

Tabla de volumen comercial para *Pinus cubensis* en el aserrío “Omar Ranedo”, Empresa Agroforestal de Guantánamo
Commercial volume table for *Pinus cubensis* in the “Omar Ranedo” sawmill, Guantánamo Agroforestry Company

Autores: Noelandis Cantillo-Harriette¹, MSc. Ibian Leyva-Miguel², Yordan Lores-Pérez³.

Organismo: ¹Empresa Agroforestal Guantánamo. ²Universidad de Guantánamo.

³Universidad de Guantánamo.

E-mail: esp-calidad@finteg.gtm.minag.cu, ibian@cug.co.cu, yordanlp@cug.co.cu.

Resumen.

El trabajo se realizó en el aserrío “Omar Ranedo” perteneciente a la Empresa Agroforestal Guantánamo en el periodo de septiembre de 2019 a mayo de 2020, con el objetivo de actualizar las tablas de volumen comercial a partir de modelos matemáticos para *Pinus cubensis* (Jacq.) Merr. Se realizaron mediciones de diámetro a 82 trozas cada 0,50 cm, donde se caracterizó la materia prima y se determinó el volumen de la madera en bolo. Luego se ensayaron varios modelos matemáticos y se seleccionó el de mejor ajuste. Las trozas evaluadas se caracterizaron por tener un diámetro entre 5 cm hasta 45 cm y una longitud que varía desde 3,05 m hasta 7,50 m. El modelo aritmético de doble entrada de Schumacher y Hall: $V=0,0000563 \cdot d^{2,244} \cdot L^{0,531}$ fue el de mejor ajuste, con un coeficiente de determinación de 0,96, un error cuadrático medio de 0,0003 y una diferencia agregada de 0,0322.

Palabras clave: Tabla de volumen; modelo matemático; volumen comercial.

Abstract.

The work was carried out in the “Omar Ranedo” sawmill belonging to the Guantánamo Agroforestry Company, in the period from September, 2019 to May, 2020, with the aim of updating the commercial volume tables based on mathematical models for *Pinus cubensis* (Jacq.) Merr. Diameter measurements were made to 82 logs every 0,50 cm, where the raw material was characterized and the volume of the bolus wood was determined. Then several mathematical models were tested and the one with the best fit was selected. The evaluated logs were characterized by having a diameter between 5 cm and 45 cm and a length that varied from 3,05 m to 7,50 m. The Schumacher and Hall double-entry arithmetic model: $V=0,0000563 \cdot d^{2,244} \cdot L^{0,531}$, obtained the best fit, with a determination coefficient of 0,96, a mean square error of 0,0003 and an aggregate difference of 0,0322.

Keywords: volume table; mathematical model; trade volume.

Introducción.

Los bosques son de vital importancia para mantener la vida en la Tierra y desempeñan un papel importante en la lucha contra el cambio climático (ONU, 2019). Los mismos abarcan según la FAO (2020), poco más del 30% de la superficie terrestre; sin embargo, son el hábitat de la gran mayoría de las especies de plantas y animales terrestres conocidas por la ciencia.

Los bosques de pino juegan un papel importante en la economía forestal nacional, debido al uso universal de los mismos, la importancia de los pinos está subrayada más aun por su rápido crecimiento y por un porcentaje elevado de su utilización, debido al fuste recto. Por diversas razones las plantaciones realizadas en Cuba, con objetivos industriales, no han sido tratadas y cuidadas de la forma que hoy permitiesen contar con un bosque sano y vigoroso, lo cual a su vez garantiza en su procesamiento ulterior madera aserrada con un máximo de calidad (Woofdin, 2008).

El cálculo del volumen comercial de árboles derribados es un requisito básico de toda actividad forestal, la práctica requiere de un instrumento fácil, rápido y de exactitud suficiente para tal efecto, los parámetros a medir deben ser de fáciles (Leyva *et al.*, 2017).

La tabla de volumen es una presentación en forma tabular que muestra el volumen promedio de árboles de distintas dimensiones, obtenido a partir de relaciones previamente establecidas, donde el diámetro y la longitud son la información utilizada para el cálculo (Sánchez, 2012).

En el aserrío actualmente el volumen del *Pinus cubensis* de la madera en bolo se obtiene a partir de tabla de volumen basada en métodos empíricos confeccionados por MINAGRI (1976). Por lo que este trabajo tiene como objetivo actualizar la tabla de volumen comercial a partir de modelos matemáticos para *Pinus cubensis* en el aserrío “Omar Ranedo”, Empresa Agroforestal de Guantánamo.

