

Revista Cubana de
Ciencias Forestales

CFORES

Volumen 11, número 3; 2023

Artículo original

Incremento de los rendimientos de madera aserrada de Eucalyptus sp en la unidad de base agroindustrial Los Palacios, Pinar del Río, Cuba

Eucalyptus sp. sawn wood yields in the Los Palacios agroindustrial base unit, Pinar del Río, Cuba

Acrescentamento dos rendimentos de madeira serrada de Eucalyptus sp na Unidade de Basse Agroindustrial Os Palácios, Pinar del Río, Cuba

Ivania Pupo Carballo^{1*} , Daniel Álvarez Lazo² , Ignacio Esteves Valdes³ ,
Damián Guerra Castellón² , Rogelio Morejón Rivera⁴ 

¹Servicio Estatal Forestal de Los Palacios, Pinar del Río, Cuba.

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

³Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador.

⁴Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Carretera La Francia, km 1½, Los Palacios, Pinar del Río

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

Recibido:12/05/2023.

Aprobado:16/11/2023.



RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en las áreas de la Unidad Empresarial de Base Agroindustrial Los Palacios, con el objetivo de incrementar los rendimientos de madera aserrada de *Eucalyptus pellita* F Muell y *Eucalyptus saligna* Smith a partir de la utilización de la combinación de tratamientos para reducir el efecto de las tensiones de crecimiento y los esquemas de aserrado. Se utilizan 200 trozas de 4 m y mediante el análisis ANOVA de dos factores, se comprobó que no existen diferencias significativas entre las especies sobre el Índice de rajadura; considerando además que los mejores resultados se obtienen en las trozas almacenadas con riego para *Eucalyptus saligna* y árboles anillados en pie para ambas especies. A partir de la aplicación del método de eliminación en el análisis de regresión lineal, la variable conicidad queda excluida para la construcción del modelo de predicción, utilizando como única variable independiente el diámetro de las trozas en las dos ecuaciones obtenidas que se caracterizan por presentar elevados coeficientes de correlación, determinación y bajos errores estándar de estimación. Teniendo en consideración los métodos de aserrado, se define que los mejores rendimientos de madera aserrada se obtienen a partir del aserrado tangencial alternativo combinado con el tratamiento de árboles anillados en pie.

Palabras clave: trozas, rajaduras, aserrado, calidad.

ABSTRACT

The present study is developed in the areas of the Los Palacios Agroindustrial Base Business Unit, with the objective of increasing the yield of *Eucalyptus pellita* F Muell, and *Eucalyptus saligna* Smith sawn wood from the use of a combination of treatments to reduce the effect of growth stresses and sawing schemes. 200 logs of 4 m were used and through the two-factor ANOVA analysis, it was found that there are no significant differences between the species on the Cracking Index; considering also that the best results are obtained in logs stored with irrigation for *Eucalyptus saligna* and standing ringed trees for both species. From the application of the elimination method in the linear regression analysis, the conicity variable is excluded for the construction of the prediction model using the diameter of the logs as



the only independent variable in the two equations obtained, which are characterized by presenting high coefficients of correlation, determination and low standard errors of estimation. Taking into consideration the sawing methods, it is defined that the best yields of sawn wood are obtained from alternative tangential sawing combined with the treatment of standing ringed trees.

Keywords: logs, splits, sawing, quality.

RESUMO

O presente trabalho desenvolve se nas áreas da Unidade de Basse Agroindustrial Os Palácios, com o objectivo de acrescentar os rendimentos da madeira serrada de *Eucalyptus pellita* F Muell y *Eucalyptus saligna* Smith partindo do emprego da combinação de tratamentos para reduzir o efeito das tensões de crescimento e os desenhos de serrado. Empregaram se 200 troças de 4m cada uma e mediante a análise ANOVA dos fatores, comprovou se que não existem diferenças entre as espécies sobre o índice da fissura~ considerando, embora disso, que os melhores resultados obtêm se nas troças armazenadas com riscos para *Eucalyptus saligna* e as árvores aniladas em pé para ambas espécies. Partindo da aplicação do método da eliminação na análise de regressão linhal, a variável conicidade foi excluída para a construção dum modelo de predição, empregando como única variável independente o diâmetro das troças nas duas equações obtidas que caracterizam se por presentar levados coeficientes de correlação, correlação e baixos erros nos estandartes de estimação. Tendo em consideração os métodos de serrado se define que os melhores rendimentos de madeira serrada obtêm se a partir do serrado tangencial alternativo, combinado com o tratamento das árvores aniladas em pé.

Palavras chaves: troças, fissura, serrado, qualidade.



INTRODUCCIÓN

La industria forestal es una herramienta necesaria para hacer que la producción forestal sostenible sea un objetivo viable. También constituye un agente para el desarrollo sostenible por derecho propio, ya que aumenta los beneficios socioeconómicos del sector.

Pupo *et al.* (2018), plantean que actualmente es un objetivo de la política forestal crecer cada año en la producción de madera, fundamentalmente de plantaciones, aliviando la presión existente sobre los bosques naturales ya que en su gran mayoría las especies de alto valor comercial se encuentran distribuidas en estos bosques.

La demanda de materia prima continúa en aumento y la oferta de madera aún más limitada, jugando un papel fundamental la diversificación de especies de rápido crecimiento que, además de adaptarse a las condiciones edafoclimáticas, son de alta productividad y tienen madera de buena calidad, donde se destaca el género *Eucalyptus* (França *et al.*, 2019).

