

## MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL VOLUMEN POR HECTÁREA DE *PINUS MAESTRENSIS* BISSE EN LA UNIDAD SILVÍCOLA GUISA, GRANMA

## MATHEMATICAL MODELING OF THE VOLUME BY HECTÁREA OF *PINUS MAESTRENSIS* BISSE IN THE GUIA SILVER UNIT, GRANMA

ING. ISNAUDY GARCÍA-RODRÍGUEZ<sup>1</sup>, DR. JOSÉ A. BRAVO-IGLESIAS<sup>2</sup>, DRA. JUANA T. SUÁREZ-SARRIA<sup>2</sup>,  
ING. YOSNIEL PEÑA-HERNÁNDEZ<sup>2</sup>, ESP. MANUEL VALLE-LÓPEZ<sup>2</sup> E ING. ODALYS MOGENA-NAVARRO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. UCTB Estación Experimental Agro-Forestal Guisa. Carretera a Victorino Km 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>, La Soledad, Guisa, Granma, Cuba, igarcia@guisa.inaf.co.cu

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. UCTB de Investigación e Innovación Tecnológica. Calle 174 no. 1723 e/ 17B y 17C, Siboney, Playa, La Habana, Cuba

<sup>3</sup> Empresa Forestal Integral Granma. Figueredo 59 e/ General García y Céspedes, Bayamo. Granma, Cuba

### 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 maestrensis* Bisse de la Unidad Silvícola Guisa, Granma, 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 del 72,2 %, 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: *Pinus maestrensis*, modelación matemática, volumen por hectárea.

### ABSTRACT

Mathematical modelling constitutes a very useful tool for the planning and administration of the forest ecosystems. With the objective of predict the behavior of volume by hectare of *Pinus maestrensis* Bisse at the Granma Silvicultural Unit, Granma, seven non- lineal regression models were evaluated. The best goodness of fit model was the volume per hectare was the one designed by Hossfeld I, with a determination coefficient of 72, 2 % 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 variable were provided.

Key words: *Pinus maestrensis*, mathematical modeling, volume per hectare.

### INTRODUCCIÓN

La planificación del manejo forestal requiere proyecciones confiables de crecimiento y rendimiento. En muchas situaciones es suficiente el ajuste de curvas de crecimiento simples que describen el curso de variables de rodal en el tiempo. Con manejo más intensivo, sin embargo, estas variables son manipuladas a través de intervenciones silvícolas que pueden variar en fechas e intensidad, y se hace necesario predecir el comportamiento de rodales en una variedad de circunstancias diferentes (Rivas, 2003).

Una de las razones técnicas que pueden ayudar a mejorar la producción forestal se fundamenta en el hecho de utilizar mejores herramientas cuantitativas, las cuales permiten optimizar los procesos de planeación y lograr un seguimiento y control adecuado de las actividades de aprovechamiento forestal sustentable. La modelación forestal representa una oportunidad muy valiosa para la cuantificación y destino de los productos maderables (Quiñones, 2014).

El objetivo de este trabajo fue modelar el crecimiento del volumen por hectárea de *Pinus maestrensis* en la Unidad Silvícola Guisa, Granma.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Unidad Silvícola Guisa perteneciente a la Empresa Forestal Integral Bayamo, en la provincia de Granma, que limita al norte con los municipios de Jaguaní y Bayamo, al sur y al este con la provincia de Santiago de Cuba y al oeste con el municipio de Buey Arriba. El suelo es ferralítico rojo lixiviado, la temperatura media de 26,5 °C y valores de precipitación anual de 1288 mm (Mogena et al., 2007).

Se muestrearon rodales en un rango de edad entre 4 y 40 años. Se levantaron 200 parcelas temporales de 500 m<sup>2</sup>, 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.

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

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

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

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

donde:

$a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $d$  son los parámetros a estimar y  $t$  es el 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) 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; sin embargo, los modelos Hossfeld I, Hossfeld IV, Yoschida I y Smalian presentaron parámetros no significativos. Al analizar los otros modelos se seleccionó Terazaki, que mostró mayores valores de coeficiente de determinación, coeficiente de determinación ajustado, menor desvío respecto a los valores observados, así como menores valores de varianza, error medio absoluto, con los dos parámetros significativos.

