

## **Modelo de regresión para la estimación del perfil de fuste de *Pinus maestrensis* Bisse en plantaciones en la Empresa Forestal Integral Granma**

### **Regression model for estimating the stem taper *Pinus maestrensis* Bisse plantations in Integrated Forest Enterprise Granma**

Ing. Daniel Nidier Rondón González<sup>1</sup>, Dr. C. Héctor Barrero Medel, Dr. C. Yordan Lores Pérez

<sup>1</sup> Ingeniero forestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Granma, Ministerio de Educación Superior, Bayamo, Granma, Cuba. Email: [drondong@udg.co.cu](mailto:drondong@udg.co.cu)

<sup>2</sup> Dr en Ciencias Forestales .Departamento Forestal.Universidad de Pinar del Río.

<sup>3</sup> Dr. En Ciencias Forestales. Universidad de Guantánamo.

#### **RESUMEN**

El presente trabajo se realizó en los bosques plantados de *Pinus maestrensis* Bisse de la Empresa Forestal Integral Granma (EFIG), con el fin de ajustar un modelo de regresión de perfil del fuste para la especie, para lo cual se midieron 50 árboles tipos, talados, para su posterior cubicación. Los datos obtenidos de los árboles se procesaron y sometieron a pruebas estadísticas de regresión lineal, utilizando el paquete SPSS versión 15.0 para Windows. Los estadísticos de bondad de ajuste y capacidades predictivas definieron como el modelo de mejor ajuste el Cúbico dado por la siguiente ecuación:  $dicc/D_{1,3} = hi-1.3/ht-1.3$

**PALABRAS CLAVES:** perfil de fuste, *Pinus maestrensis*, estimación, plantaciones, modelos

## ABSTRACT

This paper was carried out in the planted forests of *Pinus maestrensis* Bisse of the Integral Forest Enterprise Granma (EFIG), with the purpose of adjusting a model of regression of profile of the shaft for the species. For that reason 50 trees types were measured, cuts, for their later cubication. The obtained data of the trees were processed and they were object of statistical tests of lineal regression, using the package SPSS version 15.0 for Windows. The statistical of adjustment kindness and predictive capacities defined the cubic as the pattern of better adjustment given by the following equation:  $dicc/D_{1,3} = hi-1.3/ht-1.3$

**KEY WORDS:** stem taper, *Pinus maestrensis*, estimation, plantations, models

## INTRODUCCIÓN

La construcción de una ecuación de perfil del fuste se basa en la medición de diámetros, a intervalos de alturas, en una muestra de árboles representativos de algunas características de interés como: especie, región, sitio, dimensiones (Machado, 2002).

Tolosana (1987) plantea que todos esos modelos han sido probados por diferentes autores y en diferentes especies o grupos de especies forestales, usándose variantes dentro de ellos mismos.

Calliez (1980); Prodan *et al.* (1997); Bi, (2000); Letourneau y Andenmatten (2000) Fassola *et al.* (2006); Fernández y Rodríguez, (2010) coinciden que los modelos de perfil son funciones que describen tanto la forma geométrica del árbol (cilindro, cono, parábola, neiloide) como la tasa de decrecimiento o ahusamiento del diámetro a medida que se incrementa la altura.

La construcción de la ecuación del perfil del fuste se basa en las mediciones de diámetros, a intervalos de alturas, en árboles de muestra, las cuales son transformadas de manera que el conjunto de mediciones, correspondiente a cada árbol, pueda ser ajustado por una misma ecuación en dependencia de las

dimensiones absolutas de cada árbol. El procedimiento más utilizado es el de definir analíticamente la forma de la generatriz del tronco mediante alguna ecuación matemática, procedimiento que se ha dividido en dos variantes: utilizar un modelo matemático único para todo el perfil y utilizar dos o más modelos. El utilizar una ecuación única, o más de una, depende de las características de la forma de la especie, de la precisión que se quiera obtener en la estimación y del objetivo del modelo (Peñalver, 1991).

