

ARTÍCULO ORIGINAL

Modelación matemática del volumen por hectárea de *Pinus Caribaea* Morelet var. *Caribaea* Barret y Golfari en la unidad silvícola «Los Jazmines», Viñales



Mathematical modelling in volume per hectare of *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari at the «Jazmines» silvicultural unit, Viñales

Revista Cubana de Ciencias Forestales
Año 2013, Volumen 1, número 2

Juana Teresa Suárez Sarria¹, José Antonio Bravo Iglesias², Yosniel Peña Hernández³, Juan Miguel Montalvo Guerrero⁴, Manuel Valle López⁵, Roberto Valdés Roja⁵

¹Dr. en Ciencias Forestales, Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. Calle 174 No. 1723 e/t 17 B y 17 C, Siboney, Playa. Ciudad de La Habana. Teléf. : 208-1727. Correo electrónico: teresa@forestales.co.cu

RESUMEN

La modelación matemática constituye una herramienta muy útil para la planificación y gestión de los ecosistemas forestales. Con el objetivo de predecir el comportamiento del volumen por hectárea en plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*. Barret y Golfari de la Unidad Silvícola «Los Jazmines», Viñales, se evaluaron siete modelos de regresión no lineal. El modelo que mejor bondad de ajuste presentó para el volumen por hectárea fue el Terazaki, con un coeficiente de determinación de 63,9 %, y dos parámetros de alta significación ($P < 0,001$). Se presenta las curvas que describen la evolución en el tiempo del incremento medio anual (IMA), y el incremento corriente anual (ICA) de dicha variable.

Palabras clave: modelación matemática, volumen por hectárea, *Pinus caribaea*.

ABSTRACT

Mathematical modelling constitutes a very useful tool for the planning and administration of the forest ecosystems. With the objective of predicting the behavior of volume by hectare of *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*. Barret y Golfari plantations at the «Jazmines» Silvicultural Unit, Viñales, seven non-linear regression models were evaluated. The best goodness of fit model was the volume per hectare was the one designed by Hossfeld I, with a determining coefficient of 63, 9 % with a high significance parameter ($P < 0.001$). The description curves for the annual mean

increment with the time (IMA) and the annual periodical increment (ICA) of this variables were provided.

Key words: mathematical modelling, volume per hectare, *Pinus caribaea*.

INTRODUCCIÓN

La estimación de las existencias actuales y futuras de un bosque, son consideradas de suma importancia, porque se emplean en la toma de decisiones de gestión de la empresa. La rigurosidad y profundidad con que se encare, determinará el nivel de información que se requiere, y al mismo tiempo, el grado de precisión o credibilidad que tendrá la información esperada (INTA, 2002).

Uno de los más importantes problemas a resolver en la Dasometría es la predicción del estado futuro de un rodal, por distintos motivos (económico, ambiental, académico, entre otros.) Los problemas típicos de la planificación económica forestal como, por ejemplo: la determinación de la disponibilidad futura de madera, la selección de su silvicultura o su tasación, dependerán de la calidad de su predicción (Morales *et al.*, 1979).

El manejo de plantaciones requiere de la conjunción de aspectos silviculturales, genéticos y culturales, que garanticen la máxima productividad posible al menor costo. El volumen es considerado como una variable indicadora del potencial o de la capacidad de producción de un rodal y es afectado por diferentes variables que deben considerarse en el manejo, tales como la densidad inicial, la calidad de sitio, el diámetro, la altura, la forma del árbol, la edad de la plantación y las intervenciones silviculturales (Moret *et al.*, 1998)

El objetivo de este trabajo es estimar el crecimiento del volumen por hectárea de *Pinus caribaea* Morelet *var. caribaea*. Barret y Golfari en la Unidad Silvícola «Los Jazmines», Viñales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Unidad Silvícola «Los Jazmines, del municipio Viñales perteneciente a la Empresa Forestal Integral La Palma. Los tipos de suelos presentes son: Ferralítico rojo, Ferralítico rojo lixiviado, Ferralítico cuarcítico amarillento lixiviado, Ferralítico cuarcítico amarillento rojizo lixiviado, Pardo sin carbonatos, Pardo grisáceo 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 3 y 31 años. Se levantaron 180 parcelas temporales de 500 m², y se tomaron 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. Para el levantamiento del área y toma de los datos dasométricos se utilizó la cinta métrica de 50 metros, cinta diamétrica, brújula, hipsómetro de Suunto, GPS y machete.

Se evaluaron 7 modelos de crecimiento reportados por la literatura (Prodan *et al.* 1997; Casañas, 2000; Sánchez Rodríguez, 2001 y Kiviste *et al.* 2002).

