

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA  
DE CLONES DE EUCALIPTO**

Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad Nacional de Misiones, Área en Ciencias Forestales, Orientación en Silvicultura y Manejo Forestal.

MATIAS SALVADOR MARTINEZ

INGENIERO FORESTAL-UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES-2014

EEA INTA - CONCORDIA - ENTRE RIOS.

Directora: Ing. Ftal. M. Sc. Winck Rosa Ángela.  
Co- Director: Ing Ftal. Mastrandrea Ciro Andrés.



“Secretaria de Ciencia, Técnica

COMITÉ ACADÉMICO DE LA MAESTRIA

Mgter FIdelina Silva (Directora)

Dr. Diego Broz (Co- Director)

Titulares: Dr. Luis Ritter y Dr. Fermin Gortari

Suplentes: Mgter Edgar Eskiviski y Dr Eduardo Hildt

TRIBUNAL EXAMINADOR

Dra. Maria Elecha Gauchat.

Mgter Obdulio Pereyra

Dra. Eleana Spavento

Fecha de Defensa Tesis

25 de Noviembre de 2022

## DEDICATORIA

A mi esposa Sandra Vanesa Gómez y mi hija Fiorella Damaris Martinez, que siempre están en los diferentes proyectos que emprendo y a mis tutores/padres Elsa y Enrique que contribuyeron a mi formación personal y profesional.

## AGRADECIMIENTOS

Expreso mis agradecimientos a todas las personas que de alguna forma han contribuido en este camino de formación.

A mi director de Beca y Co-director de tesis, *Ciro Andrés Mastrandrea*, quien contribuyó ampliamente en mi formación profesional, a través de su competencia y disposición personal.

A mi directora de tesis, *Rosa Ángela Winck*, que participó arduamente en el desarrollo de la tesis, acompañando continuamente en la realización de la misma.

Al programa de formación profesional, brindo por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA, financiando la Maestría.

A mis compañeros del área forestal, de la EEA INTA de Concordia, por sus aportes y apoyo constante en mi formación. También a los auxiliares de campo que colaboraron para obtener los rollizos y preparación de las muestras.

A la Facultad de Ciencias Forestales, de la Universidad de Misiones, por facilitarnos el uso de sus instalaciones y equipamientos de laboratorios.

A los profesores de los cursos de Maestría, que incrementaron mis conocimientos y contestaron las diferentes consultas realizadas sobre el tema de interés.

A la empresa ACOM SA, de Entre Ríos, que realizó el aserrado de los rollizos de acuerdo a lo solicitado, para poder evaluar distintos aspectos que se requería en el proyecto de la tesis.

A mis familiares que siempre están apoyándome en todo lo que emprendo, aunque eso muchas veces signifique largos tiempos sin vernos.

A mis amigos y compañeros, por el apoyo incondicional y la comprensión de mis tiempos de ausencia.

Por último, a todas aquellas personas, que formaron parte de la realización de esta tesis.

## DECLARACIÓN

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.

Martínez, Matías Salvador

DNI: 34.112.016

## PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS

Martinez, M.S.; Mastrandrea, C.A.; Winck, R.A.; Harrand, L.; Oberschelp, G.P.J. (octubre, 2021). *Evaluación del rajado en rollizos de clones puros e híbridos de Eucalyptus grandis de INTA*. [Presentación de poster]. XXXV Jornadas Forestales de ER. Argentina. <https://www.jornadasforestales.com.ar/book/revista/revista19-10-2021.pdf>

Martinez, M.S.; Mastrandrea, C.A.; Winck, R.A.; Harrand, L.; Oberschelp, G.P.J. (septiembre, 2020). *Caracterización tecnológica de Eucaliptos*. [Presentación de resumen]. Caracterizar 2020 – Caracterización de materiales. Argentina. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4035190>

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
<b>CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LAS ESPECIES .....	2
<i>Eucalyptus grandis</i> , W. Hill ex Maiden .....	2
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> , Dehnh .....	3
ORIENTACION Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO .....	4
ANTECEDENTES .....	6
Eucalyptus en Argentina .....	6
Estudios relacionados .....	7
OBJETIVO GENERAL .....	9
Objetivos específicos: .....	9
HIPÓTESIS .....	9
<b>CAPÍTULO 2. ESTUDIOS DENDROMÉTRICOS EN ROLLIZOS .....</b>	<b>10</b>
INTRODUCCIÓN .....	11
Forma de fuste .....	11
Duramen y albura .....	12
Tensiones de crecimiento .....	13
Objetivo .....	15
MATERIALES Y METODOS .....	15
Descripción del ensayo .....	15
Materiales genéticos .....	15
Forma de fuste .....	16
Duramen y albura .....	17
Índice de rajado .....	18
Análisis estadísticos .....	18
RESULTADOS .....	19
Coeficientes mórficos .....	19
Conicidad del fuste .....	20
Proporción de duramen y albura para diferentes alturas de fuste .....	21
Espesor de albura por material genético .....	21
Proporción de duramen por material genético .....	22
Relación duramen/albura .....	22
Índice de rajado en rollizos (IRr) .....	23
DISCUSIÓN .....	26

CONCLUSIONES .....	29
<b>CAPÍTULO 3. PROPIEDADES FÍSICAS.....</b>	<b>31</b>
INTRODUCCIÓN .....	32
Propiedades físicas .....	32
Densidad .....	32
Cambios dimensionales .....	33
Contenido de humedad .....	35
Objetivo .....	35
MATERIALES Y MÉTODOS .....	36
Muestras de rodajas .....	36
Contenido de humedad .....	37
Densidad .....	37
Cambio dimensionales.....	38
Análisis estadísticos.....	38
RESULTADOS .....	39
Contenido de humedad (CH).....	39
Densidad de la madera.....	39
Densidad básica (Db).....	40
Densidad estacionada (De) .....	42
Cambios dimensionales .....	43
Contracciones totales.....	43
Contracciones volumétricas totales .....	44
Coeficiente de anisotropía .....	45
Coeficiente de contracción .....	46
Punto de Saturación de Fibra (PSF) .....	47
DISCUSIÓN .....	48
CONCLUSIONES .....	51
<b>CAPÍTULO 4. PROPIEDADES MECÁNICAS.....</b>	<b>53</b>
INTRODUCCIÓN .....	54
Definición y antecedentes.....	54
Ensayos mecánicos .....	55
Objetivo .....	57
MATERIALES Y METODOS .....	57
Determinaciones por ensayo.....	58
Análisis estadísticos.....	61
RESULTADOS .....	61
Flexión estática (FL).....	61
Compresión paralela a las fibras (Co) .....	63
Resistencia al corte o cizallamiento (Tc).....	65
Clivaje o rajadura (CL).....	66
Dureza Janka (Du) .....	68
DISCUSIÓN .....	70



CONCLUSIONES .....	72
<b>CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN VISUAL DE TABLAS ASERRADAS....</b>	<b>74</b>
INTRODUCCIÓN .....	75
Objetivo .....	76
MATERIALES Y METODOS .....	76
Materiales .....	76
Defectos .....	76
Análisis estadísticos.....	78
RESULTADOS .....	79
Cubicación de la madera.....	79
Rajado en tablas aserradas .....	79
Alabeos .....	83
DISCUSIÓN .....	86
CONCLUSIONES .....	89
<b>CAPÍTULO 6. DISCUSIONES GENERALES .....</b>	<b>90</b>
<b>CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>95</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>100</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características dentrométricas promedios para los materiales evaluados.....	15
Cuadro 2. Fórmulas de Coeficientes forma y conicidad de fuste y trozas.....	17
Cuadro 3. Coeficientes de forma artificial y natural en diferentes materiales genético,	19
Cuadro 4. Conicidad media del fuste (cm/m) de los distintos materiales genéticos.....	20
Cuadro 5. Conicidad de los dos primeros rollizos basales.....	20
Cuadro 6. Promedio de porcentaje de duramen a distintas alturas de fuste.....	21
Cuadro 7. Promedio de espesor albura, porcentaje de duramen y relación D/A .....	22
Cuadro 8. Variación de la relación entre duramen y albura.....	23
Cuadro 9. Índice de rajado en rollizos y su incremento porcentual para cada periodo..	23
Cuadro 10. Promedio de índice de rajado por clase de rollizo.....	24
Cuadro 11. Variación porcentual de índice de rajado en rollizos .....	25
Cuadro 12. Variables, normas y alturas de las muestras.....	37
Cuadro 13. Contenido de humedad de la madera en estado estacionado y verde.....	39
Cuadro 14. Densidad básica y estacionada por material genético. ....	40
Cuadro 15. Contracciones radiales y tangenciales para diferentes alturas de fuste .....	43
Cuadro 16. Contracciones volumétricas totales para distintas alturas. ....	44
Cuadro 17. Coeficientes de anisotropía .....	45
Cuadro 18. Coeficiente de contracción discriminado por materiales genéticos. ....	46
Cuadro 19. Punto saturación de fibra , discriminado por materiales genéticos. ....	47
Cuadro 20. Denominación de ensayos y dimensiones de probetas.....	57
Cuadro 21. Esquema de los ensayos mecánicos. ....	58
Cuadro 22. Estadísticos de resumen para contenido de humedad. ....	58
Cuadro 23. Estadísticos de resumen para flexión estática. ....	62
Cuadro 24. Estadísticos de resumen para compresión paralela a la fibras.....	63
Cuadro 25. Estadístico de resumen para resistencia al corte o cizallamiento .....	65
Cuadro 26. Estadísticos de resumen para clivaje o rajadura.....	66
Cuadro 27. Estadísticos de resumen para dureza Janka .....	68
Cuadro 28. Caracterización de los rollizos evaluados. ....	79
Cuadro 29. Presencia de médula en tablas aserradas. ....	79
Cuadro 30. Estadístico de resumen para rajado en tablas .....	81
Cuadro 31. Presencia de defectos en tablas aserradas.....	83
Cuadro 32. Estadísticos de resumen para tablas con combado,.....	83

Cuadro 33. Estadístico de resumen estadístico para tablas con encorvado.....	84
Cuadro 34. Estadístico de resumen para tablas con abarquillado. ....	84
Cuadro 35. Estadístico de resumen para tablas con defecto de revirado. ....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Zonas por efecto de las tensiones..	14
Figura 2. Representación gráfica de obtención de los rollizos para evaluación.	17
Figura 3. Índice de rajado en rollizos en diferente momento de observación.....	25
Figura 4. Esquema de obtención de las rodajas para propiedades físicas.....	36
Figura 5. Densidad básica, promedio y error estándar de cada material genético.....	41
Figura 6. Densidad básica, variación axial, para los distintos materiales genéticos. ....	41
Figura 7. Densidad básica, variación radial, para los distintos materiales genéticos.....	42
Figura 8. Promedio y errores estándar en densidad estacionada.....	43
Figura 9. Contracciones volumétricas totales. ....	45
Figura 10. Ejes principales de la madera..	54
Figura 11. Ensayo de flexión estática. ....	59
Figura 12. Probeta luego de ser ensayada para dureza Janka..	61
Figura 13. Flexión estática .....	62
Figura 14. Compresión paralela a las fibras.....	64
Figura 15. Resistencia al corte o cizallamiento.....	65
Figura 16. Tensión a la rajadura o clivaje.....	67
Figura 17. Dureza Janka.....	69
Figura 18. Defectos evaluados en tablas aserradas..	78
Figura 19. Porcentaje de pérdida por rajadura en tablas en funcion a médula.....	80
Figura 20. Pérdida por presencia de rajado en tablas aserradas.....	82

## ABREVIATURAS

ASTM: American Society for Testing and Materials.

C<sub>t</sub>: Conicidad de troza.

C.A.: Coeficiente de anisotropía.

CA-B: Cobretebuconazole-etanolamina.

CH.: Contenido de humedad.

C.M.Art.: Coeficiente mórfico artificial.

C.M. Nat.: Coeficiente mórfico natural.

cm: centímetros.

C.V.: Coeficiente de variación.

C.R.: Coeficiente de retracción.

DAP. cc.: Diámetro altura pecho (1,30 m) con corteza.

Db.: Densidad básica.

D.E.: Desvío estándar.

De.: Densidad estacionada.

d<sub>pg.</sub>: diámetro punta gruesa de la troza.

D<sub>pf.</sub>: diámetro punta fina de la troza.

D/A.: Relación duramen/albura.

EEA: Estación Experimental Agropecuaria.

EG: *Eucalyptus grandis*.

FAO: Food and Agriculture Organization.

GC.: *Eucalyptus grandis x Eucalyptus camaldulensis*.

HF: Altura del fuste.

HSP.: Huerto semillero de progenie.

Ht: Altura total (m).

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

IRAM.: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

IRr: Índice de rajado en rollos.

Kgf.: Kilogramos fuerza.

m: metros.

Máx.: Máximo.

MG.: Materiales genéticos.

MGL.: Modelos lineales generales mixtos.

Mín.: Mínimo.

MOE.: Módulo de elasticidad.

MOR.: Módulo de rötura.

MPa.: Mega Pascales.

SAGyP: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.

SIG.: Sistema de información geográfica.

Vol. cc.: Volumen con corteza.

## RESUMEN

### CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE CLONES DE EUCALIPTO

El objetivo del presente trabajo fue evaluar las propiedades físicas, mecánicas y los defectos de la madera provenientes de clones selectos de *Eucalyptus* y sus potenciales aptitudes utilizando como patrón el material seminal de *Eucalyptus grandis*. Se evaluaron clones intraespecíficos de *Eucalyptus grandis* (EG), EG INTA 36 y EG INTA 157, clones interespecíficos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* (GC), GC INTA 24 y GC INTA 27 y un testigo seminal de *E. grandis*, provenientes de un ensayo de 15 años de edad. Los resultados obtenidos indicaron que el clon EG INTA 157 mostró mejor forma de fuste y la menor conicidad en trozas. La proporción de duramen fue mayor para EG INTA 36 y EG INTA 157. Por otro lado, el GC INTA 24 presentó los menores valores en cuanto al índice de rajado en rollizos. En cuanto a propiedades físicas, los clones GC alcanzaron mayores valores de densidad básica. Respecto a las contracciones volumétricas, el clon EG INTA 157 resultó más estable dimensionalmente, por lo que se espera para este clon un mejor comportamiento en el secado. Para las propiedades mecánicas, los clones GC se destacaron con valores medios superiores con respecto al material seminal, EG INTA HSP. En el estudio de tablas aserradas, el clon GC INTA 24 presentó menores pérdidas por rajado, y el EG INTA 157 arrojó una menor cantidad de defectos.

Los resultados encontrados permiten considerar a estos nuevos materiales genéticos aptos para diferentes usos industriales. Las diferencias halladas entre materiales genéticos deberán ser consideradas al momento de analizar la aptitud o conveniencia de uso de los mismos en su transformación industrial.

Palabras claves: *Eucalyptus grandis*, híbrido, propiedades físicas-mecánicas, defectos de tablas.

## **ABSTRACT**

### **TECHNOLOGICAL CHARACTERIZATION OF EUCALYPTUS CLONES**

The objective of this work was to evaluate the physical and mechanical properties and wood defects from selected clones of *Eucalyptus* and their potential aptitudes in comparison with the seminal material of *Eucalyptus grandis*. Intraspecific clones of *Eucalyptus grandis* (EG), EG INTA 36 and EG INTA 157, interspecific clones of *E. grandis* x *E. camaldulensis* (GC), GC INTA 24 and GC INTA 27, and a seminal control of *E. grandis*, from a 15-year-old trial, are evaluated. Results regarding the shape of the stem and conicity of the logs, the superiority of EG INTA 157 stands out. In proportions of heartwood, higher for EG INTA 36 and EG INTA 157. On the other hand, the GC INTA 24 presented the lowest values in terms of the cracking index in logs. For physical properties, the GC clones reached higher basic density values. Regarding volumetric contractions, EG INTA 157 obtained better behavior, allowing superior technological properties for drying and dimensional variations, and fewer deformations. In mechanical properties, the GC clones stood out with higher average values. For the study of sawn boards, the GC INTA 24, presented lower losses due to splitting, and the EG INTA 157, had a better performance in terms of presence and degree of defects.

The results found allow us to consider these new genetic materials suitable for different industrial uses. The differences found between genetic materials must be considered when analyzing the aptitude or convenience of using them in their industrial transformation.

Keywords: *Eucalyptus grandis*, hybrid, physical-mechanical properties, board defects.



# CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Martínez, M.S.; Mastrandrea, C.A.; Winck, R.A.; Harrant, L.; Oberschelp, G.P.J. (septiembre, 2020). *Caracterización tecnológica de Eucaliptos*. [Presentación de resumen]. Caracterizar 2020 – Caracterización de materiales. Argentina. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4035190>

## DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LAS ESPECIES

El género *Eucalyptus*, fue impulsado mundialmente como fuente de fibra corta para producción de pulpa (Nanko *et al.*, 2005), como también para uso estructural, en carpintería y reprocesado industrial (Castro y Fragnelli, 2006). El nombre del género deriva del griego Eu, bien - kalyptos, cubierto, aludiendo a los opérculos que cubre los estambres del capullo antes de la antesis (Ian Broker, 2002).

### *Eucalyptus grandis*, W. Hill ex Maiden (*Flooded gum Rose gum*)

Es un árbol forestal, que en su lugar de origen alcanza una altura de 45–55 m y un diámetro a la altura pecho de 1,2–2 m (FAO, 1955). Su distribución natural abarca desde Newcastle en Nueva Gales del Sur, hasta Bundaberg en Queensland (Boland *et al.*, 1991). Esta especie fue introducida en varios países como; Angola, Argentina, Brasil, Sudáfrica, Uruguay, entre otros (Orwa *et al.*, 2009). Su corteza es caediza, lisa y clara-verdosa como los gomeros (de allí su nombre “gum”), pudiendo ser persistente en su parte basal. La albura es de color blanco-claro, el duramen de coloración rosado claro (de allí su nombre “rose”) (Oliveira y Hellmeister, 1998).

La madera es de grano recto (Silva Castro, 2002), brillo mediano, veteado suave (SAGyP-INTA, 1995). En referencia a su trabajabilidad se citan buenas características al cepillado, moldurado, lijado, torneado, taladrado, encolado, teñido, pintado y regular comportamiento al clavado y el colapso (Tinto, 1991). La penetrabilidad por preservantes de la albura califica como “muy penetrable”, mientras que su duramen califica como “impenetrable” (SAGyP-INTA, 1995). Para minimizar los efectos de las tensiones de crecimiento, y los posibles defectos que estas pudieran ocasionar, esta especie requiere de técnicas de aserrado y secado, apropiadas (IPT, 1997). En cuanto a su durabilidad natural puede clasificarse como moderadamente durable, según EN 350-1, (Cufre *et al.*, 2010; Bothig *et al.*, 2008)

En cuanto a las características físicas de su madera, la densidad aparente, estacionada al 15 % de contenido de humedad, se citan valores de 390 a 560 kg/m<sup>3</sup>, mientras que para la densidad básica se citan entre 340 a 519 kg/m<sup>3</sup> (Alarcón *et al.*, 2018; Winck *et al.*, 2014; SAGyP-INTA, 1995). Presenta una estabilidad dimensional media.

Respecto a las características mecánicas, se reportan valores de módulo de elasticidad que fluctúan de 98.345 kg/cm<sup>2</sup>, en Entre Ríos, (para edades de 12 a 18 años) a 103.257 kg/cm<sup>2</sup> en Misiones (sin referencia de edad), y módulos de rotura de 732 a 840

Kg/cm<sup>2</sup>, en Entre Ríos, y valores de 739 Kg/cm<sup>2</sup> en Misiones (Suirezs *et al.*, 2003; Sánchez Acosta *et al.*, 2003; SAGyP-INTA, 1995). En cuanto a su dureza “Janka” los valores citados son de 450 Kg/cm<sup>2</sup> para la sección transversal, 290 Kg/cm<sup>2</sup>, tangencial y 285 Kg/cm<sup>2</sup> en el radial (Sánchez Acosta, 1990).

***Eucalyptus camaldulensis*, Dehnh (sin. *E. rostrata* Schlecht - River Red Gum)**

La especie es originaria de Australia, siendo la especie con mayor difusión en ese país, teniendo una forma meridional (zona templada) y una forma tropical. También ha sido introducida en varios países, entre ellos, Argentina (Orwa *et al.*, 2009). En su lugar de origen, su altura puede alcanzar entre 20 - 45 m y el diámetro a la altura de pecho entre 1 - 2 metros (Boland *et al.*, 2006). Su fuste puede ser bastante torcido. Con corteza lisa del tipo gomero “gum”, con placas (FAO, 1955). La albura color blanco crema y el duramen castaño rojizo (SAGyP-INTA, 1995).

La madera presenta duramen rojo (“red gum”) y textura fina, similar al *E. tereticornis*, aunque tiende a ser algo más densa (Hanum y Van der Maesen, 1997). Posee grano cruzado, recto u ondulado, brillo mediano y veteado suave. En referencia a su trabajabilidad se citan buenas características en cepillado y torneado; regular en el clavado, encolado, teñido y barnizado, y deficiente para el pintado (Tinto, 1991). Presenta un comportamiento fuerte al colapso. En cuanto a su durabilidad natural se cita como “durable”, al aire libre y su duramen es citado como “impenetrable” (SAGyP-INTA, 1995).

En cuanto a su densidad anhidra son de 580 a 800 kg/m<sup>3</sup>, en Santiago del Estero (edad de 9 años) (Moglia *et al.*, 2010). Su estabilidad dimensional es calificada “poco estable (Tinto, 1991).

Respecto a las características mecánicas, se reporta valores de módulo de elasticidad de 101.600 kg/cm<sup>2</sup> a la flexión estática, y módulos de rotura de 1.150 Kg/cm<sup>2</sup>. En cuanto a su dureza “Janka” los valores citados son de 645 Kg/cm<sup>2</sup> para la sección transversal (Tinto, 1978).

Es utilizado en carpintería rural, embalajes, puntales para minas, leña, carbón, y especialmente en tableros de fibra de alta densidad (HDF) como así también en tableros de partículas y fue empleado para celulosa y papel (Sánchez Acosta, comunicación personal, 6 octubre del 2022; Butcher, 2006; Tinto, 1979). La madera debido a su gran

resistencia y buena durabilidad, es adecuada para aplicaciones estructurales (SAGyP-INTA, 1995; Marco y Harrand, 2005).

## **ORIENTACION Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

La madera es una materia prima que genera productos importantes en la comercialización mundial. Estimaciones proyectan un incremento en la demanda de productos madereros, del 2010 al 2060, en 28 % para madera aserrada, 64% en paneles a base de madera y 61 % en chapas y contrachapados. En este contexto indican que las plantaciones de rápido crecimiento jugarán un rol importante en el futuro del mercado global de la madera (Elías y Boucher, 2014). La ampliación de las zonas actuales de cultivo exige estudiar alternativas genéticas para zonas marginales, lo que conlleva a evaluar las aptitudes tecnológicas de diferentes especies, híbridos y los clones que surgen con el mejoramiento genético.

En el contexto de cambio climático actual, el empleo de la madera, para usos estructurales o no estructurales, adquiere relevancia por la capacidad de captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por los árboles y baja emisión de CO<sub>2</sub> para su producción, “huella de carbono”, que, evaluado su balance, resulta en un material “carbono neutral”, a su vez sus aplicaciones en productos generan “sumideros de dióxido de carbono”, cuya duración dependerá del ciclo de vida de su aplicación (Frühwald *et al.*, 2003).

El género *Eucalyptus* se categoriza como de rápido crecimiento; sus plantaciones se encuentran distribuidas en diferentes partes del mundo y pueden ser productivos en sitios marginales. Así mismo, poseen aptitudes tecnológicas para una amplia gama de productos madereros (Yang *et al.*, 2005). Su potencial para diferentes usos se debe a la diversidad de especies que este género posee, como así también a su capacidad de generación de clones e híbridos, que pueden adaptarse a diversas industrializaciones y aplicaciones, en especial con valor agregado (Trugilho *et al.*, 2006).

Según ENCE, (2010) solo 15 especies del género *Eucalyptus* son utilizadas con fines comerciales a nivel mundial. En la Argentina es el segundo género más cultivado después de los pinos, siendo las especies de mayor presencia, principalmente *E. grandis*, y en menor medida *E. dunnii*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. globulus* y *E. viminalis* (López *et al.*, 2016). Considerando el potencial tecnológico de las especies cultivadas de *Eucalyptus* en el país, en el año 1982, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) inició el desarrollo de un programa de mejora de este género (Marco y Harrand,

2005). En 1997, se incorporan al mismo, la evaluación de las características de calidad de la madera, teniendo en cuenta los factores que afectan la calidad del producto final, aspecto este que adquiere especial importancia al estudiarse la aptitud de los clones generados.

En otro sentido, algunos beneficios logrados con la silvicultura clonal son ampliación del cultivo a sitios marginales, obtención de resistencia/tolerancia a plagas y enfermedades y el mejoramiento, y adaptación, de la calidad de la madera a variados destino (Griffin, 2014). En este sentido el INTA, en la región mesopotámica, tomó acciones para el desarrollo de clones de *E. grandis* e híbridos interespecíficos, para ambientes pedoclimáticos (suelos bajos y ambientes fríos) de la región, marginales para la especie *E. grandis* (Marcos y Harrant, 2005).

La caracterización de la madera brinda conocimientos de su aptitud para diferentes usos y procesos industriales, y posibilita la comparación con otros materiales o especies, permitiendo la diversificación de la producción y un aprovechamiento integral de la misma generando productos con mayor valor agregado (Sánchez Acosta, 1990). Para la utilización de la madera maciza con fines industriales en muebles, productos de ingeniería civil y constructivos, se debe contar con información de las propiedades físicas y mecánicas. Asimismo, para su empleo en la industria celulósica, se debe atender fundamentalmente sus características químicas/anatómicas mientras que para el uso biodendroenergético se debe tener en cuenta principalmente a sus propiedades energéticas (Sánchez Acosta, 2012). Por lo cual, el estudio de las interacciones entre las diferentes propiedades de la madera resulta importante para la producción de materia prima de calidad (Lachenbruch y McCulloh, 2014).

Las propiedades de la madera varían dentro del árbol, tanto desde la médula hacia la corteza, como desde la base hacia el ápice, adquiriendo importancia conocer este comportamiento. Entre estas, la densidad básica, es una de las propiedades más importantes dado que se relaciona con otras, como la resistencia y la estabilidad dimensional de la madera (Winck *et al*, 2014; Rogeiro da Cruz *et al.*, 2003). Uno de los aspectos básicos y de gran importancia para establecer la aptitud de la madera es el conocimiento de sus características física y mecánicas (Calderón *et al.*, 2011).

La incorporación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera contribuyen a los planes de mejora genética forestales, permitiendo mayor eficiencia de los mismos. Aportando información del comportamiento industrial y uso potencial de los materiales

genéticos seleccionados a partir de la caracterización de sus propiedades. Por lo general, los planes de mejora genética tienen como objetivo, aumentar la productividad y calidad de la madera, para incrementar el valor agregado al producto final de las plantaciones forestales.

Las propiedades físicas son aquellas que determinan el comportamiento ante los factores ambientales sin que estos actúen química ni mecánicamente en su estructura interna (Coronel, 1994). En cambio, las propiedades mecánicas son características de la madera en respuesta a la aplicación de fuerzas externas; incluyen propiedades elásticas (deformación y distorsión) y de resistencia (Winandy, 1994).

El estudio de las propiedades físicas y mecánicas de la madera puede basarse en piezas de tamaño reales, teniendo en cuenta sus singularidades (nudos y otros defectos). Sin embargo, la manera tradicional de caracterizar a la madera siguiendo el procedimiento científico es utilizando probetas normalizadas según normas.

En cuanto a las anomalías de la madera, estas pueden afectar las propiedades físicas o químicas de la misma, ocasionando una limitación parcial o total en el uso o aplicaciones, comprenden los defectos y deformaciones. Los defectos, constituye anomalías de estructura producto de la disposición anormal de los elementos celulares, que afectan la cohesión de la madera, su resistencia principalmente. Por otro lado, las deformaciones es una anomalía de forma que se puede observar en una pieza de madera aserrada en particular, tablas y tablonés, comprenden el abarquillado, revirado, encorvado y combado (IRAM 9502, 1958).

En la determinación de los defectos y deformaciones en la madera, estos pueden clasificarse de acuerdo a su origen natural o debido a su transformación. También empleo de normas, se identifica presencia, tamaño y proporción del defecto que abarcan respecto a la cara o canto de la pieza de madera (IRAM 9662-2:2015; Chan *et. al.*, 2002; COPANT 746, 1975).

## **ANTECEDENTES**

### ***Eucalyptus en Argentina***

En la década de 1940, el género *Eucalyptus* era utilizados para postes y cortinas forestales, a partir de 1957 se comenzó a utilizar principalmente *E. grandis* en cercas, parquet, cajones de fruta y muebles, así como para la obtención de chapas, tableros de alta densidad, pulpa y papel (SAGyP-INTA, 1995). En 1958, Maxwell Jacobs, experto en

*Eucalyptus* de Australia, concluyó que las plantaciones de este género en Argentina, presentaban como limitante, la baja resistencia a heladas, recomendando el fortalecimiento de los organismos para iniciar investigaciones sobre genética de *Eucalyptus*, el establecimiento y utilización del material producido por las mismas.

Finalmente, el trabajo de las empresas privadas e instituciones del estado fueron contribuyendo al desarrollo tecnológico de las plantaciones de *Eucalyptus* y los productos derivados de ellas.

### ***Estudios relacionados***

Por su amplia posibilidad de utilización en productos variados y su rápido crecimiento, se han desarrollado estudios respecto a las propiedades de diversas especies de *Eucalyptus*. En Brasil, en el marco de planes estratégicos de tecnología de la madera se han impulsado proyectos de investigación y desarrollo tecnológico de *E. grandis* buscando evaluar su comportamiento como producto sólido (Carmo de Assis Bulhões *et al.*, 1995). Las investigaciones efectuadas sobre las propiedades físicas y mecánicas en los distintos materiales genéticos de *Eucalyptus* de Minas Gerais, han demostrado diferencias significativas dentro y entre clones, con una variación longitudinal y radial (Rogeiro da Cruz *et al.*, 2003).

En Centro América, México, López Perez *et al.* (2003), han estudiado las propiedades físicas y mecánicas de *E. camaldulensis* donde obtuvieron valores de densidad, contracción, característico de madera semipesada, altos valores de anisotropía con restricciones de usos. Respecto a las propiedades mecánicas concluyeron que su madera es poco flexible, muy laminable y de alta dureza.

En Marruecos, África, se realizaron estudios de las propiedades físicas y mecánicas de un clon de *E. camaldulensis* x *E. grandis*, los que fueron comparados con las especies parentales, obteniendo como resultado mayores densidades en los híbridos respecto *E. grandis* y menores con respecto *E. camaldulensis* (Loulidi *et al.*, 2012).

En Argentina varios autores han estudiado propiedades físicas y mecánicas de diferentes especies de *Eucalyptus*. Principalmente el *E. grandis*, proveniente de material seminal, por estar a nivel nacional como la segunda especie de mayor superficie plantada y su predominio como especie utilizada en la foresto industria de la región de Entre Ríos (Subsecretaría de desarrollo forestal, 2016). Por tal motivo, en el presente trabajo, el *E.*

*grandis* se utiliza como patrón para la comparación de los nuevos clones derivado del programa de mejoramiento forestal de *Eucalyptus*.

Entre los estudios en *E. grandis* se encuentran los trabajos de Monteoliva *et al.* (2015), que caracterizaron la anatomía cuantitativa y densidad de la madera, resultando un potencial indicador respecto a la resistencia al estrés abiótico; Winck *et al.* (2014), presentaron variación de la densidad en el fuste en diferentes sitios, observando un incremento de esta propiedad en el sentido radial y con la altura relativa del árbol, además de obtener diferentes densidades de acuerdo a las zonas agroecológicas; Suirezs *et al.* (2013), evaluaron características físicas y mecánica comparando tratamiento de impregnación industrial, donde obtuvieron menores valores de las propiedades evaluadas en las maderas impregnadas; López *et al.* (2010), encontraron variabilidad de la densidad de la madera con los sitios edáficos. Caniza *et al.* (2008), determinaron mayores valores de densidad en aquellos tratamientos con mayores intensidades de raleos; Calvo *et al.* (2006), presentaron variaciones de propiedades dimensionales, resultando mayores movimientos dimensionales en la parte periférica del árbol, pero con mejores densidades.

Entre los estudios realizados para el *E. camaldulensis*, se encuentran los de Pan *et al.* (2015), que determinaron propiedades físicas de diferentes progenies; Moglia *et al.* (2010), han determinado una correlación negativa entre densidad y espesor de anillos; Moglia *et al.* (2008), presentaron variabilidad de sus características anatómicas de acuerdo a su origen de procedencia.

