

Tablas de cubicación de *Pinus maestrensis* BISSE en La Empresa Agroforestal "Gran Piedra", Baconao

Ubication tables of *Pinus Maestrensis* Bisse in "The Gran Piedra), Baconao

Rigoberto Monier

Ingeniero Forestal, Especialista en Aprovechamiento Forestal. Empresa Agroforestal "Gran Piedra", Santiago de Cuba. Cuba.

Recibido: 2 de febrero de 2017.

Aprobado: 11 de diciembre de 2017.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue mejorar la medición y cubicación de las trozas de *Pinus maestrensis* en las condiciones de producción de La Empresa Agroforestal "Gran Piedra", Baconao. Se obtuvo una tabla de volumen *in situ* y se comparó con las utilizadas en las condiciones de producción. Con el empleo de técnicas de correlación y regresión, se determinó la ecuación de volumen de la madera en trozas, a partir de una muestra representada por un total de 215 trozas, de las cuales 140 fueron utilizadas para el ajuste y el resto, para la validación. Los resultados arrojaron que las ecuaciones definidas, a partir del diámetro corteza en la base de la troza y longitud; así como la que define el extremo menor de la troza y la longitud, fueron seleccionadas para estimar volumen sin corteza ya que alcanzaron ajustes superiores al 76 % del coeficiente de determinación y desviaciones con respecto al volumen real, inferior al 3 %, además de su aplicación práctica por ser una variable de la ecuación de fácil medición. Al comparar las ecuaciones con tablas y fórmulas de estimación de volúmenes utilizados en la

ABSTRACT

The objective of this work was to improve the measurement and cubage of the *Pinus maestrensis* logs, the production conditions of the Gran Piedra-Baconao Agroforestry Company. A volume table was obtained *in situ* and compared with those used in the conditions of production. With the use of correlation and regression techniques, the volume equation of logs was determined from a sample represented by a total of 215 logs, of which 140 were used for the adjustment and the rest for validation. The results showed that the equations defined from the diameter crust at the base of the log and length; as well as the one that defines the lower end of the log and the length were selected to estimate volume without crust, since they reached adjustments greater than 76 % of the coefficient of determination and deviations from the real volume of less than 3 %, in addition to their application practice because it is a variable of the easy measurement equation. When comparing the equations with tables and formulas for estimating volumes used in production, it turned out to be of greater accuracy.

producción, resultó ser de una mayor exactitud.

Palabras clave: cubicación; volumen; trozas; sesgo; calidad.

David, *et al.*, [2016], establece que la exactitud de la determinación del volumen es una de las principales variables de

Key words: Mensuration; volume; log; bias; quality.

INTRODUCCIÓN

La madera siempre ocupó un lugar destacado dentro de los diversos materiales utilizados por el hombre, debido a un amplio espectro de importantes características físicas y mecánicas. [Álvarez *et al.*, 2010; Álvarez, Betancourt y González, 2013]

En Cuba, la baja eficiencia de conversión en las industrias del aserrado, especialmente en establecimientos con sierra principal de banda, suscita la necesidad de tomar medidas organizativas y técnicas relacionadas con el flujo tecnológico de la producción de madera aserrada. [Alvarez, Esteves y Egas, 2016]

Entre estas medidas, se destaca mejorar la exactitud de las mediciones de la madera como materia prima en forma de troza, además de la implementación y uso de elementos de la investigación de operaciones en dichos establecimientos, coincidiendo con Pompa *et al.*, [2011], para con ello incrementar la productividad y calidad de la madera aserrada en el caso del *Pinus maestrensis*, particularmente en la provincia de Santiago de Cuba, donde esta especie es una de las de mayor perspectiva económica.

interés durante los inventarios forestales, lo cual ha sido expuesto por Henry, Sánchez y García [2004]. La estimación del volumen de las trozas con gran exactitud es un trabajo complicado, por lo que el esfuerzo de medir madera para estimar volumen se considera de gran importancia ya que las malas estimaciones, que en ocasiones ocurren en patios y acopiaderos, pueden subestimar o sobrestimar la biomasa existente. En Cuba, ha sido muy estudiada la estimación de volúmenes para bolos y trozas de las especies coníferas. Así, los trabajos desarrollados por Egas [1998], reportan importantes contribuciones al determinar fórmulas para la especie *Pinus caribaea* en la provincia de Pinar del Río, Cuba.

