

DETERMINACIÓN DE LAS FORMULAS DE VOLUMEN DE LAS TROZAS DE *PINUS CARIBAEA* MORELET VAR. *CARIBAEA*

Dr. Juan Manuel García Delgado,¹ Dr. Osmani González Hernández,³ Dra. María Amparo León Sánchez² y Dr. Pedro Pablo Henry Torriente¹

¹ Instituto de Investigaciones Forestales. Calle 174 no. 1723 e/ 17B y 17C, Reparto Siboney, Playa, La Habana

² Universidad de Pinar del Río. Calle Martí 270 esq. a 27 de Noviembre, Pinar del Río.

³ Empresa Forestal Integral Macurije. Carretera a Mantua, Km 9, Guane, Pinar del Río.

RESUMEN

Han sido innumerables los estudios a partir de diferentes métodos para determinar con la mayor exactitud posible el volumen maderable de los bolos y trozas, resultado de la explotación del bosque y dirigidos a diferentes industrias y usos. El *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* es la especie de conífera más representada en la industria del aserrado cubana, y existe para la cubicación de las trozas un método único.

Se utiliza el estudio del perfil para obtener la expresión matemática de cada tipo de troza (base, media y rabiza) con y sin corteza, relacionando en dimensiones relativas el diámetro cada 0,25 m dividido entre el diámetro menor de la troza y el largo en cada sección dividido entre el largo total.

De la misma forma se determinan las fórmulas de volumen para cada tipo de troza y una general para todas ellas. Primeramente se obtienen los modelos matemáticos generales con y sin corteza, los cuales son del tipo siguiente:

$$\frac{dV}{dL} = 1,318 - 0,700 \times \frac{H}{L} + 0,752 \times \left(\frac{H}{L}\right)^2 - 0,273 \times \left(\frac{H}{L}\right)^3$$
$$\frac{dV}{dL} = 1,309 - 0,680 \times \frac{H}{L} + 0,741 \times \left(\frac{H}{L}\right)^2 - 0,375 \times \left(\frac{H}{L}\right)^3$$

A partir de los modelos anteriores de las trozas de *Pinus caribaea* se calculan las fórmulas de volumen, las cuales son las siguientes:

ABSTRAC

They have been many studies starting from different methods, to determine with the biggest possible accuracy the volume of the bole and log of the exploitation of the forest and directed to different industries and uses. The *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* is the species of coniferous more represented in the industry of the one sawed Cuban, nor existing for the measurement of the log an unique method. The study of the profile is used, to obtain the mathematical expression of each log type (the both extreme and the middle of the log) with and without bark, relating in relative dimensions the diameter each 0.25 divided between the diameter smaller than the log and the long one total.

In this work is determined the volume formula for each log type and for log. Also general mathematical models are obtained firstly with and without bark, which are of the following type:

$$\frac{dV}{dL} = 1,318 - 0,700 \times \frac{H}{L} + 0,752 \times \left(\frac{H}{L}\right)^2 - 0,273 \times \left(\frac{H}{L}\right)^3$$
$$\frac{dV}{dL} = 1,309 - 0,680 \times \frac{H}{L} + 0,741 \times \left(\frac{H}{L}\right)^2 - 0,375 \times \left(\frac{H}{L}\right)^3$$

From the models previous of the logs of *Pinus caribaea* the formulas of volume are calculated, which are the following ones:

$$V_{cc} = 0,7807D^2L$$

$$V_{sc} = 0,7776D^2L$$

Palabras claves: volumen, troza, perfil

$$V_{cc} = 0,7807D^2L$$

$$V_{sc} = 0,7776D^2L$$

Key words: volume, log, profile

INTRODUCCIÓN

Tratar de determinar con la suficiente exactitud el volumen de madera contenida en un cuerpo cilíndrico y no uniforme como resultan ser el bolo y las trozas que componen el fuste del árbol ha sido una tarea que ha ocupado innumerables investigaciones.

En cada caso se discuten y valoran las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos, con el único objetivo de encontrar la forma más sencilla, práctica y racional de medir el volumen de esta importante materia prima para la industria del aserrado.

Por primera vez en Cuba García (1983) utiliza el método del perfil del bolo para determinar inicialmente el modelo matemático y posteriormente, por medio de la integral doble, las fórmulas de volumen. En este caso se estudian los bolos y las trozas de *Pinus cubensis* y *Pinus tropicales*.

