

# Revista Cubana de Ciencias Forestales

Volumen 14, 2026, enero-diciembre










Artículo original

## ***Control estadístico del proceso de aserrado en jeronimo monteiro, espírito santos, Brasil***

*Sawing statistical process control in jeronimo monteiro, espírito santos, Brazil*

*Controlo estatístico do processo de desdobro em jeronimo monteiro, espírito santos,  
Brasil*

Daniel Alberto Alvarez Lazo<sup>1</sup> , Kamilly da Siloa Pereira<sup>2</sup> , Anna Clara Oliveira Ruft<sup>2</sup> ,  
Djeison Cesar Batista<sup>2</sup> , Juarez Benigno Paes<sup>2</sup> , Calebe Izidoro Pereira<sup>2</sup> ,  
Ignasio Esteves Valdes<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca". Pinar del Río, Cuba.

<sup>2</sup>Universidad Federal de Espírito Santos, Brasil.

<sup>3</sup>Universidad Estatal del Sur de Manabí. Ecuador.

\*Autor para la correspondencia: cubamayca@gmail.com

**Recibido:** 15/01/2026.

**Aprobado:** 30/03/2026



## RESUMEN

El trabajo se desarrolló en el aserradero Pandico, ubicado en la ciudad de Jerónimo Monteiro, Espírito Santos, Brasil y tuvo como objetivo evaluar la calidad de las trozas y la madera aserrada de *Eucalyptus camaldulensis* y *Toona ciliata* M. Roem var. *australis*. Se tomaron 50 trozas de cada especie para determinar sus principales defectos. Los principales aspectos que definen la calidad del proceso de aserrado se determinaron mediante el control estadístico del proceso. Las trozas de la especie *Eucalyptus camaldulensis* presentaron tres defectos por m<sup>2</sup> de superficie, superior al número de defectos que se aprecia en las trozas de *Toona ciliata*, que se ubica en 1 defecto por m<sup>2</sup>, lo cual se relacionó fundamentalmente con un mayor número de rajaduras en los extremos de las trozas. En las piezas aserradas de *Eucalyptus camaldulensis* se apreció un sobredimensionamiento en relación a la dimensión crítica de 2,9601 mm por pieza y al considerar la dimensión final de las piezas de 20 mm, entonces el sobredimensionamiento es mayor al ubicarse en una magnitud de 4,1152 mm lo cual implica un volumen considerable de pérdida de madera. Para el surtido de *Toona ciliata* de 40 mm de grosor, se apreció un sobredimensionamiento ya que se definen como dimensiones críticas y óptimas los valores de 41,7877 mm y 45,3265 mm, lo cual corrobora el sobredimensionamiento del proceso. Las utilidades de gráficos de control constituyen una herramienta adecuada para tomar decisiones dirigidas a aumentar la calidad de la madera aserrada.

**Palabras clave:** troza, defectos, aserrado, calidad.

---

## ABSTRACTS

This study was conducted at the Pandico sawmill, located in Jerónimo Monteiro, Espírito Santo, Brazil, and aimed to evaluate the quality logs and sawn timber from *Eucalyptus camaldulensis* and *Toona ciliata* M. Roem var. *australis*. Fifty logs of each species were selected to determine their main defects. The principal aspects defining the quality of the sawing process were determined through statistical process control. The *Eucalyptus camaldulensis* logs exhibited 3 defects per m<sup>2</sup> of surface area, a higher number than *Toona ciliata* logs, which had 1 defect per m<sup>2</sup>. This difference is primarily related to a greater



number of splits at the ends of the logs. In the sawn pieces of *Eucalyptus camaldulensis*, oversizing is observed in relation to the critical dimension of 2.9601 mm per piece. Considering the final dimension of the 20 mm pieces, the oversizing is even greater, reaching 4.1152 mm, which implies a considerable volume of wood loss. For the 40 mm thick *Toona ciliata* assortment, oversizing is also evident, as the critical and optimal dimensions are defined as 41.7877 mm and 45.3265 mm, respectively, which corroborates the oversizing in the process. The use of control charts is a suitable tool for making decisions aimed at improving the quality of the sawn timber.

