

Análisis de la calidad del aserrado de maderas tropicales en Cabinda, Angola

Quality analysis of tropical wood sawing in Cabinda, Angola

Análise da qualidade do serrado de madeiras tropicais em Cabinda, Angola

Daniel Álvarez Lazo^{1*}  <https://orcid.org/0000-0001-7627-0152>

José Domingos Sebastiao²  <https://orcid.org/0000-0002-9974-2906>

Francisco Nazare Buanga Lelo²  <https://orcid.org/0000-0003-0406-5314>

Solange Silva Fuentes³  <https://orcid.org/0000-0003-1884-7261>

Ignacio Esteves Valdés⁴  <https://orcid.org/0000-0001-8143-8466>

¹Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca", Pinar del Río, Cuba.

²Instituto Superior Politecnico de Cabinda, Angola.

³Empresa AgroForestal Matanzas, Cuba, Matanzas.

⁴Universidad Estatal del Sur de Manabi, Ecuador.

*Autor para la correspondencia: daniel@upr.edu.cu

Recibido: 2 de mayo de 2019.

Aprobado: 31 de octubre de 2019.

RESUMEN

El trabajo se ha realizado en el aserradero Amorim, ubicado en la ciudad de Cabinda, provincia de Cabinda, Angola; teniendo como objetivo la aplicación del control estadístico durante el procesamiento mecánico de la madera para elevar la calidad y los rendimientos de madera aserrada de las especies *Baillonela toxisperma*, *Erythrophleum ivorense*, *Entandrophragma angolense* y *Sarcocephalus diderrichii* de Wild e Th. Dur. Se determinan los defectos presentes en 100 trozas por especie para definir la calidad y la estrategia para mejorar el uso de la madera como materia prima. Se aplica el programa Control para incrementar la calidad dimensional de la madera aserrada a partir del análisis de las dimensiones promedio obtenidas y la variación de corte en el aserrío. La excentricidad y la ovalidad son los dos defectos que presentan las mayores magnitudes en las trozas analizadas, siendo las trozas de



Entandrophragma angolense las que presentan los menores niveles de calidad. De acuerdo con los valores medios de grosor para las piezas representadas se muestran valores para las tres especies, 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. Se establece que 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 la calidad de la madera aserrada.

Palabras clave: calidad; trozas; defectos; madera aserrada.

ABSTRACT

The work has been carried out in the Amorim sawmill, located in the city of Cabinda, province of Cabinda, Angola; having as objective the application of statistical control during the mechanical processing of the wood to increase the quality and the yields of sawn wood of the species *Baillonela toxisperma*, *Erythrophleum ivorense*, *Entandrophragma angolense* and *Sarcocephalus diderrichii* de Wild e Th. Dur. Defects present in 100 logs per species are determined to define the quality and strategy to improve the use of wood as a raw material. The Control program is applied to increase the dimensional quality of the sawn timber based on the analysis of the average dimensions obtained and the variation of cut in the sawmill. Eccentricity and ovality are the two defects that present the greatest magnitudes in the analyzed logs, being the *Entandrophragma angolense* logs the ones that present the lowest quality levels. According to the average thickness values for the pieces represented, values are shown for the three species, above the established final dimension (25 mm), with variations greater than 1.5 mm, representing a considerable loss of sawn wood, which implies the need to develop the statistical control process in the sawmill. It is established that the use of the Control program to determine the optimal dimensions of sawn wood, as well as the construction of control charts, constitutes an adequate tool to take decisions aimed at increasing the quality of sawn wood.

Keywords: quality; logs; defects; timber.

SÍNTESE

O trabalho foi realizado na serração Amorim, localizada na cidade de Cabinda, província de Cabinda, Angola; tendo como objectivo a aplicação de controlo estatístico durante o processamento mecânico da madeira para aumentar a qualidade e o rendimento da madeira serrada das espécies *Baillonela toxisperma*, *Erythrophleum ivorense*, *Entandrophragma angolense* e *Sarcocephalus diderrichii* de Wild e Th. Dur. Os defeitos presentes em 100 toras por espécie são determinados para definir a qualidade e a estratégia para melhorar a utilização da madeira como matéria-prima. O programa de Controle é aplicado para aumentar a qualidade dimensional da madeira serrada com base na análise das dimensões médias obtidas e da variação de corte na serraria. Excentricidade e ovalidade são os dois defeitos que apresentam as maiores magnitudes nos toros analisados, sendo os toros *Entandrophragma angolense* os que apresentam os menores níveis de qualidade. De



acordo com os valores médios de espessura das peças representadas, são apresentados valores para as três espécies, acima da dimensão final estabelecida (25 mm), com variações superiores a 1,5 mm, representando uma perda considerável de madeira serrada, o que implica a necessidade de desenvolver o processo de controlo estatístico na serração. Está estabelecido que a utilização do programa de Controlo para determinar as dimensões óptimas da madeira serrada, assim como a construção de cartas de controlo, constitui uma ferramenta adequada para a tomada de decisões destinadas a aumentar a qualidade da madeira serrada.

Palavras-chave: qualidade; toros; defeitos; madeira serrada.

