

ESTIMACIÓN DEL CARBONO RETENIDO EN EL FUSTE EN PLANTACIONES DE *PINUS CUBENSIS* GRISEB EN LA EMPRESA FORESTAL INTEGRAL BARACOA, GUANTÁNAMO, CUBA

ESTIMATION OF CARBON RETAINED IN THE SHAFT ON *PINUS CUBENSIS* GRISEB ON THE INTEGRAL FOREST ENTERPRISE BARACOA, GUANTÁNAMO, CUBA

ING. YOSNIEL PEÑA-HERNÁNDEZ,¹ DR.C. JOSÉ A. BRAVO-IGLESIAS,¹ DRA.C. JUANA T. SUÁREZ SARRIA,¹
LIC. LOURDES RODRÍGUEZ-SHADE,² DR.C. WILMER TOIRAC-ARGÜELLES,³ ESP. VÍCTOR M. FUENTES-UTRÍA³
E ING. PEDRO RODRÍGUEZ-CUEVAS⁴

¹Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. Calle 174 no. 1723 e/ 17 B y 17 C, Siboney, Playa, La Habana, Cuba, josniel@forestales.co.cu

²Instituto de Ciencia Animal. Km 47 ½, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

³Estación Experimental Agro-Forestal Baracoa. Carretera Central, Paso de Cuba, Baracoa, Guantánamo, Cuba

⁴Empresa Forestal Integral Baracoa. Bohorque 126, Carretera a Guantánamo, Baracoa, Guantánamo, Cuba

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es estimar a partir de la edad de las plantaciones de Pinus cubensis Griseb en la Empresa Forestal Integral Baracoa, Guantánamo, Cuba, el carbono retenido por hectárea mediante la modelación matemática, la cual constituye una herramienta muy útil para la planificación y gestión de los ecosistemas forestales. Se evaluaron siete modelos de regresión no lineal, siendo Hossfeld I Modificado el modelo que presentó mejor bondad de ajuste, con un coeficiente de determinación del 87,5 % y sus dos parámetros altamente significativos ($p < 0,001$). Se presentan las curvas que describen la evolución en el tiempo del incremento medio anual (IMA) y el incremento corriente anual (ICA) de dicha variable.

Palabras claves: Pinus cubensis Griseb, modelación, carbono retenido.

INTRODUCCIÓN

Los gases de efecto invernadero (CO₂, vapor de agua, metano y óxido de nitrógeno) ayudan a mantener el calor de la tierra, absorbiendo la energía del sol y dirigiéndola a la superficie terrestre en proporciones asimilables para los seres vivos que habitan en ella. El aumento de cualquiera de estos gases, como es el caso del

ABSTRACT

The main objective of this work is estimated from the age of plantations of Pinus cubensis Griseb on the Integral Forest Enterprise Baracoa, Guantánamo, Cuba carbon sequestered per hectare through mathematical modeling, which is a very useful for the planning and management of forest ecosystems tool. Seven models of nonlinear regression, I Hossfeld Modified being the model presented better goodness of fit, with a coefficient of determination of 87.5 % and two highly significant parameters ($p < 0.001$) were evaluated. Curves that describe the time evolution of the mean annual increment (MAI) and the current annual increment (ICA) for this variable are presented.

Keywords: Pinus cubensis Griseb, modeling, carbon retained.

CO₂, generaría un incremento de energía calorífica, provocando el derretimiento de las capas de hielo y el aumento de los niveles oceánicos. Los bosques o plantaciones son considerados los pulmones de la tierra, los que usualmente son manejados para obtener un rendimiento sostenido de productos a niveles constantes

de producción, implicando una intensidad de manejo particular [Ramírez y Zepeda, 1994]. Fuentes cablegráficas afirman que el CO₂ constituye el 85 % de todas las emisiones, y cerca del 20 % de estas emisiones de CO₂ provienen de la eliminación y degradación de los ecosistemas forestales por el mal manejo o la mala planificación. Así, es vital considerar que la detención de la deforestación y la reversión a través de la reforestación y el manejo sustentable, el cual debe llevar implícito una evaluación de los impactos ambientales por su importancia, implica recapturar el CO₂, disminuir la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y reducir el calentamiento global [Schlegel, 2001], de ahí que la modelación matemática constituya una herramienta de gran utilidad para la estimación de la cantidad de CO₂ retenido en función de la edad por las plantaciones de *Pinus cubensis* Griseb en la Empresa Forestal Integral Baracoa. Por lo antes expuesto, este trabajo persigue como objetivo principal estimar el carbono retenido por las plantaciones de *Pinus cubensis* Griseb en la Empresa Forestal Integral Baracoa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las áreas de estudio se encuentran ubicadas en las unidades silvícolas Baracoa, Cayo Güin y Combate de Sabanilla, pertenecientes a la Empresa Forestal Integral Baracoa. La temperatura media anual reportada es de 26,8 °C; el mes más frío es febrero (24,7 °C), y los más calientes julio y agosto (28,6 °C); la precipitación media anual es 1174,3 mm; la humedad relativa promedio es del 80 %. Los suelos predominantes son ferrítico púrpura, ferralítico rojo, ferralítico amarillento, fersialítico rojo parduzco, fersialítico pardo rojizo, pardo sin carbonato y esquelético [Rodríguez *et al.*, 2008].

