

Una alternativa para estimar la retención de carbono atmosférico por *Bambusa vulgaris* var. *vulgaris* Schrad. ex J.C. Wendl.

Alicia Mercadet^{1*}, José A. Bravo¹, Hilda Quesada¹, Manuel Valle¹, Dulce Almonte² *Autor para correspondencia.

¹Instituto de Investigaciones Forestales, MINAG, Calle 174 No. 1723 entre 17B y 17C, Siboney, Playa. La Habana. e. mail: mercadet@forestales.co.cu

²Parque Metropolitano de La Habana. La Habana.

RESUMEN

La estimación de la retención de carbono atmosférico por una planta leñosa dispone de dos alternativas para su realización: mediante la identificación de su incremento medio anual de volumen o a través de la determinación del método apropiado para calcular su volumen en pie. El objetivo de este trabajo fue obtener un método confiable y sencillo que permitiera estimar el carbono contenido en los culmos y plantones de bambú (*Bambusa vulgaris* var. *vulgaris*) existentes en un territorio. Se realizaron muestreos simples sin reemplazo en diferentes áreas y a cada culmo se le midió la longitud total, el diámetro externo y el grosor de la pared cada dos metros desde la base hasta el segmento en que la parte superior dejó de presentar una cavidad interior identificable, donde se registró la longitud restante hasta su extremo superior. Con los datos recopilados se realizaron análisis gráficos sobre las tendencias de las relaciones a lo largo del culmo entre las variables consideradas. Mediante análisis de regresión con diferentes modelos y con el uso del coeficiente de determinación (R²) como indicador de ajuste se seleccionaron aquellos que mejor permitiesen estimar el volumen sólido del culmo. Concluida la obtención de los modelos y la calibración de sus resultados, se preparó una hoja de cálculo que facilita la obtención de los valores de las diferentes variables por culmo y por plantón, así como la caracterización del culmo promedio del plantón. Los resultados constituyen una primera aproximación a la elaboración de un método que permita estimar el carbono retenido por el bambú, tanto a nivel de culmo, como de plantón y territorio, para poder incluir este elemento entre los criterios para los planes de manejo para este recurso no maderero del bosque.

Palabras clave: análisis de regresión, bambú, modelos alométricos

ABSTRACT

The estimation of atmospheric carbon sequestration by a woody plant has two alternatives for implementation: by identifying the average annual increase in volume or by determining the appropriate method for calculating the volume stand. The aim of this work was to obtain a reliable and simple method for estimating the carbon in plants and culms of bamboo (*Bambusa vulgaris* var. *vulgaris*) existing in a territory. Single samples were taken without replacement in different areas and each culm was measured in total length, outside diameter and wall thickness every two meters from the base to the segment in the upper left to present an interior cavity identifiable, in which the remaining length to the top was measured. Graphical analyses were conducted with the data collected of trends in relations between the variables considered along the culm. By regression analysis with different models and the use of determination coefficient (R²) as an adjustment indicator, we selected those that best allow estimating the solid volume of the culm. After obtaining the calibration models and their results, we prepared a spreadsheet that facilitates to take down the values of the different variables by culm and scion as well as the characterization of the scion average culm. The results are a first attempt to develop a method for estimating the carbon sequestered by the bamboo culm at both as scion and territory to include this element among the criteria for the management plans of this non-wood forest resource.

Key words: allometric models, bamboo, regression analysis

INTRODUCCIÓN

La estimación de la retención de carbono atmosférico por una planta leñosa dispone de dos alternativas para su realización: mediante

la identificación de su incremento medio anual de volumen o a través de la determinación del método apropiado para calcular su volumen en pie. Ambas alternativas presentan ventajas y