Diversos han sido los enfoques empleados para la obtención de estos modelos, pudiendo encontrar en la literatura, entre los llamados generales del árbol completo, los elaborados por Friedl *et al.* (1992) para *Araucaria angustifolia* y el desarrollado por Allen (1992) para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; entre los generales segmentados, el desarrollado para *Pinus taeda* por Costas *et al.* (2003); del tipo compatibles generales se encuentran el de Amateis-Burkhart (1987) en *Pinus taeda*; en *Pinus elliottii* por Crechi *et al.* (1997, 1998); en *Pinus caribaea* var. *caribaea* por Ferrere *et al.* (2001); en *Grevillea robusta* Crechi *et al.* (2004) y en híbridos obtenidos de *Pinus elliottii* y *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Costas *et al.* (2006).

Existen funciones de perfil ajustadas a varias especies de coníferas a nivel internacional, entre las que se encuentran las elaboradas por Laasasenaho (1982) en *Pinus sylvestris*, *Picea abies* y *Betula pendula* en Finlandia, los modelos obtenidos por Torres *et al.* (1993) para ocho especies de pinos en el estado de México; Zepeda (1993) para *Pinus patula* en Perote, Veracruz, México; Rentería *et al.* (1995) en *Pinus cooperi* para el estado de Durango, México; Návar *et al.* (1997) para *Pinus hartwegii* en el Noreste de México; el trabajo de Meredieu (1998) en *Pinus nigra*; Corral, Návar y Fernández (1999) con *Pinus cooperi*, *Pinus durangensis*, *Pinus engelmannii*, *Pinus leiophylla* y *Pinus herrerae*.

En Cuba este método ha sido desarrollado por Orquín (1987), para un número de especies. Gra (1988), logró determinar con resultados bastante buenos, a partir de la modelación del perfil del fuste del *Pinus caribaea* en plantación, los surtidos maderables de esta especie en tablas válidas para todo el país donde existen plantaciones de esta especie. Sin embargo, no se ha encontrado información sobre la existencia de modelos para bosques plantados de *Pinus maestrensis*.

El *Pinus maestrensis* posee un gran valor maderable, constituye un alto por ciento del plan de tala de la EFIG y, además, posee el mayor patrimonio plantado en el macizo montañoso de la Sierra Maestra. Por tal motivo, necesitan del estudio de modelos matemáticos de regresión para el perfil del fuste. Esta especie carece de estudios del perfil del fuste, lo que limita el manejo más eficiente con las variables dasométricas. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue ajustar un modelo de regresión para determinar el perfil de fuste de *Pinus maestrensis* Bisse en plantaciones de la Empresa Forestal Integral Granma.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Ubicación del área de estudio**

La EFIG cuenta con un patrimonio forestal de 61 842,0 ha, compuesta por 29 712,6 ha de bosques naturales, 5 675,2 ha de plantaciones jóvenes, 20 519,7 ha de plantaciones establecidas, de las cuales, de *Pinus maestrensis*, son 3 529,6 ha; lo que representa el 17,2% de patrimonio plantado de la EFIG, además, presenta un área inforestal de 1 317,8 ha y deforestadas, 4 616,7 ha. Esta EFI consta de 13 unidades empresariales de bases silvícolas (UEBS), 2 comercializadoras y la Unidad de Industria. Estas unidades son actualmente puntos de partida para la aplicación de los conceptos del desarrollo forestal sostenible. En dichas unidades existen más de 140 fincas forestales que desarrollan trabajos de protección y conservación de importantes recursos forestales y algunas especies amenazadas de extinción.

### **Diseño de muestreo**

Para definir los árboles tipos se establecieron 50 parcelas rectangulares de 500 m<sup>2</sup> donde se permitió identificar 50 árboles tipos de *Pinus maestrensis*, los que fueron apeados y medidos cada un metro de longitud del fuste total y cubitados posteriormente.