Método o metodología.

Caracterización del área de trabajo

El trabajo se realizó en el aserrío de “Omar Ranedo”, perteneciente a la Empresa Agroforestal Guantánamo entre los meses de septiembre de 2019 a mayo de 2020, ubicado en la avenida de los estudiantes entre 6 y 7 este. Esta entidad, cuenta con 33 trabajadores, de estos 23 vinculados de forma directa a la producción y 10 de forma indirecta. El establecimiento cuenta con: un área de almacenamiento de la madera en bolo y otra para la madera aserrada al aire libre y bajo techo, un carro transportador, un guinche, una sierra de cinta, un péndulo y una canteadora.

Tamaño de la muestra

Se midieron un total de 82 trozas, donde Prodan *et al.* (1997) plantean que no existe en caso de regresiones una expresión explícita para determinar el tamaño muestral de árboles necesario para obtener una precisión dada; por lo que cuanto mayor sea el número de la muestra, más precisa será la estimación.

Caracterización de la materia prima

Se realizó un análisis descriptivo donde se caracterizó la materia prima que entró en el aserrío mediante el uso del Software estadístico SPSS Ver. (21.0). Las variables utilizadas fueron la longitud y los diámetros en los tres extremos de las trozas: diámetro fino (df), medio (dm) y grueso (dg).

Cubicación de la madera en bolo

Se emplearon las tres fórmulas más usadas para determinar el volumen (Huber, Smalian y Newton) según Aldana *et al.* (2010) y se realizó un Anova para ver si existían diferencias significativas entre cada una y determinar la mejor. Se utilizó el SPSS versión 21.0.

$$V_H = g_m * L \quad V_S = \left(\frac{g_f + g_g}{2} \right) * L \quad V_N = \left(\frac{g_f + 4g_m + g_g}{6} \right) * L$$

Donde: V - volumen de la madera en bolo (m³), (H- Huber, S- Smalian, N- Newton), g- área basal (m²), (f- fina, m- media, g- gruesa) y l - longitud de la troza, (m).

Modelos de regresión

Primeramente, se realizó una matriz de correlación donde se relacionó el volumen según Newton (V_N) con las variables: longitud (l), diámetro en la parte gruesa (dg), diámetro fino (df) y el diámetro medio (dm), para determinar cuál de esas variables se correlacionan más con el volumen.

Se ensayaron los 10 mejores modelos de mejor ajuste utilizados por Rondón (2014), Padilla (1999) y Lores (2012) para estimar el volumen comercial con corteza. La selección del mejor modelo se realizó de acuerdo con la metodología planteada por Lores (2012), la cual consiste en las siguientes cuatro etapas: cumplimiento de supuestos, bondad de ajuste, capacidades predictivas y análisis de capacidades predictivas dentro de clases de validación.

Para determinar la relación entre el volumen estimado y el volumen real se seleccionó el mejor modelo, se determinó si existen diferencias estadísticas a partir de una prueba de comparación de medias mediante un análisis de Duncan entre el volumen estimado por el modelo y el volumen real obtenido por la fórmula de Newton, dividiendo la troza en diferentes secciones, además se realizó un análisis de regresión lineal entre estos dos métodos. Se utilizó el SPSS Ver. (21.0).

Resultados y discusión.

Características de la materia prima

Teniendo en cuenta la característica de la especie evaluada en la **tabla 1** se muestra el análisis descriptivo de *P. cubensis*. Se observan los valores máximos, mínimos, media, varianza, desviación típica y el error estándar de los diámetros finos (Df), gruesos (Dg), medio (Dm) y la longitud (L). Donde el error típico es inferior a 0,81617, la longitud es la variable que menor desviación y varianza posee y el diámetro es más variable con una máxima desviación de 54,623.

Tabla 1. Análisis descriptivo de las trozas de *P. cubensis*.

Estadísticos descriptivos	L (m)	Dg (cm)	Df (cm)	Dm (cm)
Mínimo	3,05	14,00	5,00	8,00
Máximo	7,50	45,00	40,00	42,00
Media	5,38	27,66	18,84	23,27
Error típico	0,09	0,82	0,78	0,79
Desviación típica	0,89	7,39	7,03	7,14
Varianza	0,79	54,62	49,47	51,03

Las variables evaluadas siguen una distribución normal. La longitud tiene una media de 5,37 m, resultados superior a los obtenidos por Leyva *et al.* (2017) para esta especie en Yateras y Baracoa con una longitud media de 2,81 m, ya que se realizó el aprovechamiento de trozas largas, las cuales hay que trocearla antes de aserrar.