Sin embargo, de acuerdo con Beltrame *et al.* (2016), la mayor limitación técnica que presenta este género es la magnitud de las tensiones de crecimientos que, probablemente, resulte el indicador de mayor significación, puesto que altos niveles de tensión (particularmente las tensiones longitudinales) ocasionan los defectos que más perjudican el rendimiento y la obtención de madera aserrada de calidad.

Las tensiones de crecimiento comienzan a liberarse desde el mismo momento de la tala y se manifiestan como rajaduras en los extremos de las trozas. En las piezas aserradas, las tensiones remanentes también provocan rajaduras y alabeos (França *et al.* 2019 y Silva *et al.*, 2019). Por lo que el objetivo general del presente es incrementar los rendimientos de madera aserrada de *Eucalyptus pellita* y *Eucalyptus saligna* a partir de la utilización de la combinación de tratamientos para reducir el efecto de las tensiones de crecimiento y los esquemas de aserrado.



MATERIALES Y MÉTODOS

Metodología utilizada

La investigación se llevó a cabo en el aserradero de banda Rigo Fuentes, perteneciente a la Empresa Agroforestal La Palma, específicamente en la Unidad Empresarial de Base Agroindustrial "Los Palacios" ubicada en el Consejo Popular de San Diego de los Baños, Municipio Los Palacios, Provincia de Pinar del Río, Cuba.

El municipio Los Palacios, se localiza en la parte sur-este de la provincia de Pinar del Río. Limita al Norte con los municipios de La Palma, al Sur con las aguas del Golfo de Batabanó, al Oeste con el municipio Consolación del Sur y al Este con San Cristóbal, el territorio se extiende desde las elevaciones de la Cordillera de Guaniguanico hasta la costa sur bañada por el mar Caribe y posee una extensión territorial de 764,51 km².

La Unidad Empresarial de Base Agroindustrial "Los Palacios" radica en la zona montañosa del municipio y cuenta con un patrimonio forestal de 12249,60 ha, con 199 trabajadores, distribuidos en seis brigadas para atender todo lo referido a la Silvicultura, al aprovechamiento y la industria forestal.

Durante la materialización de la investigación se utilizan dos especies de rápido crecimiento del género *Eucalyptus*: *Eucalyptus pellita* y *Eucalyptus saligna* en plantaciones que abarcan 373,6 ha de las 1451,70 ha que constituyen plantaciones establecidas del Patrimonio Forestal del Municipio Los Palacios.

Determinación del número de muestras utilizadas en la investigación

Se empleó el muestreo aleatorio simple a partir de la utilización de 100 árboles, teniendo como viable de interés el diámetro ($D_{1.30}$); según la metodología propuesta por Aldana *et al.* (2010) y Álvarez *et al.* (2020); que utilizan las siguientes ecuaciones Ecuación 1 y Ecuación 2:

$$n = \frac{t^2 s_x^2}{E^2} \quad (1)$$

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



Donde: n = número de muestras; t^2 = Estadígrafo t de student al cuadrado; LE = límite del error de muestreo admitido.

La muestra queda constituida por 200 trozas de 4,0 m de longitud de cada especie, con un diámetro entre 21 y 30 cm, este número fue dividido en grupos de 50 para aplicar los diferentes tratamientos para reducir los índices de rajaduras de las trozas e incrementar los rendimientos de madera aserrada

Determinación de la eficiencia del proceso de aserrado de Eucalyptus pellita y Eucalyptus saligna en dependencia de los esquemas de aserrado y tratamientos para reducir las tensiones de crecimiento

A partir de la combinación de tres tratamientos para reducir el efecto de las tensiones de crecimiento sobre la calidad de las trozas; combinado con la aplicación de diferentes métodos de aserrado, propuestos por Pedro *et al.* (2014) citado por Juízo *et al.* (2018) y Carvalho *et al.* (2019) se pretende incrementar la eficiencia del proceso de aserrado de *E. pellita* y *E. saligna*. Los tratamientos son los siguientes:

Tratamiento de trozas almacenadas con riego (T1)

Este tratamiento consiste en mantener las trozas sometidas a riego durante 4 veces al día, con el objetivo de mantener un elevado gradiente de humedad en la madera para disminuir el efecto de las tensiones internas de crecimientos y a su vez hacer más fácil el aserrado de las trozas, según (Pupo *et al.*, 2018).

Tratamiento de trozas almacenadas con anillo en los extremos (T2)

Consiste en hacer un anillo de 30.0cm en cada extremo de las trozas, profundizando 1/3 del diámetro, teniendo en cuenta lo planteado por Pupo *et al.* (2018).

Patrón (T3)

Trozas almacenadas en condiciones normales para establecer comparaciones.

Anillado de árboles en pie (T4)

Consiste en hacer un anillo de 30 cm de ancho por encima de la altura de talado de los árboles, profundizando 1/3 del diámetro con el objetivo de cortar la circulación de la savia eliminando el cambium del árbol, hasta llegar a la profundidad deseada, para lo cual fue



necesario esperar tres meses. (Neto, 2017 y Pupo *et al.*, 2020). A continuación, se obtiene una troza de cuatro metros de longitud ubicada por encima de la altura de talado y que contenga el anillado realizado.

Las trozas fueron trasladadas del área de tala para la Unidad Empresarial de Base Agroindustrial "Los Palacios" donde fueron montados todos los tratamientos. Como índice de determinación del efecto de los métodos aplicados para la reducción de las tensiones de crecimiento sobre la madera de *Eucalyptus sp* se toma como referencia el Índice de rajadura.