desventajas, pero la primera es mucho más laboriosa, requiere más tiempo, más recursos y por supuesto, financiamiento, por lo que para empeños de alcance limitado, la segunda alternativa resulta más atractiva. El proceso a seguir se basa fundamentalmente en muestras no reemplazables representativas de la especie, para obtener a partir de su medición, las relaciones y modelos alométricos propios de la especie, con el objetivo de poder estimar a partir de ellos, su volumen en pie en el mínimo de tiempo y con el mínimo de recursos; el volumen así obtenido es convertido en biomasa seca mediante el empleo de la densidad básica de la madera, en tanto el carbono retenido es el producto de esta biomasa, por el coeficiente de carbono propio de la especie. Tal es el objetivo perseguido por el proyecto que de forma conjunta llevan a cabo el Instituto de Investigaciones Forestales del MINAG y el Parque Metropolitano de La Habana, que pretende desarrollar una metodología de trabajo para estimar la retención de carbono atmosférico por *Bambusa vulgaris* var. vulgaris.

Partiendo de conocer la cantidad de culmos por plantón y sus diámetros externos, se pueda estimar el volumen del plantón, para luego, clasificando los plantones por categorías y disponiendo de información sobre la cantidad de plantones existentes en un área específica, calcular la cantidad de carbono retenida por su biomasa aérea. Los resultados disponibles hasta el momento indican la conveniencia de ampliar aún más el proceso de muestreo, para poder enriquecer los datos disponibles, y profundizar en los análisis en desarrollo.

Muchos esfuerzos de investigación se han centrado alrededor de los dilemas del cambio climático y el papel de los sistemas de uso de la tierra en la temática. La generación de valores de fijación de carbono en sistemas de uso de la tierra se ha hecho tanto en el nivel científico como en el nivel más técnico, relativo al desarrollo de proyectos de mitigación. La literatura científica y las experiencias en el desarrollo de proyectos de investigación refieren diferentes maneras de enfrentar la obtención de valores para el potencial de fijación de carbono. Algunas experiencias exitosas en el desarrollo de proyectos de mitigación han abordado el tema de los valores de fijación tomando valores de la literatura científica y

haciendo una serie de suposiciones que les permite calcular el potencial de fijación. Estos esfuerzos se podría decir estiman los valores de carbono y obtener valores razonables pero necesitan de verificación en campo. Otras experiencias han optado por recurrir a mediciones físicas para obtener los valores de fijación. Estos esfuerzos miden el potencial de fijación de carbono usando métodos de inventarios forestales. Tanto estimar como medir el potencial de fijación de carbono es un proceso válido y a la fecha, ambos han producido resultados exitosos en el sentido de que proyectos preparados con ambos métodos han sido considerados aptos para recibir financiamiento (Márquez, 2000).

Diferentes autores han utilizado ecuaciones alométricas para estimar la biomasa a partir del diámetro a la altura del pecho (Muhammad *et al.*, 2007; Aristizabal *et al.*, 2002).

Por estas razones, el objetivo del trabajo fue obtener un método confiable y sencillo que permitiera, a partir de una cantidad mínima de datos obtenidos en el terreno, estimar el carbono contenido en los culmos y plantones de bambú (*Bambusa vulgaris* var. vulgaris) existentes en un territorio con el fin de que este elemento pudiera ser incluido entre los criterios valorados para la formulación de los planes de manejo que sean propuestos para este recurso no maderero del bosque y para el área donde se encuentra.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los muestreos fueron realizados en el Parque Metropolitano de La Habana, en los sitios conocidos como El Bambusal, aledaño al campo de fútbol; en la zona del vivero El Husillo y, en las márgenes del arroyo Mordazo (Figura 1).

En cada lugar fue realizado un muestreo simple sin reemplazo para tres clases de diámetro a dos metros de altura: 40-50, 60-70 y 80-90 mm. Se cortó un culmo por plantón en 5-6 plantones y a cada culmo se le midió la longitud total (m), así como el diámetro externo y el grosor de la pared cada dos metros (mm), desde la base hasta el segmento en que la parte superior dejó de presentar una cavidad interior identificable, donde se registro entonces la longitud restante (m) hasta su extremo superior (rabiza).