En la *Fig. 1* se presenta el comportamiento de los datos ajustado por el modelo de Terazaki, se muestra la dispersión de los valores observados por edad, razón explicada en los valores que se presenta el coeficiente de determinación.

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 que se produce un punto de inflexión a los cinco años de edad, igualándose el ICA e IMA a 11,1 años, con una tasa de crecimiento de 4,85 m<sup>3</sup>/ha/año. Estos resultados difieren a

los obtenidos (Bravo *et al.*, 2012) para la especie *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari en el municipio de La Palma con una tasa de crecimiento de 7,35 m<sup>3</sup>/ha/año.

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

| Modelo                  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> aj | Sesgo   | CME     | EMA   | Durbin-Watson | A                          | b                         | C                      | d                           |
|-------------------------|----------------|-------------------|---------|---------|-------|---------------|----------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Hossfeld I              | 73,1           | 72,2              | 0,1768  | 376,216 | 15,98 | 1,95          | 1,8191<br>± 0,7784*        | -0,0621<br>± 0,0086<br>NS | 0,0010<br>± 0,0020***  | –                           |
| Hossfeld I (Modificado) | 70,8           | 70,3              | -0,5342 | 401,154 | 16,87 | 1,78          | 0,6586<br>± 0,0986***      | 0,0776<br>± 0,0039***     | –                      | –                           |
| Hossfeld IV             | 73,1           | 72,1              | 0,1524  | 377,299 | 16,02 | 1,94          | 2,6696<br>3,5376 NS        | 0,0089<br>± 0,0008***     | 2,3277<br>± 0,05791*** | –                           |
| Strand                  | 71,4           | 71,0              | -0,3968 | 393,738 | 16,70 | 1,82          | 0,8969<br>± 0,1302***      | 0,1848<br>± 0,0054***     | –                      | –                           |
| Terazaki                | 72,2           | 72,0              | -0,0985 | 383,184 | 16,42 | 1,88          | 4,9854<br>± 0,0652***      | 11,0545<br>± 1,4467***    | –                      | –                           |
| Yoschida I              | 73,3           | 71,8              | -0,0920 | 381,253 | 15,96 | 1,96          | 22,2071<br>± 83,0244<br>NS | 0,0105<br>± 0,0025**      | 2,9539<br>± 1,4342*    | -13,4104<br>± 17,2563<br>NS |
| Smalian                 | 73,1           | 72,1              | -0,1174 | 377,310 | 16,06 | 1,94          | 0,2981<br>± 0,00773***     | -0,0094<br>± 0,0063<br>NS | 0,0003<br>± 0,0001*    | –                           |