Determinación del índice de rajadura

En el desarrollo de los tratamientos se siguió de manera sistemática la cuantificación de las fendas o grietas producidas en las trozas debido a la liberación de tensiones de crecimiento en cuanto a longitud (LG), profundidad (PG), ancho (AG) y número (NG). Estos datos fueron procesados con las facilidades del sistema Microsoft Excel donde se determinaron las medias de cada uno de los parámetros cuantificados (Figura 1), así como el índice de rajadura de las trozas (IRT), según el tratamiento y la especie, utilizando la ecuación utilizada por Beltrame *et al.*, (2015). (Ecuación 3).

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

Dónde: IR - índice de rajadura de las trozas, %; a_i - abertura máxima de la rajadura ($i = 1 \dots n$), cm; C_i - tamaño de la rajadura (medula-corteza), cm; D - diámetro medio de corte, cm.

Para la construcción de los modelos que permitieron la predicción del Índice de Rajaduras se tomó la muestra patrón (T3), teniendo como variables dependiente el IR y las variables independientes el diámetro en el centro de la troza y la conicidad de las mismas. Basándose la selección de ambas variables, principalmente en fundamentos conceptuales o teóricos (Hair *et al.*, 1999). Para el ajuste de los modelos de estimación del Índice de rajadura se utilizó la regresión lineal múltiple, mediante el método por pasos.



Después de concluido el tiempo establecido en los tratamientos aplicados, las muestras fueron trasladadas al aserrío Martín González donde se llevó a cabo la segunda fase de la investigación.

Debido a la particularidad del *Eucalyptus sp* en cuanto a las elevadas tensiones internas de crecimiento y sus posteriores defectos en la madera aserrada se aplicaron a las muestras dos esquemas de aserrado, denominados (A)- aserrado tangencial con cortes sucesivos y el (B)- aserrado tangencial con cortes alternativos, tal y como son representados en la Figura 1; coincidiendo con Carvalho *et al.* (2019).

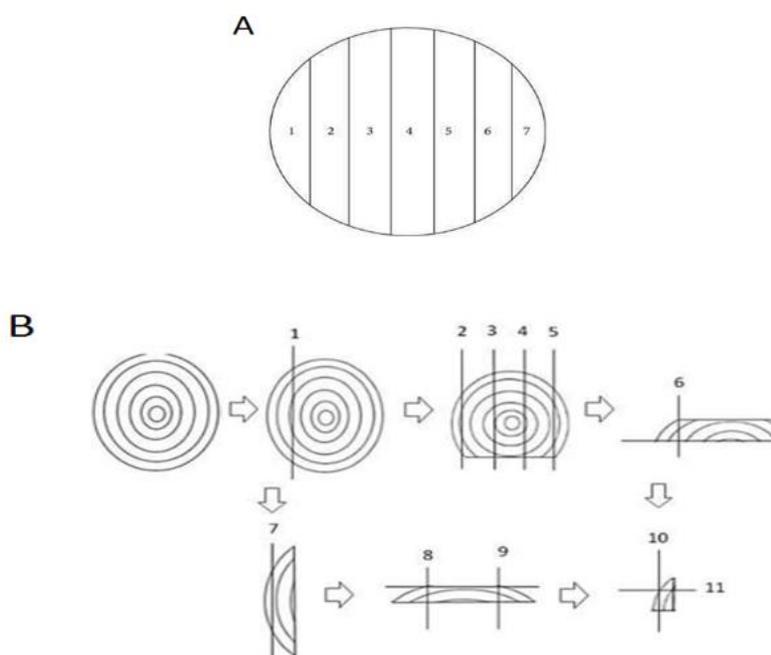


Figura 1. - Métodos de aserrado. A- aserrado tangencial con cortes sucesivos. B- Aserrado tangencial alternativo.

Fuente: Pedro *et al.* (2014), citado por Juízo *et al.* (2018) y Carvalho *et al.* (2019)

Se procesaron 25 trozas por tratamiento para definir los rendimientos y calidad de la madera aserrada para las especies de *Eucalyptus* investigadas. Los rendimientos de madera aserrada se obtienen a partir de la siguiente expresión matemática, coincidiendo con Leyva *et al.*, (2017) Ecuación 4.



$$R_v = \left(\frac{Vma}{Vt} \right) * 100 \quad (4)$$

Donde: R_v - Rendimiento volumétrico total, (%); Vma - Volumen de madera aserrada, (m^3); Vt - Volumen de madera en trozas (m^3)

El volumen de madera aserrada total en cada troza en los aserraderos, se determinó sobre la base de las mediciones lineales obtenidas de madera aserrada de acuerdo con las expresiones que se exponen a continuación Ecuación 5:

$$Vma = \sum_{i=1}^n (a_i * g_i * l_i) \quad (5)$$

Donde: Vma - volumen de madera aserrada de una troza, m^3 ; a_i, g_i, l_i - 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 efectuó a través de la fórmula de Smalian, teniendo en consideración estudios desarrollados por (Casagrande *et al.*, 2019), como se muestra en la siguiente Ecuación 6:

$$Vmb = ((g_1 + g_2) / 2) * L \quad (6)$$

Donde: Vmb : volumen de la madera 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).

Análisis estadísticos

Las variables longitud (LG), profundidad (PG), ancho (AG) y número de grietas (NG) fueron analizadas para conocer si se cumplían los supuestos teóricos de distribución normal y homogeneidad de varianzas. Se realizó un ANOVA de dos factores, teniendo en cuenta el comportamiento de cada variable dependiente en cada métodos o tratamientos aplicados en las especies investigadas, con excepción del caso específico del número de grietas que no cumple con los supuestos teóricos ya que no sigue una distribución normal y se le aplicaron transformaciones logarítmicas.