Con los datos recopilados se realizaron análisis gráficos que evidenciaron las tendencias de las relaciones a lo largo del culmo entre las variables consideradas (diámetro, altura y grosor de la pared) para luego, mediante análisis de regresión con diferentes modelos (lineal, exponencial, logarítmico, potencial y polinómico de segundo grado) y empleando

como indicador de ajuste el coeficiente de determinación (R²), seleccionar aquellos que mejor permitiesen estimar, a partir del diámetro externo en la base y a dos metros de altura, el volumen sólido del culmo, como resultado de la diferencia entre su volumen exterior y su volumen interior. Para el cálculo de los volúmenes fue empleada la expresión del cono (Figura 2).



Figura 1. Zona de la ciudad de la Habana donde se efectuaron los muestreos en plantaciones de *Bambusa vulgaris* del parque metropolitano de la Habana (círculo rojo).

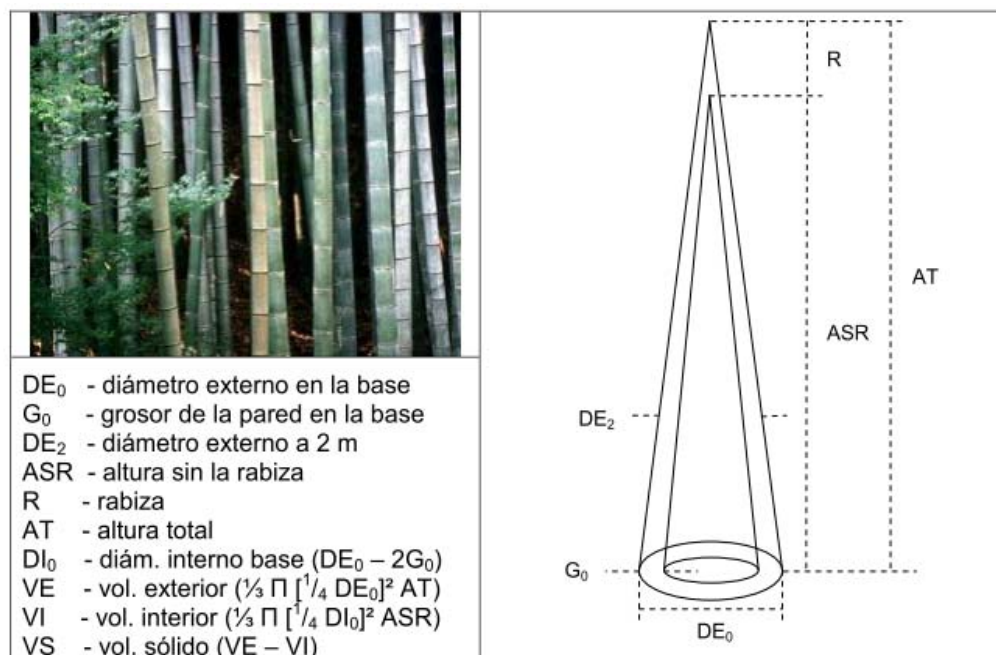


Figura 2. Esquema y leyenda de las mediciones realizadas a los culmos de *B. vulgaris* muestreados.

Para facilitar el empleo de los resultados fue preparada una hoja de cálculo utilizando Microsoft Excel que, a partir de los diámetros externos en la base y a dos metros de altura, permitiera realizar todos los cálculos requeridos para estimar el carbono contenido en su volumen sólido. Esto facilita el procesamiento de plantones con hasta 50 culmos y ofrece, además, los totales acumulados de volumen, biomasa y carbono para el plantón y una caracterización de su culmo promedio. Para estos cálculos, la conversión del volumen a biomasa se realiza utilizando el valor de densidad básica 570 kg m^{-3} , según lo informado por Álvarez (2010), mientras que para estimar el carbono en ella contenido se empleó el coeficiente de carbono 0.4815 referido por Mercadet *et al.* (2010).