**Keywords:** log, defects, sawing, quality.

---

## RESUMO

O trabalho foi realizado na serraria Pandico, localizada na cidade de Jerónimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil, e teve como objetivo avaliar a qualidade das toras e da madeira serrada de *Eucalyptus camaldulensis* e *Toona ciliata* M. Roem var. *australis*. Cinquenta toras de cada espécie foram selecionadas para a determinação de seus principais defeitos. Os principais aspectos que definem a qualidade do processo de desdobro foram determinados por meio de controle estatístico de processo. As toras de *Eucalyptus camaldulensis* apresentaram 3 defeitos por m<sup>2</sup> de área superficial, número superior ao das toras de *Toona ciliata*, que apresentaram 1 defeito por m<sup>2</sup>. Essa diferença está relacionada principalmente a um maior número de fendas nas extremidades das toras. Nas peças serradas de *Eucalyptus camaldulensis*, observou-se sobredimensionamento em relação à dimensão crítica de 2,9601 mm por peça. Considerando a dimensão final das peças de 20 mm, o sobredimensionamento é ainda maior, atingindo 4,1152 mm, o que implica uma perda considerável de volume de madeira. Para o lote de *Toona ciliata* com 40 mm de espessura, o sobredimensionamento também é evidente, visto que as dimensões críticas e ótimas são definidas como 41,7877 mm e 45,3265 mm, respectivamente, o que corrobora o sobredimensionamento no processo. O uso de cartas de controle é uma ferramenta adequada para a tomada de decisões visando à melhoria da qualidade da madeira serrada.



**Palavras chaves:** tora, defeitos, desdoble, qualidade.

---

## INTRODUCCIÓN

La industria maderera desempeña un papel fundamental en la conversión de productos forestales en diversos usos finales, como madera aserrada (Lolila *et al.*, 2021; Mauya *et al.*, 2024).

Los rendimientos de madera aserrada están influenciados por varios parámetros, especialmente aquellos relacionados con la forma y la calidad de la roza, en particular la conicidad, la ovalidad y las grietas (Stragliotto *et al.*, 2025).

En Brasil se han realizado pocos estudios que definen la calidad de las trozas amazónicas como un importante factor que posibilita explicar el rendimiento de determinadas especies específicas, lo cual ha sido demostrado a partir de los estudios realizados por Luz *et al.* (2020) y expuestos por Stragliotto *et al.* (2025).

Estos autores también recomiendan realizar estudios específicos sobre el rendimiento en cada industria maderera para reducir el posible fraude asociado al comercio ilegal de madera.

Se han desarrollado diferentes trabajos mejorar la calidad del proceso de transformación primaria en los aserraderos lo cual implica un incremento de la eficiencia del proceso. El alcance de esas metas tiene que pasar necesariamente por la aplicación del control estadístico del proceso de aserrado, conociendo que la calidad de las trozas en dependencia de la cantidad y magnitud de los defectos presentan una marcada influencia sobre los rendimientos y calidad de la madera aserrada (Rascón *et al.*, 2023, Leckoundzou *et al.*, 2024)

Dado que en un aserradero la materia prima suele sobrepasar 80 % de los costos de producción, es necesario reducir su desperdicio (Torrecillas *et al.*, 2020); por lo que, el control estadístico del proceso de aserrado es fundamental para maximizar la calidad, el rendimiento y la productividad; puesto que, con una pequeña reducción en los gruesos



de asierre es posible generar ahorros sustanciales en el uso de materia prima (Viera *et al.*, 2025).

Los métodos de control estadístico de procesos (CEP) benefician a las industrias manufactureras al identificar las fuentes comunes de variación que influyen en la calidad del producto y al promover acciones proactivas para la mejora continua.

La premisa fundamental de la mejora continua es la reducción de la variación del producto y del proceso. Estos métodos son necesarios para mejorar la competitividad a corto plazo de las industrias y son cruciales para garantizar una estrategia viable y sostenible para el éxito a largo plazo (Young *et al.*, 2020).

El control estadístico del proceso de aserrado es fundamental para maximizar la calidad, el rendimiento y la productividad, puesto que, con una pequeña reducción en los gruesos de asierre es posible generar ahorros sustanciales en el uso de materia prima (Viera *et al.*, 2025).

En la actualidad en los aserraderos del Estado de Espirito Santos no se aprecian controles de calidad lo cual implica un efecto negativo sobre los rendimientos y calidad del proceso de transformación mecánica de las trozas en los aserraderos (Thomas y Buenhlanmn 2023).

Teniendo en consideración los elementos antes expuestos, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la calidad de las trozas y la madera aserrada de *Eucalyptus camaldulensis* y *Toona ciliata* M. Roem var. *australis* procesadas en el aserradero Pandico, Jerónimo Monteiro, Espirito Santos, Brasil.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Condiciones de trabajo*

El trabajo se desarrolla en un aserradero PANDICO, equipado con una sierra de banda ubicado en la localidad de Jerónimo Monteiro, estado de Espirito Santos, Brasil (Figura 1).





**Figura 1.** - Sierra de banda. Aserradero Pandico, Jerónimo Monteiro, Espirito Santos

El aserradero procesa trozas de diferentes especies maderables entre las que se destacan el *Eucalyptus camaldulensis* y *Toona ciliata* con diámetros que fluctúan entre 20 - 45 cm, procedentes de establecimientos propios y de productores forestales de la región.