A través del test de Duncan a un nivel de 5 % de probabilidad de error se determinó la existencia de diferencias significativas entre los métodos o tratamientos aplicados en cada una de las variables cuantificadas.

Se realizó además un análisis de varianza para definir diferencias entre las especies investigadas y los métodos o tratamientos aplicados para reducir las magnitudes de las rajaduras (número, ancho, longitud y profundidad de las grietas) y el Índice de Rajadura de las trozas (IRT) a través de una prueba HSD Tukey considerando un valor de $p=0.05$

Se utilizó un análisis t de muestras pareadas en el proceso de validación de los modelos de regresión obtenidos para la predicción del Índice de rajadura en las trozas investigadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de los tratamientos para reducir el efecto de las tensiones internas de crecimiento en la madera de Eucalyptus pellita y Eucalyptus saligna

En la Figura 2, se muestra el comportamiento del número de grietas por tratamiento en dependencia de la especie. Observando que la muestra patrón es la que presenta un mayor número de grietas, considerando que a estas trozas no se le ha aplicado ningún tratamiento para reducir el efecto de las tensiones de crecimiento sobre el desarrollo de grietas en los extremos; lo cual afecta directamente la efectividad del proceso de transformación mecánica de estas trozas en volumen y calidad de la madera procesada; coincidiendo con Braz *et al.* (2017) (Figura 2).



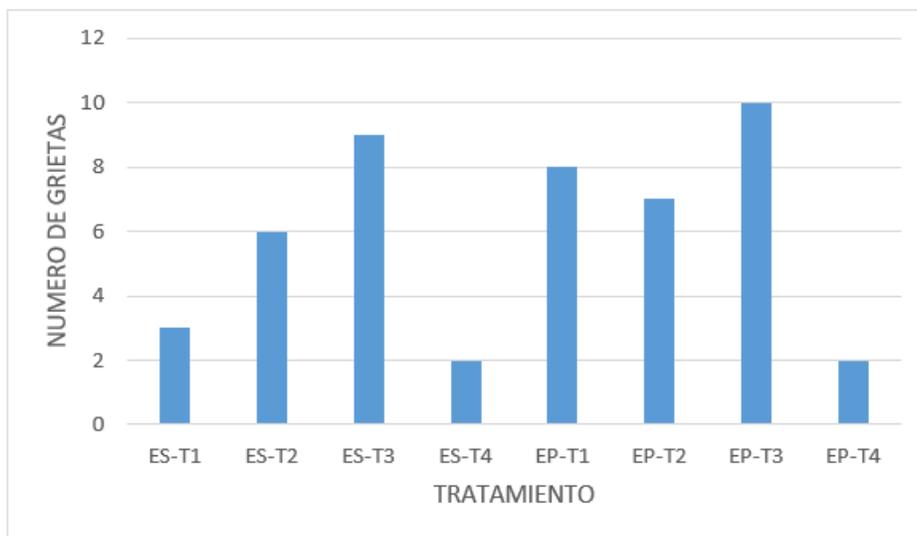


Figura 2. - Número de grietas. ES- *Eucalyptus saligna* y *Eucalyptus pellita*, T1-Tratamiento 1, T2-Tratamiento 2, T3-Tratamiento 3, T4-Tratamiento 4

En las Figuras 3 y 4, se aprecia que los mejores resultados se obtuvieron en los tratamientos de trozas almacenadas con riego (T1) y en árboles anillados en pie (T4) para el *E. saligna* y en árboles anillados en pie (T8) para *E. pellita* (Figura 3 y Figura 4).

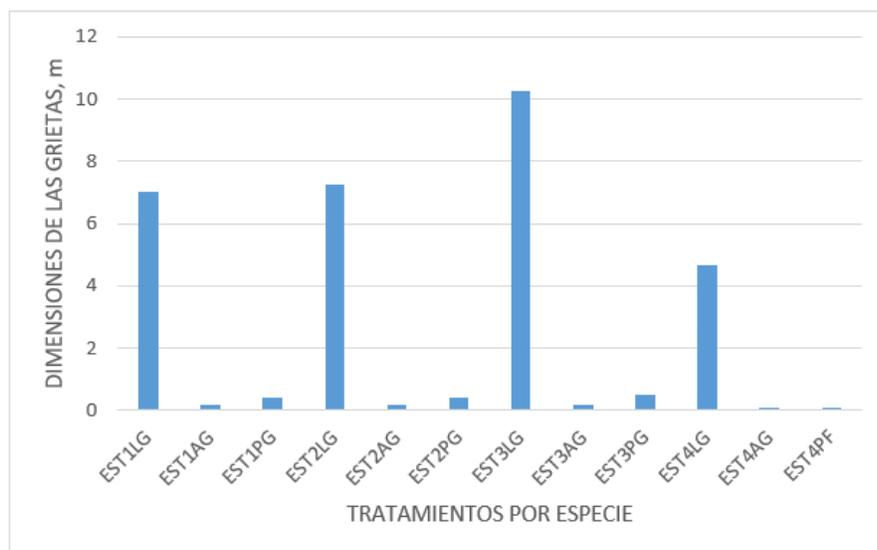


Figura 3. - Dimensiones de las grietas por tratamiento. ES-*Eucalyptus saligna*, T1-Tratamiento 11, T2-Tratamiento 2, T3-Tratamiento 3, T4-Tratamiento 4, LG- Longitud de las grietas, AG- Ancho de las grietas, PG-Profundidad de las grietas