En sentido general –señala González (2003)– se puede inferir que la importancia de las funciones de perfil y ecuaciones de volúmenes derivadas de ellas radica en que pueden servir de un instrumento bastante flexible en los inventarios de la madera en bolo en el monte, cargaderos y patios de las industrias receptoras de la materia prima.

Se han desarrollado también otras investigaciones para el perfil del fuste de árboles en pie en la búsqueda

de pronosticar surtidos, y destaca Peñalver (1987) para el *Eucalyptus* sp, Selva y Montero (1998), Padilla (1999) y Ares (1999), para las especies de *Pinus caribaea* Morelet var. *Caribaea*, y *Pinus tropicalis* en plantaciones y bosques naturales respectivamente y más reciente Zaldívar (2001) estudió las plantaciones de la especie *Hibiscus* sp. en la provincia de Pinar del Río. Casi todos los autores anteriormente señalados han obtenido para sus especies polinomios de hasta cuarto grado.

Henry y col. (2004) realizaron estudios dirigidos a determinar las fórmulas de volumen de las trozas de las coníferas de Pinar del Río, pero emplearon modelos sin transformar y con transformación logarítmica.

Es objetivo del presente trabajo determinar, desde el método del perfil, la expresión matemática para cada tipo de troza (base, media y rabiza) de *Pinus caribaea*, elemento fundamental en la definición de tablas de volumen para la madera que realmente entra a la industria, y a partir de las cuales la definición de un indicador productivo como es el rendimiento de la materia prima se pueda calcular con la mayor precisión. Por otra parte, los estudios de optimización del aserrado exigen contar con el modelo matemático de cada tipo de troza como un elemento fundamental para poder brindar resultados confiables del aserrado de su parte cónica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Existen diversos criterios relacionados con el tamaño de la muestra para la determinación de la ecuación matemática que represente el perfil del bolo [Prodan, 1997; Lanly 1993; Zajarov, 1967]. En este caso se utiliza el tamaño de muestra definido por Zajarov (1967), el cual plantea que con 150 bolos se obtiene con la suficiente exactitud la representación matemática del perfil del bolo o de la troza.

De esta forma de cada tipo de trozas (base, media y rabiza) de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* se toman 150 trozas, es decir, 150 de la base, 150 del centro y 150 de la rabiza. A cada una de ellas se le midió el largo total y el diámetro con corteza y sin corteza cada 25 cm, y se partió siempre desde la base de la troza hasta su diámetro menor. Estas trozas proceden de la tala selectiva de la propia empresa, siendo este tipo de manejo la principal forma de extracción de madera redonda.

Posteriormente se llevaron a cabo diferentes transformaciones con el objetivo de convertir los valores absolutos de diámetro y longitud en valores relativos en busca de homogeneidad para todas las trozas [Petrobskii, 1970]. Las transformaciones realizadas se hicieron de la siguiente forma: (d_i/D) , (L_i/L) , $(L_i/L)^2$, $(L_i/L)^3$ y $(L_i/L)^4$, donde D es el diámetro con corteza y sin corteza en el extremo menor y d_i es el diámetro con y sin corteza cada 25 cm, L es la longitud total de la troza y L_i es la longitud medida cada 25 cm. El tomar como referencia el diámetro menor de la troza en el diámetro relativo como variable

dependiente se realiza, considerando que la troza entra a la sierra por ese extremo, lo que resulta esencial en los procesos de optimización.

Por lo anterior, los modelos ensayados para el ajuste están formados por la variable dependiente (d_i/D) y por la variable independiente (L_i/L) en combinación con las sus diferentes potencias. La calidad de los modelos se valora a través de los parámetros estadísticos establecidos.

$\frac{d_i}{D}$: Diámetro relativo en cualquier punto de la troza con respecto a su menor diámetro.

$\frac{L_i}{L}$: Largo relativo en cualquier punto de la troza con respecto al largo total de la troza.

Para la determinación de la fórmula de volumen de las trozas de *Pinus caribaea* con y sin cortezas se emplea la expresión [García, 1983]:

$$V = \pi/4 \int_0^L (d_i)^2 d(L_i/L) \quad [1]$$

donde todas son variables conocidas.

