

Revista Cubana de
Ciencias Forestales




CFORES

Volumen 12, número 1; 2024

***Predicción de los rendimientos de madera aserrada de Pinus caribaea
Morelet var. caribaea Barret & Golfari Pinar del Río, Cuba***

*Sawnwood yield prediction Pinus caribaea Morelet var. caribaea Barret & Golfari in Pinar
del Río, Cuba*

*Predição do rendimento de madeira serrada de Pinus caribaea Morelet var. caribaea Barret
& Golfari Pinar del Río, Cuba*

Ayessa Leckoundzou^{1*} , Daniel Álvarez Lazo² , Yohandys Martínez Navarro² ,

Yandilier Rojas Lorenzo² , Marcelo Adrián Espinosa Barrios² 

¹Universidad Mariem NGuabi. África.

²Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca". Pinar del Río, Cuba.

*Autor para la correspondencia: ayessa03@gmail.com

Recibido: 25/05/2023.

Aprobado: 04/04/2024.



RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue emplear modelos matemáticos para la predicción de los rendimientos de la madera aserrada a partir de parámetros dendrométricos de los árboles en pie, que permitan una adecuada definición de su potencial en el aserradero Combate de la Tenería. Los rendimientos de madera aserrada están influenciados por la posición de la troza en el fuste del árbol, con un decrecimiento en dependencia de la altura. Las cuatro ecuaciones construidas para determinar el rendimiento de la madera aserrada tienen aceptables coeficientes de correlación, determinación y bajos errores estándar de estimación. Sin embargo, el mejor comportamiento lo posee el modelo $\ln(\text{rend}) = 1,084 + 0,464 * I_n d_{1,30} 0,1201 I_n$ que tiene mejor ajuste, las variables independientes explican el 67 % y el menor valor del error estándar de estimación. En función del análisis de elasticidad se puede definir el diámetro a 1,30 m es la variable predictora de mayor influencia positiva sobre el incremento de los rendimientos de madera aserrada. La conicidad tiene un efecto negativo sobre el volumen y valor de la madera aserrada. Con la implementación del control estadístico del aserrado, se detectó que el proceso está fuera de control, lo cual implica la necesidad de realizar el análisis correspondiente para eliminar esta deficiencia.

Palabras clave: árbol, dimensiones, aserrío, eficiencia, calidad.

ABSTRACT

The objective of this study was to use mathematical models for the prediction of sawnwood yields based on dendrometric parameters of standing trees, which allow an adequate definition of their potential in the Combate de la Tenería sawmill. Sawnwood yields are influenced by the position of the log in the tree trunk, with a decrease depending on the height. The four equations constructed to determine the yield of sawnwood have acceptable correlation and determination coefficients and low standard errors of estimation. However, the best behavior is shown by the model $\ln(\text{rend}) = 1.084 + 0.464 * I_n d_{1.30} 0.1201 I_n$ which has the best fit, the independent variables explain 67% and the lowest value of the standard error of estimation. Based on the elasticity analysis, the diameter can be defined at 1.30 m,



it is the predictor variable with the greatest positive influence on the increase in sawnwood yields. Taper has a negative effect on the volume and value of sawnwood. The use of the statistical control of saw detected that the process is out of control, which implies the need to carry out the corresponding analysis to eliminate this deficiency.

Keywords: tree, dimensions, sawmill, efficiency, quality.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi utilizar modelos matemáticos para prever o rendimento da madeira serrada com base em parâmetros dendrométricos de árvores em pé, que permitam uma definição adequada do seu potencial na serraria Combate de la Tenería. O rendimento da madeira serrada é influenciado pela posição da tora no tronco da árvore, diminuindo conforme a altura. As quatro equações construídas para determinar o rendimento da madeira serrada apresentam correlação e coeficientes de determinação aceitáveis e baixos erros padrão de estimativa. Porém, o melhor comportamento é apresentado pelo modelo $\ln(\text{rend}) = 1,084 + 0,464 * \ln d_{1,30} - 0,1201 \ln h$, que apresenta o melhor ajuste, as variáveis independentes explicam 67% e o menor valor do erro padrão de estimativa. Com base na análise de elasticidade, o diâmetro pode ser definido em 1,30 m como a variável preditora com maior influência positiva no aumento do rendimento de madeira serrada. A conicidade tem um efeito negativo no volume e no valor da madeira serrada. Com a implementação do controle estatístico da serragem, detectou-se que o processo está fora de controle, o que implica a necessidade de realizar a análise correspondente para eliminar esta deficiência.

Palavras-chave: árvore, dimensões, serraria, eficiência, qualidade.

