



## EVALUACIÓN DEL RAJADO EN ROLLO DE MATERIALES CLONALES Y DE SEMILLA DE *Eucalyptus*

Matias S. MARTINEZ<sup>1</sup>, Ciro A. MASTRANDREA<sup>1</sup>, Leonel HARRAND<sup>1</sup>, Johanna S. BAEZ<sup>1</sup>

### RESUMEN

Este trabajo preliminar presenta los resultados de la evaluación del índice de rajado en rollos de clones híbridos *Eucalyptus*, *Eucalyptus grandis* (EG HSP) y *Eucalyptus dunnii* (ED) de 6 años, analizando el rajado en la cabeza de lo trozas el cual se relaciona con las tensiones de crecimiento. Se seleccionaron 5 individuos por material genético, los que fueron trozados a diferentes alturas (0,3 m; 1,3 m; 2 m y cada 2 m hasta 10 cm de diámetro). Se tomaron fotografías de cada uno de los extremos de los rollos, utilizando para este trabajo, aquellas imágenes pertenecientes a los 1,3 m y 4 m, de las 72 horas post-apero para medir el índice de rajado en rollos/trozas (IRr). Los análisis de ANOVA mostraron que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de IRr de los individuos evaluados. Se observaron valores extremos de las tensiones de crecimiento entre los clones GC INTA 12 y GC INTA 27, siendo este último el que presentó valores superiores. A mayores tensiones de crecimientos, se obtienen menores rendimientos de producción de productos sólidos de madera.

**Palabras clave:** *rajado, clones híbridos, calidad de la madera, variabilidad genética.*

### 1. INTRODUCCIÓN

En Argentina existen 1.322.000 hectáreas de plantaciones forestales, compuestas principalmente por especies de rápido crecimiento, donde los eucaliptos representan el segundo género de mayor superficie implantada (26,6 %), a nivel nacional (SSPFyPP, 2023). La actividad Forestal de Entre Ríos se concentra principalmente en plantaciones de eucalipto (78,8 %), ubicándola como tercer polo foresto industrial y primero en *Eucalyptus grandis* a nivel país (SSPFyPP, 2023).

El aprovechamiento de las especies de eucaliptos y sus respectivos clones presenta ciertas limitaciones. Entre las más relevantes están las tensiones de crecimiento asociadas al rápido crecimiento de los árboles, (Richter, 2015). Estas tensiones provocan rajaduras en los extremos de los rollizos, lo que reduce el rendimiento y la rentabilidad del producto (Soares et al., 2024). La liberación de estas tensiones en los árboles recién talados y las rajaduras originadas en los extremos de los troncos, son utilizadas como indicadores para evaluar la intensidad de las tensiones y clasificarlos según este indicador

El interés por esta limitación ha llevado a realizar diferentes investigaciones donde se ha explorado de manera específica la variabilidad en el rajado entre clones de eucaliptos y especies tradicionales como *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* (Oberschelp et al., 2007; López et al., 2018; Martínez et al., 2021). Obteniéndose resultados contrastantes en distintos experimentos, algunos sin diferencias estadísticas entre el rajado de las caras de los extremos de los rollizos y otros donde la evaluación axial del rajado en el fuste fue principalmente distinta en la primera troza (Trevisan et al., 2013; Gonzalez et al., 2014).

El momento de medición de rajaduras, en clones y especies de eucaliptos, y su selección a través de esta característica, puede variar de acuerdo con su tiempo de evaluación, porque se debería esperar la liberación completa de las tensiones (França et al., 2020). Este tipo de estudios en distintos materiales genéticos contribuyen a la selección dentro del programa de mejoramiento genético buscando la obtención de productos de madera de uso sólido, permitiendo seleccionar aquellos con

---

<sup>1</sup> EEA INTA Concordia, Entre Ríos. Contacto: [martinez.matias@inta.gob.ar](mailto:martinez.matias@inta.gob.ar)



mejores rendimientos al presentar menores rajaduras (Trugilho et al., 2002).

Con el objetivo de proporcionar nuevas perspectivas para el avance del programa de mejoramiento forestal y evaluar el potencial maderable, en este estudio se analizaron las tensiones de crecimiento de eucalptos, tanto clonales híbridos como seminales, utilizando el Índice de rajado en rollos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales genéticos empleados correspondieron a 14 clones híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* y 2 materiales seminales, *E. grandis* y *E. dunnii*; de 6 años, pertenecientes a un lote clonal del programa de mejoramiento forestal de la EEA INTA Concordia, ubicado en la provincia de Entre Ríos. El lote se encuentra en coordenadas de 31° 22' 40" S y 58° 6' 49" O, y una altitud de 47 m s.n.m. implantado en 2017 y conformado por parcelas de 45 plantas (9 x 5), con un espaciamiento de 4 m x 2,5 m.