INTRODUCCIÓN

El sector forestal, tanto en Angola como el resto del mundo está obligado a modernizar y diversificar la industria forestal para contribuir al desarrollo de servicios indispensables que constituyen derechos de toda la sociedad en su conjunto, por lo que la aplicación o implementación del control estadístico del proceso de aserrado constituye una eficaz herramienta, coincidiendo en este sentido con los trabajos desarrollados por *Álvarez et al., (2017)*, Hernández y *DaSilva-Portofilipe, (2016)* y *Mulat et al., (2017)*.

El control de la calidad de la madera es un problema en Angola, lo cual determina la importancia de realizar investigaciones que mejore el manejo de la madera y la adquisición de nuevas tecnologías de aserrado.

Como control de la calidad se define al sistema de métodos de producción que económicamente genera bienes o servicios de calidad, acorde con las exigencias de los consumidores. El control de calidad moderno utiliza métodos estadísticos y suele denominarse control de calidad estadístico (*Denig, 1990*).

Practicar el control de la calidad es desarrollar, diseñar, manufacturar y mantener un producto de calidad que sea capaz de satisfacer al consumidor. Para alcanzar esta meta, es preciso que todos en la empresa promuevan y participen en el control de la calidad. Por otra parte, el control de la calidad hace referencia a un proceso o un conjunto de actividades y técnicas operacionales que se utilizan para cumplir los requisitos de calidad (*Mulat et al., 2017*); *Nassur et al., (2013)*, considerando el desarrollo de una estrategia en el aserradero que tenga en cuenta la calidad de las trozas utilizadas, así como la implementación de modelos de control de calidad de la madera aserrada, con la posibilidad de incrementar la eficiencia del proceso productivo.

Teniendo en consideración los elementos antes expuestos, el objetivo del presente trabajo está encaminado a la aplicación del control estadístico durante el procesamiento mecánico de la madera para elevar la calidad y los rendimientos de madera aserrada.



MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones de trabajo

El trabajo se ha realizado en el Aserradero Amorim, ubicado en la ciudad de Cabinda, perteneciente a la provincia de Cabinda, situada al Norte del territorio de la República de Angola. (Figura 1)

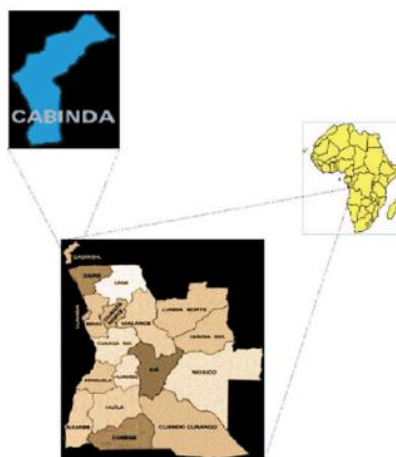


Figura 1. - Localización de Cabinda en Angola.

Fuente: Bauza *et al.*, (2006).

Determinación del tamaño de la muestra e intensidad del muestreo

Los datos fueron tomados de una población de 100 trozas para las especies *Baillonella toxisperma* (Moabi), *Erythrophleum ivorense* A. Chev (N'Kassa), *Entandrophragma angolense* (Tiama) y *Sarcocephalus diderrichii* de Wild e Th. Dur (Ngulo Mazi) procedentes de la selva de Maiombe, para determinar el número de unidades representativas para el estudio, teniendo como variable de interés el diámetro en la base de las trozas; para determinar el número de unidades representativas para el estudio, a partir de la ecuación expuesta por Chacko, (1965), Freese, (1967) y Dovie (1972), citado por Zavala y Hernández, (2000) (Ecuación 1).

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

En que:

n - tamaño de la muestra;
 t^2_{α} - valor tabular de t con (n-1) grados de libertad;
 S^2 -varianza estimada;
 E^2 - error admisible.



De este modo, el resultado final, según la expresión matemática precedente, se define en 40 trozas, por lo que se mantienen las 100 utilizadas en la prueba, que pueden ser apreciadas en la Figura 2, en el aserradero Amorim, en la ciudad de Cabinda; lo cual representa un valor muestral superior a lo expuesto en las investigaciones desarrolladas por *García et al., (2012)*, al utilizar solo tres muestras por especie (Figura 2).



Figura - 2. Almacenamiento de trozas en el aserradero Amorim en la ciudad de Cabinda, Angola

Determinación de los defectos de las trozas

a) Conicidad

Para determinar la conicidad de las trozas se aplicó la fórmula utilizada por *Riesco et al., (2013)*, *Missanjo y Magodi (2015)*, *Ortiz et al., (2016)* y *Kozakiewicz et al., (2018)* (Ecuación 2).

$$\text{Con} = (D_2 - D_1)/L \quad (2)$$

Donde:

Con- conicidad, cm /m;

D₁-diámetro menor de la troza, (cm);

D₂- diámetro mayor de la troza, (cm);

L - longitud de la troza, (m)

b) Excentricidad

Para la determinación de la excentricidad de la médula se ubicó el centro geométrico en la sección transversal final de cada troza y se midió la distancia de la médula al centro de la misma sección transversal (Figura 3).