INTRODUCCIÓN

Se han realizado diferentes estudios relacionados con la determinación de los rendimientos de madera aserrada, teniendo en consideración las características de la madera en bolo, la utilización de la estadística y la programación matemática, pero presentan la limitante de



que no tienen en consideración las variables dendrométricas y la calidad de los árboles en pie, sin las cuales la planificación de las actividades relacionadas con el suministro de madera no presenta la exactitud deseada (Sharna y Zhang, 2004; Zhang *et al.*, 2005, Liu *et al.*, 2007 y Estremera y Rodríguez, 2021).

Sin embargo, en trabajos desarrollados en Canadá, Estados Unidos, Alemania, Suecia, si toman en consideración las características dendrométricas de los árboles en pie para predecir los rendimientos de madera aserrada (Zhang *et al.*, 2006 y Liu *et al.*, 2007). Así se establece que es fundamental en los procesos de aserrado de la madera tener en consideración la relación existente entre los rendimientos de madera aserrada y las características dendrométricas de los árboles.

El establecimiento de la relación entre las características de los árboles y el valor del producto pueden ser utilizados en la industria de transformación mecánica de la madera para estimar el potencial de los árboles individuales y del rodal antes de ser talados. Esta relación puede ser útil para el desarrollo estratégico del manejo forestal sostenible.

El objetivo del presente trabajo fue emplear modelos matemáticos para la predicción de los rendimientos de la madera aserrada a partir de parámetros dendrométricos de los árboles en pie que permitan una adecuada definición de su potencial en el aserradero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolla en el aserradero Combate de la Tenería de Guane, perteneciente a la Empresa Agroforestal Macurije, ubicada en la región más occidental de la provincia de Pinar del Río, abarcando partes de los territorios de los municipios Guane y Mantua.

Determinación del tamaño de la muestra e intensidad del muestreo

Los datos fueron tomados de una población de 954 árboles perteneciente a los rodales 21 y 19 del lote 22 de la Unidad Silvícola Guane, de los cuales mediante un muestreo aleatorio se tomó una muestra piloto de 58 árboles para determinar el número de unidades



representativas para el estudio, teniendo como variable de interés el diámetro a 1.30 m de altura del árbol, para determinar el número de unidades representativas para el estudio, a partir de la siguiente ecuación para población infinita (Ortiz *et al.*, 2016 y Borges *et al.*, 2019).

Ecuación 1:

$$n = \frac{t_{\alpha}^2 S^2}{E^2 + \frac{t_{\alpha}^2 S^2}{N}} \quad (1)$$

Donde: n- tamaño de la muestra; t_{α}^2 - valor tabular de t ($\alpha = 0,05$); con (n-1) grados de libertad; S^2 Varianza estimada; E Error admisible (10%); N- número total de árboles medidos.

De la cual resultó una muestra de 106 árboles que se marcaron en pie y después de ser talados se les midieron los diámetros a 1.30 m, diámetros de los extremos de las trozas y sus longitudes, se hace necesario este procedimiento de marcaje por la posterior identificación y medición de las variables en el aserrío como son la conicidad y volumen de las trozas y volumen de madera aserrada.

Modelación matemática de la influencia de los parámetros dendrométricos de los árboles en pie sobre los rendimientos de madera aserrada

Para obtener el rendimiento en porcentaje se empleó la siguiente relación a partir de los trabajos realizados por Barth *et al.* (2016); Cevallos *et al.* (2017) y Leyva *et al.* (2017). Ecuación 2:

$$R_v = \left(\frac{V_{ma}}{V_t} \right) \quad (2)$$

Donde: R_v - Rendimiento volumétrico total, %; V_{ma} - Volumen de madera aserrada, m^3 ; V_t - Volumen de madera en trozas, m^3 .

El volumen de madera aserrada total en cada troza en los aserraderos se determina sobre la base de las mediciones lineales obtenidas de la madera aserrada de acuerdo con las expresiones que se exponen a continuación (Orozco *et al.*, 2016 y Leyva *et al.* 2020). Ecuación 3:



$$Vma = \sum_{i=1}^n (a_i * g_i * l_i) \quad (3)$$

Donde: Vma - Volumen de madera aserrada de una troza, m^3 ; a , g , l ancho, grueso y longitud de la pieza i obtenida de una troza o grupo de troza, m ; n - Número de piezas aserradas de una troza

El cómputo del volumen en bruto de cada troza se efectúa a través de la fórmula de Smalian en correspondencia con los trabajos desarrollados por Alzamora *et al.* (2019) y Casagrande *et al.* (2019) Ecuación 4:

$$Vmb = ((g_1 + g_2) / 2) * L \quad (4)$$

Donde: Vmb - volumen de la en bolo (m^3); g_1 , área basal en el extremo fino (m^2); g_2 , área basal en el extremo grueso (m^2); L , longitud de la troza (m).