#### *Determinación del número de muestras*

Los datos fueron tomados de una población de 50 trozas de las especies *Toona ciliata* y 50 trozas de *Eucalyptus camaldulensis* procedentes de las regiones vinculadas al estado de Espirito Santos, Brasil con la finalidad de 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) y Leyva *et al.*, (2020) (Ecuación 1).

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

En que:

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



### Determinación de los defectos de las trozas utilizadas

A partir de los resultados expuestos por Thomas y Parresol (1998) se determinan el número de defectos por superficies de las trozas que presentan una marcada influencia sobre los rendimientos de madera aserrada:

$$N = \frac{(2n)}{\pi L(D_1 + D_2)} \quad (2)$$

Donde: N- Número de defectos por m<sup>2</sup> de superficie; n- número de defectos de la troza;  $\pi$ - Constante; L- longitud de las trozas (m); D<sub>1</sub>- diámetro mayor de la troza (m) D<sub>2</sub> - Diámetro menor de la troza (m).

#### a) Determinación del índice de rajadura en las trozas

Para la determinación del índice de rajaduras de las trozas de las especies investigadas se toma como referencia la siguiente expresión matemática utilizada por Beltrame *et al.* (2015) y Pupo *et al.* (2023) (Ecuación 3):

$$IR = 200 \left( \frac{\sum_{i=1}^n a_i L_i}{\pi D^2} \right) \quad (3)$$

Donde:

IR- índice de rajadura de las trozas,

a<sub>i</sub>- abertura máxima de la rajadura (i=1...n) en cm;

L<sub>i</sub>- longitud de la rajadura (medula-corteza) en cm;

D-diámetro medio de corte de la troza en cm

De este modo, el resultado final, según la expresión matemática precedente, posibilita definir mantener las 50 trozas de *Eucalyptus camaldulensis* y 50 trozas de *Toona ciliata* utilizadas en la prueba.



## b) Conicidad

Para la determinación de la conicidad de las trozas (Figura 2), se tomó como referencia trabajos realizados por Cataldo *et al.* (2025), que tienen en consideración el valor inferior de las dos primeras trozas, empleando para ello la Ecuación 4.



**Figura 2.** - Determinación de la conicidad de las trozas. Representação gráfica da conicidade de toras

*Fuente:* García *et al.* (2002)

$$Con = \frac{(D_1 - D_2)}{L} * 100 \quad (4)$$

Dónde:

Con- conicidad, %;

d - Diámetro menor de la troza (cm);

D - Diámetro mayor de la troza (cm);

L - Longitud de la troza (m)

## c) Índice de ovalidad

Se utiliza la Ecuación 5, desarrollada por Richter (2015), que define el Índice de ovalidad (Figura 3), como la relación existente entre los diámetros mayores y menores de la sección transversal de una troza:





**Figura 3.** - Determinación de índice de ovalidad

$$IO = \frac{D_1}{D_2} \quad (5)$$

Donde: IO- índice de ovalidad, %; d-diámetro menor de la troza (m); D-diámetro mayor de la roza (m)

El programa estadístico SPSS.15 es utilizado para el procesamiento de los datos obtenidos con la finalidad de obtener las medias de todos los defectos analizados, lo cual facilita la mejor interpretación de los resultados.

#### *Determinación de la variación de aserrado en el aserradero Pandico*

Para el muestreo se seleccionaron 50 piezas aserradas para cada una de las dos especies en estudio *Eucalyptus camaldulensis* y *Toona ciliata* procesadas en el aserradero Pandico ubicado en Jerónimo Monteiro, Espirito Santos, Brasil durante 5 jornadas al medir 10 piezas por jornada, según la metodología propuesta por Brown (2000) y Torrecillas *et al.* (2020). El muestro se realiza antes de cualquier proceso de clasificación o cepillado; coincidiendo con la metodología propuesta por Viera *et al.* (2025).

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), 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 (2000) y Leckoundzou *et al.* (2024), para el cálculo de la dimensión óptima del surtido y de otros parámetros que a continuación se describen:

Para la determinación de la dimensión óptima de aserrado, se emplea la siguiente ecuación propuesta por Brown (2000). Este enfoque proporciona un marco teórico fundamentado para el cálculo eficiente de las dimensiones. La formulación propuesta es (Ecuación 6):

$$D_0 = \frac{DF+TC}{(1-\%C)} + Z \cdot St \quad (6)$$

Donde:  $D_0$  : Dimensión óptima de corte de madera verde (mm);  $DF$ : Dimensión final (mm);  $TC$ : Tolerancia por cepillado en ambos lados del surtido (mm);  $DF$ : Dimensión final (mm);  $\%C$ : Tolerancia por contracción de la madera.

Para la tolerancia a la contracción se utiliza el valor de la contracción tangencial;  $Z$ : Factor de dimensión mínima aceptable.