Con respecto al diámetro fino (Df), medio (Dm) y grueso (Dg) varían de 5 cm hasta 45 cm, resultados que difieren a los reportados por Leyva *et al.* (2017) ya que sus valores oscilan entre 23 y 26 cm. Esta variabilidad es un aspecto positivo ya que los resultados tienen mayor alcance para construcción de la tabla de volumen y sea más aplicable. Aunque se debe realizar un análisis sobre el diámetro mínimo de corte de esta especie ya que se están aprovechando árboles con dimensiones por debajo de las establecidas para su aprovechamiento industrial.

Cubicación de la madera en bolo

Se realizó un Anova para ver si existían diferencias entre los tres métodos más usados para determinar al volumen de madera en bolo según Aldana *et al.* (2010) por los métodos de Huber, Smalian y Newton, donde se obtuvo una probabilidad mayor de 0,05 por lo tanto no existen diferencias entre los diferentes métodos estudiados, una desviación típica inferior a 0,1604 y un error típico inferior a 0,1771 como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Análisis de Anova para determinar el volumen por diferentes métodos.

Parámetros	Media	Desviación típica	Error típico
V Huber	0,2463 ^a	0,1430	0,01580
V Smalian	0,2386 ^a	0,1400	0,01546
V Newton	0,2627 ^a	0,1604	0,01771
Media	0,24921		
F	0,000		
Sig.	0,567		

Valores de $p \leq 0.05$ indican diferencias estadísticas significativas, letras diferentes difieren significativamente.

Se pueden aplicar cualquiera de las tres fórmulas para estimar el volumen comercial, pero la de mayor media es el de Newton por tener una cubicación más rigurosa; pues por este método el sesgo es menor ya que se toman las mediciones en tres partes de la troza y

mientras más mediciones se tomen y más cortas sean las secciones, el error es menor. Estos resultados son similares a los obtenidos por Leyva *et al.* (2019) para la determinación del volumen.

Otro argumento por el cual también se decidió aplicar la fórmula de Newton es el planteado por Cailliez (1980), citado por Lores (2012) quien hizo un análisis de las cuatro formas geométricas generales a las que se pueden corresponder los fustes o las distintas partes del fuste de los árboles: cilindro, paraboloides, cono y neiloide, donde la fórmula de Huber subestima el volumen real para la forma del cono y el neiloide y la fórmula de Smalian sobreestima el volumen real para estas mismas formas, pero ambas fórmulas son exactas para el cilindro y el paraboloides y afirma que la fórmula de Newton es exacta para cualquiera de las formas geométricas del fuste.

Selección del modelo de mejor ajuste

Se realizó la matriz de correlación como se muestra en la tabla 3 de las variables independientes: longitud (L), diámetro en la parte gruesa (Dg), diámetro fino (Df) y el diámetro medio (Dm) con el volumen con corteza, según Newton (V_N). Según muestran los valores de correlación de Pearson, existe correlación con todas las variables evaluadas. Donde el diámetro grueso es la variable de mayor nivel de significación con un 0,956, resultados que son similares a los obtenidos por Rondon (2014) para *P. maestrensis* en la Empresa Agroforestales Granma.

Tabla 3. Análisis de correlación de las variables que más influyen en el volumen de la madera en bolo.

		V_N	Largo	dg	Df	Dm
V_N	Correlación	1	0,444**	0,956**	0,611**	0,737**
	Sig. (bilateral)		0,000	0,000	0,000	0,000
	N	82	82	82	82	82
largo	Correlación	0,444**	1	0,371**	0,044	0,310**
	Sig. (bilateral)	0,000		0,001	0,695	0,005
	N	82	82	82	82	82
Dg	Correlación	0,956**	0,371**	1	0,598**	0,769**
	Sig. (bilateral)	0,000	0,001		0,000	0,000
	N	82	82	82	82	82
Df	Correlación	0,611**	0,044	0,598**	1	0,617**
	Sig. (bilateral)	0,000	0,695	0,000		0,000
	N	82	82	82	82	82
Dm	Correlación	0,737**	0,310**	0,769**	0,617**	1
	Sig. (bilateral)	0,000	0,005	0,000	0,000	
	N	82	82	82	82	82

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

Por esta razón para poder determinar relaciones funcionales entre dos o más variables es necesario conocer a través del coeficiente de correlación, si estas tienen algún grado de

asociación o relación. Este coeficiente se encuentra dentro del rango de 1 a -1 y a medida que se encuentra más próximo a estos valores es más fuerte (Vidal *et al.*, 2002).