Estos estudios, que han sido la base para la estimación del volumen, a partir de elementos matemáticos, no se han podido integrar para obtener una fórmula de volumen para trozas que responda a todas las especies que crecen en la parte occidental del país.

En el caso de La Empresa Agroforestal "Gran Piedra", se utiliza para estimar el volumen la fórmula de Huber simple donde la variable medida es el diámetro o circunferencia a mitad de troza, además de ser necesario descontar la corteza, cortando una porción de la muestra.

Por ello, el objetivo del presente trabajo es construir una tabla de volumen *in situ* para mejorar la medición y medición de las trozas de *Pinus maestrensis* Griseb en las condiciones de producción de La Empresa Agroforestal "Gran Piedra", Baconao, con la obtención de una tabla de volumen *in situ*.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se desarrolla en La Empresa Agroforestal "Gran Piedra", Baconao. La misma se encuentra ubicada en el extremo suroeste del municipio de Santiago de Cuba, con dirección en: carretera de Siboney Km.10½. (Figura)



Fig. Ubicación de la zona de estudio.

Para la obtención de la información necesaria para desarrollar el trabajo, se utiliza, según Aldana [2010], un muestreo aleatorio simple, a partir del cual se derivaron todos los demás procedimientos de muestreo, buscando aumentar la precisión de las estimaciones y reducir los costos del levantamiento.

Así, para la determinación del número de muestra, se empleó un procedimiento similar al utilizado por Ortiz et al., [2016], al tomar una muestra piloto de 100 trozas para determinar el número de unidades representativas para el estudio, considerando un 10 % de límite del error admisible (LE), además, se utilizó la ecuación propuesta por Najera et al., (2011):

$$n = \frac{t^2 s_{\bar{x}}^2}{E^2} \quad (1)$$

$$E = (LE * \bar{X}) \quad (2)$$

Dónde: N = Número total de unidades de muestreo de la población; n = Número de unidades muestreadas; f = Fracción de muestreo; $t^2 = t$ al cuadrado del estadígrafo t de student; LE= límite del error de muestreo admitido.

En los patios de los aserraderos El Brujo y El Olimpo, se obtiene una muestra, al azar, de 170 trozas, de las cuales 30 fueron utilizadas para la validación y, el resto, (140), se utilizó para la elaboración de una futura ecuación matemática. Las mediciones del diámetro en las trozas se realizaron con forcípula en las secciones de 0,50 m. de largo, con y sin corteza, a partir de la base de la troza. El volumen de cada sección se determinó por medio de la fórmula de Smalian [Danielli *et al.*, 2016 y García *et al.*, 2017 y Murara, Rocha, Junior, 2005] y el real total por la sumatoria de cada una de las secciones, de acuerdo con la metodología propuesta por Nájera *et al.* [2012].

Para la obtención de la ecuación de volumen se utilizó el método de los mínimos cuadrados en el análisis de regresión y se definió como variable dependiente el volumen de la troza con corteza y sin ella; como variable independiente el diámetro en la base con corteza y la longitud de la troza.

Utilizando el programa estadístico *Statgrafics plus*, se desarrollaron ecuaciones de regresión, utilizadas por

[Henry, 2004; Prodan, *et al.*, 1997 y Salas, 2002], coincidiendo con los trabajos desarrollados por Pompa, *et al.* [2011].

Los modelos empleados para los ajustes fueron los siguientes:

$$V_{bsc} = a + b * DB + c * L \quad (3)$$

$$V_{bsc} = a + b * DE + c * L \quad (4)$$

$$V_{bsc} = a + b * DC + c * L \quad (5)$$

$$V_{bsc} = a + b * DB + c * DE * d * L \quad (6)$$

Donde

V_{bsc} – Volumen sin corteza, (m³); DB – diámetro en la base con corteza, m³

DE – diámetro en el extremo menor de la troza con corteza, m³; DC – diámetro en el centro de la troza, m; L – longitud de la troza, m; 0a, b, c, d – coeficientes de regresión.

La calidad de los modelos se valoró a través de las medidas de bondad de ajuste para ecuaciones de regresión, como el

coeficiente de determinación y la desviación estándar de los residuales. Para la determinación de las capacidades predictivas de los modelos, se evaluaron los parámetros: desviación global, desviación agregada, error medio absoluto y cuadrado medio del error [Barrero, 2010]. Finalmente, las ecuaciones obtenidas se compararon con las tablas y

fórmulas utilizadas comúnmente en la producción.