Respectos a clones intraespecíficos e interespecíficos de *E. grandis* existen diversos antecedentes para la región mesopotámica (López *et al.*, 2018; López *et al.*, 2017; López *et al.*, 2016; Sánchez, 2016; Sánchez *et al.*, 2012; López *et al.*, 2009, Sánchez Acosta *et al.*, 2005). Estos estudios están orientados principalmente a evaluar las ganancias genéticas obtenidas y las correlaciones entre propiedades de interés; caracterización de propiedades físicas y mecánicas, evaluación de tensiones de crecimientos y defectos obtenidos en rollizos y tablas aserradas, correlaciones y evaluación de usos potenciales en diferentes rubros industriales.

El objetivo de este trabajo fue la caracterización de la madera de clones interespecíficos e intraespecíficos y material seminal de *E. grandis* de 15 años de edad, desarrollados por el programa de mejoramiento genético de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Concordia de INTA, en la provincia de Entre Ríos. Con la obtención



de distintos valores de las propiedades tecnológicas se pretende poder determinar las aplicaciones más adecuadas.

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar las características físicas y mecánicas de la madera en probetas estandarizadas y los defectos en tablas y rollizos del material seminal de *E. grandis* y clones selectos de *Eucalyptus*, para determinar sus potenciales aptitudes.

#### ***Objetivos específicos:***

1. Determinar el índice de rajado del primer y segundo rollizo de los clones y material seminal.
2. Caracterizar el primer y segundo rollizo de los clones y material seminal con respecto a su conicidad y proporción de duramen.
3. Caracterizar materiales clonales y de semilla mediante el estudio de propiedades físicas y mecánicas sobre probeta de pequeñas dimensiones y libre de defectos.
4. Generar una base de datos sobre el comportamiento de clones, a fin de que puedan ser aplicados en la selección de nuevos materiales genéticos para diferentes usos.

### **HIPÓTESIS**

Los clones selectos de *Eucalyptus* presentan valores superiores para las propiedades físicas y mecánicas y menor variabilidad con respecto a la media del material seminal de *Eucalyptus grandis*.

Existe variabilidad tecnológica con respecto a las propiedades físicas y mecánicas y los defectos evaluados entre los materiales genéticos estudiados.

Los fustes y rollizos de los materiales seleccionados presentan mejor forma con respecto al material seminal de *Eucalyptus grandis*.

## **CAPÍTULO 2. ESTUDIOS DENDROMÉTRICOS EN ROLLIZOS<sup>2</sup>**

---

<sup>2</sup> Martinez, M.S.; Mastrandrea, C.A.; Winck, R.A.; Harrant, L.; Oberschelp, G.P.J. (octubre, 2021). Evaluación del rajado en rollizos de clones puros e híbridos de *Eucalyptus grandis* de INTA. [Presentación de poster]. XXXV Jornadas Forestales de ER. Argentina. <https://www.jornadasforestales.com.ar/book/revista/revista19-10-2021.pdf>

## INTRODUCCIÓN

En la provincia de Entre Ríos la madera es utilizada principalmente para usos sólidos (Sánchez Acosta, 1995) obteniendo en la industrialización diferentes calidades de madera. La calidad de la madera puede ser modificada hasta cierto punto, a través de la silvicultura y el mejoramiento genético (Zobel, 1981). Algunos procesos industriales posteriores permiten mejorar determinadas características deseables de la materia prima, el uso de preservantes aumentar la durabilidad de la madera, algunos los tratamientos térmicos pueden incrementar la dureza del material (depende de la especie, tratamiento, etc.), entre otros.

Algunos factores que inciden en la calidad de la madera para uso sólido, son la tasa de crecimiento, calidad de fuste y rollizos determinado por el efecto de la poda (López, 2005; Coronel 1994). Dentro de la calidad del fuste y rollizos se tienen en cuenta la forma y los defectos que presentan, la proporción de duramen y albura, y las tensiones de crecimiento. Estos factores inciden en el destino industrial de la madera, por tanto, es importante su descripción y evaluación para poder determinar potenciales aplicaciones.

### *Forma de fuste:*

La forma del fuste puede variar con el material genético, la edad, el espaciamiento inicial, el régimen de corte, los raleos efectuados, calidad de sitio (Cerqueira *et al.*, 2017; Souza *et al.*, 2016; Husch *et al.*, 2003). La forma del fuste incide en el rendimiento volumétrico, siendo de gran importancia su estudio (Ribeiro y Andrade 2016; Carvalho *et al.*, 2014 y Fassola *et al.*, 2007). Una de las técnicas para medir la forma del fuste consiste en la utilización del denominado “Factor de forma artificial” (Kershaw *et al.*, 2017), que utiliza mediciones del diámetro al nivel del DAP. En cambio, Prodan *et al.*, (1997), propone un factor de forma natural, considerando el ahusamiento del fuste, donde utiliza mediciones del diámetro a 10 % de la altura del árbol.

Las características como rectitud y conicidad son indicadores de la calidad de fuste. Se entiende por conicidad a la disminución del diámetro del fuste desde la base hasta el ápice del árbol (Rojas *et al.*, 2018). Ambos factores son de importancia en el proceso de aserrado y laminado, con influencia sobre la productividad (Vale *et al.*, 2002). Tanto la forma del fuste como la conicidad de los rollizos pueden influir de manera negativa, reduciendo el volumen de aprovechamiento y valor del producto obtenido (Mendoza, 2006; Chan *et al.*, 2002).

### ***Duramen y albura***

La albura y el duramen se pueden identificar claramente en muchas especies y son distintas en términos de actividad fisiológica (Cherelli *et al.*, 2018). Brito *et al.* (2019) y Sellin (1994) expresaron que la albura tiene un contenido de extractivo más bajo y es más permeable que el duramen. En madera destinada para pulpa y/o para ser tratada con preservantes, se prefiere una mayor proporción de albura. Por otro lado, la variación en la proporción y características del duramen varían con las especies, edad, posición en el árbol, genética, tasa de crecimiento, área foliar, suelo, clima, calidad del sitio, vitalidad del árbol y manejo silvicultural (Cherelli *et al.*, 2018; Kumar y Dhillon, 2014; Pillai *et al.*, 2013).

Para el género *Eucalyptus*, la madera más apropiada para la industria del aserrado, es preferentemente aquella que presenta mayor proporción de duramen, de aquí la importancia de su cuantificación (Gonçalves, 2006). En cambio, en la industria de postes, que requieren tratamientos con preservantes, se prefiere mayor proporción de albura (Caniza, 2010). La proporción de duramen/albura es considerado un atributo de importancia para determinar la calidad de madera según su uso final (Brito *et al.*, 2019; Pereira *et al.*, 2013; Monteoliva *et al.*, 2012 y Dejardin *et al.*, 2010). En aplicaciones de madera maciza, las diferentes propiedades del duramen y de la albura influyen en el secado, la durabilidad y en los valores estéticos (Pinto *et al.*, 2004). En madera empleada para biodendroenergía, valores altos de relación duramen/albura favorecen el poder calorífico del material (Brito *et al.*, 2019), porque esta característica está asociada al secado y carbonización de la madera, influenciando el control del proceso y calidad de carbón (Pereira *et al.*, 2013).

La presencia de duramen proporciona mayor durabilidad natural por contener extractivos (Wiedenhoeft *et al.*, 2005), característica deseable en la madera de construcción y carpintería de calidad (Sellin, 1994 y Wilkins, 1991). La proporción de duramen aumenta con el tamaño del árbol, mientras que la de albura mantiene un ancho relativamente constante (Brito *et al.*, 2019; Miranda *et al.*, 2015; Kumar y Dhillon 2014; Morais y Pereira, 2012; Miranda *et al.*, 2009). En estudios de proporciones de duramen en especies de *Eucalyptus* han obtenidos valores altos comprendidos entre 67 % y 76 % (Chelleri *et al.*, 2018). Gominho *et al.* (2001) en evaluaciones de clones de *Eucalyptus* híbridos, observó homogeneidad del material clonal y formación del duramen a partir de los 5 años de edad. En plantaciones de clones de *Eucalyptus* con diferentes

espaciamientos, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en relación al duramen/albura (Brito *et al.*, 2019). Sin embargo, la proporción del volumen del duramen aumentó con el espaciamiento para *E. globulus* (Gominho y Pereira, 2005). En estudios de clones de *Eucalyptus* destinados a carbón, se verificó que menores relaciones de duramen/albura están relacionadas con densidades básicas mayores, implicando rendimientos más elevados en este tipo de producto (Pereira *et al.*, 2013).

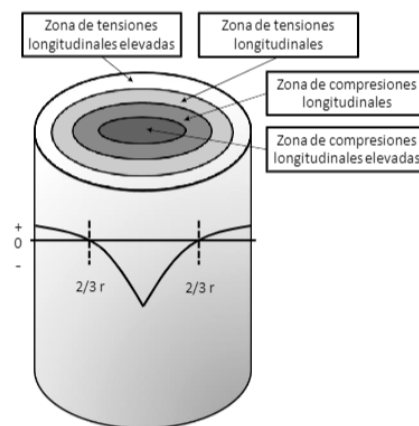
### ***Tensiones de crecimiento***

Las tensiones de crecimiento consisten en un proceso dinámico, donde los parámetros como el área de la copa, su excentricidad y longitud, la altura de los árboles y el DAP pueden influir en esta característica (Biechele *et al.*, 2009). También está relacionada a factores genéticos, edad, diámetros de los rollizos, tasas de crecimiento e inclinaciones de los fustes (Trugilho *et al.*, 2004). Al procesar y secar, maderas con altas tensiones de crecimiento, surgen defectos como grietas, encorvaduras y rajado (Biechele *et al.*, 2009).

Un factor que limita la producción de rollizos de *Eucalyptus* para madera sólida y láminas debobinadas, son las tensiones de crecimiento dentro de los árboles (Yang *et al.*, 2005; Matos *et al.*, 2003). Estas tensiones ocasionan defectos, contribuyendo a la disminución del valor de la madera y limitando el uso para productos de calidad. Esto se puede observar en los rollizos después de la tala de los árboles, con apariciones de grietas en los extremos y en los tablones y tablas, mediante aparición también de rajaduras en sus extremos y curvaturas, durante las operaciones del aserrado (Trugilho *et al.*, 2006; Vázquez, 2001). Las tensiones de crecimiento, son más acentuadas en las frondosas, especialmente en las especies de rápido crecimiento (Santos, 2002). A su vez existe variaciones a nivel especie y una gran variabilidad dentro de las especies (López *et al.*, 2018). Estas tensiones ocasionan defectos en tablas, generando desperdicios de hasta un tercio de la madera aserrable (Oberschelp *et al.*, 2007; Trugilho *et al.*, 2006; Trugilho *et al.*, 2004; Matos *et al.*, 2003).

Las tensiones de crecimiento son originadas en la región cambial de los árboles vivos durante la maduración de la pared celular de las fibras de la madera, en la cual las células se contraen longitudinalmente y se expanden transversalmente de manera simultánea (Santos *et al.*, 2002). Esto origina al árbol una tensión de tracción en la parte periférica del tronco que aumenta en la dirección a la corteza, y ocasiona una tensión de compresión en el centro del tronco que incrementa hacia la médula, provocando rajaduras

en rollizos y también en piezas aserradas obtenidas a partir de ellos (Matos *et al.*, 2003; Santos, 2002 y Lima *et al.*, 2000). Las tensiones longitudinales son las que ocasionan mayores defectos en la madera, y dentro de las tensiones transversales, en la dirección tangencial es mayor respecto a la radial (López *et al.*, 2018; Touza Vázquez, 2001). Según Biechele *et al.* (2009) y López *et al.* (2018) un árbol posee una línea de tensión cero en los dos tercios del radio ( $2/3 r$ ), generándose una zona de compresión en el centro de árbol y tracción en la parte periférica, cercana a la corteza (Figura 1).



**Figura 1: Zonas por efecto de las tensiones . López *et al.* (2018).**

El conocimiento de la distribución de las tensiones de crecimiento es un aspecto relevante para la industria del aserrado, permite mejorar las técnicas de procesamiento. En la medición directa de estas tensiones se mide el largo y el ancho de las rajaduras de las caras transversales de los rollizos, para calcular un índice de rajado. Mientras que, de forma indirecta se mide las tensiones de crecimiento longitudinal, en árboles en pie, a través de técnicas de Nicholson, método CIRAD-Forest y calibre de tensiones (Oberschelp *et al.*, 2007; Trugilho *et al.*, 2004; Matos *et al.*, 2003 y Baillères, 1994). Es importante destacar que la medición directa es más confiable, sin embargo, requiere el apeo del árbol y mayor tiempo de medición (López y Genes 2005; Yang *et al.*, 2005).

En Argentina se han llevado a cabo diferentes evaluaciones de rajado, tanto en rollizos y en tablas, en material de origen seminal, *E. grandis* utilizado como patrón por presentar mayor superficie plantado y principal materia prima en las industrias de la región de Entre Ríos. También existe evaluaciones en clones de *Eucalyptus*. En todas las situaciones de evaluaciones realizadas, el destino es para usos sólidos. Los resultados abarcan índices de rajado en rollizos que van desde muy bajos a intermedios (López, 2017; López *et al.*, 2016; Hernández *et al.*, 2014; López *et al.*, 2013; Aparicio *et al.*, 2011;

López *et al.*, 2010), con un incremento a mayor tiempo de estacionamiento (Oberschelp *et al.*, 2007).

### Objetivo

El objetivo de este capítulo fue determinar el índice de rajado, conicidad y proporción de duramen del primer y segundo rollizo correspondiente a los clones y al material seminal.

## MATERIALES Y METODOS

### *Descripción del ensayo*

El material utilizado se obtuvo de un ensayo de *Eucalyptus* instalado en el predio de la EEA (Estación Experimental Agropecuaria) de INTA Concordia, situado a los 58°07'16" O de longitud, 31°21'56" S latitud y a 47 m.s.n.m de altitud. El mismo fue implantado a un distanciamiento de 3,5 x 3,5 m, compuesto por parcelas lineales de 5 plantas en dirección norte-sur, con doble bordura perimetral de *E. grandis* proveniente de Huerto Semillero de Progenies. La precipitación media anual del sitio es de 1345 mm, temperatura media anual de 18°C, siendo enero el mes más cálido y julio el más frío, con períodos de heladas meteorológicas y una frecuencia media anual de ocurrencia de 8,5 (Garrán y Garin, 2010). La precipitación media para el período de crecimiento de la plantación (2004-2019) fue aproximadamente 128 mm mayor al promedio, y las temperaturas máximas absolutas de 41,1 °C y mínimas absolutas de -0,4 °C (Datos estación meteorológica EEA INTA Concordia, 17 abril 2020). El sitio posee un suelo mestizo arenoso con relieve suavemente ondulado. La clasificación de Köppen-Geiger y el régimen termopluviométrico de Concordia, se corresponde con el clima templado cálido (subtropical) sin estación seca designado como Cfa (Ramos *et al.*, 2018).

### *Materiales genéticos*

A los 15 años de edad se seleccionó el material de estudio en función del crecimiento, rectitud de fuste y antecedentes de mayor tolerancia al frío. El material seleccionado consistió en 2 clones puros, 2 clones híbridos, y un material seminal. En el Cuadro 1, se presenta la información de las características dendrométricas promedio.

**Cuadro 1. Características dendrométricas promedios para los materiales evaluados.**

Materiales Genéticos	Especie	N° individuos	Ht (m)	C.V. (%)	DAP.cc (cm)	C.V. (%)	Vol.cc (m <sup>3</sup> )	C.V. (%)
EG INTA HSP	<i>E. grandis</i> de semilla	8	31,7 (27,8 – 35)	7,3	29,2 (22,1 – 33)	15,8	0,99 (0,47 – 1,37)	34,0

EG INTA 157	Clon <i>E. grandis</i>	8	27,8 (21,8 – 32,4)	14,1	22,4 (16,2 – 31,8)	25,2	0,57 (0,22 – 1,15)	58,6
EG INTA 36	Clon <i>E. grandis</i>	8	33,9 (31,6 – 36,5)	4,9	30,2 (25,3 – 38,5)	13,9	1,14 (0,73 – 1,84)	31,6
GC INTA 24	<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>	8	28,6 (26,5 – 31,1)	5,0	22,2 (18,8 – 27,2)	12,4	0,46 (0,27 – 0,62)	25,8
GC INTA 27	<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>	8	33,5 (30,5 – 35,5)	5,2	27,2 (22,6 – 33,1)	14,3	0,85 (0,54 – 1,34)	32,2

Valores promedios. C.V.: coeficiente de variación, Ht: altura de fuste, DAP cc: diámetro a la altura del pecho, Vol. cc: volumen con corteza, valores entre paréntesis ( ), máximos y mínimos de cada variable.