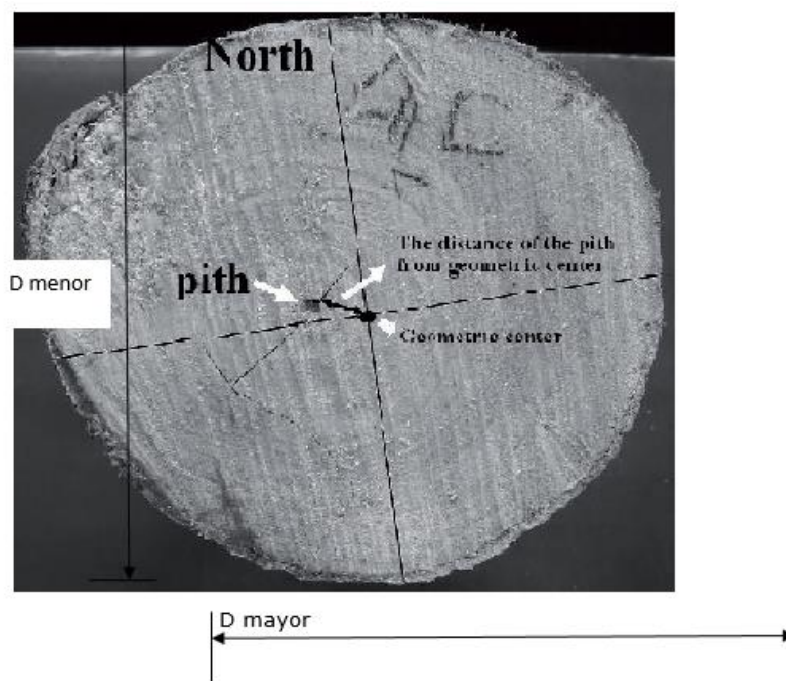


Figura – 3. Sección transversal de la troza para determinar el centro geométrico.
Fuente: Moya *et al.*, (2008).

La excentricidad de la médula fue calculada mediante la ecuación expuesta a continuación según Blanco *et al.*, (2014) (Ecuación 3).

$$E_x = \left(\frac{Lc}{dm} \right) \times 100 \quad (3)$$

Donde:

E_x - excentricidad, L
 c - distancia entre el centro geométrico y la posición real de la médula,
 m ; dm - Diámetro medio de la troza, m.

c) Ovalidad

La determinación de la ovalidad de las trozas puede ser determinada a partir de la siguiente expresión matemática utilizada por Álvarez *et al.* (2013) y Riesco *et al.*, (2013) (Ecuación 4).

$$O_v = (D_{max} / D_{min}) * 100 \quad (4)$$

Donde:

O_v - ovalidad, %;
 D_{max} - diámetro máximo de las trozas, m;
 D_{min} - diámetro mínimo de las trozas, m.



Para el procesamiento estadístico de los datos obtenidos se utiliza el programa SPSS.15, con la finalidad de obtener los valores medios, así como los principales estadígrafos que caracterizan los resultados obtenidos. Así se podrá definir la calidad de las trozas según la norma brasileña para la clasificación de las trozas de maderas foliosas de 1984.

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 Amorin, se han tomado 100 piezas aserradas para cada una de especies Muabi, N'Kassa y Tiama, con las mismas dimensiones nominales, teniendo en consideración la metodología utilizada por *Leyva et al., (2017)*.

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 (*Sundholm, 2015*).

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) para el cálculo de la dimensión óptima del surtido y de otros parámetros que a continuación se describe: (Ecuación 5); (Ecuación 6); (Ecuación 7) y (Ecuación 8).

Cálculo de la dimensión óptima (D_o)

$$D_o = \frac{DF+TC}{(1-\%C)} + Z * St \quad (5)$$

Donde:

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.

$$St = \sqrt{Sd^2 + Se^2} \quad (6)$$



Donde:

S_d - desviación estándar del proceso de aserrado dentro de las piezas (mm);
 S_e - desviación estándar del proceso de aserrado entre piezas (mm).

$$S_d = \sqrt{S^2} \quad (7)$$

$$S_e = S^2(\bar{x}) - \frac{S_d^2}{n} \quad (8)$$

Donde:

$S^2(\bar{x})$ - 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 9).

$$D_c = \frac{DF + TC}{(1 - \% C)} \quad (9)$$

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

Donde:

$DF = 25$ mm;

$TC = 0$;

C - se emplea el valor de la contracción tangencial de las maderas analizadas: Moabi = 8,7 (CIRAD, 2012).

Tiama = 8,7 (CIRAD, 2012);

N' Kassa = 8,5 (Bosch, 2006);

Ngulo Mazi = 7,7 (Opuni- Frinpong y Opuni-Frinpong (2012);

Z - 5 % de acuerdo con Zavala, (1991) y Najera, (2011).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la calidad de las trozas de las diferentes especies utilizadas en el aserradero Amorim, Cabinda

Durante la conversión, los defectos de las trozas presentan un impacto muy significativo sobre los rendimientos de madera aserrada y la calidad de la misma.

Se pueden definir las magnitudes de los defectos determinados en las trozas de las especies investigadas (Tabla 1).