Modelo	Expresión matemática del modelo
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	$y = e^{a-b/t}$
Hossfeld I (Modificado)	$y = \frac{t^2}{(a + bt)^2}$
Smalian	$y = \frac{t}{(a + bt + ct^2)}$

Donde:

a, b, c y d: coeficientes de regresión

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 (R^2), coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}), sesgo, error medio cuadrático (CME), error medio en valor absoluto (EMA), estadístico Durbin- Watson, error estándar de los estimadores de los parámetros del modelo y 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 (2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores estadísticos que se observan en la Tabla I, son similares para todos los modelos; sin embargo los de Hossfeld I, Hossfeld IV y Yoschida I presentaron parámetros no significativos. Al analizar los restantes, Smalian mostró mayores valores de coeficiente de determinación, coeficiente de determinación ajustado, así como menores valores de varianza y error medio absoluto; sin embargo mediante este modelo no se pudo describir correctamente la evolución en el tiempo del incremento corriente anual e incremento medio anual, por lo que fue seleccionado el de Terazaki.

Tabla 1. Estadísticos de ajuste y estimaciones de los parámetros de los modelos para el volumen por hectárea.

Modelo	R ²	R ² aj	Sesgo	CME	EMA	Durbin-Watson	a	b	c	d
Hossfeld I	65,2	64,8	0,0082	388,823	15,91	1,99	1,4817 ±0,3948 ***	-0,0848 ±0,0471 NS	0,0084 ±0,0014 ***	---
Hossfeld I (Modificado)	62,5	62,2	-0,2807	417,018	16,82	1,86	0,5331 ±0,0454 ***	0,0631 ±0,0023 ***	---	----
Hossfeld IV	65,2	64,6	-0,1143	389,302	15,93	1,98	2,8249 ±2,4078 NS	0,0066 ±0,0004 ***	2,5562 ±0,4045 ***	----
Strand	63,0	62,8	-0,2311	411,244	16,68	1,87	0,7769 ±0,0642 ***	0,1615 ±0,0034 ***	---	---
Terazaki	63,9	63,7	-0,1320	401,322	16,38	1,92	5,3783 ±0,0463 ***	11,0202 ±0,8537 ***	---	---
Yoschida I	64,5	63,9	-0,0351	399,129	16,08	1,96	0,0104 ±0,1191 NS	0,0023 ±0,0079 NS	1,1403 ±1,9401 NS	259,571 ±1492,7 NS
Smalian	64,2	63,7	-0,1793	400,537	16,37	1,93	0,1930 ±0,0309 ***	-0,0077 ±0,0033 *	0,0003 ±0,00009 **	---

*** $P < 0,001$

** $P < 0,01$

* $P < 0,05$

NS- $P > 0,05$

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 1 se presenta el comportamiento de los datos ajustados por el modelo de Terazaki. En ella se muestra la dispersión de los valores observados por edad, siendo la razón de los valores que se presentan de los coeficientes de determinación, lo cual puede estar dado por la diversidad de ambientes, especialmente los suelos y a la no realización de los manejos silvícolas en el momento oportuno.

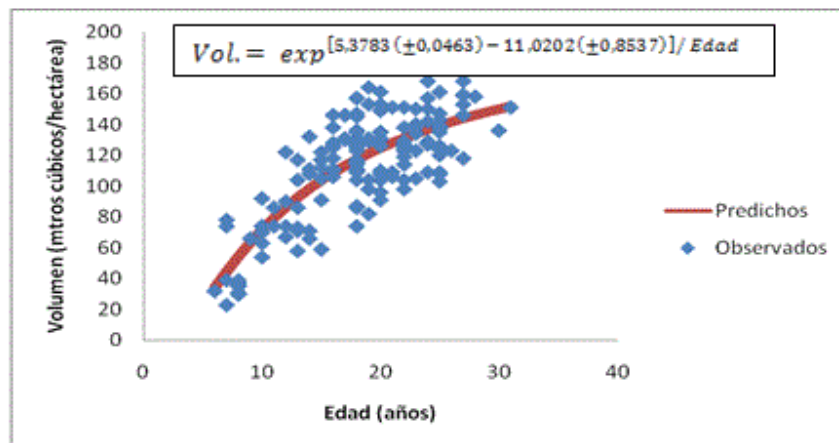


Fig. 1. Modelo Terazaki ajustado al volumen por hectárea.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 2 se muestran el comportamiento del Incremento Corriente Anual (ICA) e Incremento Medio Anual (IMA) a través del modelo Terazaki. Se observa que se produce un punto de inflexión a los 5 años de edad, igualándose el ICA e IMA a 11 años, con una tasa de crecimiento de 7.23 m³/ha/año. Resultados similares fueron obtenidos por Bravo *et al.* (2012), para la especie en el municipio La Palma con una tasa de crecimiento de 7.35 m³/ha/año.