Este modelo permite compensar las pérdidas dimensionales por contracción y mecanizado, garantizando que la madera verde sea cortada con dimensiones que, tras el secado y cepillado, cumplan con las especificaciones finales Ecuación 7.

$$St = \sqrt{Sd^2 + Se^2} \quad (7)$$

Donde:

$St$ : Variación total de aserrado (mm)

$Sd$ : Desviación estándar del proceso de aserrado en cada pieza (mm).



$\overline{Sd}$ : Media aritmética de la desviación estándar del proceso de aserrado en cada pieza (mm)

Se: Desviación estándar del proceso de aserrado entre las piezas (mm) Ecuación 8.

$$Se = S^2(\bar{x}) \quad (8)$$

$S^2(\bar{x})$  Representa la varianza de las medias de los grosores de cada pieza muestreada.

A partir del análisis de la variación total de aserrado, es posible determinar la dimensión óptima de corte mediante la aplicación del modelo formulado anteriormente (Viera *et al.*, 2025). Este cálculo permite optimizar el proceso productivo al considerar tanto las tolerancias naturales de la madera (contracción y cepillado) como los factores operacionales incorporados en el modelo.

Para la obtención de la dimensión óptima es necesario conocer los valores siguientes:

- Contracción tangencial *Toona ciliata*: 7,13 % (Trianoski *et al.*, 2014)
- Contracción tangencial *Eucalyptus camaldulensis*: 9,90 (Monteiro *et al.*, 2011)
- Z- 5 % (Viera *et al.*, 2025)

A partir de los trabajos desarrollados por Zavala (1991) y Torrecillas *et al.* (2020); coincidiendo con Leyva *et al.* (2020) y Rascón *et al.* (2023), se construyen gráficos de control de calidad de la media, a partir de los límites de control superior e inferior para conocer si el proceso de aserrado está fuera o bajo control. Para ello se utilizan las siguientes ecuaciones que son soportadas en el programa CONTROL:

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \quad LCI = \bar{\bar{X}} \quad LIC = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} \quad (9)$$

Donde: LCS- Limite de control superior; LCI-Limite de control inferior;  $\bar{\bar{X}}$  - Media total del espesor de la pieza aserrada;  $A_2$ - Factor para determinar los límites de control  $\bar{\bar{X}}$ ;  $\bar{R}$ - Intervalo o amplitud promedio de la muestra (diferencia entre el valor mayor y menor de las seis mediciones en grosor de cada vitola aserrada).



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Análisis de presencia de defectos en las trozas utilizadas en el aserradero Pandico*

Durante la conversión de la troza en los aserraderos ha quedado demostrado que la influencia de la calidad de la troza representa una significativa influencia sobre los rendimientos y calidad de la madera elaborada, coincidiendo en este sentido con Pupo *et al.* (2024).

Por lo que la cuantificación de las trozas en los aserraderos es un aspecto de relevante importancia en el proceso del control estadístico del aserrado de las trozas (Tabla 1).

**Tabla 1.** - Resultados obtenidos a partir de la determinación de las magnitudes de los defectos analizados

	Defectos	Mínimo	Media	Máximo	St.d. Dev
<i>Toona ciliata</i>	Índice de rajadura	0,00	0,19	0,67	0,17
	Conicidad (%)	0,30	1,90	2,90	0,66
	Índice ovalidad	77,92	67,18	94,36	7,15
	Número de defectos m <sup>-2</sup>	0,00	1	1,50	1,50
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Índice de rajadura	0,09	0,26	0,55	0,10
	Conicidad (%)	0,66	1,27	2,76	0,51
	Índice ovalidad	63,28	82,35	91,76	7,24
	Número de defectos m <sup>-2</sup>	1,38	3	4,72	0,84

En esta tabla 1, se aprecian las magnitudes de los defectos determinados, apreciando que la especie *Eucalyptus camaldulensis* presenta tres defectos por cm<sup>2</sup> de la troza. Resultado que es superior a los resultados obtenidos para la especie *Toona ciliata*, lo que demuestra que el *Eucalyptus camaldulensis* expone trozas de menor calidad, todo lo cual posibilita predecir que tendrá un menor rendimiento de madera aserrada en función de la calidad. Aspecto que ha sido demostrado por Santos *et al.* (2019) y Cataldo *et al.* (2025) (Tabla 1).

A) Índice de rajadura



En la Figura 4, se puede apreciar el desarrollo de rajaduras en una troza de *Toona ciliata*, que se caracteriza (Tabla 1), por tener un menor índice de rajadura reflejado en una magnitud de 0,19 en comparación con los valores de índice de rajadura del *Eucalyptus camaldulensis* de 0,26; lo cual está determinado por la presencia de grandes tensiones de crecimiento presentes en el género *Eucalyptus*; aspecto que ha sido demostrado por Pupo *et al.* (2023).

Es importante definir que estos resultados presentan un mejor comportamiento que los obtenidos por Pupo *et al.* (2023), al presentar valores de índice de rajaduras para el *Eucalyptus saligna* Smith de 0,56 y *Eucalyptus pellita* F. Muell de 0,49.