Tabla 1. - Resultados de los defectos de las trozas

Especies	Conicidad, cm/m	Ovalidad, %	Excentricidad, %
MUABI	0,13	9,29	9,04
TIAMA	0,21	16,65	14,37
N"KASSA	0,16	3,61	7,54
NGULO MAZI	0,10	3,37	8,31

Conicidad

Las trozas de Tiama son las que presentan un mayor índice de conicidad. Sin embargo, es determinante exponer que los valores expuestos en la Tabla 1 para las cuatro especies se encuentran por debajo de 1 cm/m, siendo inferiores a los encontrados por Polli *et al.*, (2006), para diferentes clones de *Eucalyptus*, al obtener valores de conicidad media de 1,8 cm/m; así como Hornburg *et al.*, (2012), que obtuvo valores que fluctuaron entre 0,76 – 1,19 cm/m para seis especies de *Eucalyptus sp.* Por su parte, Stragliotto *et al.*, (2019), también obtuvieron valores de conicidad superiores a los obtenidos en el presente trabajo para las especies *Qualea paraensis* (1,57 cm/m) y *Erismia uncinatum* (1,28 cm/m).

Por otra parte, se puede establecer a partir de la norma brasileira de clasificación de maderas latifolias (IBDF, 1984), que las trozas de las cuatro especies investigadas, pueden ser clasificadas como trozas de calidad superior o SU, partiendo del hecho de que estas mismas trozas presentan conicidades por debajo del 3 cm/m, definiendo además que estas magnitudes de conicidad no tendrán una influencia negativa sobre la eficiencia del aserradero Amorim; coincidiendo con Álvarez *et al.*, (2017), reafirmando los planteamientos de Zhang *et al.*, (2005) y Leckoundzou, (2012), expuestos en la siguiente expresión matemática, que tiene como referencias el análisis de elasticidad (Ecuación 10):

$$E = (Rend, Con) = \left(\frac{\partial Rend}{\partial Con} \right) \left(\frac{Con}{Rend} \right) \quad (10)$$



Excentricidad de la médula

La excentricidad indica el distanciamiento de la médula con relación al centro geométrico del árbol y se utiliza como una referencia para evaluar el efecto resultante de las tensiones de crecimiento del árbol. Al clasificar los resultados de excentricidad de las especies analizadas a partir de la norma (IBDF, 1984), todas las trozas se clasifican como de Calidad I, teniendo en consideración que los valores de excentricidad obtenidos no exceden el 10 % (Figura 4).



Figura 4. - Trozas de Tiama con excentricidad

El valor medio de la excentricidad de las trozas de N´Kassa (7, 54) es menor que los resultados obtenidos por Blanco *et al.*, (2014), para un 9 %. De manera general, valores de excentricidad altos sugieren presencia de madera de tensión, la cual demerita los procesos de secado de la madera con el surgimiento de deformaciones, produciendo también un efecto negativo en la superficie de las chapas después del lijado [Shi y Walker, 2006; citados por Medhurst *et al.*, (2011)].

La especie que presenta los mayores índices de excentricidad es la Tiama, por lo que se puede definir que en el aserradero analizado es factible exponer que las piezas procesadas de esta especie podrían presentar deformaciones durante el secado de la madera, como consecuencia de las magnitudes de excentricidad y la presencia de madera de tensión; coincidiendo con Kozakiewicz *et al.*, (2018).

Ovalidad

En relación a la Ovalidad, en la Tabla 1 se aprecia que la Tiama presenta las mayores magnitudes, en una media de 16,65 %, que supera los límites permisibles para la clasificación de la calidad superior de las trozas, que acepta hasta un 10 % de ovalidad, según la norma brasileña de clasificación de las trozas de latifolias (IBDF, 1984). (Figura 5) Este elemento sin duda afecta los rendimientos de madera aserrada y la productividad en los aserraderos; coincidiendo con los resultados expuestos por Blakemore *et al.*, (2010).





Figura 5. - Trozas de Tiama con ovalidad

Se puede definir, entonces, que estas trozas con irregularidades son potencialmente generadoras de mayores porcentajes de residuos, implicando una significativa afectación de los rendimientos de madera aserrada; para perfeccionar la utilización de estas trozas con defectos, principalmente la ovalidad y excentricidad, es significativo optimizar la amplitud del primer corte de apertura de las trozas para obtener los mayores volúmenes de madera aserrada, teniendo en consideración el análisis matemático que se aprecia en la Figura 6, que se expone a continuación: (Ecuación 1); (Ecuación 12) y (Ecuación 13).

$$A_c = ab_{(11)}$$

En que:

A_c = rectángulo de la mayor área en la circunferencia

$$d^2 = a^2 + b^2$$

$$b^2 = d^2 - a^2$$

$$b = \sqrt{d^2 - a^2} \quad (12)$$

Sustituyendo (12) en (11) se tiene que: $A_c = a\sqrt{d^2 - a^2}$

Derivando en función de la variable a:

$$\frac{dA_c}{da} = \frac{d^2 - 2a^2}{\sqrt{d^2 - a^2}} \frac{dA_c}{da} = 0d^2 - 2a^2 = 0a = \sqrt{\frac{d}{2}}$$

$$a = \sqrt{r} \quad (13)$$



Aplicando el criterio de la segunda derivada (Ecuación 14); (Ecuación 15); (Ecuación 16) y (Ecuación 17).

$$\frac{d^2 A_c}{da^2} = \frac{a(2a^2 - 3d^3)}{(d^2 - a^2)^{3/2}} \quad (14)$$

Como $-8r$ es menor que cero para todo r positivo, se puede garantizar que $a = \sqrt{2r}$ es máximo.