Para la validación de los resultados, se tuvieron en consideración los siguientes parámetros, según la metodología desarrollada por García *et al.*, [2006]

$$DG = \frac{\sum(Vr - Vest)}{\sum Vest} * 100 \quad (7)$$

Donde

DG- Desviación global

Vr- Volumen calculado a partir de la fórmula de Smalian, m³

Vest- Volumen estimado a partir de la fórmula o tabla utilizada, m³

$$DA = \frac{\sum(Vr - Vest)}{n} \quad (8)$$

Donde DA- Desviación agregada o promedio; n- número de muestras

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1, se aprecian los resultados estadísticos que describen la muestra utilizada para la elaboración del modelo matemático y para posteriormente elaborar la tabla de volumen para las trozas. Como se aprecia, los diámetros oscilan de 4.8 cm. en la sección menor de las trozas hasta 48.80 cm. en la base de

las mismas. La longitud fluctúa en un rango de 3 a 6 m.

Estos resultados señalan que existe una gran variación en los diámetros y, por ende, una gran conicidad en la especie, lo que coincide con Álvarez *et al.*, [2010] y Álvarez, Esteves y Egas [2016].

Tabla 1. Análisis descriptivo de las trozas de *Pinus maestrensis*

Variable	Número de muestras	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
DB, cm	140	34.10	7.57	19.00	48.80
DC, cm	140	14.90	2.30	9.50	19.90
DE, cm	140	8.59	1.51	5.80	11.50
Vcc, m ³	140	0.18	0.11	0.04	0.90
Vsc,	140	0.10	0.04	0.03	0.22
L	140	4.46	1.11	3.00	6.00

A partir de los datos antes señalados y aplicando la metodología de trabajo propuesta, se han construido los siguientes modelos matemáticos que posibilitan la determinación del volumen de madera de las trozas de *Pinus maestrensis*.

A) Determinación del volumen sin corteza a partir del diámetro en la base de la troza con corteza y la longitud (VSCdb)

$$VSCdb = - 0.110153 + 0.00518042 * DB + 0.00771723 * L \quad (9)$$

$$R^2 = 90.80 \quad R^2c = 90.60 \quad E = 0.015 \quad F = 627 \quad P = 0.000$$

Los resultados del ajuste de esta ecuación definen que las variables *diámetro* en la base y *longitud* explican el 90.80 % de la variabilidad del volumen sin corteza, lo cual corrobora que dicha ecuación puede

ser utilizada en la determinación del volumen de las trozas.

B) Determinación del volumen sin corteza a partir del diámetro en el extremo menor de troza con corteza y la longitud (VSCdr).

$$VSCdr = - 0.185801 + 0.0170905 * DE * L \quad (10)$$

$$R^2 = 76.80 \quad R^2c = 76.350 \quad E = 0.017 \quad F = 225.30 \quad P = 0.000$$

El ajuste para esta ecuación determina que el volumen sin corteza es explicado en un 76.60 % por la variable diámetro en el extremo menor de la troza con corteza y la longitud, por lo que puede ser utilizada para la estimación del volumen de troza, así como en la elaboración de una tabla de volumen.

En la Tabla 2, se exponen los principales resultados que caracterizan la validación de las ecuaciones obtenidas para la estimación de las trozas a partir de datos independientes, que presentan

desviaciones globales (DG) por debajo del 4 %, lo cual denota que dichas ecuaciones pueden ser utilizadas como buenas indicadoras del volumen.

Tabla 2. Validación de las ecuaciones analizadas

Ecuación	Desviación agregada (DG, %)	Desviación agregada (DA, %)
VSC = - 0.1101 + 0.0052 * DB + 0.0077 (11)	-2.32	- 0.0014
VSC = - 0.1858 + 0.0171 * DE + 0.0316 (12)	-2.08	- 0.0011
VSC = - 0.1993 + 0.0108 * DC + 0.0316 (13)	3.31	0.0034
VSC = -0.1283+0.0046*DB+0.003*DE+0.0102 (14)	-2.29	-0.0025

