

MODELACIÓN DEL CARBONO RETENIDO EN PLANTACIONES DE *PINUS CARIBAEA* MORELET VAR. *CARIBAEA* BARRET Y GOLFARI EN LA UNIDAD EMPRESARIAL DE BASE SILVÍCOLA SAN VICENTE, VIÑALES, PROVINCIA DE PINAR DEL RÍO, CUBA

MODELING OF RETAINED CARBON ON PLANTATIONS OF *PINUS CARIBAEA* MORELET VAR *CARIBAEA* BARRET AND GOLFARI AT THE SAN VICENTE SILVICULTURAL ENTREPRENEURIAL UNIT BASE, VIÑALES, PINAR DEL RÍO PROVINCE, CUBA

ING. ISNAUDY GARCÍA-RODRÍGUEZ,¹ DR.C. JOSÉ A. BRAVO-IGLESIAS,² DRA.C. JUANA T. SUÁREZ-SARRÍA,²
ING. YOSNIEL PEÑA-HERNÁNDEZ,² ESP. MANUEL VALLE-LÓPEZ² E ING. ROBERTO VALDÉS-ROJA³

¹ Instituto de Investigaciones Agro-Forestales (INAF). Estación Experimental Agro-Forestal Guisa. Carretera a Victorino Km. 1 ½, La Soledad, Guisa, provincia Granma, Cuba. igarcia@guisa.inaf.co.cu

² Instituto de Investigaciones Agro-Forestales (INAF). Calle 174 no. 1723 e/ 17B y 17C. Rpto. Siboney, Playa, La Habana, Cuba.

³ Empresa Forestal Integral La Palma. Carretera. La Jibara. Km. 1^{1/2}. Pinar del Río, Cuba.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de estimar el carbono retenido por hectárea a partir de la edad en las plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*. Barret y Golfari en la Unidad Empresarial de Base San Vicente. Se evaluaron siete modelos de regresión no lineal, siendo Terazaki el modelo que mejor bondad de ajuste presentó, con un coeficiente de determinación del 70,7 % y dos parámetros de alta significación ($p < 0,001$). 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: modelación, carbono retenido, *Pinus caribaea*.

ABSTRACT

This study was performed with the aim of estimate the retained carbon per hectare from the age of the plantations of *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*. Barret y Golfari at the "San Vicente", Silvicultural Entrepreneurial Unit Base. Seven models of non-linear regression were assessed, being Terazaki the model of best goodness of fit, with a coefficient of determination of 70,7 % and two parameters of high significance ($p < 0.001$). The curves that describe the evolution in time of the annual mean increment (IMA), and the annual periodical increment (ICA) of this variable are provided.

Key words: modelling, retained carbon, *Pinus caribaea*.

INTRODUCCIÓN

Investigaciones científicas sobre las emisiones de gases de efecto invernadero durante los últimos diez años predicen que el cambio climático tendrá impactos negativos ambientales, sociales y económicos a nivel global [Roy y Castellanos, 2000]. Los

impactos pueden incluir aumento del nivel de los mares, erosión costera, cambios dramáticos en patrones climáticos, aumento de enfermedades tropicales, la pérdida acelerada de biodiversidad y la desertificación [Stuart y Moura Costa, 1998].

Los bosques desempeñan una función importante en la mitigación del cambio climático al actuar como sumideros que absorben el carbono de la atmósfera y almacenarlo en la biomasa y los suelos; sin embargo, cuando se desbrozan o se degradan, también son una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero. Por ello, los bosques son un componente importante en la estrategia de adaptación al cambio climático. Sin intervenciones de manejo directas el cambio climático puede resultar peligroso para la salud del ecosistema forestal, la resiliencia, la productividad, la biodiversidad y el almacenamiento de carbono, y la degradación del bosque y su pérdida seguirán contribuyendo al cambio climático (FAO, 2013)

El objetivo de este trabajo fue obtener la estimación del carbono retenido por las plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari en la Unidad Empresarial de Base Silvícola San Vicente y su evolución en el tiempo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Unidad Empresarial de Base Silvícola San Vicente, del municipio de Viñales, Pinar del Río, perteneciente a la Empresa Forestal Integral La Palma. Los tipos de suelos presentes son ferralítico rojo lixiviado, ferralítico cuarcítico amarillento lixiviado, ferralítico cuarcítico amarillento rojizo lixiviado y esquelético. La temperatura media es de 25,5 °C y con una precipitación anual de 1857,8 mm [Ministerio de la Agricultura, 2009].