Todo ello permitió obtener una base de datos de variables dendrométricas tales, como: diámetro a 1.30 m del suelo ( $d_{1.30}$ ), diámetro a la mitad de la altura total ( $d_{1/2ht}$ ), altura total ( $h_t$ ), altura del fuste ( $h_f$ ), diámetro en cada una de las secciones

de las trozas ( $d_{icc.}$ ) y la altura correspondiente a cada una de las mediciones por cada troza ( $h_i$ )

### **Diseño estadístico**

Para la selección del modelo de mejor ajuste, se obtuvo primeramente una matriz de correlación de variables para el perfil y se identificaron como variables independientes altura total ( $h_t$ ), altura del fuste ( $h_f$ ), diámetro a un medio de la altura total ( $d_{1/2ht}$ ), diámetro en cada una de las secciones de las trozas ( $d_{icc.}$ ) y la altura correspondiente a cada una de las mediciones por cada troza ( $h_i$ ).

Para evaluar el modelo de mejor ajuste con vista a determinar el perfil del fuste, se analizaron 20 modelos de regresión, 4 de ellos de autores conocidos, 8 modelos cuadráticos y 8 cúbicos.

En la mayoría de los casos un mismo modelo fue ensayado con diferentes variables independientes.

Para el procesamiento matemático-estadístico de los resultados, se empleó el paquete estadístico SPSS, versión 15.0, mediante el cual se realizó un análisis de regresión lineal del diámetro a 1.30 m del suelo con las variables correlacionadas, para todos los casos.

La clasificación de mejor ajuste fue asignado a la correspondiente ecuación ajustada, que presentó el menor valor de la raíz de estimación cuadrática media (RECM), calculado para toda la muestra, el menor valor de la media y desviación estándar de la raíz de estimación cuadrática media (RECM) en las clases de validación, hasta completar la asignación de puntajes con el total de modelos.

De igual manera, se realizó con el análisis del sesgo el mejor ajuste, que fue asignado a la ecuación, que presentó la desviación agregada (DA) más cercana a cero, calculada para toda la muestra, el menor valor de la media en valor absoluto y desviación estándar de la desviación agregada en las clases de validación.

Finalmente, se obtuvo la sumatoria de estos puntajes para cada modelo, donde los menores puntajes finales indicaron ecuaciones más exactas. En caso de existir ecuaciones con el mismo puntaje, se optó por la expresión matemática más sencilla.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Modelos de regresión para el perfil de fuste

La estimación de los surtidos maderables se realiza mediante la construcción de un modelo matemático de perfil del fuste, tal como plantean (Prieto y López 1993; al definir una función de forma o perfil del árbol como una expresión, que relaciona los diámetros relativos o secciones relativas a lo largo del tronco con la altura relativa a que se encuentren.

En la tabla I se presenta la matriz de correlación de Pearson, donde se observa correlación con todas las variables, excepto con la altura ( $h_i$ ) a cada una de las mediciones correspondientes por cada troza y con la altura del fuste ( $h_f$ ).

Tabla I. Resultados del análisis de correlación entre las variables evaluadas

		$D_{1,3}$	$D_{1/2}$	$H_f$	Ht	dicc	$h_i$
$D_{1,3}$	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	1					
$D_{1/2}$	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	0,874(**) 0,000 50	1				
$H_f$	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	0,670(**) 0,000 50	0,661(**) 0,000 50	1			
Ht	Correlación de Pearson Sig.	0,636(**) 0,000	0,569(**) 0,000	0,951(**) 0,000	1		

<b>di</b>	<b>(bilateral)</b> <b>N</b>	50	50	50	50		
	<b>Correlación de Pearson</b>	0,643(**)	0,650(**)	0,439(**)	0,414(**)	1	
	<b>Sig. (bilateral)</b>	0,000	0,000	0,000	0,000		
<b>hi</b>	<b>(bilateral)</b> <b>N</b>	50	50	50	50	50	
	<b>Correlación de Pearson</b>	0,286(**)	0,280(**)	0,426(**)	0,408(**)	-0,421(**)	1
	<b>Sig. (bilateral)</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	<b>N</b>	50	50	50	50	50	50