Para la validación de los modelos de perfil se determinaron los estadísticos de predicción más comunes encontrados en la literatura, la desviación global (DG), desviación agregada (DA), error medio absoluto (EMA) y el cuadrado medio del error (CME). Las fórmulas son las siguientes:

$$DG = \frac{\sum |Vr - Vest|}{\sum Vest} \times 100$$

$$DA = \frac{\sum (Vr - Vest)}{n}$$

$$EMA = \frac{\sum |Vr - Vest|}{n}$$

$$CME = \sqrt{\frac{\sum (Vr - Ve)^2}{n}} \times 100$$

Ve: Volumen estimado por la ecuación propuesta (m³)
n: Número de muestra.

donde:

Vr: Volumen real del bolo calculado por la fórmula de Newton (m³)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis del perfil para cada tipo de troza (base, centro y rabiza) fueron las siguientes:

Trozas de la base

Diámetro con corteza

$$\frac{di}{drc} = 1,375 - 1,016 \times \frac{li}{L} + 1,269 \times \left(\frac{li}{L}\right)^2 - 0,632 \times \left(\frac{li}{L}\right)^3 \quad [2]$$

ANOVA

TABLA 1

Análisis de varianza para diámetro con corteza

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
3	Regresión	17,089	3	5,696	3723,770	0,000
	Residual	2,937	1920	1,530E-03		
	Total	20,026	1923			

c Variables predictoras: (Constante) $\frac{li}{L}$ $\left(\frac{li}{L}\right)^2$ $\left(\frac{li}{L}\right)^3$

e Variable dependiente: DRMCC

TABLA 2

Resumen del modelo para diámetro con corteza

Modelo	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
3	0,788	0,788	0,0543

c Variables predictoras: (Constante) $\frac{li}{L}$ $\left(\frac{li}{L}\right)^2$ $\left(\frac{li}{L}\right)^3$

Diámetro sin corteza

$$\frac{di}{drc} = 1,367 - 0,996 \times \frac{li}{L} + 1,301 \times \left(\frac{li}{L}\right)^2 - 0,679 \times \left(\frac{li}{L}\right)^3 \quad [3]$$

ANOVA

TABLA 3
Análisis de varianza para diámetro sin corteza

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
3	Regresión	15,864	3	5,288	3404,304	0,000
	Residual	2,982	1920	1,553E-03		
	Total	18,847	1923			

c Variables predictoras: (Constante) $\frac{li}{L}$ $(\frac{li}{L})^2$ $(\frac{li}{L})^3$

e Variable dependiente: DRMSC

TABLA 4
Resumen del modelo para diámetro sin corteza

Modelo	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
3	0,781	0,780	0,0538

c Variables predictoras: (Constante) $\frac{li}{L}$ $(\frac{li}{L})^2$ $(\frac{li}{L})^3$

Los análisis de varianza y el resumen del modelo muestran los estadígrafos más usados para medir la calidad de las ecuaciones obtenidas en esta investigación, como son los coeficientes de determinación y el error estándar de estimación. Se demuestra una explicación de la variable diámetro relativo a partir de las longitudes relativas.

Estos modelos coinciden con los resultados en Cuba de Ares (1999),

Egas (1998) y Peñalver (1990) para la determinación del perfil del fuste de *Pinus tropicalis* y *Eucalyptus* sp. respectivamente. Esto reafirma lo planteado por Aldana y col. (1994) cuando señalan que la forma matemática que modela con mayor eficacia el perfil del fuste es un polinomio de orden indeterminado, y para esta investigación fue un polinomio de orden 3 en cada una de las trozas de la base.

Trozos del centro

Diámetro con corteza

$$\frac{di}{drc} = 1.229 - 0.262 \times \frac{li}{L} + 0.0324 \times \left(\frac{li}{L}\right)^3 \quad [4]$$

ANOVA

TABLA 5
Análisis de varianza para diámetro con corteza

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	3,004	1	3,004	4227,658	0,000
	Residual	0,564	794	7,106E-04		
	Total	3,568	795			

a Variables predictoras: (Constante) $\frac{li}{L}$

c Variable dependiente: DRCC

TABLA 6
Resumen del modelo para diámetro con corteza

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1	0,918	0,718	0,717	0,0432

a Variables predictoras: (Constante) $\frac{li}{L}$

Diámetro sin corteza

$$\frac{di}{drsc} = 1,229 - 0,253 \times \left(\frac{li}{L}\right) + 0,0257 \times \left(\frac{li}{L}\right)^2 \quad [5]$$