A partir de los resultados obtenidos, se puede apreciar que las cuatro ecuaciones alcanzan los valores de exactitud requeridos, sin embargo, las ecuaciones (11) y (12) carecen de aplicación práctica al necesitar mediciones del diámetro en el centro, la base y en el extremo de diámetro menor de las trozas con sus respectivas longitudes, lo cual dificulta la toma de la información en la madera almacenada, lo que implica la necesidad del empleo en dicha actividad de operarios calificados que sepan actuar en las condiciones mencionadas. [López *et al.*, 2017]

Por lo tanto, en el presente trabajo se ha decidido utilizar las ecuaciones (11) y (12) y comparar su bondad o exactitud con las fórmulas y tablas utilizadas en las condiciones de producción, elaboradas por Quesada [1976] y Pino [1991].

Así podemos definir que: el uso de los modelos de estimación de volúmenes puede ofrecer informaciones muy significativas que permiten una correcta planificación de las actividades relacionadas con el suministro de madera a la industria forestal, coincidiendo en este sentido con los trabajos desarrollados por Eisfeld *et al.* [2005], Souza *et al.* [2007] y Valerio *et al.* [2009].

En la Tabla 3, se puede apreciar una comparación entre modelos seleccionados con las fórmulas utilizadas en la producción, exponiendo que se aprecian resultados superiores con menores desviaciones globales que fluctúan en el rango de -2.08 a 2.32.

Estos resultados son muy similares a los obtenidos por Egas [1998], cuando, para la especie *Pinus caribaea* var. *caribaea*,

obtuvo un porcentaje de variación con respecto al volumen real de 2.32 %.

Esta ecuación incluye el diámetro en la base, la longitud y la conicidad. Resultados similares fueron obtenidos también por

Henry [2004], el cual obtuvo para las trozas de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, un 2.92 % de variación con respecto al volumen real, al medir el diámetro en el extremo menor (rabiza) en cuatro aserraderos de la provincia de Pinar del Río.

Tabla 3. Comparación de los modelos obtenidos con las fórmulas y tablas utilizadas en las condiciones de producción para *Pinus maestrensis*

Ecuación	Desviación agregada (DG, %)	Desviación agregada (DA, %)
$VSC = - 0.1101 + 0.0052 * DB + 0.0077$	-2.32	- 0.0014
$VSC = - 0.1858 + 0.0171 * Dr + 0.0316$	-2.08	- 0.0011
Tabla de cubicación para madera en bolo de coníferas Tabla Huber Compuesta	-4.50	-0.049
$V = \left(\frac{\pi}{4} \left(\frac{db+dr}{2} \right) * L \right)$ (15)	-29.60	- 0.025
$V = \frac{(G_b+4*G_c+G_a)}{6} L$ (16)	3.79	0.0039

Por otra parte, es importante definir que las ecuaciones (11) y (12) presentan las siguientes ventajas:

1. Tienen en consideración la forma de la troza
2. Estiman el volumen de la troza a partir del diámetro en la base con corteza
3. Ofrecen el volumen para el rango o limite en que comprende los volúmenes

La tabla editada por Quesada [1976], para especies coníferas, obtuvo sesgos superiores a las ecuaciones propuestas y subestima el volumen de las trozas en un - 4.41 %, lo que demuestra poca exactitud, además de su limitada aplicación práctica cuando la madera se encuentra apilada, al requerir del diámetro con corteza a 1m. de la base.

Las tablas de cubicación elaborada por Pino [1991], así como la fórmula de Smalian, son muy inexactas, al

sobrestimar el volumen en - 29.60 y - 11.50 %, respectivamente.

Se puede concluir que las ecuaciones definidas a partir del diámetro en la base, diámetro del extremo menor de la troza y la longitud, $VSC = - 0.1101 + 0.0052 * DB + 0.0077$ y $VSC = - 0.1858 + 0.0171 * Dr + 0.0316$, son seleccionadas para estimar el volumen de las trozas en las condiciones de producción para La Empresa Agroforestal "Gran Piedra", Baconao, al presentar menores variaciones en relación con el volumen real de las trozas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDANA, E. 2010. *Ordenación de Montes*. La Habana: Editorial Félix Varela.

ALVAREZ, D. A., et al. Improvement the lumber recovery factory with low environmental impact in Pinar del Río, Cuba. *The International Forestry Review*, 2010, **12** (5), 303.

