

INFLUENCIA DEL GROSOR DE CORTEZA EN LA DETERMINACIÓN DEL CARBONO EN *PINUS CARIBAEA* MORELET VAR. *CARIBAEA* B. & G. EN LAS CONDICIONES DE GUAMUHAYA, PROVINCIA DE SANCTI SPÍRITUS

INFLUENCE OF BARK THICKNESS ON CARBON DETERMINATION IN *PINUS CARIBAEA* MORELET VAR. *CARIBAEA* B. & G. IN GUAMUHAYA CONDITIONS, SANCTI SPÍRITUS PROVINCE

DR. ARNALDO F. ÁLVAREZ-BRITO, DRA. ALICIA MERCADET-PORTILLO, T. M. BÁRBARA AGUIRRE-DORADO

Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. Calle 174 no 1723, e/ 17B y 17C, Siboney, Playa,
La Habana, Cuba, archie@forestales.co.cu, teléf.: (053) 07 2082013, fax.: (053) 07 2082189

RESUMEN

Luego de establecer 33 parcelas temporales de 500 m² en plantaciones de *Pinus caribaea* M. var. *caribaea* B.&G. en la zona montañosa centro-sur de Cuba y medir el diámetro normal, la altura total y el grosor de corteza por árbol, calculando el volumen total con corteza, sin corteza y el volumen de corteza, se evaluó la importancia de la corteza, su tendencia de variación con el diámetro, el efecto que el contenido de carbono en la madera y en la corteza pueden producir sobre la determinación del carbono total, y un método para estimar el volumen de corteza. La corteza promedió el 15,47 % (entre el 9,02 y el 23,60 %) del volumen total con corteza; a medida que el diámetro normal aumentó, esta proporción disminuyó no linealmente y redujo su variabilidad; la estimación del carbono total del fuste sin diferenciar entre madera y corteza originó una sobreestimación de 41,25 tC • ha⁻¹ (18,08 %) y el modelo lineal [Vol Cort/ha = f (Vol Tot con Cort/ha)] alcanzó un coeficiente de determinación (R²) del 82,02 %.

Palabras claves: *Pinus caribaea*, retención de carbono, madera, corteza.

ABSTRACT

Using 33 temporal plots (500 m² each) in plantations of *Pinus caribaea* M. var. *caribaea* B.&G. in the mountains of Cuban south-centre and the normal diameter, total height and bark thickness by tree, it was calculated the total volume with bark, without bark and bark volume in order to evaluate the bark importance, its variation tendency with respect to normal diameter, the effect of carbon in wood and bark on the determination of total carbon and a method to estimate bark volume. The mean bark volume was 15,47 % (between 9,02 and 23,60 %) of total volume with bark; when normal diameter increases that rate diminish, but not in a lineal way and also, it reduces its variability; the estimation of trunk total carbon without a differentiation between wood and bark gave place to an over-estimation of 41,25 tC • ha⁻¹ (18,08 %) and the lineal model [Bark vol/ha = f (Tot vol with bark/ha)] presented a determination coefficient of 82,02 %.

Key words: *Pinus caribaea*, carbon retention, wood, bark.

INTRODUCCIÓN

El dióxido de carbono presente en la atmósfera es absorbido por las plantas a través de la fotosíntesis. Por este medio las plantas convierten la energía de la luz solar en energía química aprovechable para los organismos vivos. Así, los bosques almacenan grandes cantidades de carbono (C) en la vegetación y en el suelo, e intercambian C con la atmósfera a través de la respiración [Gayoso y Guerra, 2005].

En general se acepta que la biomasa está compuesta en un 50 % por C [IPCC, 1996; Slijepcevic, 2001]; sin embargo, diferentes estudios denotan la variabilidad del contenido de C según especie y tejido del árbol [Francis, 2000; Gifford, 2000]. Al respecto, Mercadet *et al.* (2011) han presentado resultados de la determinación de C en 64 especies forestales existentes en Cuba, donde se evidencia que en 35 casos el C reportado para la madera superó al de la corteza entre el 0,13 y el 17,99 %, mientras que en otras 19 especies fue a la inversa, en un rango de valores entre el 0,43 y el 12,92 %.