Para la determinación del carbono retenido por el fuste sin considerar la corteza y el follaje se aplica la fórmula:

$$CR = V \times d \times Cc$$

donde:

CR: Carbono retenido (t/ha)

V: Volumen por hectárea (m³/ha)

d: Densidad básica (t/m³)

Cc: Coeficiente de carbono de la madera para la especie

Se utilizó la densidad básica de 0,701 t/m³ determinada por Ibáñez *et al.* (1978), y el coeficiente de carbono de 0,4715 obtenido por Mercadet *et al.* (2011).

Para el levantamiento del área y toma de los datos dasométricos se utilizó la cinta métrica de 50 m, cinta diamétrica, brújula, hipsómetro de Suunto, GPS y machete.

Se evaluaron siete modelos de crecimiento reportados por la literatura [Prodan *et al.*, 1997; Casañas, 2000; Sánchez Rodríguez, 2001 y Kiviste *et al.*, 2002].

Hossfeld I
$$y = \frac{t^2}{(a + bt + ct^2)}$$

Strand
$$y = \left[\frac{t}{a + bt} \right]^3$$

Hossfeld IV
$$y = \frac{t^c}{(a + bt^c)}$$

Yoschida I
$$y = \frac{t^c}{a + bt^c} - d$$

Terazaki
$$y = e^{(a - \frac{b}{t})}$$

Hossfeld I (modificado)
$$y = \frac{t^2}{(a + bt)^2}$$

Smalian
$$y = \frac{t}{(a + bt + ct^2)}$$

donde:

a, b, c y d: Parámetros a estimar

t: Edad de los rodales

Para el ajuste de los modelos se utilizaron datos de 291 parcelas de muestreo temporales de 0,05 ha para el análisis de varianza de las regresiones, empleándose los programas estadísticos Statgraphics Plus versión 5.1 1995 e InfoStat 2008, y para la selección de los modelos de mejor ajuste se consideraron los criterios de Guerra *et al.*, 2003; Kiviste *et al.*, 2002 y Torres y Ortiz, 2005.

Coefficiente de determinación (R^2), Coeficiente de determinación ajustado (R^2_{ajust}), Sesgo, Error medio cuadrático (CME), Error medio absoluto EMA, Estadístico de Durbin Watson. Se calculó el incremento corriente anual (ICA) y el incremento medio anual (IMA), según Prodan *et al.* (1997) del modelo de mejor ajuste.

$$ICA = \frac{2at}{(a + bt)^3}$$

$$IMA = \frac{2at}{(a + bt)^2}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la *Tabla 1* se observan los valores de los estadísticos, apreciándose similitud entre los mode-

los Hossfeld I, Hossfeld IV, los que presentaron mayores valores de coeficiente de determinación, coeficiente de determinación ajustado y del estadístico Durbin-Watson, pero algunos de estos modelos presentaron al menos un parámetro de significación media o no significativo; el modelo Hossfeld I presentó un comportamiento no adecuado de la evolución en el tiempo del incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual, seleccionándose el modelo Hossfeld I Modificado por mostrar valores adecuados de desviación con respecto a los valores observados, valores adecuados del estadístico Durbin-Watson, con los dos parámetros de altamente significativos ($p < 0,001$) y un comportamiento lógico de la evolución en el tiempo del IMA e ICA

TABLA 1

Estadísticos de ajuste y estimaciones de los parámetros de los modelos para el carbono retenido por hectárea