ANOVA

TABLA 7
Análisis de varianza para diámetro sin corteza

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
2	Regresión	3,032	2	1,516	1966,264	0,000
	Residual	0,611	793	7,709E-04		
	Total	3,643	795			

b Variables predictoras: (Constante)

c Variable dependiente: DRSC

TABLA 8
Resumen del modelo para diámetro sin corteza

<i>Modelo</i>	<i>R cuadrado</i>	<i>R cuadrado corregida</i>	<i>Error típico de la estimación</i>
2	0,705	0,704	0,044

b Variables predictoras: (Constante) $(\frac{li}{L})$ $(\frac{li}{L})^2$

Se puede plantear que el modelo que mejor describe el perfil del fuste para este tipo de troza es un polinomio de tercer grado para el diámetro con corteza, no siendo así

para el diámetro sin corteza, que es un polinomio de segundo grado, con coeficientes de determinación de 70% y un error estándar estimado de 0,044.

Trozas de la rabiza

Diámetro con corteza

$$\frac{di}{drcc} = 1,279 - 0,412 \times \left(\frac{li}{L}\right) + 0,306 \times \left(\frac{li}{L}\right)^2 - 0,175 \times \left(\frac{li}{L}\right)^3 \quad [6]$$

ANOVA

TABLA 9
Análisis de varianza para diámetro con corteza

<i>Modelo</i>		<i>Suma de cuadrados</i>	<i>gl</i>	<i>Media cuadrática</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
3	Regresión	4,426	3	1,475	4246,375	0,000
	Residual	0,294	846	3,474E-04		
	Total	4,720	849			

c Variables predictoras: (Constante) $\frac{li}{L}$ $(\frac{li}{L})^2$ $(\frac{li}{L})^3$

d Variable dependiente: DRCC

TABLA 10
Resumen del modelo para diámetro sin corteza

<i>Modelo</i>	<i>R cuadrado</i>	<i>R cuadrado corregida</i>	<i>Error típico de la estimación</i>
3	0,857	0,856	0,0334

c Variables predictoras: (Constante) $\frac{li}{L}$ $(\frac{li}{L})^2$ $(\frac{li}{L})^3$

Diámetro sin corteza

$$\frac{di}{drsc} = 1,272 - 0,397 \times \frac{li}{L} + 0,259 \times (\frac{li}{L})^2 - 0,136 \times (\frac{li}{L})^3 \quad [7]$$

ANOVA

TABLA 11
Análisis de varianza para diámetro sin corteza

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
2	Regresión	4,202	2	2,101	3597,254	0,000
	Residual	0,495	847	5,840E-04		
	Total	4,696	849			

b Variables predictoras: (Constante) $\frac{li}{L}$ $(\frac{li}{L})^2$ $(\frac{li}{L})^3$

c Variable dependiente: DRSC

TABLA 12
Resumen del modelo para diámetro sin corteza

Modelo	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
2	0,849	0,848	0,0340

b Variables predictoras: (Constante) $\frac{li}{L}$ $(\frac{li}{L})^2$ $(\frac{li}{L})^3$

Como se puede observar, el modelo que mejor describe el perfil para este tipo de troza (diámetro con corteza y sin ella) para la troza de la rabiza es un polinomio de tercer grado con coeficiente de determinación superior al 85% y un error de 0,033.

Estos modelos de perfil difieren de los determinados por García (1983) para las trozas de las especies *Pinus tropicalis* y *Pinus cubensis*, los cuales en todos los casos fueron de segundo grado.

Ecuación general para los tres tipos de trozas

Ecuación para diámetro con corteza

$$\frac{di}{drc} = 1,318 - 0,700x \frac{li}{L} + 0,752 x \left(\frac{li}{L}\right)^2 - 0,373 x \left(\frac{li}{L}\right)^3 \quad [8]$$

$$R = 0,866 \quad R^2 = 0,75 \quad R^2 \text{ corregida} = 0,748 \quad E = 0,0523$$

Ecuación para diámetro sin corteza

$$\frac{di}{drsc} = 1,309 - 0,680x \frac{li}{L} + 0,741 x \left(\frac{li}{L}\right)^2 - 0,375 x \left(\frac{li}{L}\right)^3 \quad [9]$$

$$R = 0,828 \quad R^2 = 0,68 \quad R^2 \text{ corregida} = 0,685 \quad E = 0,0596$$

Este resultado coincide con lo obtenido por Chervinskii, (1982) cuando estudió varias especies europeas. En todos los casos obtuvo ecuaciones parabólicas de tercer grado.