**Figura 4.** - Presencia de rajadura en extremo de una troza de *Toona ciliata*

La presencia de rajaduras en las trozas estudiadas se manifiesta en el desarrollo de rajaduras en las piezas aserradas obtenidas a partir de la utilización de estas trozas (Figura 5).





**Figura 5.** - Presencia de rajaduras en piezas aserrada de las especies estudiadas

## B) Conicidad e Índice de Ovalidad

En la tabla 2, se aprecia que la *Toona ciliata* se caracteriza por presentar los resultados inferiores en relación al índice de ovalidad con valores promedios de 78 %, que son inferiores en calidad en comparación con las trozas de *Eucalyptus camaldulensis* se caracteriza por presentar índices de ovalidad del 82 % (Tabla 2).

Esto significa que en la sección transversal de las trozas de *Toona ciliata* manifiesta una mayor irregularidad al existir una mayor variación entre sus dos diámetros representativos, lo que implica que durante el proceso de aserrado se pierdan un mayor volumen de madera al realizarse el primer corte de apertura; lo cual ha sido demostrado por Alvarez *et al.* (2022) y consecuentemente una influencia negativa sobre los rendimientos de madera aserrada y la productividad en los aserraderos.

### *Análisis de la dimensión óptima de la madera aserrada de Eucalyptus camaldulensis y Toona ciliata*

En el aserradero Pandico existe un sobredimensionamiento generalizado de la madera aserrada de *Eucalyptus camaldulensis* y *Toona ciliata*. De acuerdo con los valores de grosores promedios de las piezas muestreadas (Tabla 2), teniendo en consideración la utilización del programa CONTROL, para surtidos con grosores de 20 y 40 cm, no se procesan las piezas de manera que satisfagan las dimensiones finales reglamentadas para el mercado en relación con la dimensión óptima; lo cual implica una considerable pérdida durante el cepillado de estas piezas sobredimensionadas, lo cual implica,



además, de la pérdida de determinado volumen de madera un incremento del consumo energético del proceso de aserrado.

**Tabla 2.** - Resultados obtenidos durante la aplicación del control estadístico de la variación de aserrado

Parámetros	Piezas de 20 mm de grosor de <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Piezas de 40 mm de grosor de <i>Toona ciliata</i>
Dimensión óptima (mm)	24,1152	45,3265
Dimensión final (mm)	20,0000	40,0000
Variación de aserrado dentro de las piezas (mm)	1,3208	1,3629
Variación de aserrado entre piezas (mm)	1,2141	1,6560
Variación total de aserrado (mm)	1,7940	2,1448
Tolerancia por cepillado (mm)	0,0000	0,0000
Tolerancia por contracción (%)	9,1000	7,1300
Dimensión crítica	21,1551	41,7877

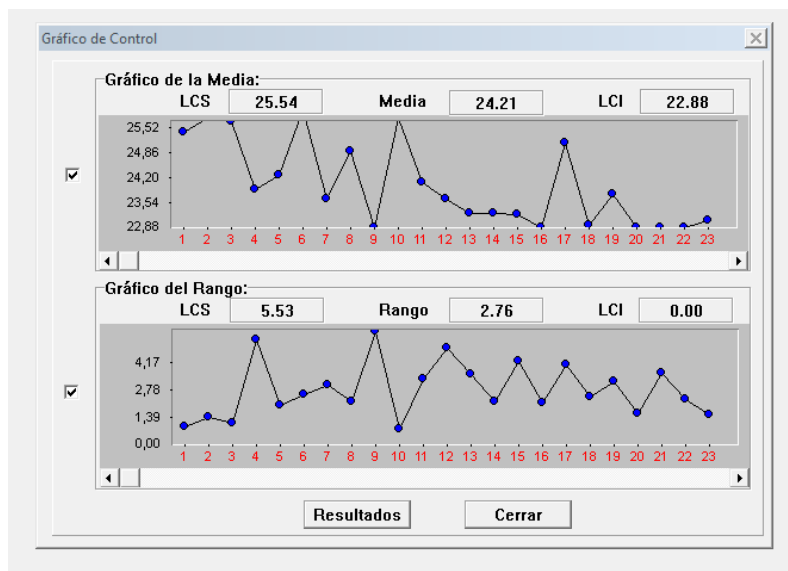
Teniendo en consideración las características del proceso de aserrado se aprecia que en un proceso se debería cortar a 2,1551 mm, sin embargo al estar el proceso elaborando piezas sobredimensionadas se obtiene una dimensión óptima de aserrado de 24,1152 mm; lo cual representa un sobredimensionamiento en relación a la dimensión crítica de 2,9601 mm por pieza y al considerar la dimensión final de las piezas de 20 mm para el *Eucalyptus camaldulensis*, entonces el sobredimensionamiento es mayor al ubicarse en una magnitud de 4,1152 mm lo cual implica un volumen considerable de pérdida de madera., en comparación con los resultados obtenidos por Álvarez *et al.* (2020), para maderas latifolias.