Las diferencias reportadas por estos últimos autores entre el C contenido en la corteza y en la madera son especialmente importantes en las cuatro especies de pinos cubanos, y no solo por sus magnitudes (siempre superior en la corteza, desde un mínimo del 6,22 % en *P. tropicalis* M., hasta un máximo del 10,98 % en *P. maestrensis* B.), sino también por la importancia relativa que corresponde a la corteza en estas especies cuando se estiman sus volúmenes totales en pie, aspecto sobre el que a partir de los datos publicados por Nacimiento y Arias (1983) se estimó que en *P. caribaea* M. var. *caribaea* B.&G., en las condiciones de la provincia de Pinar del Río donde la especie es nativa, el volumen de corteza representó entre el 7,04 y el 32,56 % del volumen total con corteza en árboles, cuya altura total varió entre 4 y 30 m, mientras que su diámetro normal varió entre 6 y 30 cm.

Estos elementos, que de conjunto pueden inducir importantes sesgos en la determinación del papel de los pinares como sumideros de C, dieron lugar a este trabajo, cuyos objetivos fueron establecer, en las condiciones montañosas de la región centro-sur de Cuba (macizo de Guamuhaya), donde *Pinus caribaea* M. var. *caribaea* B.&G. es una especie introducida:

1. La importancia relativa que le corresponde a la corteza con respecto al volumen total con corteza en pie, caracterizando su tendencia de variación con el diámetro.
2. Los efectos que la diferenciación del contenido de C en la madera y en la corteza pueden producir sobre la determinación de la retención total de C.
3. Un método que permita estimar el volumen de corteza existente en las plantaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Importancia relativa de la corteza y su tendencia de variación

En las zonas conocidas como La Chispa, La Felicidad, Los Puriales y Tres Palmas, ubicadas todas en la región centro-sur de Cuba dentro del macizo de Guamuhaya, sobre suelo rojo amarillento ácido [Borhidi, 1991] y con un clima caracterizado por una temperatura mínima media mensual inferior a 20 °C, una temperatura máxima media mensual de 32 °C, una pluviosidad anual superior a los 2000 mm y una humedad relativa media anual del 80 % [Hechavarría, 2009], fueron establecidas 33 parcelas temporales de muestreo de 500 m² de superficie (20 x 25 m) en plantaciones de *Pinus caribaea* M. var. *caribaea* B.&G. comprendidas entre los treinta y cinco y los cuarenta y ocho años, con una densidad que varió entre 500 y 1520 árboles • ha⁻¹ (Tabla 1, Fig. 1), y en cada parcela se midió el diámetro normal ($\pm 0,5$ cm), la altura total ($\pm 0,1$ m) y el grosor de corteza ($\pm 0,5$ cm) a todos los árboles de la especie.

A cada árbol se le calculó el volumen total con corteza (VTcc), el volumen total sin corteza (VTsc) y el volumen de corteza (Vc), según las expresiones:

$$VTcc = \pi D^2 (H + 3) C_m \quad [1]$$

$$VTsc = \pi (D - 2G_c)^2 (H + 3) C_m \quad [2]$$

$$Vc = VTcc - VTsc \quad [3]$$

donde:

- π : Constante (3,141592654) D – diámetro normal H – altura total
 C_m : Coeficiente mórfo (0,47) G_c – grosor de corteza

Fueron acumulados los totales de ambos volúmenes por parcela y calculado el valor relativo del Vc con respecto al VTcc. Utilizando los datos individuales de los árboles se estimó la tendencia de variación del Vc con respecto a varias variables dasométricas, mediante los modelos logarítmico, potencial, exponencial y polinómico, empleando al coeficiente de determinación (R^2) para identificar el de mayor ajuste.