Para la predicción de la estimación del rendimiento de la madera aserrada se empleó la regresión lineal simple, múltiple y por pasos, teniendo en consideración los modelos que se muestran a continuación, Ecuación 5, 6, 7 y 8:

$$\ln(Rend) = b_0 + b_1 * \ln(d_{1,30}) \quad (5)$$

$$\ln_n(Rend) = b_0 + b_1 * \ln(d_{1,30}) + b_2 * \ln_{con} \quad (6)$$

$$\ln(Rend) = \ln(b_0) + (b_1 * \ln(d_{1,30})) \quad (7)$$

$$\ln(Rend) = \ln(b_0) + (\ln(b_1) * d_{1,30}) \quad (8)$$



Para la determinación de la conicidad de los árboles en pie se tomó como referencia trabajos realizados por Kozakiewicz *et al.* (2018) y Álvarez *et al.* (2020), que tienen en consideración el valor inferior de las dos primeras trozas, empleando para ello la siguiente expresión matemática Ecuación 9:

$$Con = \frac{(D_2 - D_1)}{L} \quad (9)$$

Dónde: Con-conicidad, cm /m; D_1 -Diámetro menor de la troza, (cm); D_2 - Diámetro mayor de la troza, (cm); L - Longitud de la troza, (m)

Como variables independientes o predictoras se utilizaron diámetros a la altura de 1.30 m ($d_{1.30}$), la altura del fuste (comercial) y la conicidad y se utilizó como variable de respuesta o dependiente el rendimiento de la madera aserrada.

En la determinación de la calidad de los modelos planteados se tuvieron en consideración los siguientes aspectos:

Supuestos teóricos: normalidad, homocedasticidad e independencia serial de los residuos mediante la prueba de Durbin Watson. La presencia de multicolinealidad entre las variables predictoras, es evaluada mediante el factor de inflación de la varianza (VIF) (Maddala, 1996 y Najera *et al.*, 2012), asumiéndose para aquellas ecuaciones que presentaron un VIF superior a 10 para algunas de sus variables independientes

Bondad de ajuste: coeficiente de determinación ajustado (R^2 adj), el error estándar de la estimación (S_x) y la significación estadística de los coeficientes de regresión ajustados. Aquellos modelos que presentaron al menos un parámetro no significativo distinto de cero fueron eliminados.

Validación de los modelos de regresión

Se plantea que el proceso más importante después de que se ha obtenido un modelo es el de validación. Su principal objetivo es asegurar que los resultados sean generalizados a toda la población y no específicos de la muestra utilizada en la estimación (Hair *et al.*, 1999).



Los datos empleados para la validación son diferentes de los utilizados para el ajuste de los modelos; coincidiendo con los planteamientos de Alder (1980). Se emplearon el sesgo y el error cuadrado medio como estadísticos de predicción Ecuación 10:

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)}{N} \quad (10)$$

Donde: \bar{E} - sesgo; Y_i - valor observado; \hat{Y}_i - valor predicho; N - número total de datos empleados Ecuación 11:

$$EMC = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{N - P} \quad (11)$$

Donde: EMC-error cuadrado medio; Y_i - valor observado; \hat{Y}_i - valor predicho; N - número total de datos empleados; P - número total de parámetros a estimar

Modelo de evaluación utilizando el análisis de elasticidad

Los rendimientos en valores de la madera aserrada a partir de árboles individuales se cuantificarán en función del diámetro a 1.30 m, el diámetro de la rabiza del árbol, la altura total del árbol, la altura de la primera rama del árbol, la altura de la copa del árbol y la conicidad del fuste; por lo que se tiene la siguiente expresión; coincidiendo con Zhang *et al.* (2005). Ecuación 12:

$$R_f = f(d_{1.30}, Con) \quad (12)$$

Donde: R_f - Representa los valores del Con- Conicidad del fuste, (cm/m).

Las elasticidades de las salidas se determinaron de las siguientes maneras Ecuación 13 y 14:

Para $d_{1.30\text{ m}}$

$$E(Rend, d_{1.30}) = \left(\frac{\partial Rend}{\partial d_{1.30}} \right) \left(\frac{d_{1.30}}{Rend} \right) \quad (13)$$

Para la conicidad

$$E(Rend, Con) = \left(\frac{\partial Rend}{\partial Con} \right) \left(\frac{Con}{Rend} \right) \quad (14)$$



Determinación de la variación de aserrado a partir de la implementación del control estadístico del proceso de aserrado

Para la realización del análisis pertinente, en el aserradero Combate de la Tenería, se han tomado 100 piezas aserradas de *Pinus caribaea* coincidiendo con la metodología propuesta por Leyva *et al.* (2017) y Álvarez *et al.* (2020).