Para el surtido de *Toona ciliata* de 40 mm de grosor, se aprecian resultados con la misma tendencia de un sobredimensionamiento ya que se definen como dimensiones críticas y óptimas los valores de 41,7877 mm y 45,3265 mm, lo cual corrobora el sobredimensionamiento del proceso.



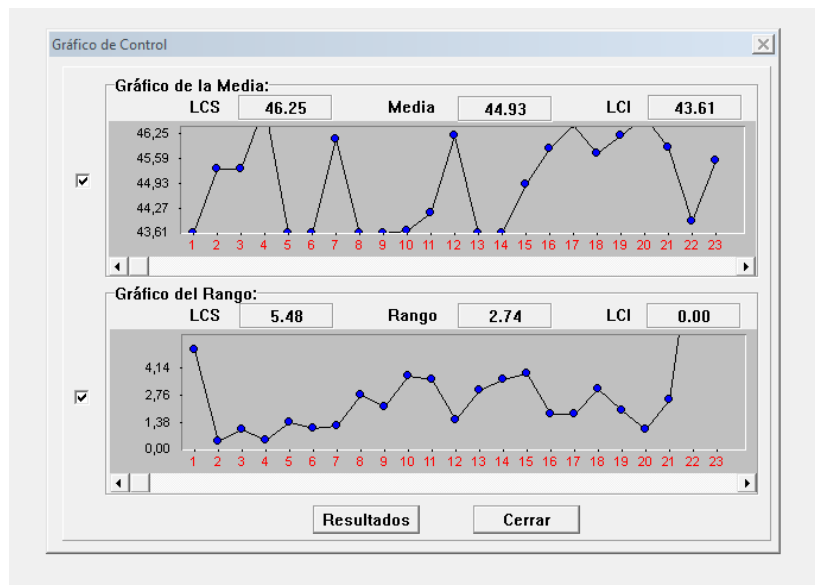
Todo ello denota la necesidad de la sistematización del control estadístico del proceso de aserrado con la finalidad de reducir las pérdidas de madera por concepto de sobredimensionamiento. Además, se presentan también los resultados relacionados con la variación total de aserrado para los surtidos de 20 mm para *Eucalyptus camaldulensis* y 40 mm para *Toona ciliata* con valores entre 1,7940 y 2.1448 mm que son resultados inferiores a los obtenidos por Leyva *et al.* (2020) al procesar *Samanea saman*.

Sin embargo, al analizar los resultados obtenidos en relación a las variaciones del grosor dentro y entre las piezas procesadas y teniendo en consideración los gráficos de control obtenidos a partir del programa Control (Figura 6 y 7), se aprecia que el proceso está fuera de control, lo cual implica que existe la tendencia de la variación del grosor de las piezas con una determinada inexactitud, que es menor que en los resultados obtenidos por Leyva *et al.* (2020).



**Figura 6.** – Gráficos de media y rango resultantes de la aplicación del software Control en piezas aserradas de *Eucalyptus camaldulensis* de 20 mm de grosor para exponer la variación de aserrado





*Figura 7. – Gráficos de media y rango resultantes de la aplicación del software Control en piezas aserradas de Toona ciliata de 40 mm de espesor para exponer la variación de aserrado*

La gran variación de grosor dentro de las piezas se debe, no solo a las desviaciones excesivas de la hoja de sierra respecto a su trayectoria normal, sino también a la deficiente alineación del carro porta trozas. La variación de grosor que se observa entre piezas, se debe también a las imprecisiones cometidas por el aserrador que en muchas ocasiones proyecta esquemas de cortes que tienden a sobredimensionar las piezas interiores. El control estadístico del proceso, demuestra la necesidad de analizar la calidad de la materia prima, la maquinaria utilizada y la habilidad del operador; coincidiendo con los criterios expuestos por Torrecillas *et al.* (2020).

## CONCLUSIONES

Las trozas de la especie *Eucalyptus camaldulensis* presentan 3 defectos por m<sup>2</sup> de superficie, lo cual es superior al número de defectos que se aprecia en las trozas de *Toona ciliata* que se ubica en 1 defecto por m<sup>2</sup>, lo cual se relaciona fundamentalmente con una mayor número de rajaduras en los extremos de las trozas.



En las piezas aserradas de *Eucalyptus camaldulensis* se aprecia un sobredimensionamiento en relación a la dimensión crítica de 2,9601 mm por pieza y al considerar la dimensión final de las piezas de 20 mm, entonces el sobredimensionamiento es mayor al ubicarse en una magnitud de 4,1152 mm lo cual implica un volumen considerable de pérdida de madera

Para el surtido de *Toona ciliata* de 40 mm de grosor, se aprecia un sobredimensionamiento ya que se definen como dimensiones críticas y óptimas los valores de 41,7877 mm y 45,3265 mm, lo cual corrobora el sobredimensionamiento del proceso.