Se seleccionaron 5 individuos por cada material genético, en base a su sanidad, rectitud, diámetro promedio de la parcela y competencia por vecinos homogénea. Cada uno de los árboles fue apeado y trozado a 0,3 m; 1,3 m; 2 m y, a partir de este último, cada 2 metros, hasta obtener diámetros de menos de 10 cm de punta fina.

Una vez efectuados los trozados, se realizó el registro fotográfico en la cara de cada extremo de los rollizos, a las 0 y 72 horas posterior a su apeo. Para evitar la pérdida de humedad y el consecuente secado prematuro, los extremos de los rollizos fueron cubiertos con bolsas plásticas hasta las 72 horas. Mediante las fotografías se determinó el índice de rajado en rollos (IRr), por medio de la fórmula desarrollada por Lima (2000) (Ecuación 1), donde se midió el área de rajado en relación con el área de la misma sección del rollizo sin corteza. Las mediciones se realizaron utilizando el software SIG QGIS 3.10. Para este trabajo se presentan los resultados de las rajaduras a las 72 horas, en las alturas de 1,3 m y 4 m.

$$\text{Índice de Rajado (IR)} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{S} * 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde  $A_i$  representa el área de la rajadura  $i$  (de 1 a  $n$ ) y  $S$  es la sección transversal de la cara del rollizo.

Se determinaron los estadísticos descriptivos para el índice de rajado (IR). Para esta variable, se modeló a través de un modelo mixto lineal generalizado con función de distribución log-normal (Bates et al., 2015; Pinheiro y Bates, 2000). Previamente se llevaron a cabo pruebas para verificar el supuesto de normalidad y homogeneidad de varianza. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y se determinó al árbol como factor aleatorio y los materiales genéticos como factor fijo. Se consideró la comparación de medias utilizando la prueba test de Tukey, con un nivel de significancia del 5%. Los datos atípicos fueron excluidos del análisis para mantener la integridad de los resultados.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El mayor promedio de IR se observó en el material GC INTA 27, con un valor de 1,01. Esto es 3,1 veces mayor que el promedio de IR del EG HSP. En comparación con el material puro de *E. dunnii*, el IR del híbrido GC INTA 27 es 2 veces mayor (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Resumen estadístico de índice de rajado a las 72 h. Número de individuos ( $n$ ); Promedio aritmético; Desvío Estándar (D.E.); Coeficiente de variación (C.V.); valor mínimo (Min.) y máximo (Max.).

Materiales Genéticos	n	Promedio	D.E.	C.V. (%)	Mín.	Máx.
GC INTA 12	4	0,31	0,04	14	0,25	0,36
EG HSP ( <i>E. grandis</i> seminal)	4	0,33	0,08	24	0,22	0,41
GC INTA 24	5	0,39	0,09	24	0,30	0,50
GC INTA 9	4	0,44	0,11	25	0,30	0,55
GC INTA 128	4	0,45	0,10	22	0,31	0,54