TABLA 1
Distribución de las parcelas temporales de muestreo

Lugar	Lote	Rodal	Cantidad de parcelas
La Chispa	5	2	3
		3	6
La Felicidad	8	2	2
		1	2
	9	2	3
		5	2
		10	4
Los Puriales	8	5	2
		10	4
Tres Palmas	6	1	1
		2	1
		4	1
	7	1	2
		3	2
		4	1



Figura 1. Ubicación del área de trabajo.

2. Efectos de la estimación de C en la madera y en la corteza sobre la retención total de carbono

La biomasa del fuste de cada árbol fue calculada de dos formas diferentes:

- Como el producto del VTcc por el promedio de la densidad básica de la madera ($495 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) reportada para la especie por Carreras y De-champs (1995), Soler (2001) e IPCC (2006).
- A partir del estimado separado de la biomasa de la madera y de la biomasa de la corteza.

En el caso de la madera, se utilizó el mismo procedimiento anterior, pero calculando el volumen total sin corteza (VTsc) a partir de la sustracción al diámetro normal, del doble del grosor de corteza registrado por árbol.

La determinación del volumen verde de corteza por desplazamiento de un líquido resulta imprecisa en los pinos, debido a que esta se caracteriza por presentar capas superpuestas entre las que se aloja aire, alterando la estimación (Fig. 2), razón por la que se decidió calcular su densidad básica por otro método.

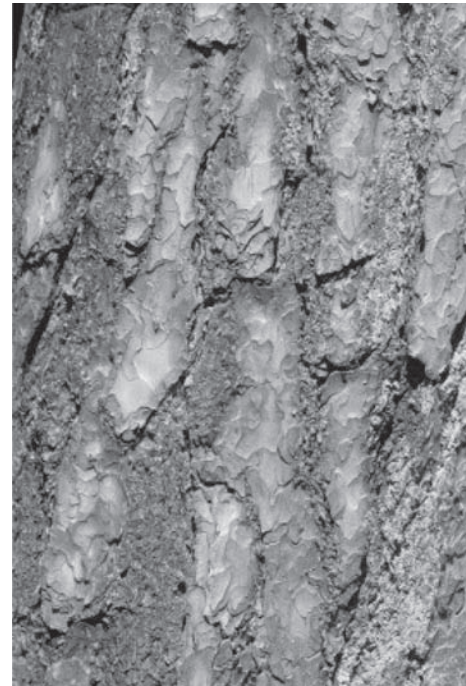


Figura 2. Estructura característica de la corteza en los pinos.

Para ello se realizó un muestreo aleatorio sin reemplazo en 10 árboles y en dos localidades (Viñales, Pinar del Río e Itabo, Matanzas); en cada localidad se obtuvo entre 200 y 300 g de corteza por árbol, se midió la masa verde de cada muestra y se procedió a secarlas en estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ durante cuatro y cinco días, al cabo de los cuales se determinó la masa seca y se

calculó el contenido de agua como la diferencia entre ambas masas. Las muestras fueron molidas a un tamaño de partícula inferior a 0,5 mm, determinándose su volumen seco en una probeta graduada (± 1 mL), valor al que se le añadió el volumen equivalente al contenido de agua antes determinado, empleando como valor de referencia 5,2704 g para 5 mL (a 31 °C). La densidad básica de la corteza fue calculada entonces como la relación entre la masa anhidra de la muestra y su volumen verde ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

El volumen de corteza fue determinado según la expresión [3], valor que multiplicado por la densidad básica de la corteza estimó su biomasa.

El contenido de carbono fue calculado empleando como coeficiente para la madera 0,4753 y para la corteza 0,5268 [Mercadet *et al.*, 2011].

3. Estimación del volumen de corteza existente en plantaciones

El grosor de corteza no es una variable que habitualmente se mida en las actividades que realizan las empresas forestales, por lo que el

volumen de corteza existente en las plantaciones no forma parte de las informaciones contenidas en sus proyectos de ordenación; sin embargo, para poder diferenciar los contenidos de C existentes en la madera y la corteza de los pinares, este dato resulta imprescindible, razón por la que a partir de las informaciones dasométricas habituales (diámetro normal y altura total) y de otras disponibles (densidad de la plantación, VTcc, superficie de la plantación, etc.) se trató de obtener mediante regresión lineal simple una relación que permitiese obtener un estimado aceptable del Vc.