### ***Forma de fuste***

La muestra analizada estuvo constituida por 8 árboles de cada material genético, según lo recomendado por normas COPANT 458 (1972). Luego del apeo de los árboles se realizó la medición de los diámetros con forcípula a diferentes alturas, en la base, al 1,30 m (DAP), y cada 2 metros inmediatamente por encima de los 1,30 m. En el caso de los rollizos a evaluar se registraron los diámetros con corteza de la punta gruesa y fina de cada uno, y con cinta métrica los diámetros sin corteza, en todos los casos se realizaron dos mediciones perpendiculares. La longitud total del fuste se obtuvo con cinta métrica. Los volúmenes de los rollizos se calcularon con la fórmula de Smallian en diferentes secciones (Prodan *et al.*, 1997), a excepción de la troza del extremo superior del fuste, que se efectuó con la fórmula del cono (Barraza *et al.*, 2009). Posteriormente, se realizó la suma de los volúmenes de todas las secciones para obtener el volumen total del fuste. A continuación de las mediciones, se trozaron los fustes obteniendo desde la base al 1,30 m un rollizo, para los ensayos de propiedades físicas y mecánicas y por encima del 1,30 m se tomaron dos rollizos de 3,20 m de longitud, para la caracterización de los materiales genéticos en relación al índice de rajado, conicidad y proporción de duramen. Posteriormente los rollizos fueron aserrados para evaluar las cualidades de las tablas obtenidas (Figura 2).



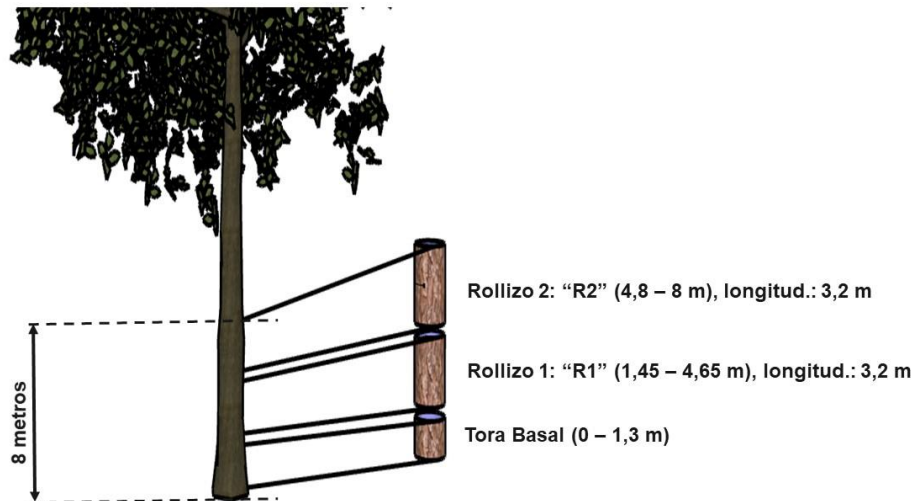


Figura 2. Representación gráfica de obtención de los rollizos para evaluación.

El primer rollizo de 3,20 metros de longitud de cada material genético fue identificado como R1 (1,45 m a los 4,65 m del fuste) y el segundo rollizo como R2 (4,80 m a los 8 m del fuste). Las fórmulas utilizadas para la obtención de los coeficientes de forma, conicidad de fuste y de trozas se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Fórmulas de Coeficientes forma y conicidad de fuste y trozas.

Coeficiente forma (F) y conicidad de fuste y troza	Fórmulas
Coeficiente mórfico del fuste artificial, altura total	$C.F.A. = \frac{V}{\frac{\pi}{4} * DAP^2 * HF}$
Coeficiente mórfico del fuste natural, altura total (Hohendahl)	$C.F.N. = \frac{V}{\frac{\pi}{4} * d_{0,1h}^2 * HF}$
Conicidad media del fuste (cm/m)	$C = \frac{d_b - d_p}{HF}$
Conicidad media de troza (cm/m)	$C_t = \frac{d_{pg} - d_{pf}}{L}$

V = Volumen del fuste (m<sup>3</sup>); DAP = Diámetro a la altura de pecho a 1,30 m (m); HF = altura del fuste (m); d<sub>0,1h</sub> = Diámetro al 10% de la altura total del fuste (m); d<sub>b</sub> = Diámetro de la base del fuste; d<sub>p</sub> = Diámetro de la punta del fuste; d<sub>pg</sub> = Diámetro de la punta gruesa de la troza (cm); d<sub>pf</sub> = Diámetro de la punta fina de la troza (cm). C = conicidad del fuste. C<sub>t</sub> = Conicidad de la troza.

### ***Duramen y albura***

En cada extremo de los 80 rollizos analizados se realizaron dos mediciones perpendiculares representando diferentes alturas del fuste (1,45 m, 4,65 m y 8,00 m). El espesor de la albura, se obtuvo por diferencia entre diámetro del rollizo sin corteza y el diámetro del duramen, dividido por dos.

La proporción de duramen se obtuvo de la división de su área respecto al área transversal sin corteza del rollizo. La relación duramen albura (D/A) se logró de la división del área del duramen respecto al área de la albura. Las áreas de las secciones transversales fueron calculadas suponiendo a las mismas como circulares.

### ***Índice de rajado***

El índice de rajado en rollizo (IRr) se determinó sobre fotografías realizando mediciones de las áreas de rajado de cada sección con respecto al área de la misma sección del rollizo sin corteza. Para ello se realizó el registro fotográfico de cada una de las caras de los R1 y R2 (punta gruesa y punta fina de cada rollizo), manteniendo la cámara a una distancia constante (50 centímetros) del rollizo y utilizando una regla como referencia de medida. El cálculo de las áreas se efectuó con QGis 3.10, software SIG de uso libre, secuencialmente a la hora 0 (momento inmediato luego de apeo), a las 72 y a las 144 horas. Se cubrieron los extremos de los rollizos con bolsas plásticas hasta las 72 horas para aislarlo de las condiciones ambientales de acuerdo a la metodología propuesta por González *et al.*, (2014), Trevisan *et al.*, (2013), López y Genes (2005). Posteriormente de las 72 hs, se evaluaron los IRr considerando los procesos naturales del ambiente, como la pérdida de humedad, secado, retracción y colapso en los rollizos. Para calcular el índice de rajado en rollizos se utilizó la ecuación (1) derivada de Lima (2000).

$$\text{Índice de rajado en rollizo (IRr)} = \frac{\sum_{i=1}^n A}{S} * 100 \text{ (Ecuación 1)}$$

Dónde: A= Área de la rajadura (i=1,...,n). S = sección transversal que contiene las rajaduras.

### ***Análisis estadísticos***

Para las evaluaciones de forma (coeficientes mórficos) y conicidad de fuste, se empleó ANOVA y test de Tukey, atendiendo al cumplimiento de los supuestos estadísticos, mediante test de Shapiro-Wilks para la normalidad de los errores y gráfico de dispersión de residuos versus valores predicho para la homocedasticidad de los errores.

Para el análisis de proporción de duramen, albura se utilizó MGL, por contener datos de estructura dependiente y desbalanceado. Se tomó como efecto fijo los materiales genéticos y la altura, y el árbol como efecto aleatorio. Para conicidad e índice de rajado en rollizos, los efectos fijos fueron materiales genéticos y rollizos, como efecto aleatorio el árbol. En todos los casos, para modelar las varianzas y covarianzas de los términos del

error asociados a las observaciones, se utilizó la estructura de errores autorregresiva del orden 1 (AR 1). La comparación de medias se efectuó mediante el test de DGC (Prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves, 2002). Se empleó un nivel de significancia de 5 %. Los datos extremos considerados “*outliers*” se desestimaron del análisis.

## RESULTADOS

### *Coefficientes mórficos*

En el Cuadro 3 se presentan los valores promedios y desvíos estándares de los coeficientes mórficos, donde el rango del coeficiente de forma artificial (C.F.A.) fue de 0,44 a 0,48 y para el coeficiente de forma natural (C.F.N.) estuvo entre 0,49 a 0,51. Se observó que el clon EG INTA 157 presentó mayores valores promedios para el C.F.A. y valores análogos en los C.F.N. con respecto a los materiales genéticos EG INTA, HSP y EG INTA 36. El clon EG INTA 36 presentó mayor dispersión para los datos de C.F.A., demostrando menor uniformidad respecto a los demás. Para los clones EG INTA 157 y GC INTA 24, el C.F.N. presentó un comportamiento similar.

**Cuadro 3. Coeficientes de forma artificial y natural en diferentes materiales genéticos, promedio y desvío estándar (D.E.).**

Materiales genéticos	C.F.A.		C.F.N.	
	Promedio	D.E.	Promedio	D.E.
EG INTA HSP	0,46 ab	0,02	0,51 a	0,01
EG INTA 157	0,48 a	0,02	0,51 a	0,02
EG INTA 36	0,47 abc	0,03	0,51 a	0,02
GC INTA 24	0,44 bc	0,02	0,49 a	0,02
GC INTA 27	0,44 c	0,02	0,49 a	0,01

Promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ( $p$ -valor  $\leq 0,05$ ). Test Tukey.

En todos los materiales genéticos ensayados se encontraron diferencias estadísticas significativas en los valores promedios para el C.F.A., mientras que no hubo diferencias estadísticas significativas entre las medias para el C.F.N.

Mediante la comparación de medias para el C.F.A. (donde se consideró como diámetro de referencia el DAP), se observaron diferencias estadísticamente significativas del EG INTA 157 con respecto a GC INTA 24 y GC INTA 27, donde el primero reflejó una mejor forma de fuste respecto al segundo y tercero. A su vez, el clon GC INTA 27 se diferenció del EG INTA HSP.

### *Conicidad del fuste*

Para el promedio de conicidad del fuste, se obtuvo valores extremos de 1,05 cm/m para EG INTA HSP y 0,88 cm/m para EG INTA 157 y los desvíos estándares oscilaron en un rango de 0,07 cm/m a 0,13 cm/m en torno al promedio (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Conicidad media del fuste (cm/m) de los distintos materiales genéticos.**

<b>Materiales genéticos</b>	<b>Promedio (cm/m)</b>	<b>D.E. (cm/m)</b>	<b>Mín. (cm/m)</b>	<b>Máx. (cm/m)</b>
EG INTA HSP	1,05 a	0,13	0,79	1,21
EG INTA 157	0,88 b	0,07	0,79	0,99
EG INTA 36	1,02 ab	0,13	0,85	1,23
GC INTA 24	0,90 ab	0,06	0,78	0,96
GC INTA 27	0,91 ab	0,13	0,78	1,12

Valores promedios. Desvíos estándar (D.E.), mínimos (Mín.) y máximos (Máx.). Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ( $p$ -valor  $\leq 0,05$ ). Test Tukey.

Mediante el análisis de varianza y el test de Tukey, solo se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las medias ( $p$ -valor  $\leq 0,05$ ) para el valor de conicidad del fuste de EG INTA HSP y EG INTA 157.

La conicidad de las trozas presentó valores medios entre 0,65 cm/m (GC INTA 24), y 0,50 cm/m (EG INTA 157) (Cuadro 5). Los coeficientes de variación oscilaron en un rango de 19,68 a 33,42 %, donde se halló menor variabilidad para EG INTA HSP y mayor variabilidad en GC INTA 27.

Respecto a la conicidad media para los rollizos R1 y R2, los primeros oscilaron en un promedio de 0,64 cm/m y los segundos en 0,62 cm/m. El comportamiento con mayor uniformidad en conicidad del R1 se presentó en la semilla (EG INTA HSP), en cambio en R2 se observó una mayor uniformidad en el clon híbrido GC INTA 24 (Cuadro 5).

**Cuadro 5. Conicidad de los dos primeros rollizos basales (cm/m).**

<b>Materiales genéticos</b>	<b>Promedio (cm/m)</b>	<b>C.V. (%)</b>	<b>Rollizos</b>	<b>Promedio (cm/m)</b>	<b>C.V. (%)</b>
EG INTA HSP	0,64 a (0,36 – 0,84)	19,68	R1 a	0,69	13,54
			R2 a	0,60	24,60
EG INTA 157	0,50 b (0,31 - 0,88)	29,36	R1 a	0,54	33,13
			R2 a	0,46	22,72
EG INTA 36	0,59 a (0,31 – 0,88)	28,07	R1 a	0,60	31,38
			R2 a	0,58	26,22
GC INTA 24	0,65 a (0,42 – 0,94)	26,36	R1 a	0,77	20,85
			R2 b	0,54	14,20
GC INTA 27	0,61 a (0,19 – 1,09)	33,42	R1 a	0,59	19,41
			R2 a	0,62	43,61

Valores promedios y coeficiente de variación (C.V.). Entre paréntesis, mínimos y máximos de la variable. Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ( $p$ -valor  $\leq 0,05$ ). Test de media DGC. Lectura de diferencia de medias en sentido vertical.

Para la conicidad de los 2 primeros rollizos el análisis indicó diferencias estadísticamente significativas ( $p$ -valor  $\leq 0,05$ ) entre materiales genéticos. El EG INTA 157 resultó estadísticamente diferente respecto al resto, con menor valor de conicidad en rollizos. Respecto a las clases de rollizos, R1 y R2, únicamente el clon híbrido GC INTA 24 presentó diferencias significativas entre rollizos, siendo el rollizo R1 más cónico con respecto a R2.

### ***Proporción de duramen y albura para diferentes alturas de fuste***

Se observó una disminución del porcentaje de duramen con la altura, excepto para EG INTA 36 que incremento a los 8,00 m. La reducción del porcentaje de duramen desde los 1,45 m a 8,00 m, fue menor en EG INTA 157 y mayor en GC INTA 24 (Cuadro 6).

**Cuadro 6. Promedio de porcentaje de duramen (área duramen/área transversal de rollizo s/c) a distintas alturas de fuste.**

<b>Materiales genéticos</b>	<b>1,45 m</b>	<b>4,65 m</b>	<b>8,00 m</b>
EG INTA HSP	59 (8,25) a	55 (6,96) a	54 (7,47) a
EG INTA 157	56 (9,51) a	56 (11,87) a	54 (9,19) a
EG INTA 36	63 (10,46) a	59 (9,96) b	60 (11,43) b
GC INTA 24	53 (9,16) a	46 (13,68) b	44 (25,24) b
GC INTA 27	50 (16,86) a	46 (18,09) b	44 (23,16) b

Coefficiente de variación (C.V. entre paréntesis). Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ( $p$ -valor  $\leq 0,05$ ). Test de media DGC. Lectura de diferencia de medias en sentido horizontal.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las alturas para el porcentaje de duramen. El porcentaje de duramen presentó una diferenciación estadísticamente significativa en el caso de la altura 1,45 m con respecto a 4,65 m y 8 m, siendo éstas últimas similares estadísticamente. Para el porcentaje de duramen a diferentes alturas de EG INTA HSP y EG INTA 157 no se observó diferencias significativas entre las distintas alturas. Por otro lado, EG INTA 36, GC INTA 24 y GC INTA 27 tuvieron diferencias significativas del porcentaje de duramen con la altura 1,45 con respecto a los 4,65 m y 8,00 m.

### ***Espesor de albura por material genético***

Para el espesor de la albura el valor mínimos y máximos resultaron en 24,10 mm y 36,83 mm, que correspondiendo a EG INTA 157 y GC INTA 27, respectivamente,

presentando diferencias significativas entre ambos (Cuadro 7). En cambio, EG INTA HSP, EG INTA 36 y GC INTA 24, no se diferenciaron estadísticamente y tuvieron valores intermedios de espesor de albura.

### ***Proporción de duramen por material genético***

La proporción promedio de duramen de los materiales genéticos resultó entre 47 % y 60 % (Cuadro 7), con diferencias estadísticamente significativas entre los materiales evaluados. Los clones híbridos GC INTA 24 y GC INTA 27 presentaron menores valores medios de proporción de duramen y diferencias significativas con el resto de los materiales estudiados.

**Cuadro 7. Promedio de espesor albura, porcentaje de duramen y relación duramen/albura del conjunto de alturas registrada.**

<b>Materiales genéticos</b>	<b>Espesor de albura (mm)</b>	<b>Duramen (% Total área s/c)</b>	<b>Duramen/Albura (cm<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>)</b>
EG INTA HSP	31,21 (14,81) b	56 (8,10) a	1,30 (18,43) b
EG INTA 157	24,10 (21,23) a	55 (10,04) a	1,27 (24,57) b
EG INTA 36	29,34 (17,66) b	60 (10,61) a	1,59 (26,18) a
GC INTA 24	28,00 (16,31) b	48 (17,59) b	0,95 (31,02) c
GC INTA 27	36,83 (12,84) c	47 (20,26) b	0,94 (42,21) c

Coefficiente de variación entre paréntesis. Medias con letras igual no son significativamente diferentes (p-valor  $\leq 0,05$ ). Test de media DGC.