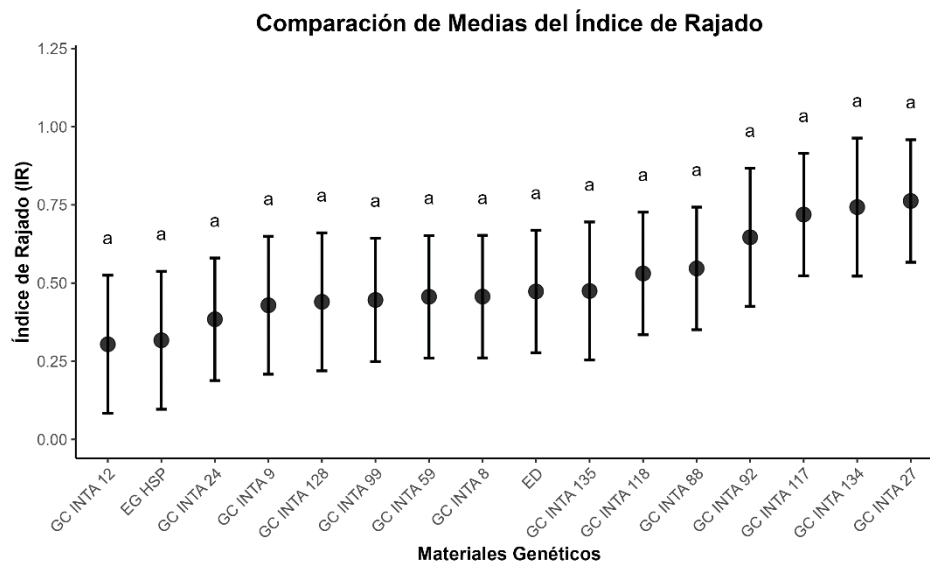


GC INTA 135	4	0,48	0,09	20	0,36	0,58
ED ( <i>E. dunnii</i> seminal)	5	0,49	0,14	28	0,31	0,63
GC INTA 99	5	0,49	0,23	47	0,24	0,80
GC INTA 8	5	0,49	0,23	46	0,33	0,85
GC INTA 118	5	0,55	0,16	28	0,33	0,71
GC INTA 59	5	0,56	0,40	72	0,21	1,20
GC INTA 88	5	0,62	0,31	51	0,29	1,00
GC INTA 92	4	0,66	0,16	25	0,51	0,84
GC INTA 134	4	0,76	0,18	24	0,57	1,00
GC INTA 117	5	0,80	0,39	49	0,36	1,23
GC INTA 27	5	1,01	0,86	85	0,32	2,35

El IR con menor promedio corresponde al GC INTA 12, con un valor de 0,31 y una variación del 14 %. En comparación con el EG HSP, su promedio es 6 % menor. Además, se observó un promedio menor del 37 % con respecto al *E. dunnii*.

Los resultados obtenidos a través de ANOVA, mediante el modelo utilizado, expresaron un valor de probabilidad de 0.06978 mayor al valor de significancia utilizada ( $p > 0.05$ ), es decir, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de IR de los materiales genéticos evaluados. Sin embargo, está cerca del umbral de 0.05, lo que indica que hay una tendencia hacia la significancia. Esto permite observar que la genética de los materiales clonales y de semillas podría estar incidiendo en los valores obtenidos de los índices de rajados.

**Gráfico 1.** Comparación de medias ajustadas de índice de rajado (IR) de los diferentes materiales genéticos. Las barras indican el error estándar.



En el Gráfico 1 se presenta las medias ajustadas al modelo de IR de los distintos materiales genéticos. Se observó una amplia variabilidad de los datos, principalmente para los clones GC INTA 92, GC INTA 117, GC INTA 134 y GC INTA 27.

Braz et al. (2017), mencionan que las tensiones de crecimientos, expresada a través de las rajaduras, están relacionadas con los factores genéticos y ambientales. Aquellos materiales con menores rajaduras presentan mejores rendimientos para la producción de productos de madera sólida (Trugilho et al., 2002).

Los valores en este ensayo de *E. dunnii* son menores a los encontrados en árboles de la misma especie



de 17 y 20 años reportado por González et. al. (2014) y López et. al. (2016), respectivamente. Similares comportamientos para *E. grandis*, con respecto a árboles de 21 años obtenido por Lima et al. (2023); estos resultados se podrían deber a la diferencia de edad y los diferentes sitios de cultivo. López y López (2013), determinaron para clones de *E. grandis* en evaluaciones diferidas en edades del IR, que el ordenamiento relativo de los clones evaluados en edades juveniles sería suficiente para su clasificación por esta característica, como se realiza en la selección indirecta para caracteres de crecimiento, forma y densidad de la madera.

López et al. (2018), observaron similares valores para la misma edad en EG HSP y donde los clones híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* presentaron una tendencia similar, en la que GC INTA 27 resultó con diferencias significativas en índice de rajado con respecto al GC INTA 12 y EG HSP. Para la edad de 14 años se obtuvo valores superiores en los clones híbridos y materiales seminales (López et al., 2018; Martínez et al., 2021).

França et al. (2020), concluyeron que para clones de *Eucalyptus* la selección a través del IR se debe realizar después de 7 días de cosecha, cuando toda la tensión ha sido liberada. En otros trabajos también se observó que el IR, se incrementa con el transcurso del tiempo de evaluación (Oberschelp et al., 2007; Gonzalez et al., 2014; Martínez et al., 2021)

#### 4. CONCLUSIONES

Las tensiones de crecimiento, expresadas a través de las rajaduras resultan particulares para cada material genético, presentando mayor o menor variabilidad en determinados clones híbridos.

Los materiales genéticos evaluados no presentaron diferencias estadísticas con respecto a las tensiones de crecimientos, resultando el GC INTA 27 con mayores valores.

Los materiales GC INTA 12 y EG HSP son los que han mostrados menores valores de índice de rajado

A mayores tensiones de crecimientos, se prevé menores rendimientos de productos sólidos de madera, como tablas y tirantes entre otras.

Los resultados expuestos refuerzan el criterio del programa de mejoramiento genético de considerar a las tensiones de crecimiento como un factor importante en la selección de clones e híbridos de *Eucalyptus*.