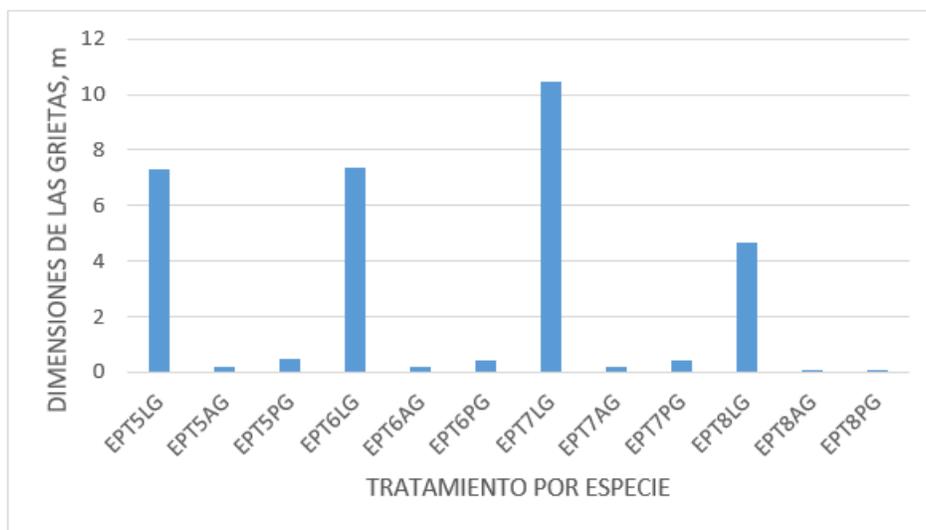


Figura 4. - Dimensiones de las grietas por tratamiento en *Eucalyptus pellita*. T5-Tratamiento 5, T6-Tratamiento 6, T7-Tratamiento 7, T8-Tratamiento 8, LG- Longitud de las grietas, AG-Ancho de las grietas, PG-Profundidad de las grietas

Los resultados expuestos en las Figuras 3 y 4, posibilitaron exponer una reducción de las dimensiones de las magnitudes de las grietas, lo cual es consecuencia de una mayor liberación de las tensiones de crecimiento; coincidiendo con Müller *et al.* (2017) y Silva *et al.* (2017).

Estos resultados fueron demostrados a través de un ANOVA de dos factores teniendo en cuenta el comportamiento de cada variable dependiente en cada prueba o tratamiento realizado para cada especie.

Al analizar el comportamiento de cada variable de forma independiente se resume que en la variable número de grietas (NG) se aprecia la interacción entre los factores (tratamientos y especies) y los mejores tratamientos sin diferencia significativa entre ellos, son los tratamientos de trozas almacenadas con riego (T1) y árboles anillados en pie (T4) para *E. saligna*, donde se obtuvo valores de 3,25 cm y 2,0 cm respectivamente y en árboles anillados en pie (T4) para *E. pellita* con un valor promedio de (1,66cm) (Tabla 1).



En el caso de la variable longitud de grietas (LG) no hubo diferencias significativas entre las especies ni entre los tratamientos. El tratamiento de trozas almacenadas con riego (T1) con 7,04cm en *E. saligna* y 7,29 cm en *E. pellita* no difiere estadísticamente del tratamiento trozas almacenadas con anillo en los extremos (T2) con 7,26 cm en *E. saligna* y 7,35 cm en *E. pellita*, indicando esto que la liberación de las tensiones de crecimientos fue más evidente en la aparición de las grietas en los extremos de las trozas.

Sin embargo, se aprecia la diferencia significativa entre el tratamiento de árboles anillados en pie (T4) con los demás tratamientos y el patrón (T3) considerando este, como el más efectivo para reducir las grietas en los extremos de las trozas para ambas especies con valores mínimos obtenidos de 4,65 cm en *E. saligna* y de 4,67 cm en *E. pellita* (Tabla 1).

Tabla 1. - Medias de cada variable en los diferentes tratamientos evaluados

Especies	Tratamientos	NG	LG cm	AG cm	PG cm
<i>Eucalyptus saligna</i>	1	3,25 d	7,04 b	0,018 a	0,045 a
	2	6,25 c	7,26 b	0,017 a	0,043 a
	3	9,00 ab	10,28 a	0,019 a	0,048 a
	4	2,00 d	4,65 c	0,010 b	0,010 b
<i>Eucalyptus pellita</i>	1	8,00 bc	7,29 b	0,020 a	0,049 a
	2	7,50 bc	7,35 b	0,018 a	0,043 a
	3	10,25 a	10,48 a	0,020 a	0,044 a
	4	1,66 d	4,67 c	0,011 b	0,010 b

Nota: Valores con la misma letra demuestran que no existen diferencias significativas entre los tratamientos para una $P < 0,05$.

Lo cual es consecuencia de que al realizar el anillado se provoca la muerte de los árboles, perdiendo humedad, reduciendo el efecto de las tensiones de secado además otro motivo es la liberación parcial de las tensiones de crecimientos provocando una disminución en la magnitud de las grietas.

Silva *et al.* (2017), obtienen valores medios de agrietamientos aplicando el tratamiento de árboles anillados en pie en *E. europhylla* de (26,73 cm) mucho más altos que los obtenidos en la presente investigación. El ancho (AG) y la profundidad (PG) de las grietas muestran similar comportamiento que en la variable anterior. Con valores mínimos obtenidos de



(0,011cm) en *E. saligna* y de (0,010cm) en *E. pellita* en el tratamiento de árboles anillados en pie, reafirmando la efectividad del mismo.