### ***Relación duramen/albura***

La relación Duramen/Albura (D/A), varió desde 0,94 para GC INTA 27 hasta 1,59 para EG INTA 36. Se obtuvieron diferencias significativas entre los materiales clonales híbridos (GC) con respecto al material seminal y clones intraespecíficos (EG). El clon EG INTA 36 presentó el mayor promedio y se diferenció estadísticamente del resto de los materiales en estudio. El material seminal y el clon EG INTA 157, no se diferenciaron entre sí, pero presentaron diferencias estadísticamente significativas con el EG INTA 36 y los clones híbridos GC (Cuadro 7).

En el Cuadro 8, la relación D/A para los clones híbridos GC INTA 24 y GC INTA 27 y EG INTA HSP demostró diferencias estadísticamente significativas en la altura 1,45 m, donde esta fue significativamente mayor respecto a las alturas 4,65 m y 8,00 m, éstas 2 últimas sin diferencias significativas entre ellas. Un comportamiento diferente se observó en los materiales clonales puros (EG); donde los valores no presentaron diferencias en las alturas para EG INTA 36; mientras el EG INTA 157 resultó con

promedios similares en 1,45m y 8,00 m, y los mayores valores se obtuvo a los 4,65 m, que a su vez se diferenció de las restantes alturas.

**Cuadro 8. Variación de la relación entre duramen y albura (D/A) a distintas alturas del fuste.**

Material genético	D/A		
	1,45 m	4,65 m	8,00 m
EG INTA HSP	1,45 (18,25) a	1,24 (15,17) b	1,19 (16,17) b
EG INTA 157	1,28 (22,56) a	1,34 (30,82) b	1,18 (18,88) a
EG INTA 36	1,76 (26,68) a	1,47 (24,89) a	1,53 (26,07) a
GC INTA 24	1,12 (17,74) a	0,88 (25,81) b	0,86 (44,73) b
GC INTA 27	1,04 (32,85) a	0,88 (31,98) b	0,89 (61,49) b

Coefficiente de variación entre paréntesis. Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ( $p$ -valor  $\leq 0,05$ ). Test de media DGC. Lectura de diferencia de medias en sentido horizontal.

### *Índice de rajado en rollizos (IRr)*

En el Cuadro 9 se exponen los valores promedios para el índice de rajado en rollizos, especificado para tres momentos de observación y los incrementos relativos entre observaciones.

**Cuadro 9. Índice de rajado en rollizos (IRr), para los tres momentos de observación y su incremento porcentual para cada periodo en los diferentes materiales genéticos.**

Hora	0 hs		72 hs		144 hs		Inc. IRr	Inc. IRr
	IRr	C.V. (%)	IRr	C.V. (%)	IRr	C.V. (%)	0 a 72 hs (%)	72 a 144 hs (%)
EG INTA HSP	0,20 a (0,04-0,34)	33,29	0,48 a (0,17-0,86)	36,42	1,14 b (0,01-2,09)	43,75	140	139
EG INTA157	0,23 a (0,07-0,44)	40,96	0,38 a (0,19-0,57)	25,75	1,21 b (0,40-2,29)	40,05	65	218
EG INTA 36	0,27 a (0,06-0,57)	42,77	0,59 b (0,26-1,04)	38,17	1,62 c (0,62-2,96)	42,05	119	175
GC INTA 24	0,23 a (0,11-0,48)	44,18	0,40 a (0,30-0,58)	20,96	0,73 a (0,32-1,52)	40,91	74	83
GC INTA 27	0,95 b (0,34-1,99)	46,93	2,82c (0,54-5,96)	50,30	3,96 d (1,32-7,30)	39,39	197	40

Coefficiente de variación (C.V.), mínimos y máximos entre paréntesis, e incremento de IRr (%). Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ( $p$ -valor  $\leq 0,05$ ). Test de media DGC. Lectura de diferencias de medias en sentido vertical.

En el análisis de comparación de medias en distintos momentos de observación (Cuadro 9), para las 0 horas solo el GC INTA 27 presento diferencia significativa para IRr con respecto al resto de los materiales; resultando el material seminal con el menor valor, seguido por GC INTA 24, para este momento de observación.

A las 72 horas tanto el GC INTA 27 como el EG INTA 36 presentaron diferencia significativa entre ellos y con el resto de los materiales en estudio, siendo el EG INTA 157 el que menor promedio presentó para este periodo de tiempo.

A las 144 horas se observó diferencias significativas entre los materiales, excepto EG INTA HSP con EG INTA 157, siendo el GC INTA 24 el menor valor de IRr presentó.

Para GC INTA 27 se observó en los diferentes tiempos, mayores valores de IRr con diferencia significativas respecto a los demás materiales genéticos en todos los momentos de observación.

Para las medias de los distintos horarios, se observó una tendencia lineal de incremento del rajado en el tiempo. Resultando desde las 0 horas hasta las 144 horas, el clon EG INTA 36 con mayor incremento de su IRr, seguido por EG INTA 157, posteriormente el EG INTA HSP, y con menor incremento el GC INTA 24, seguido del GC INTA 27.

En el rango de las 0 horas hasta las 72 hs, se observó un incremento promedio entre clones EG de 92 % y para los clones híbridos en un 135 %. En cambio, desde las 72 horas hasta las 144 horas, se invirtieron los resultados, donde el incremento promedio de IRr fue de 194 % entre los clones puros y 62 % para los híbridos (Cuadro 9).

La homogeneidad del IRr (medido a través del coeficiente de variación) en la observación “0” horas resultó mayor para el material seminal, a las 72 horas el GC INTA 24 presentó la menor variabilidad y para las 144 horas la menor variación ocurrió en GC INTA 27.

En el Cuadro 10, se presentan los valores de IRr de los distintos materiales genéticos, discriminado por tipo de rollo en los diferentes momentos de registro.

**Cuadro 10. Promedio de índice de rajado por clase de rollizo.**

Hora	Rollo	EG INTA 157	EG INTA 36	EG INT HSP	GC INTA 24	GC INTA 27
		Medias	Medias	Medias	Medias	Medias
0	R1	0,20 b	0,24 d	0,17 c	0,20 c	1,24 d
	R2	0,26 b	0,28 d	0,22 c	0,23 c	1,16 d
72	R1	0,36 b	0,52 c	0,39 b	0,39 b	3,02 b
	R2	0,41 b	0,61 c	0,44 b	0,44 b	2,41 c
144	R1	1,26 a	1,18 b	0,96 a	0,60 a	4,32 a
	R2	1,40 a	1,42 a	1,05 a	0,66 a	3,41 b

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ). Test DGC. Las lecturas de las diferencias significativas se realizan en sentido vertical.



En el momento 0 de evaluación del IRr no se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre los rollizos basales (R1) y superiores (R2) (Cuadro 10). A las 72 horas de observación solo el clon GC INTA 27 arrojó diferencias estadísticamente significativas entre los rollizos R1 y R2. A las 144 horas solo existieron diferencias en IRr entre los rollizos R1 y R2 para los materiales EG INTA 36 y GC INTA 27. El clon EG INTA 157 mantuvo constante el IRr hasta las 72 horas, a partir de ese momento presentó un incremento en su valor medio por rollizo.

En la Figura 3 se muestra los valores medios para el IRr y su evolución en cada momento para cada material genético.

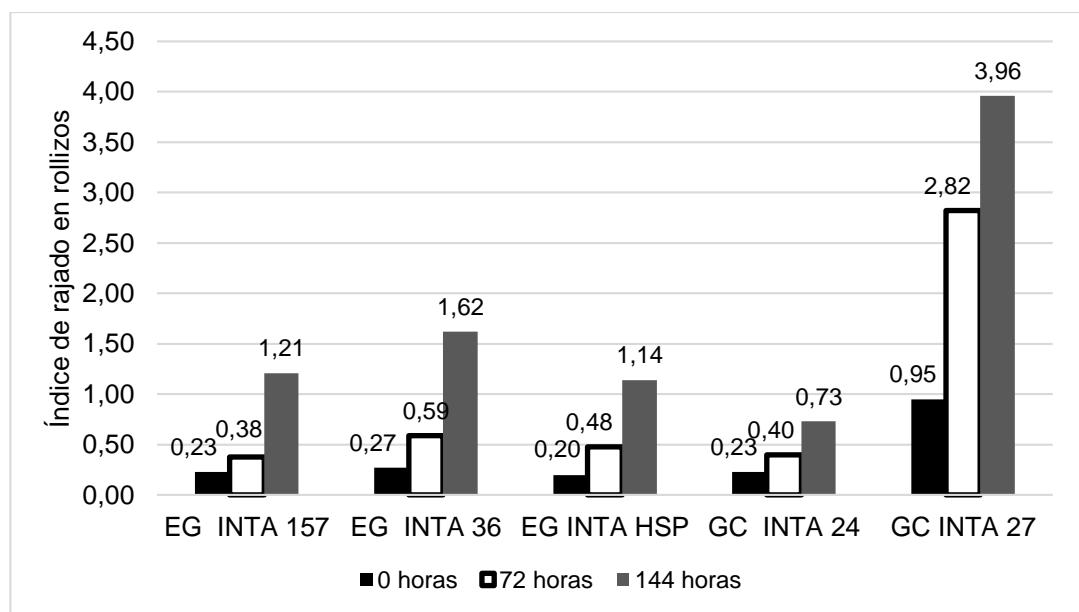


Figura 3. Índice de rajado en rollizos en diferente momento de observación.

En la Figura 3 se observó un incremento de los IRr en todos los materiales evaluados, para los diferentes momentos de observación.

En el Cuadro 11 se observa la variación porcentual del índice de rajado de rollizos de los clones, utilizando como patrón de referencia el material seminal (EG INTA HSP).

**Cuadro 11. Variación porcentual de índice de rajado en rollizos, en diferente momento de observación, utilizando como referencia el IRr de EG INTA HSP.**

Materiales genéticos.	0 hs	72 hs	144 hs
EG INTA HSP	-	-	-
EG INTA 157	15,00 %	-21,00 %	6,00 %
EG INTA 36	35,00 %	23,00 %	41,00 %
GC INTA 24	15,00 %	-17,00 %	-36,00 %
GC NTA 27	375,00 %	487,00 %	246,00 %

En el Cuadro 11 se observó variaciones porcentuales, donde los valores negativos representa cuanto menor es el IRr de cada material evaluado con respecto al EG INTA HSP. En la 0 hora, todos los clones resultaron con índice de rajado en rollizos mayores al material seminal. Para las 72 horas, resultó con variaciones negativa el EG INTA 157 y GC INTA 24, representando IRr menores al material seminal (EG INTA HSP). En las 144 horas, GC INTA 24 obtuvo variaciones porcentuales negativa, representando el único material para este momento de observación con IRr menores a EG INTA HSP.

De acuerdo a las clases de severidad del IRr sugeridas por López *et al.* (2009) para *E. grandis*, en evaluaciones de tensiones de crecimiento a las 72 horas los resultados obtenidos en este trabajo indicaron que los clones EG INTA 157 y GC INTA 24, y el material seminal EG HSP pertenecen a la clase de baja severidad de rajado, EG INTA 36 se consideró de clase media y GC INTA 27 se correspondió a una clase alta en rajado.

## DISCUSIÓN

El coeficiente mórfico artificial hallado, se encontró dentro de los rangos 0,44 a 0,48, superior a los encontrados para *E. grandis* de 5 años de edad en Uruguay, 0,40 (Balmelli y Resquin, 2000; PRAIF, 1994). López *et al.* (2004), encontraron un factor de forma de 0,51 para *E. grandis* de 27 años de edad y López *et al.* (2010), registraron valores de 0,61 a 0,66 en clones de *Eucalyptus* de 6 años de edad en la provincia de Corrientes. Caixeta (2000), obtuvo un factor de forma de 0,40, en evaluaciones de genotipos de *Eucalyptus* de 14 a 17 años de edad.

Con respecto al coeficiente de forma natural para todos los materiales genéticos evaluados en este estudio, se obtuvieron valores entre 0,49 y 0,51, asemejándose a la forma de un paraboloide, de acuerdo a la clasificación de forma dendrométrica expresada en García Espinoza *et al.* (2013).

Para la conicidad, los valores medios de los fustes resultaron entre 0,88 y 1,05 cm/m. La exigencia de la norma IRAM 9513 para postes de *Eucalyptus*, permite un valor de conicidad de hasta 1 cm/m. Por su parte, Caixeta (2000), expresó que un fuste es considerado cónico con valores mayores a 1 cm/m. Vale *et al.* (2002), obtuvieron valores en clones de *E. camaldulensis* inferiores a 0,5 cm/m con 6 años de edad.

En el caso de los valores obtenidos para las conicidades medias de las trozas oscilaron entre 0,50 a 0,65 cm/m, representando una reducción menor al 1 % por cada metro de longitud de la troza. Caixeta (2000) para 40 genotipos de *Eucalyptus* de 13 a 17

años obtuvo una conicidad promedio de 1,51 %, para rollizos de 3 metros de longitud. En investigaciones de Ferreira *et al.* (2004), evaluaron toras de 2,9 m metros de longitud de 11 clones de *E. grandis* donde obtuvieron 1,4 cm/m de conicidad promedio, para un rango de edades entre 7,5 y 13,5 años. López *et al.* (2004), evaluaron árboles de *E. grandis* Hill ex Maiden de 27 años de edad, donde registraron un promedio de conicidad 1,41 cm/m.

La variación de valores en conicidad y forma de fuste se encuentra afectada por factores intrínsecas al material genético, silvicultura, edad, heredabilidad y el sitio (Rodríguez-Toro *et al.*, 2016; Caniza, 2010, Prodan *et al.*, 1997).

En relación a la proporción de duramen, los materiales genéticos evaluados en el presente estudio, alcanzaron un valor promedio de 56 % de proporción de duramen a la altura del DAP, con valores que oscilaron entre 50 % y 63 %, para la edad de 15 años (Tabla 5); estos valores son superiores a los reportados por Gominho *et al.* (2001), para clones híbridos de *Urograndis* (*E. urophylla* x *E. grandis*) de 5-6 años con presencia de 51 % de proporción de duramen respecto al área total; e inferiores a los valores de 75,7 % registrado por Moglia *et al.* (2011), en *E. camaldulensis* de 10 años. En cambio, el porcentaje de duramen resultó inferior a lo reportado por Winck *et al.* (2016) para la misma edad, analizando el fuste completo de árboles de *E. grandis*, donde determinaron un incremento de la proporción de duramen con la edad y registraron valores medios de 55, 65, 68 y 75 % de duramen respecto al volumen sin corteza, a las edades de 10, 12, 15 y 32 años, respectivamente.

Los resultados obtenidos en otros estudios de *E. grandis* de 9,5 años de edad demostraron un incremento del área duramen, influenciado por las dimensiones del DAP (Wilkins, 1991). Diferentes investigaciones con distintos géneros, demostraron que el área del duramen depende del crecimiento del árbol y no de su edad. Este comportamiento se observó también en otras especies de *Eucalyptus* (Cherelli *et al.*, 2018; Kumar y Dhillon, 2014; Pillai *et al.*, 2012), incluso con una correlación significativa con el DAP en clones híbridos *Urograndis* de 4 años de edad (Brito *et al.*, 2019).

Con respecto a los resultados obtenidos para las tensiones de crecimiento a través del índice de rajado en rollizos (IRr), oscilaron entre 0,40 y 2,82 para las observaciones de las 72, mostrando una tendencia igual a lo encontrado en la bibliografía consultada (Oberschelp *et al.*, 2007), en cuanto al incremento de las tensiones de crecimiento con el tiempo de observación, como también a los resultados obtenidos para cada material genético.

En este sentido, en evaluaciones de tensiones de crecimiento a las 72 horas se obtuvieron valores de IRr de 1,23 y 0,88 para EG INTA 36 y EG INTA 157, respectivamente, y 2,05 y 1,13 para GC INTA 27 y semilla, respectivamente, por parte de López *et al.* (2018), para la edad de 14 años, resultando superiores a los encontrados en el presente estudio. A su vez, los valores registrados de IRr, en el presente estudio, son coincidentes a los obtenidos por Caniza *et al.* (2010), quienes para clones de *E. grandis* de 8 años de edad registraron valores entre los 0,66 a 1,06. Por otro lado, en la investigación presentada por López *et al.* (2016), realizada sobre varios materiales, evaluados a los 6 años obtuvieron IRr a las 72 horas en EG INTA HSP valores de 0,34, en clones puros EG INTA 36 y EG INTA 157 de 0,43 y 0,35 respectivamente; y en el clon híbrido GC INTA 27 de 0,55.