Las utilidades de gráficos de control constituyen una herramienta adecuada para tomar decisiones dirigidas a aumentar la calidad de la madera aserrada.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVAREZ, D., SEBASTIAO, J.D., LELO, F.N.B., SILVA, S., y ESTEVES, 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, pp. 34-53. Disponible en: <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/452>

BELTRAME, R., PERES, M.L., LAZAROTTO, M., GATTO, D.A., SCHNEID, E., y HASELIN, C.R., 2015. Tensão de crescimento e sua relação com as rachaduras de topo em toras de *Eucalyptus* spp. Sci. For., Piracicaba, [en línea] vol. 43, no. 105, pp. 63-74. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/283778078\\_Growth\\_stress\\_and\\_its\\_relationship\\_with\\_end\\_splits\\_in\\_logs\\_of\\_Eucalyptus\\_spp](https://www.researchgate.net/publication/283778078_Growth_stress_and_its_relationship_with_end_splits_in_logs_of_Eucalyptus_spp)

BROWN, T.D., 2000. Lumber Size Control, Part 1: Measurement Methods. Oregon State University, Extension Service. Corvallis, OR, USA. 11 pp. Disponible en: [https://books.google.com.cu/books/about/Lumber\\_Size\\_Control.html?id=8uUOAQAAMAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.cu/books/about/Lumber_Size_Control.html?id=8uUOAQAAMAAJ&redir_esc=y)



- CATALDO, M.J., MAMMOLITI, A., PAPANDREA, S. F., y PROTO, A.R., 2025. Sawing yield estimation of defective logs in *Olea europaea* L., *Robinia pseudoacacia* L., and *Castanea sativa* Mill. species growing in Southern Italy. *Annals of Forest Science*, [en línea] vol. 82, no.1, pp. 36. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13595-025-01305-7>
- CHACKO, V. J., 1965. Manual on sampling techniques for forest surveys. Publisher Management of Publication, Delhi, [en línea] 172 pp. Disponible en <https://www.worldcat.org/title/manual-on-sampling-techniques-for-forestsurveys/oclc/679920637>
- GARCÍA, L., GUINDEO, A., PERAZA, C., y PALACIOS, P., 2002. La madera y su tecnología. Fundación Conde del Valle de Salazar y Ediciones Multi-prensa. AITIM. Madrid. 322 pp. Disponible en: [https://books.google.com/cu/books/about/La\\_madera\\_y\\_su\\_tecnolog%C3%ADa.html?hl=es&id=4RLvswEACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com/cu/books/about/La_madera_y_su_tecnolog%C3%ADa.html?hl=es&id=4RLvswEACAAJ&redir_esc=y)
- LECKOUNDZOU, A., ALVAREZ, D., MARTÍNEZ, Y., ROJAS, Y., y ESPINOSA, M.A., 2024. Predicción de los rendimientos de madera aserrada de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret & Golfari Pinar del Río, Cuba. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, [en línea] vol. 12, no. 1, pp. e805. Disponible en: <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/805>
- LEYVA, I., ALVAREZ, D., LA O, Y., CÉSPEDES, G., y SEGURADO, 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, pp. 507-518. Disponible en <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/579>
- LOLILA, N., MCHELU, H., MAUYA, E., y MADUNDO, S., 2021. Lumber recovery and production rates of small-scale mobile sawmilling industries in northern Tanzania. *Tanzania Journal of Forestry and Nature Conservation* [en línea] vol. 90, pp. 74-83. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/364783583\\_Lumber\\_Recovery\\_and\\_Production\\_Rates\\_of\\_Small-Scale\\_Mobile\\_Sawmilling\\_Industries](https://www.researchgate.net/publication/364783583_Lumber_Recovery_and_Production_Rates_of_Small-Scale_Mobile_Sawmilling_Industries)