Para $P = a/2$ que posibilita obtener $P = \frac{\sqrt{2r}}{2}$;

$$A_r = 2(x * y_1) \quad (15)$$

$$A_1 = x * y_1 \quad (16)$$

$$y_1 = \sqrt{r^2 - (p + x)^2} \quad (17)$$

Sustituyendo (17) en (16), se tiene que (Ecuación 18) y (Ecuación 19).

$$A_1 = x * \sqrt{r^2 - (p - x)^2} \frac{\partial A_1}{\partial x} = \left(x \sqrt{r^2 - (p - x)^2} \right)_x \frac{\partial A_1}{\partial x} = 0$$

$$-2x^2 - 3px + r^2 - p^2 = 0 \quad x = \frac{\sqrt{(p^2 + 8r^2)} - 3p}{4}$$

Como

$$P = \frac{\sqrt{2r}}{2} \quad (18)$$

$$\frac{\sqrt{\left[\left(\frac{\sqrt{2r}}{2}\right)^2 + 8r^2\right]} - 3\frac{\sqrt{2r}}{2}}{4}$$

$$0,7288689868 * |r| - 0,5303300858 * r$$

$$\text{Considerando que } r \text{ es positivo: } 0,7288689868 * r - 0,5303300858 * r$$

$$X = 0,198538909 r \quad (19)$$



Para afirmar que $x = 0,198538909 r$ es máximo se tiene que utilizar el criterio de la segunda derivada (Ecuación 20).

$$\frac{\partial^2 A_1}{\partial x^2} = \left[\frac{-2x^2 - 3px + r^2 - p^2}{\sqrt{r^2 - (p-x)^2}} \right]_x$$

$$\frac{2x^3 - 6px^2 + 3x(2p^2 - r^2) + 2p(p^2 - r^2)}{(-x^2 - 2px - p^2 + r^2)^{3/2}} \quad (20)$$

Sustituyendo (18) y (19) en (20), se obtiene que $-6.875550801 r < 0$ para todo r positivo, garantizando que $x = 0,198538909 r$ es el máximo.

Sustituyendo (12) y (13) en (11) se obtiene: (Ecuación 21); (Ecuación 22) y (Ecuación 23).

$$Y_1 = 0,4240352562 r \quad (21)$$

Considerando que

$$2y_1 = y = 2(0,4240352562 r) \quad (22)$$

$$y = 0,9 r \quad (23)$$

Siendo $y = 0,9 r$ la expresión matemática que define el primer corte de apertura en las trozas para reducir el efecto sobre los rendimientos de madera aserrada en las trozas con una marcada presencia de ovalidad, como es el caso de las trozas de Tiamá (Figura 6).

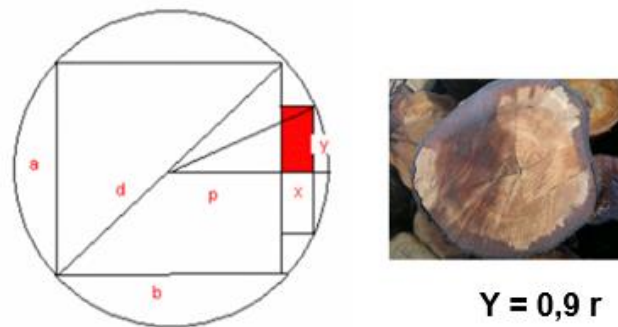


Figura 6. - Determinación del primer corte de apertura
Fuente: Álvarez *et al.*, (2010)



Control estadístico del proceso de corte en el aserradero Amorin, Cabinda

En el aserradero Amorim. en la ciudad de Cabinda, existe un sobredimensionamiento generalizado de la madera aserrada (Tabla 2).

Tabla 2. - Variación de aserrado en el aserradero Amorim

Parámetros	Piezas de 3-4 m de longitud		
	Muabi	N´Kassa	Tiama
Dimensión óptima (Do), mm	26,7582	26,7680	26,5837
Dimensión final (Df), mm	25,0000	25,0000	25,0000
Variación dentro de las piezas (Sw), mm	0,1273	0,1578	0,1302
Variación entre piezas (Sb), mm	0,1579	0,1736	0,1123
Variación total del proceso (St),mm	0,2028	0,2346	0,1719
Tolerancia por cepillado (Rc),mm	0,0000	0,0000	0,0000
Tolerancia por contracción (C), %	8,7000	8,4000	8,0000
Dimensión crítica (Dc), mm	26,3769	26,3269	26,2605

De acuerdo con los valores medios de grosor para las piezas representadas en la Tabla 2, se muestran valores para las tres especies, 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, \(2016\)](#).

El empleo del programa Control para la determinación de las dimensiones óptimas de madera aserradas, así como la construcción de gráficos de control (Figura 6, Figura 7 y Figura 8), 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 lo aserraderos.