Modelo	R^2	R^2_{aj}	Sesgo	CME	EMA	Durbin-Watson	a	B	C	d
Hossfeld I	87,6	87,4	0,0020	0,3669	0,4893	0,88	17,5332 ± 4,9080 ***	1,5889 ± 0,6830 **	0,1148 ± 0,0203 ***	-
Hossfeld I (Modificado)	87,5	87,4	0,0094	0,3668	0,4887	0,88	3,6159 ± 0,1648 ***	0,3098 ± 0,0082 ***	-	-
Hoosfeld IV	87,6	87,4	0,0024	0,3673	0,4907	-0,83	13,5034 ± 4,4744 NS	0,1346 ± 0,0150 NS	1,6285 ± 0,1622 NS	-
Strand	86,5	86,4	-0,0398	0,3977	0,5187	0,81	1,6028 ± 0,2505 ***	0,0052 ± 0,0011 ***	-	-
Terazaki	87,2	87,1	0,01556	0,3763	0,5056	0,86	2,0515 ± 0,0299 ***	-12,0578 ± 0,5021 ***	-	-
Yoschida I	86,9	86,7	0,0099	0,3887	0,5226	0,83	0,0026 ± 0,0117 NS	0,0821 ± 0,0810 NS	0,0216 ± 0,1134 NS	215,50 ± 0,000002 NS
Smalian	87,3	87,2	-0,0113	0,3732	0,4965	0,87	5,5803 ± 0,5113 ***	-0,1368 ± 0,0539 **	0,0047 ± 0,0013 ***	-

*** $p < 0,001$

** $p < 0,01$

* $p < 0,05$

NS- P

> 0,05

La *Fig. 1* hace referencia al comportamiento de los datos ajustados del modelo Hossfeld I Modificado, donde se percibe un aumento de la dispersión de los valores observados a medida que aumenta la edad, siendo ello un factor influyente en el valor que de los coeficientes de determinación, según Peña *et al.* (2013), esta dispersión en el tiempo puede estar dada por la diversidad de ambientes, especialmente de los suelos, por lo que pudiera pensarse en la hipótesis de que la cantidad de carbono retenido por la especie está influenciada por el tipo de suelo, además de su expresión fenotípica y de los manejos silvícolas.

La *Fig. 2* expone el incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) mediante el modelo Hossfeld I Modificado, apreciándose una retención acelerada del C en las primeras edades, aunque es aproximadamente a los cinco años de edad cuando se produce un punto de inflexión y la velocidad de retención de C comienza a disminuir paulatinamente, siendo cerca de los doce años que se igualan el ICA y el IMA, con una tasa de C retenido de 0,22 t/ha/año. Peña *et al.* (2013), para la especie *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari en el municipio de La Palma, Pinar del Río, obtuvieron una tasa de retención de C de 2,53 t/ha/año a los diez años de edad.

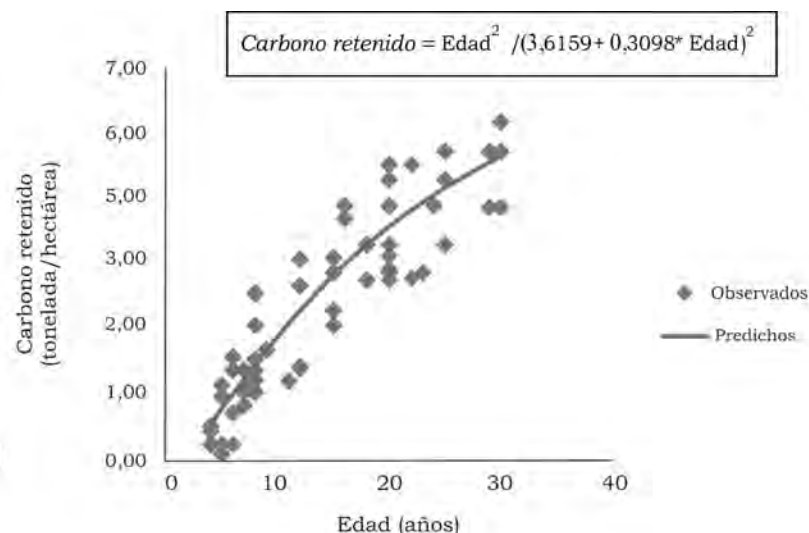


Figura 1. Modelo Hossfeld I Modificado ajustado al carbono retenido.