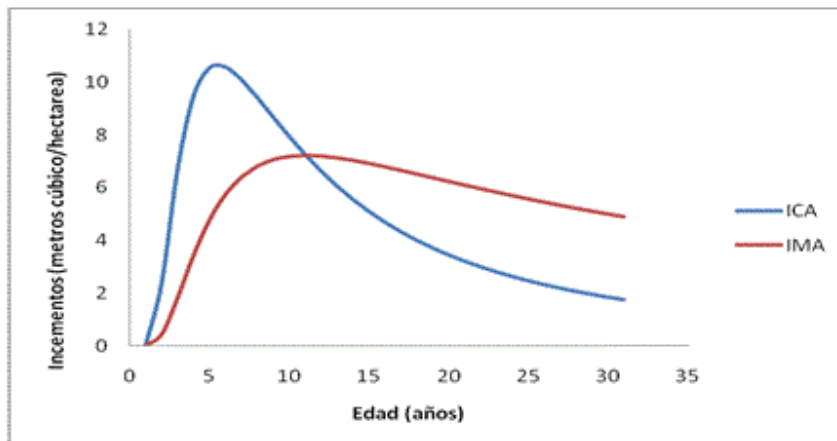


Fig. 2. Incrementos en volumen por hectárea a través del modelo de Terazaki.
Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Se describió la dinámica de crecimiento en plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*. Barrett y Golfari en la Unidad Silvícola «Los Jazmines», Viñales a través del modelo Terazaki. La evaluación en el tiempo del ICA e IMA mostró que estos se igualan a los 11 años con una tasa de crecimiento de 7.23 m³/ha/año.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAVO, J. A. Modelación matemática del volumen por hectárea de *Pinus caribaea Morelet* var *caribaea* Barret y Golfari en La Empresa Forestal Integral La Palma. *Revista Forestal Baracoa*, 2012. **31**(1), 3-7, ISSN: 0138- 6141.
- CASAÑAS, N. *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 inédita, Universidad de Madrid, 2000.
- GUERRA, C. W., CABRERA, A., FERNÁNDEZ, L. Criterios para la selección de modelos estadísticos en la investigación científica. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 2003, **37**(1), 3-10.
- INTA. Informe técnico. *Tablas de rendimiento de Pino Oregón y Pino ponderosa, basadas en la técnica de predicción del rendimiento, Argentina*, 2002.
- KIVISTE, A, J. G. ÁLVAREZ, A. ROJO, A. D. RUÍZ. *Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal*. Madrid: Ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto de Investigaciones y Tecnología Agraria y Alimentaria, 2002.
- MINISTERIO DE LA AGRICULTURA. *Proyecto de Organización y Desarrollo de la Economía Forestal de la Empresa Forestal Integral Viñales. Pinar del Río*. Grupo Empresarial de Agricultura de Montaña. 2009.
- MORALES, R., WEINTRAUB, A., PETERS, R. Y GARCÍA, J. *Modelos de simulación y manejo para plantaciones forestales*. FO: DP/CHI/76/003. Documento de trabajo N° 30. Santiago de Chile, 1979.
- MORET, ANA Y.; M. JEREZ; A. MORA. Determinación de ecuaciones de volumen para plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.) en la unidad experimental de la reserva forestal Caparo, Estado Barinas Venezuela. *Rev. Forest. Venezuela*, 1998, **42**(1), 41-50.
- PRODAN, M. et.-al. *Mensura Forestal*. Proyecto IICA BMZ / GTZ, Sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible. Costa Rica. Editorial IICA. 1997.
- SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, F. 2001. *Estudio de calidad de estación, crecimiento, producción y silvicultura de Pinus radiata D. Don en Galicia*. España: Universidad de Santiago de Compostela.
- SOFTWARE ESTADÍSTICO STATGRAPHICS PLUS. Versión 5.1 sobre Windows, 1995.
- SOFTWARE ESTADÍSTICO INFOSTAT (2008). InfoStat, versión 2008. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- TORRES, V., ORTIZ, J. Aplicaciones de la modelación y simulación en la producción y alimentación de animales de granja. *Revista Cubana. Ciencia Agrícola*, 2005, **39**(Número especial), 397-405.

Recibido: 10 de junio 2014.

Aceptado: 8 de septiembre de 2014.

Juana Teresa Suárez Sarria. Doctora en Ciencias Forestales, Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. Calle 174 No. 1723 e/t 17 B y 17 C, Siboney, Playa. Ciudad de La Habana. Teléf. : 208-1727. Correo electrónico: teresa@forestales.co.cu