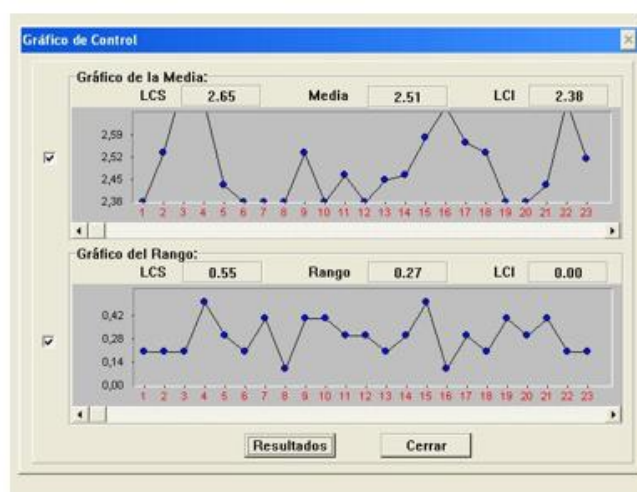


Figura 7. - Variación de aserrado de piezas de Moabi



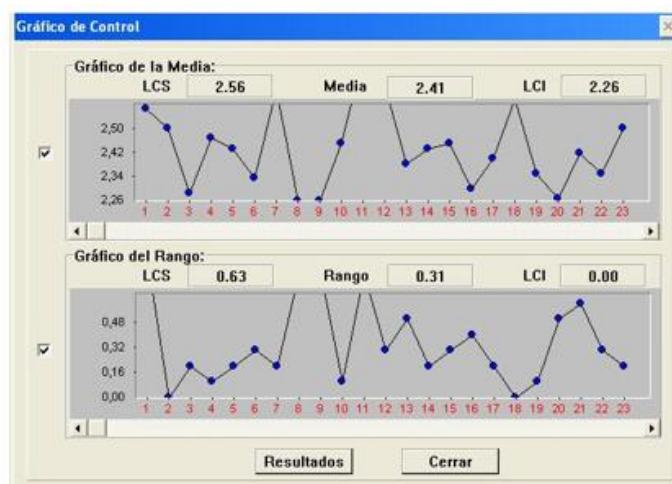


Figura 8. - Variación de aserrado de piezas de N´Kassa

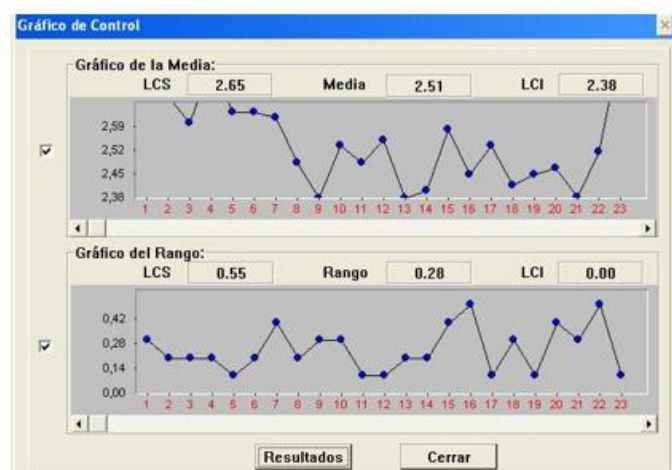


Figura 9. - Variación de aserrado de piezas de Tiama

La excentricidad y la ovalidad son los dos defectos que presentan mayores magnitudes, siendo las trozas de *Entandrophragma angolense* las que muestran los menores niveles de calidad.

De acuerdo con los valores medios de grosor para las piezas representadas, se muestran valores para las tres especies, 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.

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



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ, D., GARCÍA, J. M., DOMÍNGUEZ, A., RODRÍGUEZ, J. C y ALEJAOS, J., 2010. *Lumber recovery Factory with low enviromental impact in Pinar del Rio, Cuba*. The International Forestry Review, 12 (5), 303.
- ÁLVAREZ, D., ALAEJOS, J., EGAS, A. F., LEUNKOUNZOU, A., PACHECO, A y ESTEVES, I., 2017. *Desarrollo de modelos matemáticos que permitan predecir el rendimiento de madera aserrada a partir de parámetros dendrométricos de árboles en pie de Pinus tropicalis Morelet en la Empresa Agro Forestal Macurije, Pinar del Río*. Revista Ambiente, v. 1, n. 1-2, p. 6-14. Disponible en: <http://revistas.uncp.edu.pe/index.php/ambiente/article/view/91>
- ÁLVAREZ, D., PAES, J. B., MOMOLI, R. S., BARACHO JR, E., TOMASELLO FILHO, M., COOPER, M., Roig, A y FERREIRA, R. C., 2013. *Tecnologia da madeira*. Ed. AEA. Madrid. 260 p.
- BARRERA, A., ALVAREZ, D., PENALVER, A., LECKOUNDZOU, A., RAMIREZ, A y EGAS, A. F., 2016. *Aplicación del proceso de control estadístico para incrementar la calidad de la madera aserrada de Pinus maestrensis Bisse en la Empresa Agroforestal «Gran Piedra», Baconao, Santiago de Cuba*. Revista Cubana de Ciencias Forestales, v. 4, n. 1. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5608602.pdf>
- BAUZA, A. G., MALHEIROS, M y MACEDO, J. N., 2006. *Caracterização da colheita florestal em Cabinda, Angola*. Rev. ciênc. agrár., Belém, n. 45, p. 59-78. Disponible en: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/43158/1/Ufra45-59.pdf>
- BLAKEMORE, P., MORROW, A., WASHUSEN, R., HARWOOD, C., WOOD, M y NGO, D., 2010. *Evaluation of thin-section quarter-sawn boards and rotary veneer from plantation-grown Eucalyptus nitens*. CRC Forestry, Hobart, Tasmania, Technical Report 202.
- BLANCO, J., TRUGILHO, P. F., LIMA, J. T., GHERARDI, R y MOREIRA, J. R., 2014. *Caracterización de la madera joven de Tectona grandis L. f. plantada en Brasil*. Madera bosques, v. 20, n. 1, p. 11-20, mar. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712014000100002
- BOSCH, C.H., 2006. *Erythrophleum ivorense* A. Chev. In: Schmelzer, G.H. & Gurib-Fakim, A. (Editors). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Netherlands. Disponible en: [https://uses.plantnet-project.org/en/Erythrophleum_ivorense_\(PROTA\)](https://uses.plantnet-project.org/en/Erythrophleum_ivorense_(PROTA))
- BROWN, T. D., 1986. *Lumber size control*. Forestry Business. College of Forestry. Oregon State University. USA. 16 p. Disponible en: <https://ir.library.oregonstate.edu/downloads/d504rm277>