En la **tabla 4** se muestran todos los modelos que se evaluaron para *P. cubensis*, teniendo en cuenta R, R², Sx, RECM, y DA. De forma general todos los modelos excepto el número 2 tienen un alto coeficiente de regresión, mayor de 0,971 y su capacidad predictiva inferior a 0,171. Los modelos matemáticos de mejor ajuste según R y R² son el 1, 7 y el 9. Los modelos 7 y 9 son seleccionados por Padilla (1999) para las especies *P. tropicalis*, Gra *et al*; (1990) para *P. tropicalis* y *P. caribaea*, donde los modelos logarítmicos son los de mejor ajuste, debido a su mayor coeficiente de determinación y menor error típico de la estimación, como se muestra en el siguiente modelo:

$$\text{Log } v = \beta_0 + \beta_1 \text{Log } d_{1,30} + \beta_2 \text{Log } h \text{ de SCHUMACHER-HALL}$$

Se seleccionó el modelo 1: $V=0,0000563*d^{2,244}*L^{0,531}$, o sea, el modelo aritmético de doble entrada de Schumacher y Hall, de buen ajuste también, pero de menor complejidad con valores altos y muy cercanos a uno de R², además según la capacidad predictiva fue el modelo que presentó los mejores valores de la raíz del error cuadrático medio igual a 0,0003 con una diferencia agregada de 0,0322.

Tabla 4. Modelos evaluados para la estimación del volumen comercial.

#	R	R ²	Sx	RECM	DA	Ecuación
1	0,980	0,960	0,151	0,0003	0,032	$V=0,0000563*d^{2,244}*L^{0,531}$
2	0,867	0,751	0,591	0,0787	0,006	$v = \frac{dg^2 * L}{3,127 + 0,006 * dg}$
3	0,976	0,952	0,372	0,0347	0,001	$v = d^2(1,409 + 0,339 * L)$
4	0,971	0,944	0,172	0,1712	0,029	$\log(Vrt) = \log(-9,729) + 5,734 * \log(dg)$
5	0,974	0,949	0,045	0,0361	0,001	$v = \frac{dg^2}{0,270 + (-0,219 * \frac{1}{L})}$
6	0,971	0,942	0,073	0,0385	0,001	$v = 0,000116 * dg^{2,299}$
7	0,982	0,964	0,139	0,1346	0,018	$\log v = -9,729 + 5,734 \log dg + 1,542 \log h + 1,122 \log dm$
8	0,978	0,956	0,154	0,1522	0,023	$\log v = (-9,729 + 0,279) * \log(d_m * dg * h)$
9	0,982	0,964	0,139	0,1377	0,019	$\log v = (-9,729 + 5,346) * \log dg + 1,534 * \log L$
10	0,975	0,950	0,163	0,1613	0,026	$\log v = (-9,729 + 0,264) * \log(d^2h)$

Resultados similares fueron obtenidos por Rondón (2014) para *P. maestrensis* cuya ecuación es: $v = 0,002d^{1,454}*L^{0,164}$, donde el modelo aritmético de doble entrada de Schumacher y Hall fue el de mejor ajuste y a la vez uno de menor complejidad.

Relación entre el volumen estimado y el volumen real

En la **tabla 5** se observa que no existe diferencia significativa entre el volumen estimado por el modelo y el volumen real con un nivel de significación de 0,99, mayor que 0,05, un error típico inferior a 0,1772 con una desviación típica inferior a 0,1605. Esto indica que es posible utilizar el volumen estimado por el modelo en la Empresa Forestal, ya que el modelo propuesto se ajusta estadísticamente.

Tabla 5. Análisis de Anova para determinar la diferencia entre el volumen real y el volumen estimado.

Parámetros	Media	Desviación típica	Error típico
V Real	0,2627 ^a	0,1605	0,01772
V Estimado	0,2630 ^a	0,1567	0,01730
Media	0,262896		
F	000		
Sig.	0,99		

En la **figura 1** se representa el grado de correspondencia o de adecuación del modelo propuesto ($V=0,0000563 \cdot d^{2,244} \cdot L^{0,531}$) con un R^2 de 0,959. Esto indica que existe una alta correlación donde el volumen estimado se ajusta a una línea recta con respecto al volumen real de cada troza, resultados similares fueron obtenidos por Rondón (2014) para *P. maestrensis*.