Análisis de la determinación del Índice de Rajadura

Mediante el análisis ANOVA de dos factores, se comprobó que no existen diferencias significativas entre las especies sobre el Índice de rajadura; considerando además la existencia de un efecto significativo del factor tratamiento sobre el Índice de rajadura (Tabla 2).

Tabla 2. - Resultados del análisis de varianza para el Índice de rajadura de las trozas

Análisis De Varianza					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	F	P
A: Prueba	0,415184	3	0,138395	27,40	0,0000
B: Especie	0,00300312	1	0,0030012	0,59	0,4482
A x B	0,403344	3	0,134448	2,66	0,0709
Residuo	0,121225	24	0,00505104		
Total	0,579747	31			

Pupo *et al.* (2018 y 2020), establecen que la presencia de rajaduras es consecuencia de la presencia de las tensiones de crecimiento y es por ello que a partir de la aplicación de diferentes tratamientos se pretende reducir el efecto de las mismas, las que se desarrollan con marcada significación en el género *Eucalyptus*, coincidiendo en este sentido con Silva *et al.* (2019).

En la Tabla 3, se comprueba la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, donde el T4 (anillado de árboles en pie) es el de mejor comportamiento con el menor índice de rajadura (0,15) en *E. saligna* y (0,26) *E. pellita*, aunque en los demás tratamientos aplicados se aprecia una tendencia al decrecimiento del mismo con relación al patrón (Tabla 3) y coincidiendo con Beltrame *et al.* (2015).



Tabla 3. - Comparación de las medias de los Índices de Rajaduras de las trozas según los tratamientos aplicados

TRATAMIENTOS	IRT (%)	
	<i>E. saligna</i>	<i>E. pellita</i>
1	0.32 b	0,37 b
2	0.29 c	0.29 c
3	0.56 a	0.48 a
4	0.15 d	0.26 da

Valores con la misma letra demuestran que no existen diferencias significativas entre los tratamientos para una $P > 0,05$.

En estudios realizados en diferentes clones de *Eucalyptus sp* por Beltrame *et al.* (2015), el valor promedio obtenido es de 0.46 % aunque en algunos de ellos los resultados fueron entre 0.14 y 0.34 %, muy similares a los obtenidos en la presente investigación.

Modelación matemática de la influencia de las variables diámetro y conicidad sobre la predicción del Índice de Rajadura de las trozas

Es muy importante la determinación del efecto de las características del árbol sobre los valores de madera, con la finalidad de proveer información para la selección de los modelos, por lo que se utilizan las variables de las trozas diámetro y conicidad (CON) y para determinar el grado de esta relación entre las variables empleadas en la estimación de los índices de rajaduras en las trozas se construyó la matriz de correlación que se muestra en la Tabla 4 y Tabla 5.

Como se aprecia en las Tablas 4 y 5 los coeficientes de correlación de las variables empleadas en la estimación del índice de rajadura en las dos especies estudiadas son significativos, lo cual demuestra el alto grado de relación existente entre estas (Tabla 4 y Tabla 5).



Tabla 4. - Matriz de correlación paramétrica de Pearson para *Eucalyptus pellita*

	Diámetro	IR	CON
DIÁMETRO Correlación de Pearson	1	-.857**	-.045
Sig. (bilateral)		.000	.757
N	50	50	60
IR Correlación de Pearson	-.857**		.201
Sig. (bilateral)	.00		
N	60	50	50
CON Correlación de Pearson	-.045	.184	1
Sig. (bilateral)	.757	.201	
N	50	50	50

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (dos colas)

Tabla 5. - Matriz de correlación paramétrica de Pearson *Eucalyptus saligna*

	Diámetro	IR	Conicidad
DIÁMETRO Correlación de Pearson	1	-.845**	-.757**
Sig. (bilateral)		.000	.000
N	34	34	60
IR Correlación de Pearson	-.845**	1	.579**
Sig. (bilateral)	.000		.000
N	34	34	34
CON Correlación de Pearson	-.757**	.579**	1
Sig. (bilateral)	.000	.000	
N	34	34	34

Nota: ** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (dos colas)

Utilizando las variables independientes (Diámetro y Conicidad de las trozas) de mayor relación con la variable dependiente (IR) se obtienen ecuaciones de predicción del índice de rajadura de las trozas para las especies *E. saligna* y *E. pellita* y los modelos comparados se observan en la Tabla 6, con sus respectivos coeficientes de correlación r , determinación (r^2) y error estándar de estimación (s), obteniendo un conjunto de resultados que denotan que existe una correlación lineal entre el índice de rajadura de las trozas, y las variables en estudio, reportando que existe una r cuadrado de 0,715 para *E. saligna* y de 0,806 para *E. pellita*; lo cual es considerado como fuerte. A partir de la aplicación del método de



eliminación en el análisis de regresión lineal, la variable conicidad queda excluida para la construcción del modelo de predicción (Tabla 6).

Tabla 6. - Modelos para determinar el índice de rajaduras de las trozas

Especie	Modelos de regresión	R	R ²	S
<i>E. saligna</i>	IRT= 1.474-0.046(Diámetro)	0.845	0.715	0.09155
<i>E. pellita</i>	IRT= -0.606+0.047(Diámetro)	0.898	0.806	0.07087

Las dos ecuaciones construidas para determinar el índice de rajadura en las trozas tienen elevados coeficientes de correlación, determinación y bajos errores estándar de estimación. Sin embargo, el mejor comportamiento lo posee el modelo que corresponde al *E. pellita*, que tiene mejor ajuste (las variables independientes explican el 89 % de la variable dependiente) y el menor valor del error estándar de estimación.