A cada pieza de madera aserrada, se le tomaron seis mediciones, tres en cada canto, en forma equidistante a lo largo de las mismas, teniendo el cuidado de establecer una secuencia permanente de las mediciones respecto a la dirección de salida de las piezas de la sierra, con el objetivo de identificar eventuales problemas en los equipos. Las mediciones se realizan con un pie de rey hasta la precisión de la décima de milímetro, en áreas de madera sana, evitando nudos, pudriciones y otros defectos.

Debido a la complejidad y volumen de los cálculos, sobre todo en el cómputo de las variaciones de grosor en el aserrío cuando se dispone de una muestra grande, fue necesario encontrar una herramienta ágil y factible para el procesamiento de los datos, por lo que se utiliza el programa CONTROL (Álvarez *et al.* 2020)

Para ello, se utilizó el software Control versión 5.1 que permite determinar las dimensiones óptimas de aserrío; así como la determinación de la variación en grosor, el cual se basa en la formulación planteada por Brown (1986) y Álvarez *et al.* (2020), para el cálculo de la dimensión óptima del surtido y de otros parámetros que a continuación se describen Ecuación 15:

Cálculo de la dimensión óptima (D_o)

$$D_o = \frac{DF+TC}{(1-\%C)} + Z * St \quad (15)$$

Dónde: D_o -Dimensión óptima de corte de madera verde, mm; DF- Dimensión final, mm; TC- Tolerancia por cepillado en ambos lados del surtido, mm; %C- Tolerancia por contracción de la madera, %; Z- factor de dimensión mínima aceptable (adimensional); St- Variación total de aserrado, mm Ecuación 16, 17 y 18:

$$St = \sqrt{Sd^2 + Se^2} \quad (16)$$



Sd- desviación estándar del proceso de aserrado dentro de las piezas (mm);

Se- desviación estándar del proceso de aserrado entre piezas, mm.

$$Sd = \sqrt{S^2} \quad (17)$$

$$Se = S^2(\bar{x}) - \frac{sd^2}{n} \quad (18)$$

Donde: S^2 representa la varianza de las medias de los grosores de cada pieza muestreada; n - número de mediciones por pieza.

Por otra parte, se debe tener en consideración la variable dimensión crítica (D_c), que está relacionada con la dimensión de la madera verde, si se pudieran producir piezas sin variación de aserrado. La expresión matemática que posibilita determinar esta dimensión es la siguiente ecuación 19:

$$D_c = \frac{DF+TC}{(1-\%C)} \quad (19)$$

Los datos de las muestras analizadas son procesados a partir del programa CONTROL, considerando los siguientes aspectos específicos:

DF = 25 mm;

TC = 0;

C- Contracción tangencial de la madera de *Pinus caribaea* de 4,30 % según Ibáñez (1975); Z- 5 % de acuerdo con Zavala (1991), Nájera (2011) y Álvarez *et al.* (2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de los rendimientos de madera aserrada

En la Figura 1, se aprecia que los rendimientos de madera aserrada van decreciendo desde la base hasta la rabiza; lo cual es consecuencia directa del aumento de la conicidad por el decrecimiento de los diámetros con la altura; esto coincide con Najera *et al.* (2012).



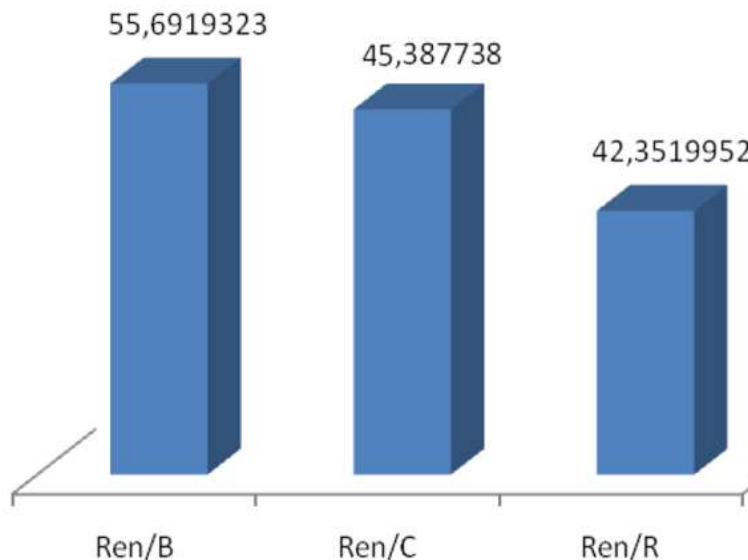


Fig. 1. - Frecuencia del rendimiento en diferentes posiciones del fuste del árbol. Ren/B-rendimiento en la base (%); Ren/C- rendimiento en el centro (%); Rend/R-rendimiento en la parte superior (8 %).