En particular, en el presente estudio, en los clones híbridos, GC INTA 24 y GC INTA 27, se obtuvo como IRr a las 0 horas, valores de 0,23 y 0,95, respectivamente. Por parte de González *et al.* (2014), en evaluación de orígenes de *E. camaldulensis* de 17 años de edad, obtuvieron un valor promedio de 0,46 de IRr. Ambos estudios, el promedio de IRr de las 0 horas se diferenció estadísticamente de los demás horarios evaluados.

En cuanto al índice de rajado a las 144 horas, para los rollizos expuestos en condiciones ambientales de campo, se obtuvo valores entre 0,73 y 3,96, con un incremento en el valor promedio de IRr para los clones puros y una reducción para los clones híbridos, comparativamente con el registro de las 72 horas.

Por su parte, Da Silva *et al.* (2017), en *E. urophylla* de 13 años, concluyó que resulta más eficiente aserrar a las 72 horas después de apeado los árboles, en vez de 10 días después de su tala, para reducir las tensiones de crecimiento y presencia de rajado en los rollizos. De la misma forma, Matos *et al.* (2003), en *E. dunnii* de 13 años observaron una menor cantidad de tablas rajadas cuando fueron procesadas a las 72 horas después del apeo del árbol respecto a tablas procesadas a los de 12 días.

Cabe considerar que el índice de rajado estuvo relacionado con el efecto del secado durante el tiempo de estacionado al aire libre en campo, coincidiendo con lo expresado por Da Silva *et al.* (2017) y Matos *et al.* (2003).

En el estudio de rajado de clones de *E. grandis* x *E. urophylla* de 19 años Franca *et al.* (2020), obtuvieron un incremento promedio de 134 % en rajado al aire libre a las 24 horas de su talado, mientras que el aumento promedio entre 24 hs y 1 semana después,

fue del 60 %. En este estudio para las 72 hs se obtuvieron valores similares en los híbridos, pero inferiores en el caso de clones puros. Partiendo de las 72 horas hasta las 144 horas, el incremento promedio en clones puros fue de 194 % y en los híbridos de 62 %. Esto puede deberse a que en los clones híbridos las tensiones se liberarían en las primeras horas luego del apeo en comparación con los clones puros quienes tendrían un proceso de liberación de tensiones más lento.

El estudio de la evolución del rajado, ocasionado por las tensiones de crecimiento, secado y contracción de los rollizos, permitió conocer el comportamiento de los diferentes materiales genéticos en el transcurso del tiempo y en distintas condiciones. Como así también, aportó información para las futuras tomas de decisiones en el programa de mejoramiento y la realización de procedimientos adecuados para la manipulación de la madera hasta la industria de primera transformación.

Las discrepancias entre los valores obtenidos en este estudio para las variables evaluadas y los diversos trabajos citados, puede deberse a diferencias en especies, edades, tipo de muestreo, procesamiento, condiciones ambientales y principalmente, a las propiedades intrínsecas del material estudiado.

## CONCLUSIONES

El clon de *E. grandis* INTA 157, presentó mejor forma de fuste. En las evaluaciones de forma de fustes mediante “factores de forma” se observó el clon *E. grandis* INTA 157 con diferencia significativa a los clones híbridos *E. grandis x E. camaldulensis* INTA 27 e INTA 24. Aquellos materiales genéticos con mejor forma de fuste presentan mayor aptitud para su uso en postes, como el caso de los clones *E. grandis* INTA 157 e INTA 36 y el material seminal *E. grandis* INTA HSP.

El EG INTA 157 se destacó por su bajo valor medio de conicidad de los rollizos. Es importante considerar la incidencia de la conicidad en el rendimiento en aserrado y debobinado, mayores valores de conicidad en rollizos, originará una menor producción de tablas, tirantes y láminas para compensado, por lo tanto, una reducción del rendimiento.

Los clones híbridos, *E. grandis x E. camaldulensis* INTA 24 e INTA 27 se comportaron de manera similar en cuanto al porcentaje de duramen y relación duramen/albura, con menores valores respecto al resto. Estas propiedades habilitan la utilización de sus maderas en la industria del carbón vegetal, ya que proporcionarían

mayores rendimientos en peso. También puede influir en la durabilidad, por lo tanto, en los usos como madera aserrada y como madera redonda.

El material seminal, *E. grandis* INTA HSP, y los clones puros de *E. grandis* serían los más recomendables para usos industriales aserrables, debido a la presencia de mayores proporciones de duramen en el fuste. Por una parte, dentro de los clones puros, *E. grandis* INTA 157 se caracterizó por su menor valor en el espesor de la albura, mientras que *E. grandis* x *E. camaldulensis* INTA 27, presentó un mayor espesor promedio. Por lo tanto, este último podría ser considerado para destinos finales como la industria celulósica y en otras aplicaciones que requieran un proceso de impregnado.

Por otro lado, el *E. grandis* x *E. camaldulensis* INTA 24 presentó mejor performance en cuanto al índice de rajado en rollizos. Mientras que el *E. grandis* x *E. camaldulensis* INTA 27 presentó un desempeño menos deseable. A su vez, para todos los materiales evaluados, el valor de índice de rajado en rollizos se incrementó con el tiempo de observación de forma lineal.

## **CAPÍTULO 3. PROPIEDADES FÍSICAS**

## INTRODUCCIÓN

### *Propiedades físicas*

Las propiedades físicas son características cuantitativas de la madera resultado de su comportamiento debido a influencias externas y ambientales, que inciden en sus aplicaciones (Coronel, 1994). Se encuentran dentro de estas propiedades los cambios dimensionales, el contenido de humedad y la densidad, entre otros (Winandy, 1994).

### *Densidad*

La densidad es una de las variables más importantes, porque actúa como factor de predicción del uso final de la madera, presenta alta heredabilidad, es una característica de interés para los programas de mejoramientos y tiene importantes efectos sobre la calidad y rendimiento maderable (Vázquez-Cuecuecha *et al.*, 2015; Zobel y Talbert, 1988), siendo un parámetro que puede utilizarse para clasificar a la madera en cuanto a su peso (Bianchet, 1980). Esta variable expresa la cantidad de sustancia de madera o pared celular que una pieza de madera contiene por unidad de volumen (Moreno y Igartua, 2015). Se lo considera como el descriptor de mayor relevancia independientemente del objetivo industrial, como producción de madera sólida o pulpa (Alarcón *et al.*, 2018, López *et al.*, 2002). Además, puede variar dependiendo de la especie, el individuo o la ubicación dentro del árbol (Delmastro *et al.*, 1980), presentando mayores variaciones en el sentido radial que axial (Lima, 1999).

Se han desarrollado investigaciones en la región sobre la densidad en especies del género *Eucalyptus* proveniente de semillas (Hernández *et al.*, 2014; Oberschelp *et al.*, 2007). Las mismas han demostrado una tendencia hacia mayores valores de densidades a edades más avanzadas y propiedades tecnológicas de la madera similares para determinadas procedencias genéticas de *Eucalyptus grandis*, destacándose entre ellas, las semillas locales comerciales (Argentina) y de lote semillero origen Kendall de Australia (Sánchez Acosta *et al.*, 2003; SAGyP - INTA, 1995). Por otra parte, López *et al.* (2010), y López *et al.* (2002), en trabajos similares remarcaron la necesidad de incluir la densidad de la madera en el proceso de selección de individuos. Arango *et al.* (2001), estudio variación de densidad de la madera con la altura de los árboles en *E. grandis*, la cual decrece desde la base del árbol hacia el nivel del DAP y luego, aumenta hacia la copa hasta el 75% de la altura total del árbol (Arango *et al.*, 2001). López A. y López J. (2011),



registró valores mayores de densidad en las zonas externas del árbol, originando propiedades físicas, mecánicas y madera más apropiada para usos sólidos.

Existen diversos estudios que comparan las propiedades físicas entre clones híbridos y sus materiales parentales, donde se obtuvieron valores de densidad intermedios respecto a sus parentales (López *et al.*, 2016; Sánchez A., 2016; Louidi *et al.*, 2012; Sánchez A. *et al.*, 2005). Por otro lado, Arango *et al.* (2008), evaluaron la uniformidad de la densidad de la madera en el sentido radial a la altura del DAP en materiales clonales puros de *E. grandis* e híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, donde los primeros resultaron con mejores propiedades tecnológicas, tales como menor cantidad de defectos debido al secado y variación dimensional y mayor aprovechamiento en el proceso de desdoble.

### ***Cambios dimensionales***

Los cambios dimensionales están correlacionados con la densidad, principalmente las contracciones volumétricas radiales y tangenciales (Lima 1996). Debido a la constitución de la estructura celular de la madera y la cantidad de radios en la dirección radial o alineamiento de las microfibrillas en dirección radial, se presentan las contracciones volumétricas, complementariamente a las contracciones lineales, (Spear y Walker, 2006). Los estudios de estas contracciones permiten obtener la anisotropía (contracciones desiguales en los planos de corte tangencial y radial) y relacionarlas con las tensiones crecimiento, que son fuerzas internas presentes en el leño de los árboles en pie (Hernández *et al.*, 2014; Margarete, 2014), y a su vez, con el secado que consecuentemente permite la obtención de cierta calidad de productos. Sin embargo, en evaluaciones de especies del género *Eucalyptus*, entre ellas *E. grandis*, algunos estudios destacaron que la densidad básica (masa anhidra/volumen saturado) no fue un predictor adecuado para estimar las contracciones de la madera (Prasetyo *et al.*, 2017; Wu *et al.*, 2006).

Los cambios dimensionales de la madera involucran la contracción e hinchamiento de la misma, debido a diferentes estados de saturación de agua. Dado su carácter anisótropo, sus características son diferentes respecto a las direcciones tangenciales, radiales y longitudinales lo que en ocasiones puede provocar defectos como deformaciones, rajaduras y grietas (Cardoso *et al.*, 2013, Genes y López, 2011, Oliveira y Silva, 2003). Estos cambios dimensionales en la madera pueden conducir a la disminución de la utilidad de los productos derivados de ella. Por lo tanto, la estabilidad dimensional debe entenderse y considerarse en los productos de madera expuestos a

servicios donde existieran fluctuaciones de humedad. En general una mayor contracción se asocia con una mayor densidad de la madera (Forest Products Laboratory, 2010). La madera presenta mayores contracciones en la dirección tangencial (dirección de los anillos de crecimientos) que, en la dirección radial y longitudinal, la cual, en términos generales, es despreciable (Oliveira y Silva, 2003). Dentro de la clasificación de los usos de la madera según criterio de estabilidad dimensional podemos encontrar la propuesta realizadas por Coronel (1994), quien establece tres categorías, excelente, normal y con dificultad para su uso/trabajabilidad. Asimismo, Ordoñez *et al.* (1990) considera 3 clases que denomina baja, alta y muy alta, mientras que Etchenique *et al.* (1975) considera 5 categorías y las denomina como, muy estable, estable, moderadamente estable, inestable y muy inestable.

Las experiencias en la región de Entre Ríos demuestran que la madera de *Eucalyptus grandis* posee un comportamiento más estable en el centro del tronco y a su vez, esta característica se va reduciendo desde la base hasta el ápice del árbol (Calvo *et al.*, 2006). En el caso de clones de *E. grandis*, López *et al.* (2009), han observado resultados muy variables en las contracciones e hinchamientos.

Caixeta *et al.* (2003), han desarrollado trabajos de clasificación y selección de genotipos en *Eucalyptus* teniendo en cuenta los cambios dimensionales. Dentro del género de *Eucalyptus* se han desarrollado investigaciones como las de Carvalho *et al.* (2015), y Torres-Cruz (2003), sobre variaciones dimensionales. Por otra parte, en estudios con preservantes CCA-C (Arseniato de Cobre Cromatado tipo C), se ha evidenciado mejor estabilidad dimensional de las piezas, con valor de anisotropía de 1,65, confirmando a la madera mejor aptitud para el uso en muebles de exterior (Carvalho *et al.*, 2015).

Adicionalmente a lo anterior, en clones intraespecíficos de *Eucalyptus grandis* se registraron coeficientes de anisotropía de 2,05, donde valores superiores a 2 indica que la madera es inestable (Batista *et al.*, 2010). Moutinho (2013), observó en híbridos de *E. grandis* valores de coeficiente de anisotropía de 1,86, categorizando la madera como de estabilidad media. Resultados similares fueron encontrados por Santos *et al.* (2008), para clones híbridos de *E. grandis*, con valores entre 1,5 y 2,8, clasificando a estas maderas como de estabilidad media a muy inestable.

### ***Contenido de humedad***

El contenido de humedad de la madera influye en las propiedades físicas y mecánicas de la misma, existiendo variaciones dentro y entre árboles de la misma especie (Glass y Zelinka, 2021; Genes y López, 2011). La determinación de esta variable, se obtiene de la relación entre la masa de agua que contiene la madera y su masa en estado anhidro.

Diferentes bibliografías demuestran generalmente que, a densidades básicas mayores, se tendrá contenido de humedad en la madera menores y viceversa; sugiriendo dependencia del contenido de humedad en la madera de las condiciones ambientales y propiedades intrínseca del material genético (Pérez-Peña *et al.*, 2011). Lahr *et al.* (2018), en estudio de propiedades mecánicas en *E. grandis*, obtuvieron disminución de los valores de módulo de elasticidad y rotura en la flexión estática y compresión perpendicular a la fibra, con el aumento de contenido de humedad en la madera. Equivalente comportamiento por parte de Nogueira *et al.* (2018), se obtuvo en evaluaciones de propiedades mecánicas de *E. camaldulensis*.

### **Objetivo**

El objetivo del presente capítulo consistió en el estudio de las propiedades físicas de la madera y su variación en el sentido axial y radial del fuste de dos clones de *Eucalyptus grandis*, dos clones híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* y material seminal de *Eucalyptus grandis* y las comparaciones entre materiales genéticos considerando los posibles usos de la madera.

Para este estudio se evaluaron las siguientes propiedades físicas:

- Contenido de humedad en la madera en estados saturado y estacionado.
- Densidad de la madera a distintas posiciones del fuste (altura y distancia radial).
- Cambios dimensionales en diferentes alturas del fuste.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Muestras de rodajas*

Para la extracción de las muestras se utilizaron 8 árboles de *Eucalyptus* de cada material genético (MG), clones puros, híbridos y material seminales, superior al mínimo requerido por las normas ASTM; las descripciones de estos materiales se encuentran en el Capítulo 2. De cada árbol se extrajeron 2 rollizos, R1 y R2, de los cuales se obtuvieron rodajas transversales de 10 cm de espesor de cada uno de los extremos, obteniéndose determinaciones de las propiedades físicas a 1,45 (A); 4,65 (B) y 8,00 (C) metros de altura del fuste (HF) (Figura 4).

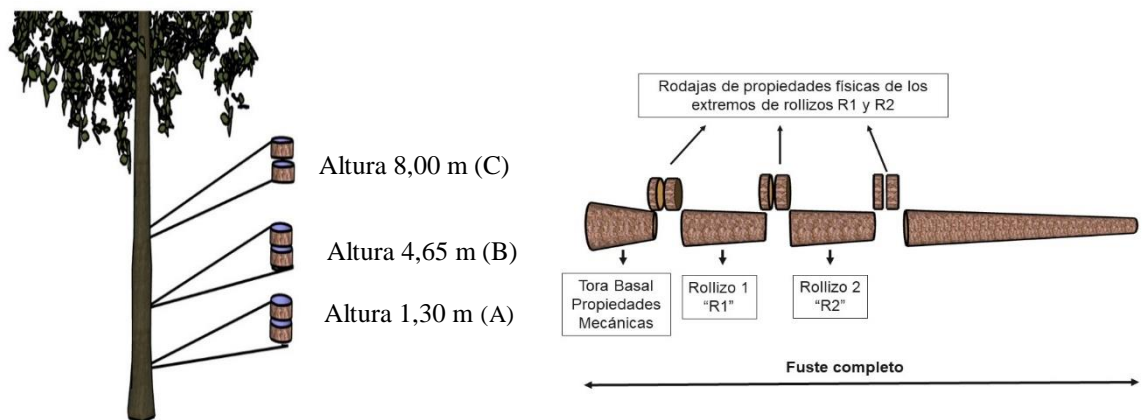


Figura 4. Esquema de obtención de las rodajas para propiedades físicas

De cada rodaja se extrajo un listón central, del largo equivalente al diámetro de la misma. A partir del mismo, se elaboraron las probetas para determinar contenido de humedad y densidad, agrupadas en tres secciones relativas a la longitud radial de las rodajas, en sentido de médula hacia la corteza, denominado posición radial relativa (DR %). La sección interna S1=0 -33,33%, media S2=33,34 - 66,66% y externa S3= 66,67-100%. En cambio, para el estudio de cambios dimensionales, se adquirieron de las mismas rodajas, las probetas a través de cortes que maximizaran su número, contemplando el sentido radial, tangencial y longitudinal de las mismas, en todos los casos atendiendo al dimensionamiento establecido en la normativa correspondiente (Cuadro 12).