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Table I. Results of the correlation analysis among the evaluated variables

Machado (2002) afirma que estas mediciones de diámetros y alturas deben ser transformadas de manera que no se trabaje con los valores absolutos de diámetros, a intervalo de alturas de cada árbol, sino que deben convertirse en valores relativos, de manera que el conjunto de mediciones correspondientes a cada árbol puedan ser ajustados por una misma ecuación con independencia de los valores absolutos, ya que todos los árboles no presentan la misma altura, ni igual diámetro en todas las secciones. La matriz de correlación de variables para el perfil del fuste está conformada con el diámetro a 1.30 m del suelo ( $d_{1.30}$ ), como variable dependiente y las variables independientes altura total ( $h_t$ ), altura del fuste ( $h_f$ ), diámetro a un medio de la altura total ( $d_{1/2ht}$ ), diámetro con corteza en cada una de las secciones de las trozas ( $d_{icc}$ ), diámetro sin corteza en cada una de las secciones de las trozas ( $d_{isc}$ ) y la altura correspondiente a cada una de las mediciones por cada troza ( $h_i$ ). Como se observa, existe correlación con todas las variables, excepto con la altura ( $h_i$ ) a cada una de las mediciones correspondientes por cada troza y con la altura del fuste ( $h_f$ ), pero existe una fuerte correlación con el diámetro a un medio de la altura total ( $d_{1/2ht}$ ) con  $r= 0,874$  y correlación media, con el diámetro con corteza ( $d_{icc}$ ) en cada una de las secciones de las trozas con  $r= 0,643$ , no siendo así con la altura correspondiente a cada una de las mediciones por cada troza ( $h_i$ ) con una correlación más baja. Esto último se justifica por la heterogeneidad de las alturas totales de los individuos en la población, de ahí la necesidad de tomar como variables dependientes las ponderaciones con el diámetro a 1,30 m y no con la altura total, como se ha empleado para otras especies, como variable independiente, una ponderación de la

altura desde la base del árbol hasta el punto donde alcanza el diámetro (d) con la altura total, para poder comparar árboles con diferentes alturas, restándole 1 a esta ponderación para lograr obtener un diámetro cero cuando la altura total se iguala a la  $h_i$ . Este procedimiento ha sido empleado con efectividad por Kozak (1969); Kozak *et al.* (1969); Max y Burkhart (1976), Barrero (2010).

En la tabla II se muestran los cinco modelos que resultaron mejor ajustados para el perfil del fuste, según el análisis de la bondad de ajuste y las capacidades predictivas con  $(d_{1.30})$ , variables combinadas como variables dependientes y la ecuación de regresión para el perfil del fuste. El modelo de mejor ajuste, como se observa en la tabla antes mencionada, es un polinómico de tercer grado. Estos resultados difieren con Cellini *et al.* (2002), quienes ensayaron modelos de perfil del fuste para la especie *Nothofagus pumilio* Poepp, en Argentina y el modelo que mejor ajuste presentó fue el de Muhairwe (1993) de exponentes variables.