Los resultados antes expuestos demuestran que el diámetro es una variable dendrométrica que presenta una relación directa con los rendimientos de madera aserrada, lo cual fue similar a lo reportado por Ortiz *et al.* (2016), Álvarez *et al.* (2020) y Leyva *et al.* (2020).

En la medida que el diámetro aumenta, también se incrementa el rendimiento de las trozas en el aserrado. Lo que implica en el procesamiento de madera de pequeñas dimensiones, bajos niveles de rendimiento y menos ganancia para el aserradero.

Modelos para estimar el rendimiento de madera aserrada a partir de las variables dendrométricas

Utilizando las variables independientes de mayor relación con la variable dependiente y de respuesta se obtuvieron ecuaciones de estimación del rendimiento de madera aserrada, los modelos comparados se observan en la Tabla 1, con sus respectivos coeficientes de determinación (R^2) y error estándar de estimación (S).



Tabla 1. - Modelos para determinar el rendimiento de la madera en árboles en pie

Modelos de regresión		R ²	S
$L_n(\text{rend}) = 1,013 + 0,0519 * l_n d_{1,30}$	(20)	0,657	0,032
$L_n(\text{rend}) = 1,084 + 0,464 * l_n d_{1,30} - 0,1201 l_n \text{Con}$	(21)	0,671	0,031
$L_n(\text{rend}) = l_n 7,27119601 + (1,02303964 * l_n (d_{1,30}))$	(22)	0,654	0,11
$L_n(\text{rend}) = l_n 0,16089255 + (l_n (1,2660825) * d_{1,30})$	(23)	0,657	0,11

Las cuatro ecuaciones construidas para determinar el rendimiento de la madera aserrada tienen aceptables coeficientes de correlación, determinación y bajos errores estándar de estimación. Sin embargo, el mejor comportamiento lo posee el modelo (20):

$L_n(\text{rend}) = 1,084 + 0,464 * l_n d_{1,30} - 0,1201 l_n$ que tiene mejor ajuste (las variables independientes explican el 67 % y el menor valor del error estándar de estimación.

El presente modelo cumple, además, con los supuestos de independencia de Durbin-Watson con un valor de 2,038, la homogeneidad de la varianza y el supuesto de multicolinealidad con una tolerancia de 0,308.

En la Tabla 2, se aprecia la capacidad de predicción del modelo que aporta los mejores resultados, apreciando los bajos valores del error cuadrado medio, sesgo y desviación estándar de los residuos. Estos resultados expuestos se corresponden con los obtenidos por Sánchez *et al.* (2003).

Tabla 2. - Capacidad predictiva del modelo seleccionado

Modelo	Ajuste			Validación		
	EMC	\bar{E}	S_y	EMC	\bar{E}	S_y
$L_n(\text{rend}) = 1,084 + 0,464 * l_n d_{1,30} - 0,1201 l_n \text{Con}$	$9,8 \times 10^{-4}$	2×10^{-7}	0,032	0,001	0,408	0,0315



Modelo de evaluación utilizando el análisis de elasticidad

Las relaciones derivadas de los modelos de regresión se pueden utilizar para caracterizar algunas propiedades, entre las que se destacan las elasticidades y la interacción entre las variables dependientes e independientes (Liu *et al.*, 2007).

Las elasticidades de las salidas en el modelo $\ln(\text{rend}) = 1,084 + 0,464 * \ln d_{1,30} - 0,1201 \ln \text{con}$ con en el caso de madera aserrada se ilustran de la siguiente manera Ecuación 20 y 21:

Para $d_{1,30 m}$

$$E(\text{Rend}, d_{1,30}) = \left(\frac{\partial \text{Rend}}{\partial d_{1,30}} \right) \left(\frac{d_{1,30}}{\text{Rend}} \right) = b_1 = 0,464 \quad (20)$$

Para la conicidad

$$E(\text{Rend}, \text{Con}) = \left(\frac{\partial \text{Rend}}{\partial \text{Con}} \right) \left(\frac{\text{Con}}{\text{Rend}} \right) = b_2 = -0,120 \quad (21)$$

La contribución de las variables predictoras sobre el rendimiento de la madera aserrada es de:

0,464 $d_{1,30 m}$

- 0,120 para la conicidad

Lo cual indica que el $d_{1,30 m}$ es el factor de mayor significación e influencia sobre el volumen de madera aserrada producida de manera positiva. Por otra parte, la Conicidad presenta un efecto negativo, lo que posibilita establecer que los rendimientos de madera aserrada decrecen con un incremento de la conicidad (Tong y Zhang, 2006).