En todas las pruebas estadísticas se utilizó como nivel de probabilidad para la significación $p = 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Importancia relativa de la corteza y su tendencia de variación

El procesamiento de los datos procedentes de las 33 parcelas temporales evaluadas dio lugar a los resultados presentados en la *Tabla 2*.

TABLA 2
Resultados generales alcanzados en Guamuhaya

Variable	Valor mínimo promedio	Valor máximo promedio	Promedio general
Altura total por parcela (m)	18,37	29,31	22,93
Diámetro normal por parcela (cm)	23,76	47,54	36,24
Volumen total cc ($\text{m}^3 \cdot \text{parc.}^{-1}$)	30,09	157,15	63,29
Volumen total cc ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	601,80	3143	1265,80
Volumen corteza ($\text{m}^3 \cdot \text{parc.}^{-1}$)	3,20	30,80	9,79
Volumen corteza ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	64,00	616,00	195,80
Volumen corteza (%)	9,02	23,60	15,47

Así, los valores relativos de corteza obtenidos superan en el 1,98 % el límite mínimo y disminuyen en el 8,96 % con respecto al límite máximo en comparación con los estudios hechos por Nacimiento y Arias (1983) (7,04-32,56 %) en plantaciones existentes en una región donde la especie es nativa, por lo que para ambas condiciones (nativa e introducida) puede esperarse que la mayor variación se presente en las plantaciones hechas en áreas naturales de la especie.

Otros reportes publicados que abordan la estimación del porcentaje de corteza en la variedad

hondurensis de esta misma especie demuestran que incluso cabe esperar una mayor participación de esta variable en el VTcc. Así, Vázquez (1988), al calcular los volúmenes totales con y sin corteza en plantaciones hechas en Panamá, con altura total entre 4 y 30 m y diámetro normal entre 6 y 30 cm, identificó como valores extremos de corteza entre el 12,10 y el 58,08 %. Rojas (1991), al realizar una evaluación similar a la anterior en Costa Rica, con iguales rangos de altura y diámetro normal, reportó como valores extremos de corteza entre el 28,34 y el 49,84 %. Flores (2006), al trabajar sobre los incentivos forestales

en Guatemala, reportó límites extremos de corteza entre el 10,99 y el 47,16 %, mientras que Arteaga (2003), al evaluar tres especies de pino en México, reportó límites extremos de corteza entre el 21,78 y el 48,27 % para *P. oaxacana*, entre el 24,64 y el 53,19 % para *P. montezumae* y entre el 25,16 y el 54,67 % para *P. patula*.

La más clara tendencia de variación observada para el valor relativo de corteza fue alcanzada con respecto al diámetro normal mediante un modelo polinómico de tercer grado, aunque por la característica que presentó la variación de los valores de corteza los niveles de ajuste fueron bajos, lo que se muestra en la Fig. 3.

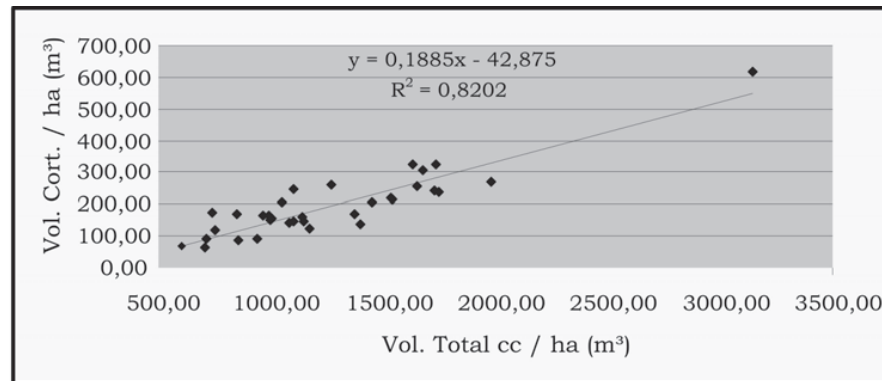


Figura 3. Tendencia de variación del volumen de corteza por árbol con respecto a su diámetro.