\*\*\*  $P < 0,001$

\*\*  $P < 0,01$

\*  $P < 0,05$

NS-  $P > 0,05$

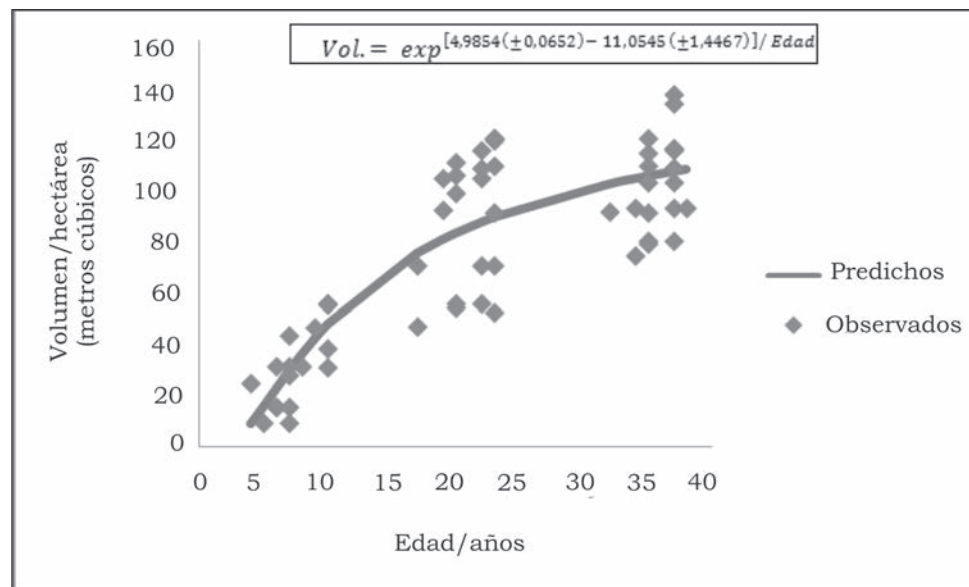


**Figura 1.** Modelo Terazaki ajustado al volumen por hectárea.

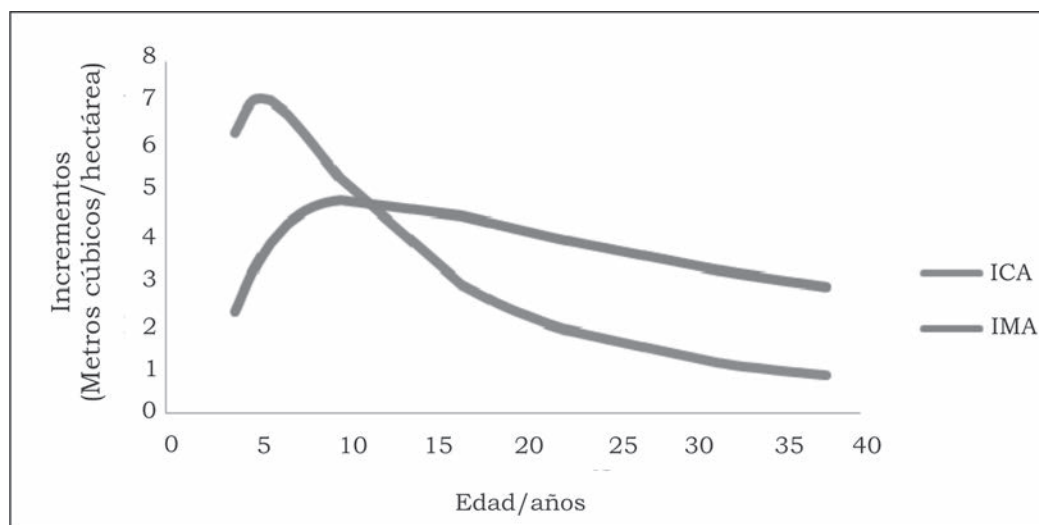


Figura 2. Incrementos en volumen por hectárea a través del modelo de Terazaki.

## CONCLUSIONES

- Se describió la dinámica de crecimiento en plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barrett y Golfari en la Unidad Silvícola Guisa, Granma, a través del modelo Terazaki. La evaluación en el tiempo del ICA e IMA mostró que estos se igualan a los 11,1 años con una tasa de crecimiento de 4,85 m<sup>3</sup>/ha/año.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bravo, J.A., et al. 2012. 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 (CU) 31(1): 3-7, enero- junio.
- 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. 356 p.
- 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.
- Kiviste, A., Álvarez, J.G., Rojo, A., Ruíz, 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.
- Ministerio de la Agricultura de Cuba. 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.
- Quiñones, G. 2014. Sistema de crecimiento y rendimiento para las principales especies comerciales de *Pinus* en Durango, México. 173 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencia)-- Colegio de Posgraduado Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Campus Montecillo.
- Rivas, M. 2003. 27 Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa. [en línea] Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1166763> [Consulta 22 de mayo 2015].
- Sánchez Rodríguez, F. 2001. Estudio de calidad de estación, crecimiento, producción y silvicultura de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. España. Escuela Politécnica Superior de Lugo, Universidad de Santiago de Compostela. 356 p.
- Software estadístico Statgraphics *Plus* versión 5.1 sobre Windows, 1995.
- Software estadístico InfoStat (2012). InfoStat, versión 2012. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Torres, V., Ortiz, J. 2005. Aplicaciones de la modelación y simulación en la producción y alimentación de animales de granja. Revista Cubana de Ciencia Agrícola (CU) 39 (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.