RESULTADOS

Para conocer si los estimados de carbono alcanzados por el método propuesto sobrestimaban o subestimaban los valores reales, fue preparada una curva de calibración y con ella, se procedió al ajuste de los estimados obtenidos por el método propuesto.

La altura y el diámetro exterior en los culmos presentó una fuerte relación curvilínea de segundo grado, con valores de R^2 que variaron entre 0.899 y 0.999, al igual que la relación entre el diámetro exterior y el grosor de la pared, aunque en este caso los niveles de ajuste fueron menores (entre 0.509 y 0.981) (Figura 3). Esto es esperable en una planta con las características de resistencia y flexibilidad propias del bambú. Igualmente, mientras que la relación altura:diámetro fue inversa, la relación diámetro:grosor fue directa.

La relación entre el diámetro externo a 2 m de altura y la altura total alcanzó su mejor ajuste ($R^2 = 0.667$) con un modelo polinómico de segundo grado, muy próximo al resultado del modelo lineal ($R^2 = 0.664$), evidenciando ambos una relación directa entre las dos variables (Figura 4). Por su parte, la relación entre la altura total y la altura sin la rabiza fue la que mayor ajuste alcanzó ($R^2 = 0.898$), también con un modelo polinómico de segundo grado y una relación directa entre ambas variables (Figura 5), mientras que la relación entre la altura sin la rabiza y el grosor de la pared del culmo en la base alcanzó un ajuste intermedio ($R^2 = 0.709$) con un modelo lineal, aunque la dispersión de los valores fue más elevada que en las relaciones anteriores (Figura 6).

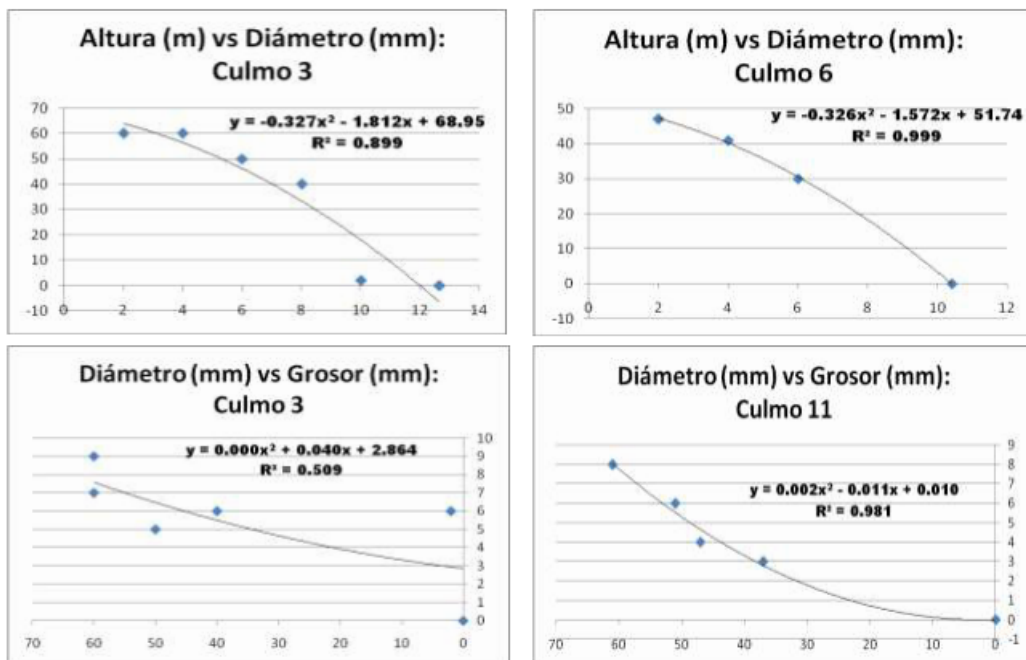


Figura 3. Menores (izq.) y mayores (der.) ajustes encontrados entre las relaciones altura:diámetro (arriba) y diámetro:grosor (debajo) en culmos de *B. vulgaris*.