El valor relativo de la madera aserrada presenta un incremento en función del $d_{1,30 m}$, que se cuantifica a partir de la siguiente expresión matemática Ecuación 22:

$$\left(\frac{\partial \text{Rend}}{\partial \text{Rend}} \right) = 0,464 \left(\frac{\partial \text{Rend}}{\partial d_{1,30}} \right) \quad (22)$$

Lo cual establece que el incremento de un 1 % del $d_{1,30}$ puede ocasionar un incremento aproximado del 0,464 % del rendimiento en valor de la madera aserrada, lo cual denota una contribución positiva del $d_{1,30 m}$ sobre la magnitud del valor de la madera aserrada.



Es significativo definir que la conicidad presenta un efecto inverso tal y como se expone en la siguiente expresión matemática Ecuación 23:

$$\partial Rend / Rend = -0,120 (\partial rend / Con) \quad (23)$$

Con lo cual se establece que el incremento en 1 % de la conicidad provoca un efecto negativo o reducción de los rendimientos en valores de la madera aserrada en el -0,120 %; coincidiendo con Zhang *et al.* (2006).

Control estadístico del proceso de corte en el aserradero Combate de la Tenería de Guane

En el aserradero Combate de la Tenería, perteneciente a la EAF Macurije, Pinar del Río, existe un sobredimensionamiento generalizado de la madera aserrada, lo cual se aprecia en la Tabla 3. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Álvarez *et al.* (2020) y Leyva *et al.* (2020).

Tabla 3. - Resultados relacionados con el análisis de la variación de aserrado en el aserradero Combate de la Tenería

Parámetros	Piezas de 25 mm de grosor	
	Pieza de 3 m de longitud	Pieza de 4 m de longitud
Dimensión óptima (Do), mm	26,40	27,50
Dimensión final (Df), mm	25,00	25,00
Dimensión óptima (Do), mm.	26,30	27,54
Dimensión crítica (Dc), mm.	25,48	25,48
Variación dentro de las piezas (Sw), mm	0,00371	0,0726
Variación entre piezas (Sb), mm	0,0210	0,07
Variación total del proceso (St), mm.	0,0427	0,11

De acuerdo con los valores medios de grosor para las piezas representadas en la Tabla 3, se muestran valores para la especie, por encima de lo establecido como dimensión final (25 mm), con variaciones mayores a 1,5 mm, representando una considerable pérdida de



madera aserrada, lo cual implica la necesidad de desarrollar en el aserrío el proceso de control estadístico del proceso; coincidiendo con Barrera *et al.* (2016).

El empleo del programa Control para la determinación de las dimensiones óptimas de madera aserrada, así como la construcción de gráficos de control (Figura 2 y Figura 3). Esto constituye una herramienta adecuada para tomar decisiones dirigidas a aumentar los rendimientos y calidad de la madera aserrada; exponiendo que la automatización constituye una excelente herramienta para el manejo de datos y toma de decisiones en los aserraderos.



Fig. 2. - Exposición gráfica de la variación de aserrado para piezas de 3 m de longitud





Fig. 3. - Exposición gráfica de la variación de aserrado para piezas de 4 m de longitud

CONCLUSIONES

Las contribuciones de las variables predictoras en los rendimientos de madera aserrada indican que el diámetro a 1,30 m es el factor de mayor significación,

En función del análisis de elasticidad se puede definir el diámetro a 1,30 m la variable predictora de mayor influencia positiva sobre el incremento de los rendimientos de madera aserrada.