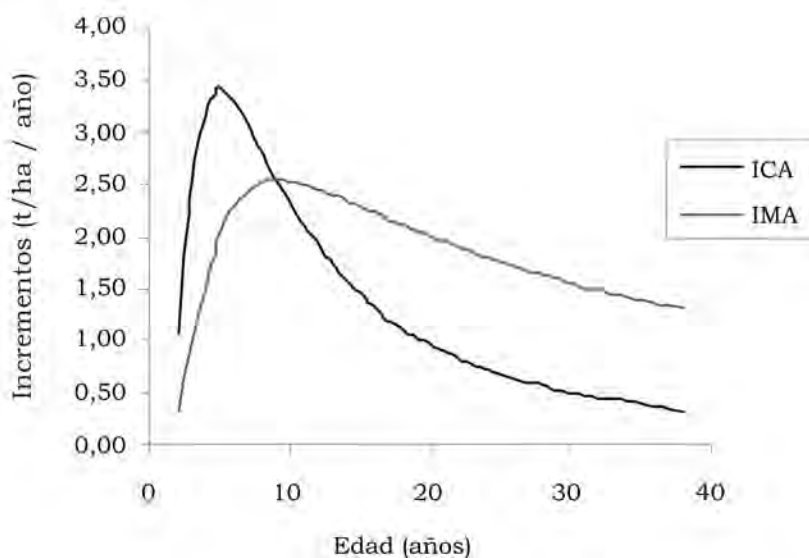


Figura 2. Incrementos en carbono retenido por el modelo Hossfeld I Modificado.

CONCLUSIONES

- El modelo escogido (Hossfeld I Modificado) describe de manera correcta la dinámica del carbono retenido por el fuste en las plantaciones de *Pinus cubensis* Griseb en la Empresa Forestal Integral Baracoa.
- A los cinco años aproximadamente se percibe un cambio en la velocidad de retención de carbono en el fuste.
- Evaluación en el tiempo del ICA e IMA mostró que estos se igualan a los doce años aproximadamente con una tasa de crecimiento de 0,22 t/ha/año.

BIBLIOGRAFÍA

Casañas, N. 2000. *Pinus pinea* L. en el Sistema Central (Valles del Tiétar y del Alberche): Desarrollo de un modelo de ges-

- ción y producción de piña. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad de Madrid. 356 p. España.
- Guerra, C. W., 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.
- Ibáñez, A., Manzanares, K., Sosa, M. 1978. Compendio de 56 especies maderables cubanas, africanas y otras regiones tropicales. Centro de Investigación Forestal. Departamento de Tecnología y Aprovechamiento de la Madera. s/n. Cuba.
- InfoStat (2008). InfoStat, versión 2008. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Kiviste, A., Alvarez, J.G., Rojo, A., Ruiz, A.D. 2002. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. España. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto de Investigaciones y Tecnología Agraria y Alimentaria, Madrid. 190 p.
- Mercadet, A., Álvarez, A., Escarré, A., Ortiz, O. 2011. Coeficientes de carbono y nitrógeno en la madera y corteza de especies forestales arbóreas cubanas. Disponible en: <http://bva.fao.org/public/Reposit/cuf0337s.pdf> (Consulta 30 de abril 2012).
- Peña, Y. *et al.* 2013. Modelación del carbono retenido en las plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari en el municipio La Palma. *Revista Forestal Baracoa (CU)* 32 (2): 47-51.
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F., Real, P. 1997. *Mensura Forestal*. Proyecto IICA BMZ / GTZ, Sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible. Costa Rica. Editorial IICA. 561 p.
- Rodríguez, P.E., Noa, N., Leyva, G.A., Rodríguez, B. 2008. Proyecto de organización y desarrollo de la economía forestal 2008-2017. Ministerio de la Agricultura. Grupo Empresarial de la Agricultura de Montaña. Empresa Forestal Integral "Baracoa". 57 p.
- Sánchez Rodríguez, F. 2001. Estudio de calidad de estación, crecimiento, producción y silvicultura de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Tesis Doctoral. España. Escuela Politécnica Superior de Lugo, Universidad de Santiago de Compostela. 356 p.
- Schlegel, B. 2001. Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde. Simposio internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. 18- 20 de Octubre 2001. Valdivia-Chile.
- Software estadístico Statgraphics Plus versión 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 Ciencia Agrícola (CU)* 39(Número Especial): 397-405.

RESEÑA CURRICULAR

Autor principal: Yosniel Peña-Hernández

Ingeniero Forestal, investigador aspirante, es miembro de la Comisión Forestal de la UCTB de Investigación e Innovación Tecnológica y presidente de las BTJ del Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. Se encuentra vinculado a varios proyectos de investigación-desarrollo, en el tema de Biomasa Forestal y jefe del Proyecto Institucional «Aprovechamiento del Ratán en Cuba». Es autor y coautor de varias publicaciones. Ha participado en eventos nacionales e internacionales con resultados relevantes.