**Tabla II. Cinco mejores modelos para perfil del fuste**

Modelo	RECM	DA	Ecuación
<b>Cúbico</b> <b>dicc/D<sub>1.3</sub>=</b> <b>hi-1.3/ht-1.3</b>	0,087	0,008	$\frac{d_{cc}}{d_{1.30}} = 1,002 + (-1,276) \left( \frac{h_i - 1,3}{h_t - 1,30} \right) + 0,757 \left( \frac{h_i - 1,3}{h_t - 1,30} \right)^2 + (-0,456) \left( \frac{h_i - 1,3}{h_t - 1,30} \right)^3$
<b>Cuadrático</b> <b>dicc/D<sub>1.3</sub>=</b> <b>Hi/ht-1</b>	0,093	0,009	$\frac{d_{icc}}{d_{1.30}} = 1,061 + (-0,690) \left( \frac{h_i}{h_t} \right) + (-0,208) \left( \frac{h_i}{h_t} \right)^2$
<b>Cúbico</b> <b>dicc/D<sub>1.3</sub>=</b> <b>ht-hi/ht-1.3</b>	0,087	0,008	$\frac{d_{cc}}{d_{1.30}} = 0,103 + 1,637 \left( \frac{h_t - h_i}{h_t - 1,30} \right) + (-1,585) \left( \frac{h_t - h_i}{h_t - 1,30} \right)^2 + 0,868 \left( \frac{h_t - h_i}{h_t - 1,30} \right)^3$
<b>Cuadrático</b> <b>dicc/D<sub>1.3</sub>=</b> <b>ht-hi/ht-1.3</b>	0,089	0,008	$\frac{d_{cc}}{d_{1.30}} = 0,165 + 1,004 \left( \frac{h_t - h_i}{h_t - 1,30} \right) + (-0,161) \left( \frac{h_t - h_i}{h_t - 1,30} \right)^2$

**Cuadrático** 0,089 0,008

**dicc/D<sub>1.3</sub>=**

**hi-1.3/ht-**

**1.3**

$$\frac{d_{cc}}{d_{1.30}} = 1,009 + (-0,682) \left( \frac{h_i - 1.30}{h_i - 1.30} \right) + (-0,161) \left( \frac{h_i - 1.30}{h_i - 1.30} \right)^2$$

Table II. Five better models for profile of the shaft

La tabla III muestra la validación del mejor modelo según el análisis de bondad de ajuste y capacidades predictivas para el perfil del fuste.

Tabla III. Validación del modelo de mejor ajuste para el perfil de fuste

Modelo	RECM	DA	Ecuación
<b>Cúbico</b>	0,086	0,008	
<b>dicc/D<sub>1.3</sub>=</b>			
<b>hi-1.3/ht-</b>			
<b>1.3</b>			

$$\frac{d_{cc}}{d_{1.30}} = 1,002 + (-1,276) \left( \frac{h_i - 1,3}{h_i - 1,30} \right) + 0,757 \left( \frac{h_i - 1,3}{h_i - 1,30} \right)^2 + (-0,456) \left( \frac{h_i - 1,3}{h_i - 1,30} \right)^3$$

Table III. Validation of the pattern of better adjustment for the shaft profile

Como se puede apreciar en las figura 1 el modelo de mejor ajuste coincide con la silueta del perfil del fuste de la especie, lo cual justifica el uso de este modelo en la implementación en la práctica productiva.

**Figura 1. Representación del perfil del fuste para el modelo de mejor ajuste**

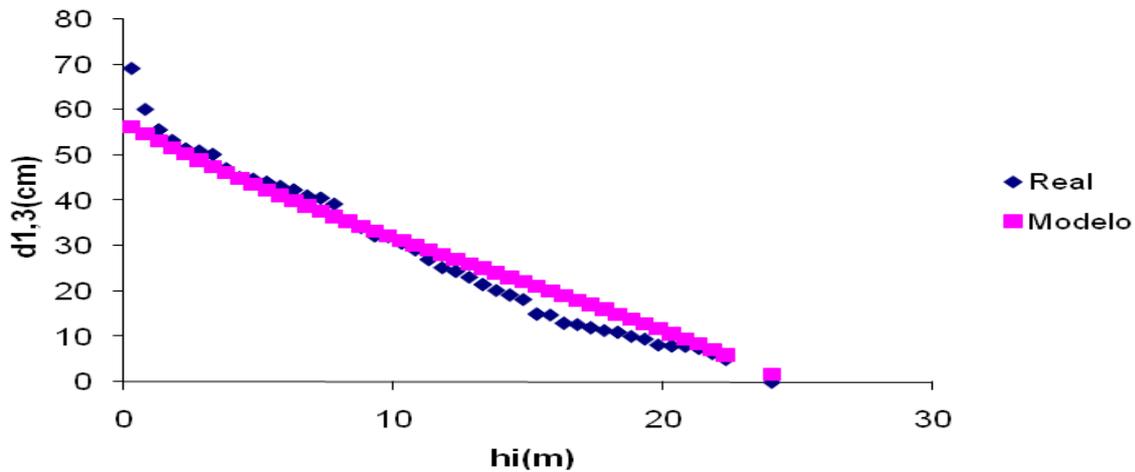


Figure 1. Representation of the profile of the shaft for the pattern of better adjustment