**Cuadro 12. Variables, normas y alturas de las muestras.**

Propiedades	Variabes	Normativas	Dimensiones	Repeticiones	Altura de muestra
FÍSICAS	Contenido de humedad	IRAM 9532	20 mm x 20 mm x 20 mm	1427	1,30 m. 4,65 m. 8,00 m.
	Densidades(estacionada/básica)	IRAM 9544	20 mm x 20 mm x 20 mm	1427	
	Cambios dimensionales (Contracciones lineales y volumétricas/ Coeficiente de contracción/ Punto de saturación de fibra/ Anisotropía).	IRAM 9543	20 mm x 20 mm x 50 mm	2101	

### ***Contenido de humedad***

Para determinar el contenido de humedad se procedió de la siguiente manera: a) identificación y acondicionamiento de las probetas de cada material genético, b) determinación del peso de las probetas a un contenido de humedad inicial ( $h_i$ ), con una balanza de 0,01 gramos de precisión, c) secado de las probetas en estufa a  $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  hasta peso constante, d) registro del peso y determinación del contenido de humedad mediante la ecuación (2).

$$CH = \left( \frac{P_{hi} - P_0}{P_0} \right) * 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde: CH: contenido de humedad de la probeta, en %;  $P_{hi}$ = peso de la probeta en estado inicial “ $h_i$ ”, en gr;  $P_0$ = peso de la probeta en estado anhidro, en gr.

### ***Densidad***

Para el objeto de este estudio, se evaluaron 2 tipos de densidades según se indica en el Cuadro 11: estacionada ( $D_e$ ) y básica ( $D_b$ ) calculadas por las ecuaciones (3) y (4), respectivamente.

$$D_e = \frac{P_e}{V_e} \quad (\text{Ecuación 3}) \quad D_b = \frac{P_0}{V_s} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Dónde:  $P_e$ : peso estacionado,  $V_e$ : volumen estacionado,  $V_s$ : volumen saturado,  $P_0$ : peso anhidro.

El peso de las probetas se determinó con balanza de precisión de 0,01 gr. El volumen de las mismas se estimó mediante el método de desplazamiento volumétrico,

principio de Arquímedes. El secado se realizó por medio de estufa a temperatura de 103 °C ± 2°C hasta lograr un peso constante.

### ***Cambio dimensionales***

Se evaluaron las contracciones en los tres planos de corte: tangencial, radial y longitudinal. Determinando los siguientes parámetros:

**Coefficiente de retracción o retractabilidad (CR):** el cual nos indica la variación dimensional que sufre la madera desde el estado anhidro (seco) hasta el punto de saturación de fibras o viceversa, por cada 1 % de variación en su contenido de humedad, ecuación (5). El CR se determina en los tres sentidos de la madera, axial, radial y tangencial (Suirezs y Berger, 2009).

$$V = \frac{L - L'}{L'} \therefore He = \frac{P1 - P2}{P2} \times 100 \text{ (Ecuación 5)}$$

Donde: V = Coeficiente de retracción; L= Distancia entre clavos con la probeta de madera estacionado al aire, en milímetros; L'= Distancia entre clavos, con la probeta de madera en seco en estufa, en milímetros. He = Porcentaje de humedad de la probeta estacionada al aire, en %; P1 = Peso probeta de madera estacionada al aire, en gramos. P2= Peso probeta de madera seca en estufa, en gramos.

**El coeficiente de anisotropía (C.A.)** es la relación entre los movimientos lineales tangencial y radial. Se calcula con la ecuación 6:

$$C.A. = \frac{C.Tg}{C.Rd} \text{ (Ecuación 6)}$$

Siendo: C.A: coeficiente de anisotropía. C.Tg: contracción tangencial máxima. C.Rd: contracción radial máxima.

### ***Análisis estadísticos***

Para el contenido de humedad de la madera se efectuó un resumen estadístico. Para las restantes propiedades físicas, densidad y cambios dimensionales, se adicionaron además de los resúmenes estadísticos, análisis de varianzas y comparación de medias. En el análisis de las densidades y cambios dimensionales se utilizaron modelos lineales generales mixtos (MGL), por la estructura dependiente de datos y desbalanceado. Los supuestos estadísticos fueron corroborados mediante test de Shapiro Wilks, histograma de residuos Q-Q, para normalidad y con gráfico de dispersión de los residuos versus predichos, para la heterocedasticidad de varianzas. Los datos no son independientes y posee estructura anidada. La comparación de medias se efectuó mediante el test de Tukey-

Kramer. En todos los casos se empleó un nivel de significancia de 5 % y al árbol como variable de efecto aleatorio. Las variables de efecto fijo fueron: el material genético (MG), posición radial relativa (DR%) y altura de fuste (HF). Los datos extremos considerados “*outliers*” se desestimaron del análisis. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando software R-4.0.3 (R Core Team 2020) y los paquetes nlme (v. 3.1-149; Pinheiro *et al.*, 2020), psycho (v 2.1.3; Revelle, W.,2020) emmeans (v.1.6.3. Russell V. Lenth, 2021), ggplot2 (v. 3.3.5. Wickham H., 2016).

## RESULTADOS

### *Contenido de humedad (CH)*

En el Cuadro 13 se muestran los valores de contenido de humedad, para los distintos materiales genéticos.

**Cuadro 13. Contenido de humedad (C.H.) de la madera en estado estacionada y verde,**

Materiales genéticos	N	CH	
		Madera estacionada Promedio (%)	Madera verde Promedio (%)
EG INTA HSP	251	10,60 (8,51) [6,40-15,00]	264 95,30 (11,44) [67,00-124,50]
EG INTA 157	183	12,90 (9,30) [10,4-16,6]	210 121,00 (10,83) [91,5-152,9]
EG INTA 36	265	9,40 (8,51) [8,10-11,90]	281 100,50 (9,25) [78,70-125,60]
GC INTA 24	172	10,20 (7,84) [9,10-13,70]	235 80,20 (7,61) [70,10-99,10]
GC INTA 27	288	10,30 (10,68) [7,60-13,50]	277 74,40 (10,08) [54,70-93,50]

Valores promedios. Coeficiente de variación en % (entre paréntesis) y máximos y mínimos (entre corchetes), cantidad de muestra (N).

La madera estacionada registró un valor medio entre 9,4 % (EG INTA 36) y 12,9 % (EG INTA 157) y un coeficiente de variación bajo, menor al 11 %. El CH de la madera verde varió entre 74,4 % (GC INTA 27) y 121 % (EG INTA 157) y las variaciones fueron menores al 12 % (Cuadro 13).

El contenido de humedad está relacionado a factores ambientales y características intrínsecas de la madera, como la densidad básica. Factores como el material genético, presencia de albura y duramen en la misma especie y cantidad de extractivos también influyen en el contenido de humedad de la madera (Pérez-Peña *et al.*, 2011).

### *Densidad de la madera:*

En el Cuadro 14 se presentan información descriptiva de los datos de densidad básica y estacionada, de los diferentes materiales evaluados.

**Cuadro 14. Densidad básica (Db) y estacionada (De) por material genético.**

Tipo densidad	Materiales genéticos	N	Promedio (gr/cm <sup>3</sup> )	C.V.	Mín.	Máx.
Básica (Db)	EG INTA HSP	264	0,42	7,48	0,35	0,50
	EG INTA 157	262	0,36	5,92	0,31	0,42
	EG INTA 36	283	0,44	6,51	0,38	0,52
	GC INTA 24	280	0,51	8,28	0,39	0,64
	GC INTA 27	291	0,55	11,73	0,42	0,75
Estacionada (De)	EG INTA HSP	261	0,52	8,25	0,42	0,63
	EG INTA 157	247	0,47	9,48	0,39	0,60
	EG INTA 36	288	0,55	8,27	0,43	0,66
	GC INTA 24	281	0,64	9,79	0,50	0,83
	GC INTA 27	290	0,74	14,31	0,53	1,01

Valores promedios. Coeficiente de variación (C.V.), mínimos (Mín.) y máximos (Máx.) y cantidad de muestras (N).

En el Cuadro 14 se presentan los promedios de las densidades (básica y estacionada) observándose un bajo coeficiente de variación para los resultados. Los valores más altos de densidad se encuentran en los materiales clonales híbridos, constituidos por GC INTA 27 y GC INTA 24, siendo más denso el primero, mientras que el EG INTA 157 resultó el material con menores valores de densidad.

La Db y De fue utilizada para describir la tendencia en el perfil axial y transversal de los árboles, encontrándose diferencias significativas entre los materiales genéticos, a diferentes alturas de fuste y de distancia radial relativa.

**Densidad básica (Db):** En la Figura 5 se representa el promedio de la densidad básica del árbol y comparación de medias para todos los materiales estudiados. Salvo el material seminal (EG INTA HSP) y el EG INTA 36, los demás materiales presentaron diferencias significativas entre ellos. El mayor valor de densidad básica lo presentó el EGC INTA 27, mientras el menor resultado el EG INTA 157. Los clones híbridos GC presentaron mayores valores que los clones EG y el material seminal. Dentro de los clones híbridos, el GC INTA 27 arrojó el mayor valor medio de Db, y el material seminal, EG INTA HSP, un valor de Db intermedio entre los clones EG.



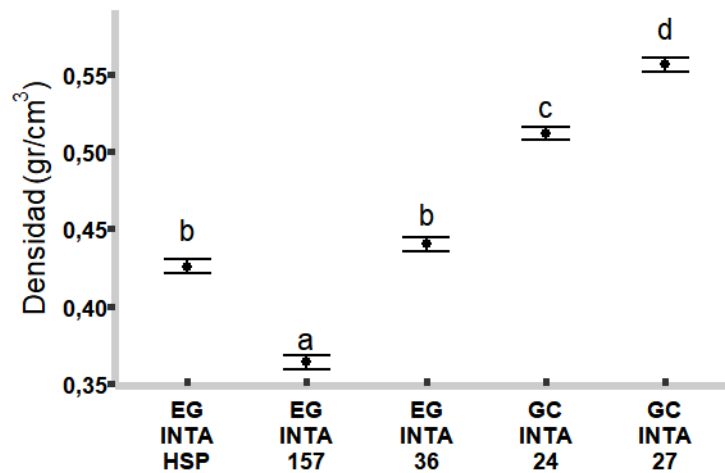


Figura 5. Densidad básica, promedio y error estándar de cada material genético. Las barras indican el error estándar.

**Variación axial y radial:** En la Figura 6 y 7 se compara la variación axial y radial de la Db. Entre los clones puros, EG INTA 157 y EG INTA 36 no se observaron diferencias significativas en la dirección axial para las distintas alturas. En el caso de EG INTA HSP las Db se diferenciaron significativamente entre 4,65 m y 8,00 m. GC INTA 24, se diferenció significativamente en las tres alturas y para GC INTA 27 se encontraron diferencias significativas solamente entre 1,30 m y 4,65 m. Las mayores variaciones en dirección axial se obtuvieron para GC INTA 24 y menores para EG INTA 36. En todos los casos hubo un incremento de la densidad hasta los 8 metros.

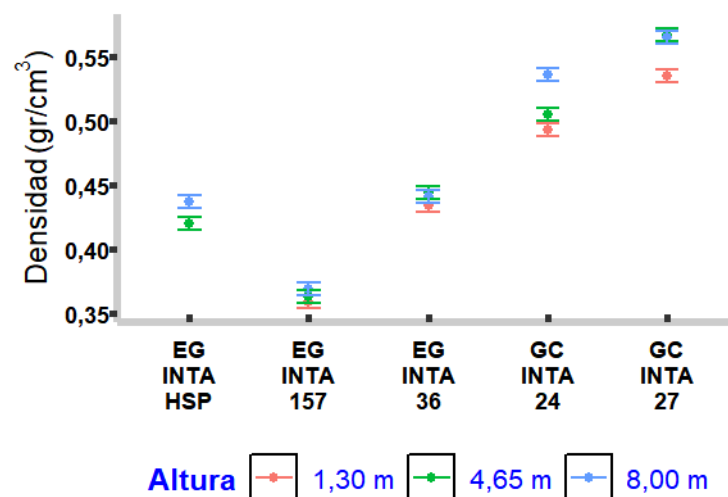


Figura 6. Densidad básica, variación axial, para los distintos materiales genéticos. Las barras indican el error estándar.

Para la variación radial de la Db, se observó una tendencia creciente de la densidad desde la médula hacia la corteza para todos los materiales genéticos y además mostraron

diferencias significativas entre las secciones internas, medias y externa (S1, S2 y S3). Dentro de los clones puros, EG INTA 157, presentó diferencias significativas en S3 con respecto a S2 y S1, en cambio, estas últimas presentaron valores similares entre sí. Para EG INTA 36, se obtuvieron diferencias significativas en las tres posiciones radiales relativas, un comportamiento similar se obtuvo para GC INTA 24 y GC INTA 27. En cuanto al material seminal, EG INTA HSP, arrojó diferencias significativas entre S3 respecto a S2 y S1.

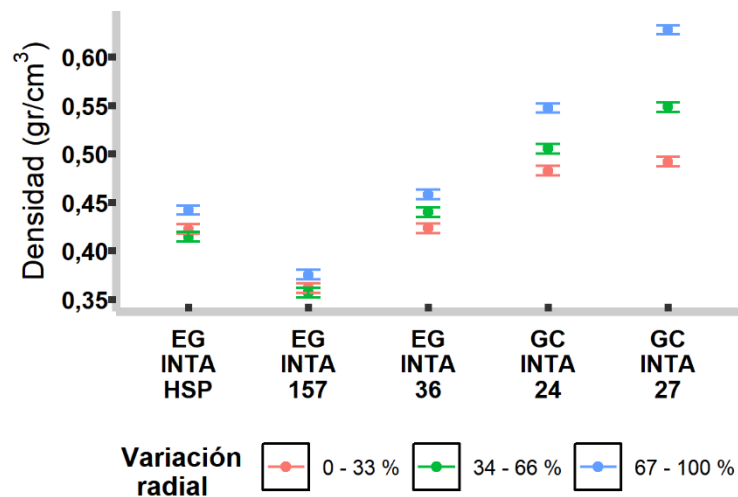


Figura 7. Densidad básica, variación radial, para los distintos materiales genéticos. Las barras indican error estándar.

**Densidad estacionada ( $D_e$ ):** Según los valores de  $D_e$  observados en el Figura 8 y de acuerdo a Bianchet (1980), la madera de los diferentes materiales genéticos se puede clasificar de la siguiente manera: “muy ligera” EG INTA 157, “ligera” EG INTA 36 y EG INTA HSP, y “semipesada” para ambos materiales híbridos. En cuanto a comparación de los valores promedios, se obtuvieron diferencias significativas entre los diferentes materiales genéticos estudiados.

Con respecto a las variaciones axiales y radiales de la  $D_e$  se comportaron de manera similar a las descripta en  $D_b$  para todos los materiales genéticos.

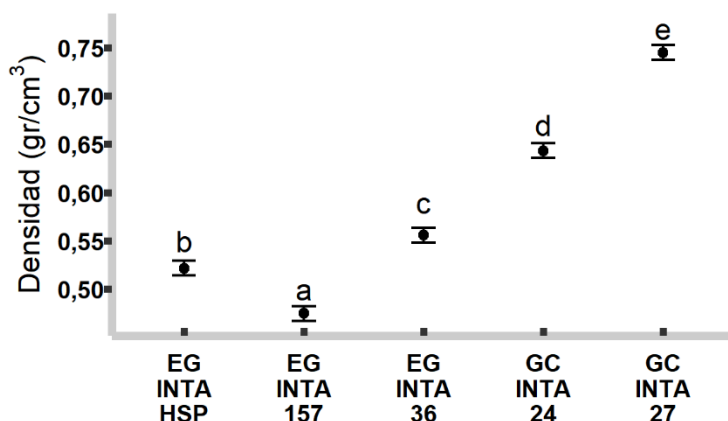


Figura 8. Promedio y errores estándar de cada material genético en densidad estacionada.