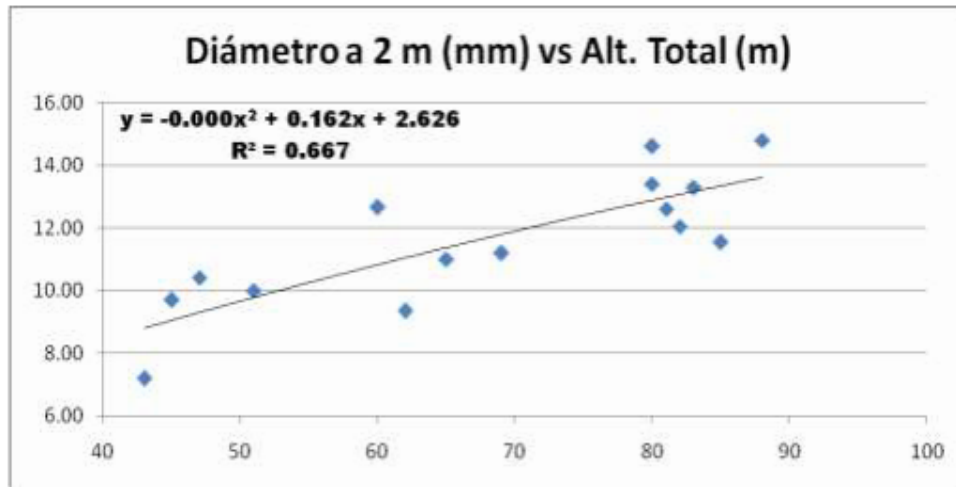


Figura 4. Resultado del análisis de la relación (diámetro 2 m):(altura total) en culmos de *B. vulgaris* var. vulgaris.

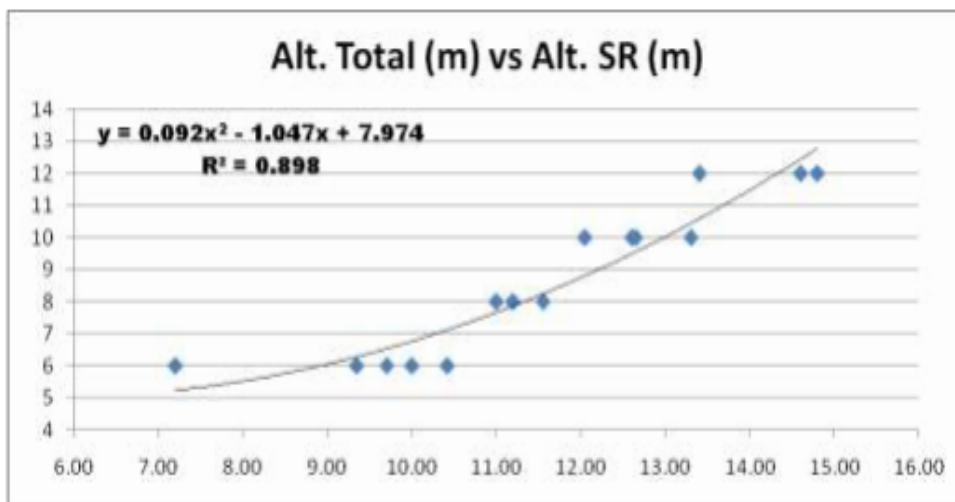


Figura 5. Resultado del análisis de la relación (altura total):(altura sin rabiza) en culmos de *B. vulgaris* var. vulgaris.

Con el empleo de los datos y modelos obtenidos para las tres relaciones anteriores fueron estimados los volúmenes real y teórico, externo, interno y sólido, para un conjunto de culmos, su biomasa seca y su contenido de carbono, se comparó luego con los contenidos de carbono obtenidos por ambos modelos (Figura 7).