- CHACKO, V. J., 1965. *Manual on sampling techniques for forest surveys*. Publisher Management of Publication, Delhi, 172 p. Disponible en: <https://www.worldcat.org/title/manual-on-sampling-techniques-for-forest-surveys/oclc/679920637>
- CIRAD. 2012. Tiama. *Entandrophragma angolense*. Tropix 7 CIRAD, France.
- DENIG, J., 1990. *Control de la calidad en aserraderos de pino del sur*. North Carolina Cooperative Extension Service. 47 p.
- DOBIE, J., 1972. *Guidelines for the study of sawmill performance*. West. For. Prod. Lab. Inf. Rep. VP-X-93. Vancouver, B.C. Canadá. 75 p.
- FREESE, F., 1967. *Elementary Statistical methods for foresters*. USDA Agriculture Handbook, 317, 91 p. Disponible en: <https://www.worldcat.org/title/elementary-statistical-methods-for-foresters/oclc/2665498>
- GARCÍA, F. M., MANFIO, D, R., SANSIGOLO, C. A y DOMÍNGUEZ, P. A., 2012. *Rendimento no desdobro de toras de Itaúba (Mezilaurusitauba) e Tauari (Couratariguianensis) segundo a classificação da qualidade da tora*. Floresta e Ambiente out. /dez.; v.19, n. 4, p. 468-474. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2179-80872012000400009&script=sci_abstract&tIng=pt
- HERNÁNDEZ, C y DA SILVA-PORTOFILIFE, F., 2016. *Aplicación del control estadístico de procesos (CEP) en el control de su calidad*. Tecnología Química, v. XXXVI, n.1, enero-abril, p. 130-145. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543786011>
- HORNBURG, K. F., ELEOTORIO, J. R., BAGATTOLI, T. R y NICOLETTI, A. L., 2012. *Qualidade das toras e da madeira serrada de seis espécies de eucalipto cultivadas no litoral de Santa Catarina*. Sci. For., Piracicaba, v. 40, n. 96, p. 463-471. Disponible en: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr96/cap04.pdf>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL (IBDF)., 1984. *Norma para medição e classificação de toras de madeiras de folhosas: Brazilian measurement and grading rules for hardwood logs*. Brasília. 42 p. Disponible en: [https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=792392&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22INSTITUTO%20BRASILEIRO%20DE%20DESENVOLVIMENTO%20FLORESTAL%20\(Brasilia-DF\).%22&qFacets=autoria:%22INSTITUTO%20BRASILEIRO%20DE%20DESENVOLVIMENTO%20FLORESTAL%20\(Brasilia-DF\).%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1](https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=792392&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22INSTITUTO%20BRASILEIRO%20DE%20DESENVOLVIMENTO%20FLORESTAL%20(Brasilia-DF).%22&qFacets=autoria:%22INSTITUTO%20BRASILEIRO%20DE%20DESENVOLVIMENTO%20FLORESTAL%20(Brasilia-DF).%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1)
- KOZAKIEWIZ, P., REBKOWSKI, B., KOCZAN, G y KRZOSEK, S., 2018. *Influence of machining technologies and quality of logs on material losses of typical supply of Scots pinewood (PinussylvestrisL.) destined for layered floorboards*. Folia



Forestalia Polonica, Series A-Forestry, v. 60, n. 4, p. 241_24. Disponible en: <https://content.sciendo.com/view/journals/ffp/60/4/article-p241.xml>

LECKOUNDZOU, A., 2012. *Utilización de variables dendrométricas para predecir los rendimientos de madera aserrada de árboles en pie de Pinus caribaeavar. Caribaea*. Tesis, 100 p (Doctorado en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz montes de Oca", Cuba. Disponible en: <http://rc.upr.edu.cu/handle/DICT/2830>

LEYVA, I., ROJAS, A y SEGURADO, Y., 2017. *Determinación del rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada en aserríos en la provincia de Guantánamo*. Revista Cubana en Ciencias Forestales, sept.-dic. v. 5, n. 3, p. 340-35. Disponible en: <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/212>

NAJERA, J. A., AGUIERRE, O. A., TREVIÑO., E. J., JIMENEZ, J., JURADO, E., CORRAL, J. J y VARGAS, B., 2011. *Rendimiento volumétrico y calidad dimensional de la madera aserrada en aserraderos de El Salto, Durango*. Rev. Mex. Cien. For. v. 2, n. 4, p. 77-91. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322011000200007