En la medida en que el diámetro normal aumenta, la proporción de corteza existente con respecto al VTcc del árbol muestra una tendencia de disminución progresiva y no lineal, a la par que su variabilidad disminuye en magnitud y amplitud; así, por ejemplo, mientras que para el diámetro 10 cm el porcentaje de corteza varió entre el 19 y el 62 %, para el diámetro 60 cm la variación estuvo solo entre el 10 y el 25 %.

2. Efectos de la estimación de carbono en la madera y en la corteza sobre la retención total de carbono

Una vez convertidos los valores por parcela de VTcc, VTsc y Vc a valores por hectárea, fueron calculados sus respectivos contenidos de C, alcanzándose los resultados presentados en la Tabla 3.

TABLA 3
Resultados de la estimación de C

Variables	Carbono total en los fustes a partir del VTcc	Carbono total en los fustes a partir del VTsc y el Vc
Valor mínimo (tC • ha ⁻¹)	141,60	127,07
Valor máximo (tC • ha ⁻¹)	739,48	609,68
Valor promedio (tC • ha ⁻¹)	297,79	256,54
Coef. variación (%)	39,22	38,01
Error típico de la media (tC • ha ⁻¹)	± 20,330	± 16,973

La estimación del carbono total retenido por los fustes de *Pinus caribaea* M. var. *caribaea* B.&G. en las plantaciones existentes en Guamuhaya, empleando el volumen total con corteza (VTcc), da lugar a una sobreestimación en, como promedio, 41,25 tC • ha⁻¹, equiva-

lentes al 18,08 % del valor real, resultado que sucesivamente sobredimensiona también la estimación del carbono existente en toda la biomasa aérea, en la biomasa soterrada y el carbono total retenido por el árbol, lo que indica la conveniencia de implementar estos

cálculos, considerando de forma independiente el volumen total sin corteza (VTsc) y el volumen de corteza (Vc).

Sobre este tema no se localizaron reportes bibliográficos que permitieran discutir estos resultados.

3. Estimación del volumen de corteza existente en plantaciones

Las valoraciones realizadas para buscar una forma de estimar indirectamente el volumen de corteza existente en las plantaciones de *Pinus caribaea* M. var. *caribaea* B.&G. indicaron que el mejor estimador disponible fue el volumen

total con corteza por hectárea, con respecto al volumen de corteza por hectárea (Fig. 4).

El análisis de regresión demostró que el coeficiente de determinación (R^2) ajustado modificó el valor original a 0,8143, y que el error típico estimado para la variable dependiente fue de $\pm 44,520 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$; el análisis de varianza alcanzó resultados significativos para la regresión, y las pruebas de t realizadas tanto a la constante como al coeficiente de regresión, también alcanzaron resultados significativos, mientras que el análisis de residuos demostró la inexistencia de tendencias específicas en su distribución que recomendaran el empleo de autocorrelaciones (Fig. 5).