El empleo del programa Control para la determinación de las dimensiones óptimas de madera aserradas, así como la construcción de gráficos de control, constituye una herramienta adecuada para tomar decisiones dirigidas a aumentar los rendimientos y calidad de la madera aserrada.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDER, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Estudios FAO. Montes 22/2, Roma. Italia. 118 p.
- ÁLVAREZ LAZO, D., DOMINGOS SEBASTIAO, J.D., NAZARE BUANGA LELO, F.N., SILVA FUENTES, S. y ESTEVES VALDES, I., 2020. Análisis de la calidad del aserrado de maderas tropicales en Cabinda, Angola. Revista Cubana de Ciencias Forestales [en línea], vol. 8, no. 1, [consulta: 20 junio 2023]. ISSN 2310-3469. Disponible en: <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/452>.
- ALZAMORA, R.M., PINTO, A., ULLOA, C. y AGUILERA, A., 2019. Modelamiento de la eficiencia productiva de trozas de lenga (*Nothofagus pumilio*) destinadas a la producción de madera aserrada en la Patagonia chilena. Madera y bosques [en línea], vol. 25, no. 3, [consulta: 20 junio 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/617/61762764005/>.
- BARRERA BUSTAMANTE, A., ÁLVAREZ LAZO, D., PEÑALVER ROMERO, A., LECKOUNDZOU, A., RAMÍREZ LARA, A. y FERNANDO EGAS, A., 2016. Aplicación del proceso de control estadístico para incrementar la calidad de la madera aserrada en La Empresa Forestal Integral Gran Piedra Baconao Santiago de Cuba. Revista Cubana de Ciencias Forestales [en línea], vol. 4, no. 1, [consulta: 20 junio 2023]. ISSN 2310-3469. Disponible en: <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/143>.
- BARTH, S.R., GIMÉNEZ, A., JOSEAU, M., GAUCHAT, M.E., y D. VIDELA, 2016. Influencia de la densidad de plantación y la posición sociológica en el rendimiento y la calidad de madera aserrada de *Grevillea Robusta* A. [en línea], vol. 24, no. 1-2, Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/346939233_Influencia_de_la_densidad_de_plantacion_y_la_posicion_sociologica_en_el_rendimiento_y_la_calidad_de_madera_aserrada_de_Grevillea_Robusta_A.



BORGES DE LIMA, R., CARACIOLO FERREIRA, R.L., ALEIXO DA SILVA, J., CARNEIRO GUEDES, M., SILVA DA SILVA, D., PEREIRA DE OLIVEIRA, C., GALVÃO RABELO, F. y CRUZ SILVA, L.F. da, 2019. Effect of species and log diameter on the volumetric yield of lumber in northern Brazilian Amazonia: preliminary results. *Journal of Sustainable Forestry* [en línea], vol. 38, no. 6, DOI 10.1080/10549811.2019.1636661. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/334057755_Effect_of_species_and_log_diameter_on_the_volumetric_yield_of_lumber_in_northern_Brazilian_Amazonia_preliminary_results.

BROWN, T.D., 1986. Lumber Size Control [en línea]. Estados Unidos: Forest Research Lab, College of Forestry, Oregon State University. Disponible en: https://books.google.com.cu/books/about/Lumber_Size_Control.html?id=8uUOAQAAMAAJ&redir_esc=y.

CASAGRANDE STRAGLIOTTO, M., COSTA OLIVEIRA, A., CORRADI PEREIRA, B.L. y MELO FREITAS, J., 2019. Yield in sawnwood and residue utilization of *Quarea paraenses* Ducke and *Erismacitum* Warn. *Floresta* [en línea], vol. 49, no. 2, Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/867b/46d1bb2fcee9501a054d6cf4fe2778360cb.pdf>

CEVALLOS, E., LARA, X., MOROCHO, J., DÁVALOS, M., SALAZAR, E. y LARA, S., 2017. Estudio de tiempos y rendimientos en la transformación de trozas de madera *Pinus Radiata* D. Don (Pino) en tablas para la elaboración de pallets. *European Scientific Journal* [en línea], vol. 13, no. 10, Disponible en: <https://eujournal.org/index.php/esj/article/download/9144/8683>.

ESTREMER, D., RODRIGUEZ, Y. 2021. Modelos matemáticos para la predicción de los rendimientos y calidad de la madera aserrada. *Ciencia Y Progreso*, v. 6, n. 13. Disponible en: <https://cienciayprogreso.cug.co.cu:443/index.php/Cienciaprogreso/article/view/381>



- HAIR, J.F., 1999. Análisis multivariante [en línea]. España: Pearson Educación. ISBN 978-84-8322-035-1. Disponible en: https://books.google.com.cu/books/about/An%C3%A1lisis_multivariante.html?id=QV4INQAACAAJ&redir_esc=y.
- IBÁÑEZ, A. 1975. Informe sobre nueve especies maderables cubanas. Instituto de Investigaciones Forestales. Ministerio de la Agricultura. Ciudad Habana, Cuba. 55 pp
- KOZAKIEWICZ, P., RÊBKOWSKI, B., KOCZAN, G. y KRZOSEK, S., 2018. Influence of machining technologies and quality of logs on material losses of typical supply of Scots pine wood (*Pinus sylvestris* L.) destined for layered floorboards. *Folia Forestalia Polonica, Series A* [en línea], vol. 60, no. 4, DOI 10.2478/ffp-2018-0025. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/330196421_Influence_of_machining_technologies_and_quality_of_logs_on_material_losses_of_typical_supply_of_Scots_pine_wood_Pinus_sylvestris_L_destined_for_layered_floorboards.
- LEYVA MIGUEL, I., ROJAS ROMERO, A. y SEGURADO GIL, Y., 2017. Determinación del rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada en aserríos en la Provincia de Guantánamo. *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFOREs* [en línea], vol. 5, no. 3, [consulta: 21 junio 2023]. ISSN 2310-3469. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6222088>.
- LEYVA MIGUEL, I., ÁLVAREZ LAZO, D., LA O MUNDIS, Y., CÉSPEDES CORREA, G. y SEGURADO GIL, Y., 2020. Rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada de Samanea saman Jacq. en el Aserradero de la Empresa Agroforestal Guantánamo. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* [en línea], vol. 8, no. 3, [consulta: 21 junio 2023]. ISSN 2310-3469. Disponible en: <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/579>.
- LIU, C.M., ZHANG, S.Y., CLOUTIER, A. y RYCABEL, T., 2007. Modeling lumber value recovery in relation to selected tree characteristics in black spruce using the Optitek sawing simulator. *Forest Products Journal* [en línea], vol. 57, no. 4, Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/237079761_Modeling_lumber_value_re