Fórmula de volumen para la madera en trozas de *Pinus caribaea* con y sin corteza

A partir de la ecuación [1] expresada en materiales y métodos, se sustituye el valor de d_i de las expresiones [8] y [9], y se obtiene una ecuación general del tipo siguiente:

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 \int_0^L [a_3 \left(\frac{li}{L}\right)^3 + a_2 \left(\frac{li}{L}\right)^2 + a_1 \left(\frac{li}{L}\right) + a_0]^2 d\left(\frac{li}{L}\right)$$

Resuelta la expresión algebraica, se obtiene que

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 L (a_3^2 + 2a_3a_2 + a_2^2 + 2a_3a_1 + 2a_3a_0 + 2a_2a_1 + a_1^2 + 2a_0a_2 + 2a_0a_1 + a_0^2)$$

Sustituyendo el valor de los coeficientes para las trozas con y sin corteza se calculan las fórmulas siguientes:

$$V_{cc} = 0,7807D^2L \quad [10]$$

$$V_{sc} = 0,7776D^2L \quad [11]$$

Validación de los modelos del perfil y de ecuaciones de volumen

Para realizar la validación se tomaron 35 bolos de una muestra completamente al azar para cada tipo de tro-

za de *Pinus caribaea* var. *Caribaea*. A cada uno se le midieron los mismos parámetros que a la muestra utilizada para el ajuste. Este procedimiento coincide con lo planteado por Ernest

et al. (1984) y Hair y col. (1997), que la verificación requiere de parámetros de datos independientes, los cuales no fueron usados para la estimación.

En la *Tabla 13* se presentan los estadísticos de predicción para las ecuaciones obtenidas a partir de las trozas de la base, el centro y la rabiza. Los mayores sesgos se observan para las trozas de la base, llegando a subestimar el diámetro relativo en 0,59%.

Los resultados se comportan de una manera inferior para el diámetro en el centro y la rabiza, donde alcanzan valores de 0,35% de la desviación global. La exactitud vista a través del cuadrado medio del error llegó a un 6,23%. Esto demuestra que hay una mayor estabilidad para las trozas en la rabiza y en el centro que en las de la base, lo que está influenciada por el sistema radical de esta especie, ya que según Petroskii (1970) es aquí, en el diámetro en la base donde los factores casuales tienen ma-

yor influencia. Se puede decir también que los mayores coeficientes de determinación son para los modelos de diámetro con y sin corteza en la rabiza con $R^2 = 86\%$ y $R^2 = 85\%$ respectivamente.

CONCLUSIONES

- Las ecuaciones generadas obtenidas para el *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* representan la forma geométrica de las diferentes secciones del bolo, y expresan la base matemática para elaborar los procesos de optimización del aserrado de las trozas.
- El polinomio de tercer grado es el que mejor describe el perfil longitudinal de las trozas para *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* en las condiciones actuales de producción en la Empresa Forestal Integral Macurije. Tales modelos son del tipo siguiente:

$$\frac{d_i}{d_{roc}} = 1,318 - 0,700x \frac{h_i}{L} + 0,752x \left(\frac{h_i}{L}\right)^2 - 0,373x \left(\frac{h_i}{L}\right)^3$$

$$\frac{d_i}{d_{sc}} = 1,309 - 0,680x \frac{h_i}{L} + 0,741x \left(\frac{h_i}{L}\right)^2 - 0,375x \left(\frac{h_i}{L}\right)^3$$

- Las fórmulas de volumen calculadas para las trozas con y sin corteza dan la posibilidad de elaborar las tablas de volumen de las trozas de la especie estudiada.
- A partir de los modelos matemáticos obtenidos para las trozas con y

sin corteza, se aplica la integral doble, y se obtiene la fórmula de volumen para cada una de ellas, las cuales son de la forma siguiente:

$$V_{cc} = 0,7807D^2L$$

$$V_{sc} = 0,7776D^2L$$

TABLA 13
Validación de los resultados del perfil para los tres tipos de trozas con y sin corteza del Pinus caribaea var. caribaea

