovación y desarrollo en temáticas de Manejo y Conservación de Bambú y Ratán, Cambio Climático, Conservación y Mejoramiento de Recursos Genéticos Forestales y Agroforestería, ha participado activamente en eventos nacionales e internacionales.