MEDHURST, J., OTTONSCHLAEGER, M., WOOD, M, HARDWOOD, C., BEADLE, C y VALENCIA, J. C., 2011. *Stem eccentricity, crown dry mass distribution, and longitudinal growth strain of plantation-grown Eucalyptus nitens after thinning*. Can. J. For. Res. v. 41, p. 2209-2218. Disponible en: <https://www.nrcresearchpress.com/doi/full/10.1139/x11-135#.Xi2mCyN7nIU>

MISSANJO, E y MAGODI, F., 2015. *Impact of Taper and Sawing Methods on Lumber Volume Recovery for PinusKesiyaand PinusPatulaLogs in Circular Sawmills*. Journal of Forest Products & Industries, v. 4, n. 1, p. 12-16. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Impact-of-Taper-and-Sawing-Methods-on-Lumber-Volume-Missanjo-Magodi/250a2cf62b99e33d6c3514476c432809bde5f4bb>

MOYA, R., ARAYA, L y VILCHEZ, B., 2008. *Variation in the pith parameter of Gmelinaarboreatrees from fast growth plantations in Costa Rica*. Ann. For. Sci, v. 65, p. 612-621. Disponible en: <https://rd.springer.com/article/10.1051/forest:2008045>

MULAT L, B., SUBHALAKSHMI, K., YAN, H y LINZI P., 2017. *Implementation of Statistical Process Control (SPC) in the sewing section of garment industry for quality improvement*. AUTEX ResearchJournal, DOI: 10.1515/aut-2017-0034 © AUTEX. Disponible en: <https://content.sciendo.com/view/journals/aut/18/2/article-p160.xml?lang=en>

NASSUR, O. A. C., RODRIGUS, L., SILVA, S. C y CARBALHO, P. M., 2013. *Variações na qualidade de toras de 43 Toonaciliatam. roem. com dezoito anos de idade*. Cerne, Lavras, v. 19, n. 1, p. 43-49. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-77602013000100006



- OPUNI-FRIMPONG, N. Y. y OPUNI-FRIMPONG, E., 2012. *Nauclea Diderrichii (DE WILD. & T. DURAND) MERR. [INTERNET] FICHE DE PROTA4U*. IN: LEMMENS, R. H. M. J., Louppe, D. & Oteng-Amoako, A. A. (Editeurs). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Pays Bas. Disponible en: [https://prota4u.org/database/protav8.asp?g=pe&p=Nauclea+diderrichii+\(De+Wild.+&+T.Durand\)+Merr.](https://prota4u.org/database/protav8.asp?g=pe&p=Nauclea+diderrichii+(De+Wild.+&+T.Durand)+Merr.)
- ORTIZ, R., MARTINEZ, S. D., VAZQUEZ, D. E y JUAREZ, W. S., 2016. *Determinación del coeficiente y calidad de aserrío del género Pinus en la región Sierra Sur, Oaxaca, México*. Colombia Forestal, v. 19, n. 1, p. 79-93. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v19n1/v19n1a06.pdf>
- POLLI, H. Q., REIS, G. G., REIS, M. G. F., VITAL, B. R., PEZZOPANE, J. E. M y FONTAN, I. C. I., 2006. *Qualidade da madeira em Eucalyptus grandis W. Hill ex-Maiden submetido a desrama artificial*. Revista Árvore, Viçosa, v.30, n.4, p.557-566. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622006000400008
- RIESCO, G., REMACHA, A y GASALLA, R., 2013. *Variation in log quality and prediction of sawing yield in oak wood (Quercus robur)*. Annals of Forest Science, Springer, v. 70, n. 7, p. 695-706. Disponible en: <https://rd.springer.com/article/10.1007/s13595-013-0314-8>
- SHI, S. y WALKER, J., 2006. *Wood-based composites: plywood and veneer-based products*. In *Primary wood processing: principles and practice*. 2nd ed. Edited by J.C.F. Walker. Springer, Dordrecht, the Netherlands. p. 391-426. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/226713419_Wood-based_composites_Plywood_and_veneer-based_products
- STRAGLIOTTO, M. C., COSTA, A., CORRADI, B, L y FREITAS, J., 2019. *Yield in sawn wood and residue utilization of Qualea paraensis Ducke and Erisma uncinatum Warm*. Floresta, v. 49, n. 2, p. 257-266. Disponible en: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/download/57284/37973>
- SUNDHOLM, P., 2015. *Statistical Process Control for the Sawmill Industry*. Thesis. Department of Physics. Umea University Sweden.
- ZAVALA, D., 1991. *Manual para el establecimiento de un sistema de control de la variación de refuerzos en madera aserrada. Serie de apoyo académico 44*. Universidad Autónoma Chapingo. 49 p.
- ZAVALA, D y HERNANDEZ, R., 2000. *Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino*. Madera y Bosque, v. 6, n. 2, p. 41-55. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/617/61760204.pdf>
- ZHANG, S., TONG, Y. Y y LEI, Q, J. Y., 2005. *Modelling lumber value recovery in relation to selected tree characteristics in jack pine using Optitek sawing simulator*. Ann. Sci v. 62, p. 219-228. Disponible en: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300745829>



Conflicto 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.

Copyright (c) 2020 Daniel Álvarez Lazo, José Domingos Domingos Sebastiao,
Francisco Nazare Nazare Buanga Lelo, Solange Silva Fuentes, Ignacio Esteves
Valdés