Se muestrearon rodales en un rango de edad entre 5-32 años. Se levantaron 108 parcelas temporales de 500 m², tomándose los diámetros de todos los árboles a 1, 30 m sobre el nivel del suelo, y las alturas de dos árboles por cada clase diamétrica con esta información se calculó el diámetro medio, la altura media y el volumen por hectárea para cada rodal. A continuación se procedió a la determinación del carbono retenido por el fuste sin considerar la corteza, mediante 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 0,614 t/m³ determinada por Ibáñez, Manzanares y Sosa (1978) y el coeficiente de carbono de 0,4753 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 (Modificado)
$$y = \frac{t^2}{(a + bt)^2}$$
 I

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

donde:

a, b, c y d: Parámetros a estimar
 t: Tiempo o edad de los rodales

Se consideraron algunos de los criterios estadísticos desarrollados por Kiviste *et al.* (2002), Guerra *et al.* (2003) y Torres y Ortiz (2005) para la selección del modelo de mejor ajuste: coeficiente de determinación (R²), coeficiente de determinación ajustado (R²aj), sesgo, error medio cuadrático (CME), error medio en valor absoluto (EMA) y estadístico d, de Durbin-Watson, error estándar de los estimadores de los parámetros del modelo, significación estadística de los parámetros de los modelos.

Se calculó el incremento corriente anual (ICA) y el incremento medio anual (IMA), según Prodan *et al.* (1997). El análisis de la información se realizó con ayuda de los programas estadísticos Statgraphics Plus versión 5.1 e InfoStat (2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores estadísticos que se observan en la *Tabla 1*, son similares para todos los modelos,

con coeficientes de determinación y coeficientes de determinación ajustado por encima de 70%. Los modelos Hossfeld I, Hossfeld IV, Yoschida I y Smalian presentaron parámetros no significativos.

Se seleccionó el modelo Terazaki por mostrar un menor desvío respecto a los valores observados, todos sus parámetros significativos y menor varianza.

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	70,8	70,3	-0,0324	12,0514	2,8753	1,96	1,6616 ±0,8909 NS	0,0897 ±0,1032 NS	0,0196 ±0,0029 ***	---
Hossfeld I (Modificado)	70,3	70,1	-0,0170	12,1109	2,9130	1,94	0,8127 ±0,0635 ***	0,1280 ±0,0033 ***	---	----
Hossfeld IV	70,8	70,3	-0,0398	12,0392	2,8742	1,96	1,2537 ±0,9844 NS	0,0207 ±0,0019 ***	1,7080 ±0,3463 ***	----
Strand	70,6	70,3	0,0009	12,0286	2,9223	1,95	0,9647 ±0,0745 ***	0,2569 ±0,0039 ***	---	---
Terazaki	70,7	70,5	0,0004	11,9645	2,8820	1,95	4,0179 ±0,0367 ***	9,0883 ±0,6864 ***	---	---
Yoschida I	70,8	70,0	-0,0081	12,1621	2,8765	1,97	0,6250 ±2,3445 NS	0,0185 ±0,0125 NS	1,5039 ±1,1352 NS	4,0006 ±26,1922 NS
Smalian	70,8	70,2	0,1974	12,0391	2,8707	1,97	0,4274 ±0,0753 ***	-0,011 ±0,0077 NS	0,0001 ±0,0002 ***	---

*** 0,001

** 0,01

* 0,05

NS- no significativo

En la *Fig. 1* refiere el comportamiento de los datos ajustado por el modelo de Terazaki se observa una alta dispersión de los valores observados por edad, mostrándose en la variabilidad explicada por el modelo. Según Peña *et al.* (2013), esto puede estar dado a la diversidad de ambientes, especialmente los suelos, por lo que pudiera pensarse en la hipótesis de que la cantidad de carbono retenido por la especie influye el tipo de suelo, además de su expresión fenotípica y de los manejos silvícolas.

En la *Fig. 2* se muestran el comportamiento del incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA). A través del modelo Terazaki

se observa una retención acelerada del carbono en las primeras edades. A partir de los siete años de edad se produce un punto de inflexión la velocidad de retención de carbono comienza a disminuir paulatinamente, por lo que los valores del ICA dentro del período de un año comienzan a descender, siendo a los 9,1 años donde se igualan el ICA e IMA, con una tasa de carbono retenido de 2,25 t/ha/año. Peña *et al.* (2013), para esta especie en el municipio de La Palma, Pinar del Río, obtuvieron una tasa de retención de carbono de 2,53 t/ha/año a los 10 años de edad, y Rodríguez *et al.* (inédito), en la Unidad Empresarial Base Silvícola Los Jazmines, 2,05 t/ha/año a los 13 años de edad.