## CONCLUSIÓN

El modelo de mejor ajuste para el perfil de fuste de *Pinus maestrensis* Bisse en plantaciones de la EFI Granma, en la Sierra Maestra, fue el Cúbico  $d_{cc}/D_{1,3} = h_i - 1.3/ht - 1.3$  dada por la siguiente ecuación:

$$\frac{d_{cc}}{d_{1,30}} = 1,002 + (-1,276) \left( \frac{h_i - 1,3}{h_i - 1,30} \right) + 0,757 \left( \frac{h_i - 1,3}{h_i - 1,0} \right)^2 + (-0,456) \left( \frac{h_i - 1,3}{h_i - 1,30} \right)^3$$

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALLEN, P. J. Polynomial Taper equation of *Pinus caribaea*. *New Zealand Journal Forestry-Science*, 1992, 194-205. 194-225.
- AMATEIS, R. L.; BURKHART, H. E. Cubic-foot volume equations for Loblolly Pine trees in Cutover, Site-Prepared Plantations. *SJAF*, 1987, **11**(4), 190-192.
- BARRERO, H. *Modelo integral de crecimiento. Perfil del fuste, Grosor de corteza y Densidad de la madera para Pinus caribaea Morelet var. caribaea Barret y Golfari. Estudio de caso EFI Macurije. Pinar del Río.* Tesis doctoral inédita en Ciencias Forestales, UPR. 2010.

- BI, H. Trigonometric Variable-Form Taper Equations for Australian Eucalypts. *Forest Science*, 2000, **46**(3), 397-409.
- CAILLIEZ, F. *Estimación del Volumen forestal y predicción del rendimiento*. 1980. **22**(1). Estimación del Volumen. Montes. Roma: Estudio FAO.
- CELLINI, J. M. et al. Modelos de perfil de tronco en *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.). En *Krasser y su utilización en el cálculo del volumen total*. Cátedra de Dasometría. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Centro Austral de Investigaciones Científicas (CONICET) – Argentina, 2002. Disponible en: [http://www.inia.es/gcontrec/pub/cellini\\_1049](http://www.inia.es/gcontrec/pub/cellini_1049) consulta: 15/09/2012.
- COSTAS, R. et al. Funciones de forma para *Pinus taeda* L. en el Norte de Misiones. En: *10º Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales*. FCF Eldorado – INTA EEA Montecarlo. Eldorado, Misiones, 2003, p. 7 (Disponible en CD.)
- COSTAS, R. et al. Funciones de volúmenes del híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. En: *12º Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales*. FCF Eldorado – INTA EEA Montecarlo. Eldorado, Misiones, 2006, p. 10 (Disponible en CD.)
- CRECHI, E.; FRIEDL, R. A.; FASSOLA, H. E. *Manual de Descripción Técnica del Simulador Forestal de Pinus taeda 2.0*. INTA EEA Montecarlo – Facultad de Ciencias Forestales, 1997.
- CRECHI, E.; FASSOLA, H. E.; FRIEDL, R. A. *Manual de Descripción Técnica del Simulador Forestal de Pinus elliottii V 1.0*. INTA EEA Montecarlo. Facultad de Ciencias Forestales, 1998.
- CRECHI, E. et al. *Ecuaciones de volúmenes para Grevillea robusta A. en Misiones, Argentina*. INTAEEA- Montecarlo. Informe Técnico N° 56. 2004. p.12.
- FASSOLA, U.E. et al. *Ecuaciones de forma variable para la estimación de diámetros a distintas alturas para Eucalyptus grandis cultivado en la Mesopotamia Argentina*. XXI Jornadas Forestales de Entre Ríos, 2006.
- FERNÁNDEZ, A. Y RODRÍGUEZ, P. *Métodología de cubicación de árboles en pie*. 2010. Disponible en: <http://www.cesefor.com/cubifor> Consulta: 6/06/ 2010.
- FERRERE, P. et al. *Funciones de volúmenes totales, parciales y de forma en Pinus caribaea var. caribaea*. Montecarlo, EEA Montecarlo. Informe Técnico N° 26. 2001.