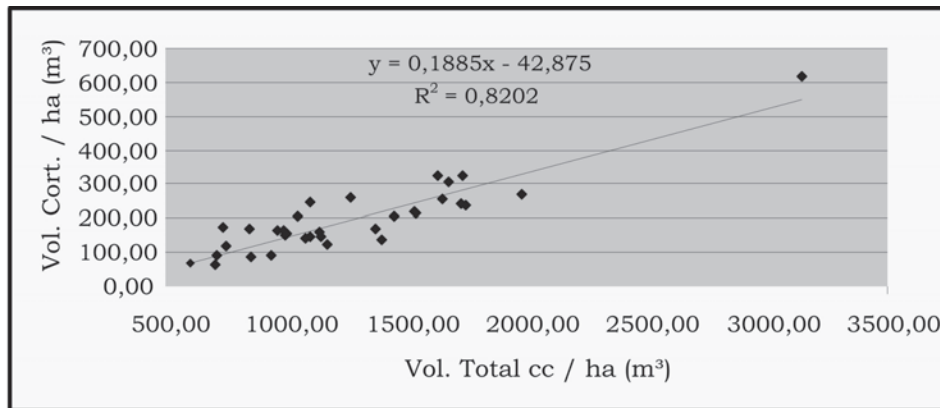


Figura 4. Modelo para la estimación del volumen de corteza por unidad de superficie a partir del volumen total con corteza por unidad de superficie en plantaciones.

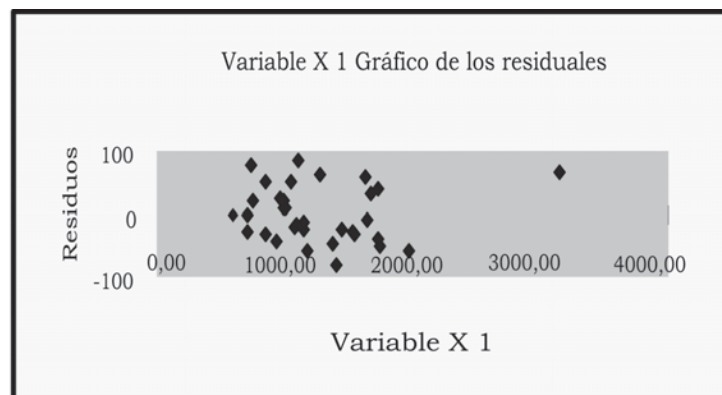


Figura 5. Resultado del análisis de residuos de la regresión.

Sobre este tema no se localizaron reportes bibliográficos que permitieran discutir estos resultados.

CONCLUSIONES

- En las condiciones edafoclimáticas de las plantaciones de *Pinus caribaea* M. var. *carib-*

baea B.&G. existentes en el macizo de Guamuha, en la zona montañosa centro-sur de Cuba, el volumen de corteza es una variable cuya consideración resulta de importancia tanto para los cálculos dasométricos como para las estimaciones de carbono, ya que ignorarla introduce sesgos de importancia que sobrevalúan tanto las existencias de madera como el carbono retenido por la biomasa.

- Aun cuando habitualmente el grosor de corteza no forma parte del conjunto de variables dasométricas registradas en las mediciones forestales que se realizan y utilizan en las plantaciones de esta especie, es posible estimar su valor por unidad de superficie mediante su relación lineal con el volumen total con corteza por unidad de superficie, variable esta última con la que se estima el rendimiento y que habitualmente es reportada en los proyectos de ordenación forestal.