Validación de los modelos de regresión obtenidos

En las Tablas 7 y 8, se representa la comparación entre la predicción de la variable IR en un 50 % de nuevas muestras para validar con los valores reales de esa variable obteniéndose una exactitud en el comportamiento del modelo propuesto al no encontrarse diferencia significativa entre el valor real y estimado de los modelos para *E. saligna* y *E. pellita* (Tabla 7) y (Tabla 8).

Tabla 7.- Prueba T para la validación del modelo propuesto para IR en *Eucalyptus saligna*

	Diferencias emparejadas							
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Si. (bilateral)
				Inferior	Superior			
Par 1 IR- Unstandardized Predicted Value	,00173255	,079642299	,01592860	-.03114246	,03460756	,109	24	,914



Tabla 8. - Prueba T para la validación del modelo propuesto para IR en *Eucalyptus pellita*. Prueba de muestras emparejadas

	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Si. (bilateral)
				Inferior	Superior			
				Par 1 IR-ajust	,06958			

La validación del modelo garantiza su utilización con precisión en la práctica social para la predicción y control de la incidencia de la formación de grietas y su implicación sobre la calidad de la madera en bolo y su influencia sobre los rendimientos y calidad de la madera aserrada.

Análisis de los rendimientos de madera aserrada en función de los métodos de aserrado propuestos

Teniendo en consideración los métodos de aserrado experimentados se pudo establecer que en los resultados expuestos en la Tabla 9, los mejores rendimientos se obtuvieron para ambas especies con la utilización del método de aserrado con cortes tangencial alternativo y en el tratamiento de árboles anillados en pie donde se obtienen los valores menores de índice de rajadura (Tabla 9).

Tabla 9. - Rendimientos de madera aserrada para *Eucalyptus sp*

Tratamientos	IR- <i>E. saligna</i> %	IR- <i>E. pellita</i> %	Rend- <i>E. saligna</i> CTCS %	Rend- <i>E. saligna</i> CTA %	Rend- <i>E. pellita</i> CTCS %	Rend- <i>E. pellita</i> CTA %
Almacenamiento con riego	0.32	0.37	46,34	49,98	45,75	46,95
Anillamiento de trozas en los extremos	0.29	0.29	47,25	50,65	47,88	51,55
Patrón	0.56	0.48	42,19	44,14	43,21	42,76
Anillamiento de árboles en pie.	0.15	0.26	48,19	51,87	49,10	52,55

Nota: IR- Índice de rajadura, CTCS- Corte tangencial con cortes sucesivos, CTA-Corte tangencial alternativo.



Anjos y Fonte (2017) en *E. grandis* y *E. dunnii* obtuvo valores de rendimiento entre 41.07 % y 43.85 %, 36.71 % y 41.02 % respectivamente, también inferiores a los obtenidos, aunque en *E. saligna* obtuvo valores entre 43.87 % y 47.46 %, este último muy similar a los resultados obtenidos en ambas especies con la utilización del esquema de aserrado tangencial con cortes sucesivos, aplicando el tratamiento de anillado en los extremos de las trozas.

También Carvalho *et al.*, (2019), en *Eucalyptus sp* obtienen valores de rendimientos de 47.08 % similar al resultado anterior y de 53.43 % superior a los obtenidos. Melo *et al.*, (2016), en estudios realizados con especies nativas obtienen resultados de rendimiento de 49.0 %, similar a los obtenidos en esta investigación.

Demostrando la necesidad de tener en consideración estos planteamientos para obtener los mejores resultados en relación a la eficiencia del proceso de transformación primaria en los aserraderos para las trozas de *E. saligna* y *E. pellita*.

El modelo de simulación se sustenta en la solución del problema de corte de dos dimensiones en un espacio irregular que podría extenderse a una tercera dimensión. En su implementación computacional el algoritmo utiliza la información comercial de los pedidos de madera requeridos para optimizar el patrón de aserrado para una troza en específico.

CONCLUSIONES

Teniendo en consideración los métodos de aserrado experimentados se pueden establecer que los mejores rendimientos se obtienen para ambas especies con la utilización del método de aserrado con cortes tangencial alternativo combinado con el tratamiento de árboles anillados en pie.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDANA PEREIRA, E., 2010. *Medición forestal* [en línea]. La Habana: Félix Varela. ISBN 978-959-07-1321-7. Disponible en: https://books.google.com.cu/books/about/Medici%C3%B3n_forestal.html?id=Pv6OswEACAAJ&re%20dir_esc=y.
- 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>.
- BELTRAME, R., GONZÁLEZ CADERMATORI, P., DELUCIS, R., GATTO, D.A., HASELEIN, C. y SCHNEIDER, P., 2016. Use of dummy variables to predict growth stresses in *Eucalyptus* ssp. Clones. *Revista Árvore* [en línea], vol. 40, no. 6, DOI 10.1590/0100-67622016000600019. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/313830949_Use_of_dummy_variables_to_predict_growth_stresses_in_Eucalyptus_ssp_Clones.
- BELTRAME, R., LEMOS DE PERES, M., LAZAROTTO, M., GATTO, D.A., SCHNEID, E. y HASELEIN, C.R., 2015. Tensão de crescimento e sua relação com as rachaduras de topo em toras de *Eucalyptus* spp. *Scientie Forestalis* [en línea], vol. 43, no. 105, Disponible en: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr105/cap06.pdf>.
- BRAZ, R.L., OLIVEIRA, J.T. da S., ROSADO, A.M., VIDAURRE, G.B. y OLIVEIRA, J.G.L. de, 2017. Deformação Residual Longitudinal de Clones de *Eucalyptus* em Local Sujeito a Ventos. *Floresta e Ambiente* [en línea], vol. 24, [consulta: 23 junio 2023]. ISSN 1415-0980, 2179-8087. DOI 10.1590/2179-8087.028013. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/floram/a/M5MLQqsyWbzs5QksrRDscsd/?lang=pt>.
- CARVALHO, D., PEREIRA DA ROCHA, M., JUNIOR, R. y KLITZKE, R., 2019. Rendimento e variedade de produtos no desdobro de toras de *Eucalyptus* spp. *Tecno-Lógica* [en línea], vol. 23, no. 1, DOI 10.17058/tecnolog.v23i1.12215. Disponible en:



https://www.researchgate.net/publication/331038746_Rendimento_e_variedade_d_e_produtos_no_desdobro_de_toras_de_Eucalyptus_spp.