Modelos	R ²	ESS	Prob	DG	DA	EMA	OME
Trozas de la base							
$\hat{d}_{iocc}/D = 1,375 - 1,016x + 1,269x^2 - 0,632x^3$	0,78	0,054	0,00	0,58	0,0066	0,039	6,23
$\hat{d}_{disc}/D = 1,367 - 0,996x + 1,301x^2 - 0,679x^3$	0,78	0,053	0,00	0,23	0,0026	0,045	6,27
Trozas medias							
$\hat{d}_{iocc}/D = 1,229 - 0,262x + 0,0324x^2$	0,72	0,043	0,00	-0,24	-0,0026	0,03	4,18
$\hat{d}_{disc}/D = 1,229 - 0,253x + 0,0257x^2$	0,70	0,044	0,00	-0,31	-0,0035	0,031	4,28
Trozas de la rabiza							
$\hat{d}_{iocc}/D = 1,279 - 0,412x + 0,306x^2 - 0$	0,86	0,033	0,00	-0,35	-0,004	0,023	3,26
$\hat{d}_{disc}/D = 1,272 - 0,397x + 0,259x^2 - 0,136x^3$	0,85	0,034	0,00	-0,23	-0,0026	0,022	3,19

BIBLIOGRAFÍA

- ALDANA, E.; M. FRÍAS; A. PEÑALVER Y A. ARES: *Manual de dasometría*, Ed. Félix Várela, La Habana, 1994.
- ARES, E.: «Tablas dasométricas, propuestas de categoría y valoración de alternativas de manejo para los pinares naturales de la EFI La Palma». Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales, Universidad de Pinar del Río, Cuba, 1999.
- CHEVINSKII, V. A.: *Troceado de bolos*, Editora de la Universidad de Voronezh, URSS, 1982.
- EGAS, A. F.: «Consideraciones para el incremento de la eficiencia de conversión de madera en rollo de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en sierras de bandas». Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales, Universidad de Pinar del Río, Cuba, 1998.
- ERNEST, S. et al.: «Volume and Value Prediction for Young. Growth True for Trees Forest», *Sci.* 3(4)871-882, 1984.
- GARCÍA, JUAN M.: «Mejoramiento del rendimiento de la madera aserrada en el troceado de los bolos y el aserrado de las trozas de *Pinus cubensis* y *Pinus tropicales*». Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales, Instituto Técnico Forestal de Voroneh, URSS, 1984.
- GONZÁLEZ, OSMANI. 2003: «Perfeccionamiento en el manejo de la materia prima para aumentar la calidad de la madera aserrada de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* en el Aserradero Combate de la Tenería, de la Empresa Forestal Integral Macurije». Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias en Ecología, Alicante, España, 2003.
- HAIR, F.; R. ANDERSON; R. TATHAM; W. BLACK: (1999): *Análisis multivariante*, 5.ª ed., Prentice Hall Iberia, Madrid, 1999.
- HENRY, PEDRO P.; O. SÁNCHEZ Y J. M. GARCÍA: «Tablas de cubicación de madera en trozas para las coníferas de Pinar del Río». Memorias III Congreso Forestal de Cuba, La Habana, 14-16 de septiembre del 2004.
- LANLY, J. P.: «La ordenación forestal sostenible: lecciones de la historia y acontecimientos recientes», *Unasyva* 46 (182):38-42, 1993.
- PADILLA, G.: «Tablas dasométricas para las plantaciones de *Pinus tropicalis* Morelet». Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales, Pinar del Río. Cuba, 1999.
- PEÑALVER, A.: «Estudio de la forma del fuste de *Eucalyptus* sp.». Informe de investigación, Facultad Forestal, Centro Universitario de Pinar del Río, Cuba, 1987.
- PEÑALVER, A. R.: «Estudios de crecimiento y de rendimiento de las plantaciones de *Eucalyptus* sp. de la provincia de Pinar del Río». Tesis en opción al grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias Forestales, Cuba, 1991.
- PETROBSKI, V. S.: *Optimización automática del troceado de bolos*, Industria Forestal, Moscú. 1970.
- PRODAN et al.: *Mensura forestal*, Instituto Iberoamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica, 1997.
- SELPA, R. y L. Montero: «Confección de tablas de volumen y surtidos para las plantaciones de *Pinus tropicalis* en la provincia de Pinar del Río». Trabajo de Diploma, 1998.
- ZAJAROV, V. K.: *Tasación forestal*, Industria Forestal, Moscú 1967.
- ZALDÍVAR, A.: «Tablas dasométricas para plantaciones de *Hibiscus elatus* en la provincia de Pinar del Río». Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales, Universidad de Pinar del Río, Cuba, 2001.