Se demuestra gráficamente que el método de estimación del carbono contenido en el culmo empleando los modelos obtenidos, subestima

la cantidad de carbono realmente existente en su biomasa y el análisis de los datos que originaron la gráfica indicaron que la subestimación promedio de los modelos es del orden del 18%, razón por la que resulta conveniente calibrar las estimaciones que ellos proporcionan.

Una vez realizada la calibración de los resultados de los modelos (Figura 8), la subestimación promedio del carbono disminuyó a 0.03% y ambas líneas se

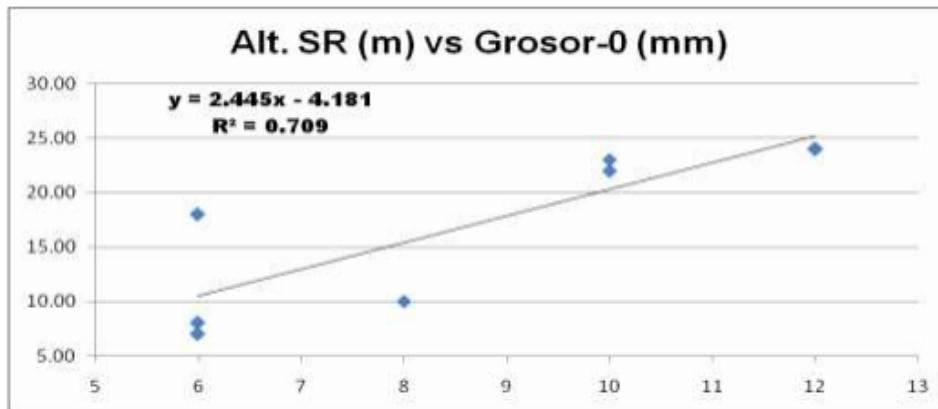


Figura 6. Resultado del análisis de la relación (altura sin rabiza):(grosor en la base) en culmos de *B. vulgaris* var. vulgaris.

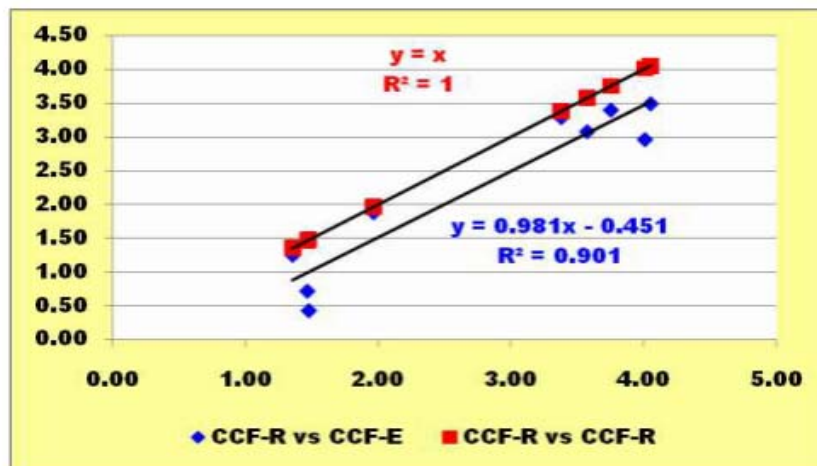


Figura 7. Resultado de la comparación de los valores reales de carbono (CCF-R; a partir de los datos del culmo) y los estimados (CCF-E; a partir del empleo de los modelos) en culmos de *B. vulgaris* var. vulgaris.