Las tendencias observadas justifican la realización de estudios adicionales que estén correlacionados con otros factores, como las mediciones a distintas alturas del rajado y la relación con propiedades anatómicas de la madera.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al personal forestal de la Estación Experimental Agropecuaria Concordia del INTA por su apoyo en el mantenimiento de los ensayos, así como en el muestreo y procesamiento de la madera.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

BATES, D; MÄCHLER M.; BOLKER, B.; WALKER, S. 2015. Fitting linear mixed effects models using lme4. J Stat Softw 67(1):1-48

FRANÇA, F.N.; FRANÇA. F.A; VIDAURRE. G. 2020. Effect of growth stress and interlocked grain on splitting of seven different hybrid clones of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* wood. *Holzforschung*, 74(10), 917-926. <https://doi.org/10.1515/hf-2019-0209>

GONZÁLEZ, D.P.; MOGLIA. J.G.; LÓPEZ. J.A.; PECE, M.; LÓPEZ. J.A.(H.); MORENO. R. 2014. Estimación de las tensiones de crecimiento en individuos selectos de *Eucalyptus camaldulensis* mediante extensómetro e índice de rajado. *Quebracho* Vol.22(1,2):57-65

LÓPEZ, J.A. y LÓPEZ, A.J. 2013. Coeficiente de repetibilidad edad-edad de las tensiones de crecimiento en clones de *Eucalyptus grandis*. 4to Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Iguazú, Mnes. Argentina. 23 al 27 de septiembre de 2013. Actas en CD.

LÓPEZ, J.; BORRALHO, N.; LÓPEZ, A.; MARCÓ, M.; HARRAND, L. 2016. Variación genética del índice de rajado



- de rollizos en *Eucalyptus dunnii* Maiden. Ciencia e Investigación Forestal (INFOR), 22(2): 23-34.
- LÓPEZ, J.A.; MASTRANDREA, C.A.; LÓPEZ, J.A.; HERNÁNDEZ, M.A.; MARTÍNEZ, M.S.; OBERSCHELP, G.P.J.; HARRAND, L. 2018. Tensiones de crecimiento, propiedades físicas, mecánicas y defectos en tablas de clones puros e híbridos de *Eucalyptus grandis* del INTA. XXXII Jornadas Forestales de Entre Ríos. [Repositorio INTA] <http://hdl.handle.net/20.500.12123/13905>
- MARTÍNEZ, M.S.; MASTRANDREA, C.A.; WINCK, R.A.; HARRAND, L.; OBERSCHELP, G.P.J. 2021. Evaluación del rajado en rollizos de clones puros e híbridos de *E. grandis*. XXXV Jornadas Forestales de Entre Ríos. [Repositorio INTA] <http://hdl.handle.net/20.500.12123/13896>
- OBERSCHELP, G.P.J.; MARCO, M.A.; SANCHEZ ACOSTA, M.M.; MASTRANDREA, C.A. 2007. Propiedades de la madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. dunnii* Maiden y *E. saligna* Sm. relacionadas a usos sólidos de alto valor. III Congreso Iberoamericano de Productos Forestales, IBEROMADERA 2007, 3 al 5 de Julio, Buenos Aires, Argentina. INTA-INTI-RITIM-INIA de España. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/14623>
- RICHTER, C. 2015. Wood characteristics. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-07422-1>
- PINHEIRO, J.C.; BATES, D.M. 2000. 'Extending the Basic Linear Mixed-Effects Model', in mixed-effects models in S and S-PLUS, statistics and computing. Springer, New York, pp 201–270
- SECRETARÍA DE PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO Y LA COMPETITIVIDAD FEDERAL. SUBSECRETARÍA DE PLANIFICACIÓN FEDERAL Y PROYECTOS PRIORITARIOS. 2023. *Forestal, papel y muebles*. Informes de Cadenas de Valor, Año 8, N° 68, ISSN 2525-0221.
- SOARES, L.C. DA S., MOREIRA, J.C., BOTEGA, G. P., CARNEIRO, V.Q., LAFETÁ, B.O., DE FIGUEIREDO, I.C.R. & GONÇALVES, F. M. A. (2024). Phenotyping methodologies of log end splitting in eucalyptus (*Eucalyptus* spp.). *Plant Breeding* 1-11.
- TREVISAN, R.; DENARDI, L.; CARDOSO, G.; HASELEIN, C.; SANTINI, E. 2013. Variação axial do índice de rachaduras na base e no topo de toras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. *Scientia Forestalis*. Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 75-81
- TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; ROSADO, S.C.; MENDES, L.M.; MORI, F.A.; SOUZA, M.A. 2002. Avaliação da Tensão de Crescimento em Clones de *Eucalyptus*. En: *Revista Forestal e Ambiente*. v. 9 . n. 1. p38-44. Brasi