ALVAREZ, D. A., BETANCOURT, Y. GONZALEZ, I. *Tecnología de la Madera*. La Habana, Cuba: Editora Félix Varela. 2013.

ALVAREZ, D., ESTEVES, I., EGAS, A. F. Aplicación del proceso de control estadístico para incrementar la calidad de la madera aserrada en la Empresa Agro Forestal Gran Piedra Baconao Santiago de Cuba. *Rev. Cubana de Ciencias Forestales*, 2016, **4**(2), 111-118.

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, Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca", 2010.

DANIELLI, F. E., et al. Modelagem do rendimento no desdobro de toras de Manilkara spp (Sapotacea) em serraria do estado de Roraima, Brasil. *Sci. For; Piracicaba*, 2016 **44**(111), 641-351.

DAVID, H. C., et al. Strategies for stem measurement sampling: A statistical approach of modeling individual tree volume. *Cerne*, 2016, **22**(3), 249-260.

EGAS, A. F. *Análisis de los rendimientos de Madera aserrada de Pinus caribaea var. Caribaea en los aserraderos de la provincia de Pinar del Río, Cuba*. Tesis desarrollada para optar por el Grado Científico de Doctor en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca", 1998.

EISFELD, R. L. et al. Modelagem do crescimento e da produção de *Pinus taeda* L. por meio de função probabilística. *Floresta, Curitiba*, 2005, **35**(2), 317-328.

GARCIA, J. M. et al. Determinación de las fórmulas de volumen de las trozas de *Pinus caribaea* Morelet var. caribaea. *Revista Forestal Baracoa*, 2006, **25**(2), 13-24.

GARCIA, X. et al. Predicción del diámetro normal, altura y volumen a partir del diámetro del tocón en especies tropicales. *Rev. Mex. Ciencias Forestales*, 2017, **8**(43)

HENRY, P. P. SANCHEZ, O., GARCIA, J. M. Tablas de cubicación de madera en trozas para las especies de coníferas de Pinar del Río. *Revista Forestal Baracoa*, 2004, **23**(2), 94-101.

LOPEZ, F. et al. Estimativa do volume de madeira para *Eucalyptus* sp. Com imagens de satélite de alta resolução espacial. *Scientia Florestalis*, 2017, **45**(114), 237-247.

MURARA, M. I., ROCHA, M. P. D., JUNIOR, R. Rendimento em madeira serrada de *Pinus taeda* para duas metodologias de desdobro. *Floresta*, 2005, **35**(3), 473-483.

NAJERA, J., et al. Tiempos y rendimientos del aserrío en la región de El Salto, Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 2011, **17**(2), 199-213.

NAJERA, J. et al. Rendimiento de la madera aserrada en dos aserraderos privados de El Salto, Durango, México. *Revista Investigación y Ciencia*, 2012, (55), 11-23.

ORTIZ, R. et al. Determinación del coeficiente y calidad del aserrío del género *Pinus* en la región Sierra Sur Oaxaca, Mexico. *Colombia Forestal*, 2016, **19**(1), 79-83.

PINO, A. *Libreta de cubicación-madera tropical en rollos*. La Habana: CIDA, 1991.

POMPA, M. et al. Un modelo dendrométrico para la estimación del diámetro normal a partir de las dimensiones del tocón. *Agrociencia*, 2011, **45** (3), 379-387.

PRODAN, M. et al. *Mensura Forestal. Editorial IICA y la GTZ*. San José, Costa Rica. 1997.

SOUZA, A. N. et al. Modelagem do rendimento no desdobro de toras de Eucalipto cultivado em sistema agro florestal. *Cerne, Lavras*, 2007, **13**(2), 222-238.

SALAS, C. Ajuste y validación de ecuaciones de volumen para un relicto del bosque de Roble-Laurel-Lingue (*Persea lingue*). *Revista Bosque*, 2002, **23** (2), 81-92. ISSN 0717-9200

QUESADA, F. Tabla de cubicación de maderas en bolos (Coníferas). La Habana, Cuba: Instituto Nacional de Desarrollo y Aprovechamiento Forestal, 1976.

VALERIO, A. F. et al. Modelagem para a estimativa do rendimento no desdobro de toras de *Araucaria angustifolia* (bertol.) kuntze. *Floresta, Curitiba, PR*, 2009, **39**(3), 619-628.