covery_in_relation_to_selected_tree_characteristics_in_black_spruce_using_the_Optitek_sawing_simulator.

MADDALA, G.S., 1996. Introducción a la econometría [en línea]. México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. ISBN 978-968-880-697-5. Disponible en: https://books.google.com.cu/books/about/Introducci%C3%B3n_a_la_econometr%C3%ADa.html?id=5915OwAACAAJ&redir_esc=y.

NÁJERA LUNA, J.A., AGUIRRE CALDERÓN, O.A., TREVIÑO GARZA, E.J., JIMÉNEZ PÉREZ, J., JURADO YBARRA, E., CORRAL RIVAS, J.J. y VARGAS LARRETA, B., 2011. Rendimiento volumétrico y calidad dimensional de la madera aserrada en aserraderos de El Salto, Durango. Revista mexicana de ciencias forestales [en línea], vol. 2, no. 4, [consulta: 21 junio 2023]. ISSN 2007-1132. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-11322011000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

OROZCO CONTRERAS, R., HERNÁNDEZ DÍAZ, J.C., NÁJERA LUNA, J.A., DOMÍNGUEZ CALLEROS, P.A., GOACHE TELLES, J.R., LÓPEZ SERRANO, P.M. y CORRAL RIVAS, J.J., 2016. Rendimiento en calidad de la madera aserrada de pino. Revista Mexicana de Ciencias Forestales [en línea], vol. 7, no. 36, pp. 37-50. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-11322016000400037&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

ORTIZ BARRIOS, R., MARTÍNEZ, S.D., VÁZQUEZ RABANALES, D.E. y SANTIAGO JUÁREZ, W., 2016. Determinación del coeficiente y calidad de aserrío del género Pinus en la región Sierra Sur, Oaxaca, México. Colombia Forestal [en línea], vol. 19, no. 1, [consulta: 21 junio 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/4239/423943446006/html/>.

SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, F., RODRÍGUEZ SOALLEIRO, R., ROJO ALBORECA, A., ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J.G., LÓPEZ SÁNCHEZ, C.A., GORGOSO VARELA, J.J. y CASTEDO DORADO, F., 2003. Crecimiento y tablas de producción de Pinus radiata D. Don en Galicia. Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales [en línea], vol.



12, no. 2, [consulta: 21 junio 2023]. ISSN 1131-7965. Disponible en:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=654359>.

SHARNA, M., ZHANG, S. Y. 2004. Variable exponent taper equation for jack pine, black spruce and balsam fir in eastern Canada. *Forest Ecology and Management*, n. 198, p. 3953.

TONG, Q. J., ZHANG, S.Y. 2006. Modelling simulated product value recovery in relation to tree characteristics in jack pine using Optitek. *Forest Product Journal*, v. 56, n. 1, p. 66-72.

ZAVALA ZAVALA, D., 1991. Manual para el establecimiento de un sistema de control de la variación de refuerzos en madera aserrada [en línea]. Chapingo, México: UACH. División de Ciencias Forestales. Serie de Apoyo Académico, 44, Disponible en: <https://chapingo.orex.es/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=3641>. Folleto 12962

ZHANG, S.-Y. y TONG, Q.-J., 2005. Modelling lumber value recovery in relation to selected tree characteristics in jack pine using Optitek sawing simulator. *Ann. For. Sci.* [en línea], vol. 62, Disponible en: <https://hal.science/hal-00883877/document>.

ZHANG, S. Y., LEI, Y. C., JIANG, Z. H. 2006. Modelling the relationship of tree-level product value with tree characteristics in black spruce. *The Forestry Chronicle*, v. 82, n. 5, p. 630-699. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/272900028_Modelling_the_relationship_of_tree-level_product_value_with_tree_characteristics_in_black_spruce

Conflictos de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.





Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0
Internacional.