- LUZ, E. S., SOARES, Á. A. V., GOULART, S. L., CARVALHO, A. G., MONTEIRO, T. C., y PROTÁSIO, T. P., 2020. Challenges of the lumber production in the Amazon region: Relation between sustainability of sawmills, process yield and logs quality. *Environment, Development and Sustainability*, [en línea] 23, 4924–4948. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00797-9>
- MAUYA, E.W., GESASE, L., MANGI, G., TEMBA, G., TESHIA, D., MADUNDO, S., LOLILA, N.J., y Jonas, J. N., 2024. Estimation of lumber recovery for small-scale mobile sawmills in Tanzania. *Southern Forests*, [en línea] vol. 86, no. 1, pp. 24–29. Disponible en <https://doi.org/10.2989/20702620.2024.2316913>
- MONTEIRO, T.C., SILVA, R.V., LIMA, J. T., BARAUNA, E.E.P., CARVALHO, D.M., y LIMA, M.T., 2011. Influência do lenho de tração nas propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus* sp. *J. Biotec. Biodivers.* [en línea] vol. 1, no. 1, pp. 6-11. Disponible en <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v1n1.monteiro>
- PUPO, I., ALVAREZ, D., ESTEVES, I., GUERRA, D., y MOREJON, R., 2023. Incremento de los rendimientos de madera aserrada de *Eucalyptus* sp en la unidad de base agroindustrial Los Palacios, Pinar del Rio, Cuba. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, septiembre-diciembre, [en línea] vol. 11, no. 3, pp. e802. Disponible en <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/802>
- RASCÓN, J., AGUIRRE, O. A., ALANIS, E., JIMÉNEZ, J., TREVIÑO, E.J., y NÁJERA, J., A., 2023. Rendimiento y distribución de clases de madera aserrada de pinos del norte de México. *Colombia Forestal*, [en línea] vol. 26, no. 2, pp. 60-76. Disponible en: <https://doi.org/10.14483/2256201X.20082>
- RICHTER C. 2015. *Wood Characteristics - Description, Causes, Prevention, Impact on Use and Technological Adaptation*. Springer International Publishing, Switzerland. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Description%2C-Causes%2C-Prevention%2C-Impact-on-Use-and-Richter/b9061afbb32b58847613f4618203ce558ac2b3cb>



- SANTOS, M. F., GAMA, J. R. V., FIGUEIREDO FILHO, A. F., COSTA, D. L., RETSLAFF, F. A. S., SILVA-RIBEIRO, R. B., y RODE, R., 2019. Conicity and yield for lumber from comercial species from the Amazon. CERNE, [en línea] vol. 25, no. 4, p.439-450, 2019. DOI: 10.1590/01047760201925042648
- STRAGLIOTTO, M.C., OLIVEIRA, A.C., LENGOWSKI, E.C., ARRUDA, T.P.M., SILVA, J.R.M., Y PEREIRA, B.L.C., 2025. Log quality and lumber yield for export of five species from the Brazilian Amazon. Environment, Development and Sustainability, [en línea] vol. 27, pp. 10059-10082. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10668-023-04298-3>
- THOMAS, C.; PARRESOL, B. 1998. Simple, flexible, trigonometric taper equation. Can, J, For, Res, [en línea] vol. 21, pp. 1132-1134. Disponible en: [https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja\\_thomas003.pdf](https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja_thomas003.pdf)
- THOMAS, E.; BUEHLAMNN, U. 2023. Effect of Sawing Variation on Hardwood Lumber Recovery – Part II: Board Count. Forest Prod. J, [en línea] vol.73, no. 1, pp. 66-74. DOI: 10.13073/FPJ-D-22-00058
- TORRECILLAS, C. A., OROZCO, R., NÁJERA, J.A., HERNÁNDEZ, J.C., HERNÁNDEZ, F.J., CRUZ, R., CORRAL, J.J., y GOCHE, J.R., 2020. Evaluación del refuerzo de asierre en madera seca y cepillada del ejido Pueblo Nuevo, Durango. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, [en línea] vol. 11, no. 57, enero-febrero. Disponible en <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i57.645>
- TRIANOSKI, R., MATOS, J.L.M., y IWARAKI, S., 2014. Propriedades físicas, químicas e mecânicas da madeira de Cedro australiano cultivado em Corupá, SC. Pesq. Flor. Bras., Colombo, [en línea] vol. 34, no. 80, p. 435-441. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/276386202\\_Propriedades\\_fisicas\\_quimicas\\_e\\_mecanicas\\_da\\_madeira\\_de\\_cedro\\_australiano\\_cultivado\\_em\\_Corupa\\_SC](https://www.researchgate.net/publication/276386202_Propriedades_fisicas_quimicas_e_mecanicas_da_madeira_de_cedro_australiano_cultivado_em_Corupa_SC)



YOUNG, T.M., LEBOW, P.K., LEBOW, S., y TAYLOR, A., 2020. Statistical Process Control and Related Methods for Improvement of the Treated-Wood Industries. Forest Prod. J, [en línea] vol. 70, no. 2, pp. 165-177. Disponible en doi:10.13073/FPJ-D-19-00067

VIERA, D., CRUZ, V., ALVAREZ, D., y FUENTES, O., 2025. Desarrollo de Varsaw: un software para optimización dimensional en el aserrado. Revista Cubana de Ciencias Forestales, [en línea] vol.13, no. 2, e919. Disponible en <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/919/1312>

ZAVALA, D. 1991. Manual para el establecimiento de un sistema de control de la variación de refuerzo en madera aserrada. Texcoco, México. Serie de Apoyo Académico 44. Universidad Autónoma Chapingo

***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.