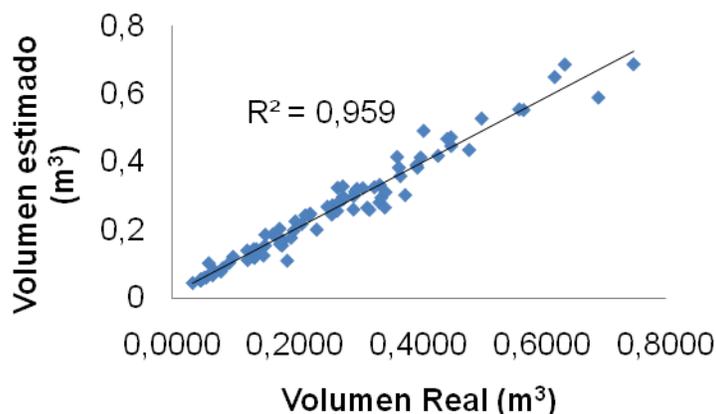


Figura 1. Relación entre el valor real y el estimado para *P. cubensis*.

Conclusiones.

1. Las trozas evaluadas de *Pinus cubensis* se caracterizan por tener un diámetro que varían desde 5 cm de diámetro hasta 45 cm y con una longitud que varía desde 3,05 m hasta 7,50 m.
2. Se seleccionó el modelo aritmético de doble entrada de Schumacher y Hall: $V=0,0000563 \cdot d^{2,244} \cdot L^{0,531}$ para determinar el volumen comercial, por tener un buen ajuste, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,96, un error cuadrático medio de 0,0003 y una diferencia agregada de 0,0322.

Bibliografía.

- Aldana, E. 2010. Medición Forestal. Editorial: Félix Varela. La Habana. 265 P.
- FAO. 2020. Estado de los bosques del mundo. Disponible en: <http://www.fao.org/publications/sofo/es/> . Consultado el 15 de septiembre del 2020.
- Gra H. K; Lockow. Vidal A; Rodríguez J; Echavarría M. y Figueroa C. 1990: Confección de tablas de volúmenes, surtido y densidad del Pinus caribaea en plantaciones puras para Cuba.
- MINAGRI, 1976. Tabla de cubicación para maderas en bolo (foliáceas). 13 P.
- Leyva M. I.; Rojas R. A.; y Segurado G. Y. 2017. Determinación del rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada en aserríos en la Provincia de Guantánamo. Tesis en opción al título de ingeniero forestal. Facultad Agroforestal de Montaña. Universidad de Guantánamo. 55 P.
- Leyva R. Y.; Leyva M. I. y Lores P. Y. 2019. Modelos matemáticos para estimar el volumen comercial de *Samanea Saman* (JACQ.) MERR. En el aserrío Omar Ranedo Empresa Agroforestal Guantánamo. Libro de Innovación Tecnológica, Vol. VIII, Cap. Ciencias de la Agricultura con ISBN: 978-959-7225-56-0.
- Lores. P. Y. 2012. Tablas dendrométricas y dasométricas de *Calophyllum antillanum* Britton, *Carapa guianensis* Aubl. y *Andira inermis* Sw. en bosques pluvisilvas de montaña de Baracoa, provincia Guantánamo. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Forestales. 169 P.
- ONU, 2019. Mantener vivos los pulmones del planeta: Cinco cosas que debes conocer sobre los bosques. Disponible en <https://news.un.org/es/story/2019/05/1456351>. Consultado 15 de septiembre del 2020.
- Padilla, G. 1999. Tablas dasométricas para plantaciones de *Pinus tropicalis* Morelet. 90 h. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Rio.
- Prodan, M.; Peters, R.; Cox, F. y Real, P. 1997. Mensura Forestal. Serie de investigación y educación en desarrollo sostenible. San José. 586 P.
- Rondón G. D. N. 2014. Tablas de volumen, coeficientes mórficos y modelo del perfil del fuste para *Pinus maestrensis* Bisse, en plantaciones de la Empresa Forestal Integral. Granma. Tesis presentada en opción al título académico de Master en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Rio. 140 P.
- Sánchez, Y. 2012. “Elaboración de tablas de volúmenes y determinación de factores de forma de las especies forestales” 250 P.
- Woofdin; R 2008. Ponderosa price lumber recovery young growth in Northern California – USDA. Forest service Research paper PNW -237. Pacific Northwest research station. Portland. Oregon. 13 P.

Fecha de recibido: 21 jun. 2020

Fecha de aprobado: 9 sept. 2020