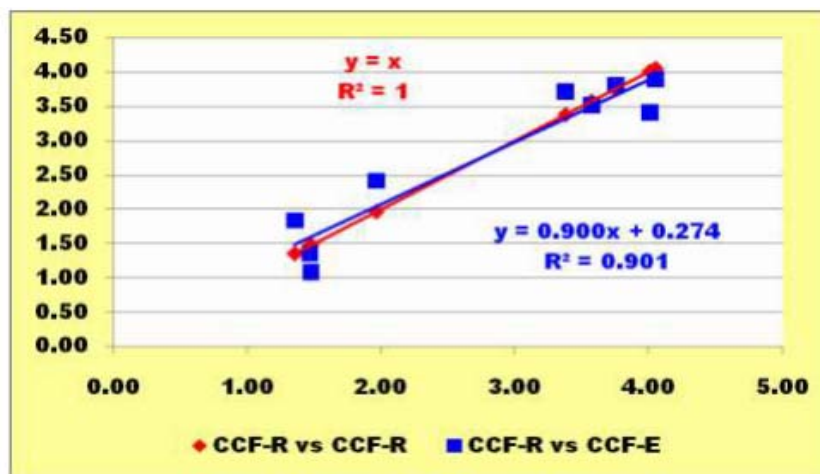


Figura 8. Resultado de la comparación de los valores reales de carbono (CCF-R; a partir de los datos del culmo) y los estimados (CCF-E; a partir del empleo de los modelos), luego de la calibración de los resultados en culmos de *B. vulgaris* var. vulgaris

Concluida la obtención de los modelos y la calibración de sus resultados, se procedió a preparar una hoja de cálculo que facilitara la obtención de los valores de las diferentes variables por culmo y por plantón, así como la caracterización del culmo promedio del plantón, ejemplo de lo cual se presenta en la figura 9. En ella, los únicos datos que es preciso cargar son la identificación de la medición (lugar, fecha, plantón) y los diámetros externos de cada culmo, en la base y a dos metros de altura sobre el suelo; el resto de los cálculos son realizados automáticamente y cada hoja de cálculo admite hasta 50 culmos por plantón.

Los resultados presentados solo constituyen una primera aproximación a la elaboración de un método que permita estimar, mediante el apoyo de una hoja de cálculo, el carbono retenido por el bambú, tanto a nivel de culmo, como de plantón y territorio, para poder incluir este elemento entre los criterios valorados para

la formulación de los planes de manejo que sean propuestos para este recurso no maderero del bosque.

El muestreo debe ser enriquecido en las clases diamétricas ya representadas y acometido para las clases diamétricas aún no consideradas, aspectos que indudablemente introducirán modificaciones a los modelos ahora disponibles para estimar la altura total, la altura sin la rabiza y el grosor de la pared en la base, tanto en su expresión, como en su nivel de ajuste; a su vez, la modificación de los modelos implicará la necesidad de reanalizar las desviaciones del contenido de carbono estimado con respecto al real, y proceder a la calibración que sea procedente.

No obstante su carácter preliminar y provisional, los resultados ahora disponibles marcan un paso de avance hacia el cumplimiento del objetivo principal planteado.

Lugar:												
Fecha:												
Plantón No.:												
Culmo No.	DE ₀ (mm)	DE ₂ (mm)	AT (m)	ASR (m)	G ₀ (mm)	DI ₀ (mm)	VE (m ³)	VI (m ³)	VS (m ³)	BMF (kg)	CCF (kg)	CCF-A (kg)
1	72	69	8.08	5.52	9.31	53.38	0.010960	0.004116	0.006844	3.90	1.88	2.41
2	64	62	7.03	5.16	8.44	47.12	0.007542	0.003001	0.004542	2.59	1.25	1.83
3	61	51	5.38	5.00	8.05	44.89	0.005237	0.002640	0.002597	1.48	0.71	1.34
4	82	80	9.69	6.47	11.64	58.72	0.017065	0.005841	0.011224	6.40	3.08	3.52
5	83	82	9.99	6.69	12.18	58.64	0.018009	0.006024	0.011985	6.83	3.29	3.71
6	80	80	9.69	6.47	11.64	56.72	0.016242	0.005450	0.010792	6.15	2.96	3.41
7	54	45	4.46	5.13	8.37	37.26	0.003406	0.001866	0.001540	0.88	0.42	1.08
8	85	83	10.13	6.81	12.47	60.06	0.019163	0.006431	0.012732	7.26	3.49	3.90
9	86	81	9.84	6.58	11.91	62.19	0.019053	0.006662	0.012391	7.06	3.40	3.81
50												
TOTAL							0.116678	0.042031	0.074647	42.55	20.49	25.01
CULMO PROM	74	70	8.25	5.98	10.45	53.22	0.012964	0.004670	0.008294	4.73	2.28	2.78