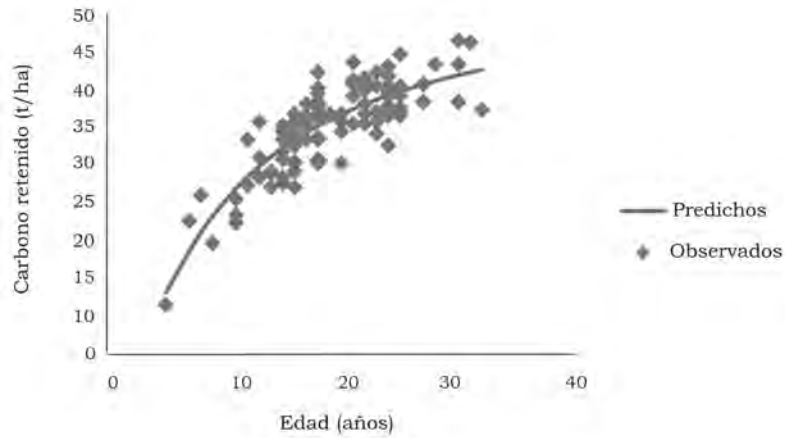


Figura 1. Modelo Terasaki ajustado al carbono retenido.

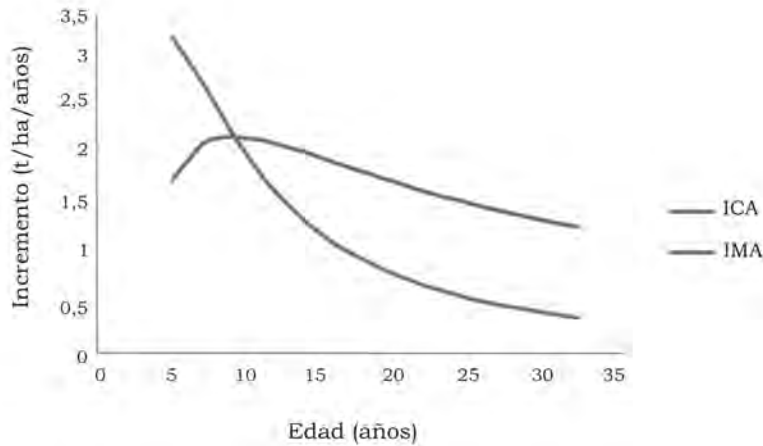


Figura 2. Incrementos en carbono retenido por el modelo de Terazaki

CONCLUSIONES

- Se describió la dinámica del carbono retenido en el fuste de las plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*. Barret y Golfari en la Unidad Empresarial de Base Silvícola San Vicente a través del modelo Terazaki.
- La evaluación en el tiempo del ICA e IMA mostró que estos se igualan a los 9,1 años con una tasa de crecimiento de 2,25 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 gestión y producción de piña. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad de Madrid. España. 356 p.
- FAO. 2013 Directrices sobre el cambio climático para los gestores forestales. Estudio FAO Montes 172. 110 p.
- 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. 2012. InfoStat, versión 2012. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Kiviste, A., Álvarez, J.G., Rojo, A., Ruiz, A.D. 2002. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto de Investigaciones y Tecnología Agraria y Alimentaria, Madrid. España. 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/pubdoc/Reposit/cuf0337s.pdf> [Consulta 30 de abril 2012]
- Ministerio de la Agricultura. 2009. Proyecto de Organización y Desarrollo de la Economía Forestal de la Empresa Forestal Integral Viñales. Provincia Pinar del Río. Grupo Empresarial de Agricultura de Montaña. Cuba.
- Peña, Y., et al. 2013. Modelación del carbono retenido en las plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari en 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, L., et al. Modelación del carbono retenido en las plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari en la Unidad Empresarial de Base Silvícola "San Vicente". En Prensa. Inédito.
- Roy, A., Castellanos, E. 2000. Elementos técnicos para inventario de carbono en uso de suelos. Guatemala. Fundación Solar. 31 p.
- Sánchez Rodríguez, F. 2001. Estudio de calidad de estación, crecimiento, producción y silvicultura de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Tesis Doctoral. Escuela Politécnica Superior de Lugo, Universidad de Santiago de Compostela. 356 p. España.
- Software estadístico Statgraphics *Plus* versión 5.1 sobre Windows, 1995.
- Stuart, M.D., Moura Costa, P. 1998. Climate Change Mitigation by Forestry: a Review of International Initiatives. Policy that works for forests and people series No. 8. Discussion paper. International Institute for Environment and Development, London.
- 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) 3(Número Especial): 397-405.

RESEÑA CURRICULAR:

Autor principal: Isnaudy García Rodríguez

Ingeniero Forestal, se ha vinculado a proyectos de investigación-desarrollo relacionados con la temática de silvicultura, aplicando modelos matemáticos para predecir crecimiento y rendimiento de variables dasométricas, además de realizar estudios sobre secuestro de carbono. Ha participado activamente en eventos nacionales e internacionales con resultados relevantes tales como el VI Encuentro de Jóvenes Investigadores, alcanzando el premio al mayor impacto ambiental.