BIBLIOGRAFÍA

- ARTEAGA, B. 2003. Evaluación dasométrica de una plantación de *Pinus spp.* en Perote, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana (MX)* 5(001): 27-32.
- BORHIDI, A. 1991. *Phytogeography and vegetation ecology of Cuba*. Akademiai kiado, Budapest. 857 p.
- CARRERAS, R., DECHAMPS, R. 1995. Anatomía de la madera de 157 especies forestales que crecen en Cuba y sus usos tecnológicos, históricos y culturales. I. El texto. *Sciences Economiques* 9, p. 17-20. Musée Royal de L'Afrique Centrale. Belgique.
- FLORES, A. 2006. Promoción y Fortalecimiento de Actividades Relacionadas con el Programa de Incentivos Forestales – PINFOR–, Subregiones II-1 y III-2, Izabal y Zacapa, Guatemala. 215 h. Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero Agrónomo). Universidad San Carlos de Guatemala.
- FRANCIS, J. 2000. Estimating Biomass and Carbon Content of Samplings in Puerto Rican Secondary Forests. *Caribbean Journal of Science (PR)* 36(3-4): 346-350.
- GAYOSO, J. Y J. GUERRA. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque (CL)* 26(2): 33-38.
- GIFFORD, R. 2000. Carbon contents of above-ground tissues of forest and woodland trees. Canberra: Australian Greenhouse Office, National Carbon Accounting System, 2000, Technical Report no. 22. 17 p.
- HECHAVARRÍA, O. 2009. Contribución de la fenología a la conservación de tres especies forestales en Tope de Collantes. 117 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad "Hermanos Saíz", Cuba.
- IPCC. 1996. Chapter 5: Land Use Change & Forestry. *Greenhouse Gas Inventory Reference Manual*. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Revised Version. London, vol. 3, 57 p.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Publicado por: IGES, Japón.
- MERCADET, A., ÁLVAREZ, A., ESCARRÉ, A., ORTIZ, O. 2011. Coeficientes de carbono y nitrógeno en la madera y corteza de especies forestales arbóreas cubanas [en línea]. Disponible en: http://bva.fao.cu/pub_doc/Reposit/cuf0337s.pdf [Consulta: 30 de abril 2012].
- NACIMIENTO, J., ARIAS, J. 1983. Tabla preliminar de rendimiento para *P. caribaea*. Pinar del Río. *Revista Forestal Baracoa (CU)* 13(2): 103-124.
- ROJAS, F. 1991. Pino caribe (*Pinus caribaea* M. var. *hondurensis* B&G), árbol de uso múltiple en América Central. CATIE, C. Rica, Inf. Técnico 175, 78 p.
- SLIJEPEVIC, A. 2001. Loss of carbon during controlled regeneration burns in *Eucalyptus obliqua* forest. *Tasforests (CL)* 13(2): 281-290.
- SOLER, M. 2001. *Mil Maderas*. España. Universidad Politécnica Valencia. 598 p.
- VÁZQUEZ, W. 1988. Guía para el manejo de las plantaciones de pino caribe en La Yeguada, Panamá. *Prog. Produc. y Desarrollo Sostenido*, CATIE, C. Rica. 45 p.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Proyecto de la Segunda Comunicación Nacional de Cuba a la Convención Marco de Cambio Climático, al Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF) y al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), por el apoyo financiero prestado para el desarrollo de esta investigación.

RESEÑA CURRICULAR

Autor principal: Arnaldo F. Álvarez Brito

Graduado de biólogo en la Universidad de La Habana, Cuba, recibió un adiestramiento en bioestadística y computación en el Instituto Forestal de Oxford, Reino Unido, y obtuvo el grado de Doctor en Ciencias Forestales en la Universidad Técnica de Dresde, Alemania. Ha liderado proyectos de investigación sobre semillas, mejoramiento genético, conservación de recursos genéticos

y cambio climático, así como programas de investigación sobre perfeccionamiento institucional y sobre el sector forestal, actuando como experto en estas disciplinas en diversas instancias. Dirigió el equipo de planificación estratégica del INAF y formó parte del equipo del Ministerio de la Agricultura. Fue autor contribuyente del Segundo Reporte del IPCC. Es miembro del Equipo Nacional de Cambio Climático y participó en la elaboración de la Primera y Segunda Comunicación Nacional de Cuba a la Convención de Cambio Climático.

Instituto de Investigaciones Agro-Forestales

Asesorías

- Organización y manejo de fincas forestales integrales.
- Agroforestería.
- Aprovechamiento de productos forestales madereros y no madereros.
- Propagación y manejo de bambú y ratán.
- Tratamientos silvícolas y manejo de bosques.
- Semillas forestales.
- Conservación física de la madera e industria del aserrado y carpintería.
- Propuesta de equipamiento y organización del flujo tecnológico.
- Conservación de especies en peligro de extinción.
- Determinación de manejo de frutos y semillas de especies forestales con especial énfasis en las especies amenazadas.
- Clasificación de fuentes semilleras sobre la base de su genética y la calidad de sus productos.