- GRA, A. Estudio dasométrico en plantaciones de *Pinus caribaea* var *caribaea*. Distribución de frecuencia. *Revista Baracoa*, 1988, **22**(3), 89 – 95.
- KOZAK, A.; MUNRO, D.; Y SMITH, J. Taper functions and their application in forest inventory. *Forestry Chronicle*, 1969, **45**(4), 278-283.
- LAASASENAHO, J. *Taper curve and volume functions for pine, spruce, and birch*. Commun. Inst. For. Fenn. 1982.
- LETOURNEAU, F. Y ANDENMATTEN, E. *Curvas de perfil de fuste, para la estimación de diámetros con corteza a distintas alturas, para Pino Ponderosa (Pinus ponderosa (Dougl) Laws.)* Comunicación Técnica N° 13. Área Forestal Silvicultura. Informe Técnico, 2000. p.13.
- MACHADO, G. *Diseño de Inventario Forestal continuo para la ordenación sostenible de los bosques pluvisilvas de montañas en Guantánamo*. Tesis Doctoral inédita en Ciencias Forestales, Universidad de Pinar del Río, 2002.
- MAX, T. Y BURKHART, H. Segmented polynomial regression applied to taper equation. *For. Sci.* 1985, **22**(3), 12.
- MEREDIEU, C. *Croissance et branchaison du Pin Laricio (Pinus nigra Arnold ssp. (Poiret) Maire): Élaboration et évaluation d'un système de modèles pour la prevision de caractéristiques des arbres et du bois*. Tesis doctoral inédita en Ciencias. Universidad de Claude Bernard-Lyon, 1998.
- NÁVAR, J. et al. Ajuste de siete modelos de ahusamiento a los perfiles fustales de *Pinus hartwegii* Lindl. del Noreste de México. *Agrociencia*, 1997, (31), 73-81.
- ORQUIN, J. E. *Nuevo método para la estimación de volúmenes y surtidos de árboles en pie*. Instituto de Investigación Forestal, 1987.
- PEÑALVER, A. *Estudio de crecimiento y rendimiento de las plantaciones de Eucalyptus sp de la provincia de Pinar del Río*. Tesis Doctoral inédita en Ciencias Forestales. UPR. “Hermanos Saiz Montes de Oca”, 1991.
- Prodan, M. et al. *Mensura Forestal. Serie de investigación y educación en desarrollo sostenible*. San José, 1997.
- RENTERÍA, J. B.; RAMÍREZ, H. Y ZAMUDIO, F. J. *Estimación de volumen comercial de Pinus cooperi blanco mediante modelos de ahusamiento en Durango*. II Congreso de Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Desarrollo sustentable redefiniendo el papel de los recursos forestales. Montecillo, México, 1995.

- TOLOSANA, E. *Desarrollo de funciones del perfil del fuste de volumen para la cubicación de árboles y de tarifas con clasificación de productos*. Madrid: E. T. S. Ing De Montes, 1987.
- TORRES, J. M.; MAGAÑA, T. Y VALLES, G. *Funciones de ahusamiento para 8 especies forestales del Estado de México*. I Congreso Mexicano de Recursos Forestales, Resumen de Ponencias. Saltillo, Coahuila. 1993.
- ZEPEDA, M. *Sistemas de cubicación para Pinus patula Schl*, Cham de Perote, Veracruz, 1993.

**Aceptado:** 11/02/2015