DE₀ (mm)	Diámetro externo del culmo en la base	VE (m³)	Volumen externo del culmo
DE₂ (mm)	Diámetro externo del culmo a 2 m sobre el suelo	VI (m³)	Volumen interno del culmo
AT (m)	Altura total del culmo	VS (m³)	Volumen sólido del culmo
ASR (m)	Altura del culmo hasta el comienzo de la rabiza	BMF (kg)	Biomasa del fuste del culmo
G₀ (mm)	Grosor de la pared del culmo en la base	CCF (kg)	Contenido de carbono del fuste del culmo
DI₀ (mm)	Diámetro interno del culmo en la base	CCF-A (kg)	Contenido de carbono ajustado del fuste del culmo

Figura 9. Ejemplo del empleo y resultados de la hoja de cálculo diseñada para la estimación del carbono retenido por los plantones de bambú.

CONCLUSIONES

- La relación existente en cada culmo de un plantón de bambú entre la altura y el diámetro externo y entre el diámetro externo y el grosor de su pared, ambos a lo largo del culmo, evidencian y respaldan las propiedades de resistencia y flexibilidad características de esta especie.

- Las relaciones encontradas entre el diámetro externo de los culmos a dos metros de altura y su altura total; entre la altura total y la altura hasta la rabiza, así como entre esta última y el grosor de la pared en la base de los culmos, ha hecho posible desarrollar una primera aproximación a una metodología para estimar la biomasa seca de la vara y su contenido de carbono, tanto para cada culmo, como para el plantón.

- La disponibilidad del carbono retenido por el bambú, crearía la posibilidad de incluir este criterio en la formulación de los planes de manejo que sean propuestos para este recurso no maderero del bosque en un territorio.

Este trabajo fue presentado en el marco de la Primera Conferencia Regional de Bambú: El bambú en el desarrollo local, organizada por la Facultad de Construcciones, el Centro de Investigación y Desarrollo de Estructuras y Materiales (CIDEM) de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), INBAR y la red ECOSur, del 17-19 de mayo de 2011. Villa Clara, Cuba.

REFERENCIAS

Álvarez, A (2010) Base de datos de densidad de la madera para la versión 3.0 del sistema SUMFOR. Inf. 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. Inst. Invest. Forestales, La Habana, Cuba. 20 p.

Aristizabal, J, A Guerra, B Gutiérrez, M Romero, J Daro (2002) Estimación de la tasa de fijación de carbono en el sistema agroforestal Nogal cafetero (*Cordia alliodora*) -Cacao (*Theobroma cacao*) - plátano (*Musa paradisiaca*). Trabajo de grado para optar al título de Ing. Forestal. Facultad de Medio Ambiente y Recursos naturales. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá DC 124p.

Márquez, L (2000) Elementos Técnicos para Inventarios de Carbono en Uso de Suelo. Fundación Solar. Guatemala. 35 p.

Mercadet, Alicia, A Álvarez, A Escarré, Osiris Ortiz (2010) Ampliación de la base de datos de los coeficientes de carbono y de nitrógeno en la madera de especies forestales arbóreas cubanas. Inf. Final del Subproyecto 11.69.01 La retención de carbono por los bosques cubanos; Proyecto 11.69, Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal. Instituto de Investigaciones Forestales, La Habana, Cuba. 12 p.

Muhammad, I, M Chacón, C Cuartas, J Naranjo, G Ponce, P Vega, F Casasola, J Rojas (2007) Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. Revista Agroforestería en las Américas. 45: 27-35