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 *Erismauncitum* Warn. *Floresta* [en línea], vol. 49, no. 2, Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/867b/46d1bb2fcee9501a054d6cf4fe2778360cb.pdf>

FRANÇA, M.C., FRANCISCO JUÍZO, C.G., PEREIRA DA ROCHA, M., JORGE KLITZKE, R., MOREIRA DA SILVA, J.R., CONTI JUNIOR, J.L.F. y MONNERAT CARVALHO BASSA, A.G., 2019. Qualidade da tora e da madeira de clones de *Eucalyptus* para utilização na indústria de madeira serrada. *Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)* [en línea], vol. 10, no. 1, [consulta: 26 junio 2023]. ISSN 2177-6830. Disponible en: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/cienciadamadeira/article/view/12206>.

FRANCISCO JUÍZO, C.G., PEREIRA DA ROCHA, M. y FERNANDO BILA, N., 2014. Avaliação do rendimento em madeira serrada de eucalipto para dois modelos de desdobro numa serraria portátil. *Floresta e Ambiente* [en línea], vol. 21, no. 4, [consulta: 26 junio 2023]. ISSN 1415-0980, 2179-8087. DOI 10.1590/2179-8087.062213. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/floram/a/WXXvykXVHbHY6Hj9TYqNPDq/abstract/?lang=pt>.

FRANCISCO JUÍZO, C.G., PEREIRA ROCHA, M. y LUCAS RAFAEL, A., 2018. Relação entre modelos de desdobro, rendimento e qualidade da madeira serrada de *Pterocarpus angolensis*. *Scientia Agraria Paranaensis* [en línea], vol. 17, no. 2, [consulta: 26 junio 2023]. ISSN 1983-1471. Disponible en: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/view/17678>.



- 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.
- 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* [en línea], vol. 5, no. 3, [consulta: 26 junio 2023]. ISSN 2310-3469. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6222088>.
- MAGGI DOS ANJOS, R. y NAMIKATA FONTE, A., 2017. Rendimento de madeira serrada de espécies de Eucalyptus. *Revista de Ciências Agroveterinarias* [en línea], vol. 16, no. 1, DOI 10.5965/223811711612017026. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/314970001_Rendimento_de_madeira_serrada_de_especies_de_Eucalyptus.
- MISSIA DA SILVA, J.G., BAPTISTA VIDAURRE, G., MININI, D., FERREIRA OLIVEIRA, R., GONÇALVES ROCHA, S.M. y GOMES GONÇALVES, F., 2019. Qualidade da madeira de mogno brasileiro plantado para a produção de serrados. *Scientia Forestalis* [en línea], vol. 47, no. 121, Disponible en: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr121/cap01.pdf>.
- PIRES DE MORAES NETO, S., 2017. *Madeira de Eucalipto para Serraria* [en línea]. Brasil: Embrapa Cerrados. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/325497874_Madeira_de_Eucalipto_para_Serraria.
- PUPO CARBALLO, I., ÁLVAREZ LAZO, D. y ESTEVES VALDES, I., 2020. Método para reducir los índices de rajaduras en trozas de Eucalyptus sp. *Avances* [en línea], vol. 22, no. 3, [consulta: 26 junio 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/6378/637869117008/html/>.



PUPO CARBALLO, I., ÁLVAREZ LAZO, D.A., MOREJÓN RIVERA, R., ESTÉVEZ, I. y PRIETO RUIZ, L., 2018. Tratamientos para reducir los índices de rajaduras. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* [en línea], vol. 6, no. 3, [consulta: 26 junio 2023]. ISSN 2310-3469. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S231034692018000300260&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

SILVA, J.C. da, LADEIRA CARVALHO, A.M.M. y FREITAS HOMEM DE FARIA, B. de, 2017. Methods for alleviation and reduction of effects of growth stresses in *Eucalyptus urophylla*. *Revista Árvore* [en línea], vol. 41, [consulta: 26 junio 2023]. ISSN 0100-6762, 1806-9088. DOI 10.1590/1806-90882017000400003. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/q7CqKVjCWJBDfvGcr576Y7L/?lang=en>.

VEREDIANA MÜLLER, B., PEREIRA DA ROCHA, M., JORGE KLITZKE, R., MOREIRA DA SILVA, J.R. y BAYESTORFF DA CUNHA, A., 2017. Produção de madeira serrada com cinco espécies de eucalipto resistentes à geada. *Advances in Forestry Science* [en línea], vol. 4, no. 4, [consulta: 26 junio 2023]. ISSN 2357-8181. DOI 10.34062/afs.v4i4.5231. Disponible en: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/view/5231>.

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. Copyright (c) 2023 Ivania Pupo Carballo, Daniel Álvarez Lazo, Ignacio Esteves Valdés, Damián Guerra Castellón, Rogelio Morejón Rivera