### *Cambios dimensionales:*

#### *Contracciones totales.*

En el Cuadro 15 se muestra un resumen descriptivo de la contracción total, hasta el 0 % de contenido de humedad, en sentido radial y tangencial discriminadas por alturas de fuste. La contracción máxima en sentido longitudinal no fue considerada por registrar valores, en todos los casos, próximos e inferiores al 0,5 %, de acuerdo a lo obtenidos en las mediciones de laboratorio.

Cuadro 15. Contracciones radiales y tangenciales máximas para diferentes alturas de fuste.

Materiales genéticos	Sent. corte	N	Contracciones dimensionales máximas					
			HF. 1,45 Promedio (%)	N.	HF. 4,65 Promedio (%)	N.	HF. 8,00 Promedio (%)	
EG INTA HSP	Radial	46	<b>4,31</b> (18,80) [2,97-6,91]	42	<b>4,53</b> (17,24) [3,54-6,45]	37	<b>4,80</b> (17,23) [3,05-6,32]	
EG INTA 157		33	<b>3,96</b> (15,56) [3,16-5,42]	35	<b>4,24</b> (13,48) [3,49-5,59]	32	<b>4,62</b> (10,00) [3,76-5,51]	
EG INTA 36		42	<b>5,19</b> (14,06) [3,92-6,47]	43	<b>5,38</b> (13,53) [3,81-7,47]	34	<b>5,56</b> (14,29) [4,49-7,37]	
GC INTA 24		30	<b>5,50</b> (11,59) [4,29-6,76]	28	<b>6,01</b> (10,56) [5,05-7,28]	28	<b>6,18</b> (8,04) [4,46-7,20]	
GC INTA 27		12	<b>9,76</b> (9,29) [8,51-11,28]	14	<b>9,21</b> (7,61) [8,37-10,53]	30	<b>10,31</b> (10,09) [8,39-12,09]	
EG INTA HSP	Tangencial	51	<b>8,33</b> (13,82) [5,70-11,65]	49	<b>8,80</b> (12,70) [6,06-10,97]	53	<b>8,72</b> (12,16) [5,98-10,77]	
EG INTA 157		43	<b>6,83</b> (11,97) [5,35-8,67]	46	<b>6,90</b> (13,77) [5,19-9,00]	45	<b>6,77</b> (9,81) [5,49-8,19]	
EG INTA 36		57	<b>9,44</b> (7,77) [7,85-11,01]	51	<b>9,92</b> (9,01) [7,75-11,59]	60	<b>9,99</b> (6,99) [8,69-11,19]	
GC INTA 24		52	<b>9,53</b> (11,66) [7,58-12,32]	51	<b>9,47</b> (11,01) [7,63-12,35]	42	<b>9,86</b> (9,82) [7,96-12,13]	
GC INTA 27		57	<b>16,26</b> (20,75) [9,40-23,57]	39	<b>15,15</b> (23,97) [7,87-24,36]	40	<b>14,68</b> (16,57) [11,41-20,50]	

Valores promedios. HF.: Altura de fuste. Coeficiente de variación (entre paréntesis), mínimos y máximos (entre corchetes), cantidad de muestra (N).

En el sentido de corte radial se observó un comportamiento más homogéneo, para los materiales clonales híbridos (GC), en las tres alturas de fustes evaluadas, resultando promedios de sus coeficientes de variaciones de 10 %. En cambio, para los clones EG y el material seminal, EG INTA HSP, las variaciones promedio fueron de 12 % y 17 %, respectivamente, para las diferentes alturas de fuste. Para las diferentes alturas el GC INTA 27, presento mayores valores de contracción, mientras el EG INTA 157 presento los valores menores.

A diferencia de lo expresado anteriormente, en sentido tangencial se obtuvo un comportamiento más homogéneo para los materiales clonales intraespecíficos. A 1,45 m de altura de fuste el material correspondiente a los clones EG promediaron su variación en 9 %, el material seminal 13 % y los clones híbridos GC en 16 %. A los 4,65 m, los clones EG presentaron una variación promedio de 11 %, el material seminal 12 % y el correspondiente a los clones híbridos GC de 17 %. Por último, a los 8 m de altura de fuste la variación fue de 8 %, 12 % y 13 % para EG, material seminal y GC, respectivamente.

### *Contracciones volumétricas totales*

En el Cuadro 16 presenta un resumen descriptivo de las contracciones volumétricas para distintas alturas de fuste.

**Cuadro 16. Contracciones volumétricas totales para distintas alturas.**

<b>Materiales genéticos</b>	<b>N</b>	<b>HF. 1,45 Promedio (%)</b>	<b>N</b>	<b>HF. 4,65 Promedio (%)</b>	<b>N</b>	<b>HF. 8,00 Promedio (%)</b>
EG INTA HSP	46	<b>13,40</b> (9,07) [12,02-15,35]	42	<b>13,80</b> (11,74) [11,50-16,63]	37	<b>14,43</b> (7,21) [12,40-16,13]
EG INTA 157	33	<b>11,61</b> (7,91) [10,83-13,47]	35	<b>12,09</b> (11,33) [10,07-14,65]	32	<b>12,24</b> (7,79) [10,79-13,67]
EG INTA 36	42	<b>15,65</b> (5,76) [14,14-17,02]	43	<b>16,48</b> (3,77) [15,78-17,47]	35	<b>16,49</b> (4,05) [15,58-17,35]
GC INTA 24	30	<b>16,09</b> (6,24) [14,50-17,67]	30	<b>16,75</b> (7,30) [15,81-19,55]	28	<b>17,22</b> (5,59) [16,31-19,19]
GC INTA 27	36	<b>28,81</b> (11,92) [25,20-32,96]	33	<b>25,33</b> (19,16) [17,83-33,63]	37	<b>26,47</b> (8,59) [23,65-30,48]

Valores promedio.HF.: Altura de fuste. Coeficiente de variación (entre paréntesis), mínimos y máximos (entre corchetes), cantidad de muestra (N).

El análisis respecto a las contracciones volumétricas totales reveló que no existieron diferencias significativas para las diferentes alturas analizadas (p-valor = 0,2989). Las contracciones volumétricas totales presentadas en el Cuadro 16, demostraron un

promedio máximo para GC INTA 27 y mayor variabilidad para las distintas alturas observadas, mientras que un comportamiento contrario se observó para EG INTA 157, que presentó menores promedios en el conjunto de materiales evaluados.

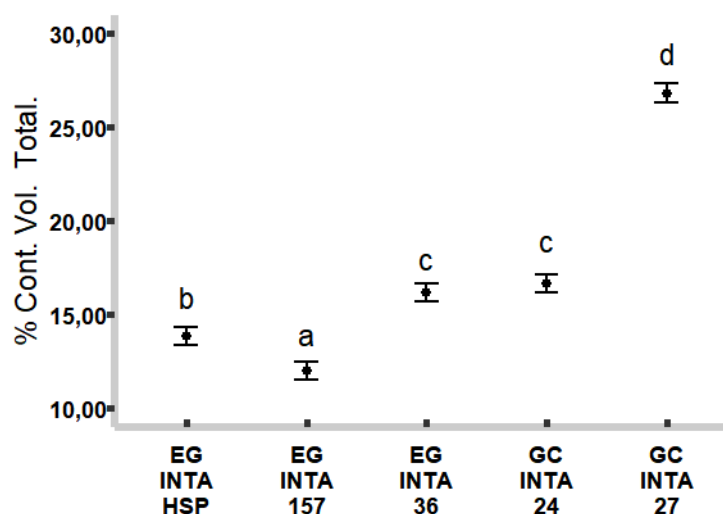


Figura 9. Contracciones volumétricas totales de cada material genético, promedio y errores estándares.

El valor de contracción volumétrica total para el clon EG INTA 157 fue estadísticamente menor a los demás materiales genéticos, mientras que la contracción volumétrica para GC INTA 27 fue estadísticamente mayor y diferente a los demás materiales (Figura 9).

Por otra parte, EG INTA 36 y GC INTA 24 presentaron un comportamiento intermedio en valor y sin diferencia significativa entre ellos. Los cambios dimensionales se relacionan con la densidad de la madera (Igartúa *et al.*, 2009). El aumento volumétrico de la madera crece generalmente en forma proporcional con la densidad anhidra (Coronel, 1994). Según el índice de distorsiones y alabeos (Etchenique *et al.*, 1975), GC INTA 24 y EG INTA 157 se clasifican como maderas de clase “media”, contracciones volumétricas totales entre el 10 % y 15 %; mientras que los demás materiales genéticos se corresponderían con clase “alta”, superando las contracciones volumétricas el 15 %.

### *Coefficiente de anisotropía*

En el Cuadro 17 presenta la comparación de medias de los coeficientes anisotropía obtenidos para cada material genético.

Cuadro 17. Coeficientes de anisotropía.

Materiales genéticos	Media (%)	CV (%)	Mín. (%)	Máx. (%)
EG INTA HSP	1,90 b	8,85	1,51	2,14

EG INTA 157	1,64 a	10,77	1,37	1,93
EG INTA 36	1,85 b	15,44	1,06	2,32
GC INTA 24	1,63 a	13,90	1,06	1,96
GC INTA 27	1,82 ab	23,25	0,99	2,65

Valores promedio (Media), coeficiente de variación (C.V.), mínimo (Mín.) y máximo (Máx.). Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ). Test Tukey-Kramer.

En las comparaciones de medias para el coeficiente de anisotropía, el EG INTA 157 y GC INTA 24, no presentaron diferencias significativas entre ellos. Pero si con el resto de los materiales, salvo en el caso del GC INTA 27 que no presentó diferencias significativas con ellos, ni con los otros materiales. Los materiales EG INTA HSP, EG INTA 36 no presentaron diferencias significativas entre ellos.

El rango promedio de los coeficientes de anisotropía fue de 1,63 a 1,90, el valor máximo se registró en EG INTA HSP y el mínimo en GC INTA 24. Para el coeficiente de anisotropía el GC INTA 27 presentó mayores valores de coeficiente de variación, contrariamente al EG INTA HSP que arrojó los menores valores.

La tendencia del coeficiente de anisotropía en cuanto a la altura de fuste, demostró una disminución desde la altura de fuste de 1,30 m hasta los 8,00 m. De acuerdo al criterio de clasificación de Coronel (1994), estos materiales se encuentran dentro de los parámetros “normales”, en cuanto a los cambios dimensionales producidos como consecuencia de las variaciones en el contenido de humedad de la madera. De acuerdo a la estabilidad dimensional, evaluada a través del coeficiente de anisotropía, estos materiales se agrupan dentro de la clase “estables”, dado que se encuentran dentro del rango 1,5 a 2,0; indicando un buen comportamiento dimensional y volumétrico en situaciones de uso (Ordoñez *et al.*, 1990).

### *Coefficiente de contracción*

En el Cuadro 18 se muestra un resumen estadístico para la variable coeficiente de contracción.

**Cuadro 18. Coeficiente de contracción discriminado por materiales genéticos.**

<b>Materiales genéticos</b>	<b>Sentido corte</b>	<b>N</b>	<b>Promedio</b>	<b>C.V. (%)</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>
EG INTA HSP		95	0,15 bc	28,28	0,08	0,24
EG INTA 157		94	0,11 a	42,45	0,01	0,21
EG INTA 36	Radial	117	0,13 ab	31,50	0,03	0,22
GC INTA 24		83	0,11 a	34,82	0,03	0,21
GC INTA 27		100	0,17 c	50,60	0,02	0,34

EG INTA HSP		108	0,17 c	42,94	0,01	0,31
EG INTA 157		116	0,10 a	55,56	0,01	0,23
EG INTA 36	Tangencial	86	0,09 a	35,48	0,04	0,21
GC INTA 24		101	0,13 b	58,78	0,01	0,38
GC INTA 27		93	0,19 d	59,89	0,01	0,46

Valores de promedios. Coeficiente de variación (C.V.), mínimos (Mín.), máximos (Máx.), cantidad de probetas (N). Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ). Test Tukey-Kramer.

Los mayores valores de los coeficientes de contracción en el sentido radial y tangencial se observaron en GC INTA 27, valores menores fueron hallados en sentido radial para los clones EG INTA 157 y GC INTA 24, y para el sentido tangencial para EG INTA 36.

En sentido radial, la comparación de medias para el coeficiente de contracción presentó diferencias estadísticamente significativas entre el material seminal y los clones EG INTA 157 y GC INTA 24, a su vez, estos últimos no se diferenciaron entre sí, tampoco del EG INTA 36. El GC INTA 27 presentó diferencias estadísticamente significativas con todos los materiales, a excepción con el material seminal.

En sentido tangencial, el material EG INTA HSP resultó significativamente diferente respecto de los demás materiales evaluados. Los clones intraespecíficos (EG), presentaron un comportamiento similar entre sí y valores menores el material genético proveniente de semilla. Por otro lado, los clones híbridos interespecíficos arrojaron diferencias significativas entre ellos, donde el GC INTA 24 mostró coeficientes de contracción menores al GC INTA 27 y al seminal.

#### ***Punto de Saturación de Fibra (PSF)***

En el Cuadro 19 se exponen los valores medios, dispersión y extremos del PSF de los diferentes materiales genéticos.

**Cuadro 19. Punto saturación de fibra (PSF), discriminado por materiales genéticos.**

<b>Materiales genéticos</b>	<b>N</b>	<b>PSF (%)</b>	<b>C.V. (%)</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>
EG INTA HSP	62	28,54	26,88	15,51	38,94
EG INTA 157	112	29,02	17,82	20,36	39,96
EG INTA 36	170	33,25	20,33	15,17	56,80
GC INTA 24	95	22,45	34,50	15,01	39,98
GC INTA 27	93	31,80	42,33	15,01	59,36

Valores promedios (PSF %). Coeficiente de variación (C.V.), mínimos (Mín.), máximos (Máx.) y cantidad de probetas (N).

El PSF estimado en los 5 materiales genéticos estudiados varió del 22,45 % al 33,25 %; donde el GC INTA 24 resultó con menores valores promedio, mientras que para EG INTA 36 se observó mayores valores medios para esta variable. Se constató mayores variaciones en el PSF en los clones híbridos respecto a los clones intraespecíficos y al material seminal; en cambio, éste último presentó mayores variaciones a los clones puros.

## DISCUSIÓN

Los valores promedios obtenidos para la densidad estacionada, variaron entre 470 y 745 kg/m<sup>3</sup>, el material seminal y los clones puros obtuvieron valores similares a los registrados en la literatura consultada para la misma edad (Oberschelp *et al.*, 2007) y para los 8,5 años (López *et al.*, 2010). En cambio, se obtuvieron valores inferiores de De para EG INTA 36, EG INTA HSP y GC INTA 27 y superiores para EG INTA 157 en comparación con los valores obtenidos por López *et al.* (2018), para edades de 14 años, para los mismos materiales genéticos.

Los valores obtenidos para la densidad básica estuvieron entre 360 y 550 kg/m<sup>3</sup>, fueron superiores a los registrados para los mismos materiales de 6 años de edad por López *et al.* (2016). Este comportamiento puede deberse a la presencia de mayor porcentaje de leño maduro. El valor de densidad básica de los híbridos fue mayor respecto a uno de sus parentales (*E. grandis*), coincidiendo con el comportamiento reportado por otros autores (López *et al.*, 2016; Louidi *et al.*, 2012). En cuanto a los clones híbridos, el GC INTA 27 se destacó con un valor de densidad básica superior al GC INTA 24.

La densidad básica de la madera puede variar por factores propios de cada material genético y su relación con el ambiente, como también característica de la madera en su composición anatómica tales como tipos células, dimensiones de sus lúmenes y paredes, así como contenido de extraíble, proporción y tipo de fibras (Lima *et al.*, 2014; Omonte *et al.*, 2011).

En coincidencia con Arango *et al.* (2001), para todos los materiales genéticos, la densidad presentó un patrón creciente con la altura del fuste. Dichos autores corroboraron un aumento de la densidad de la madera a partir del nivel de DAP para clones de 7,5 años de *E. grandis*.



Asimismo, para todas las alturas de fuste, la densidad de la madera de la médula hacia la corteza fue ascendente en todos los materiales genéticos evaluados en el presente trabajo. López y López (2011) trabajando con madera de *E. grandis* de 9 a 12 años, obtuvieron madera con mayor densidad, mejor calidad, propiedades físicas y mecánicas para uso sólidos, en las zonas radiales externas del árbol. La misma tendencia, creciente de densidad de la madera en sentido médula a corteza, fue determinado por Arango *et al.* (2008), en clones puros de *E. grandis* e híbridos de 8 años. Por otra parte, Winck *et al.* (2014), registraron un patrón similar de variación radial y axial de la densidad en *E. grandis* de dos ecorregiones (Misiones y Corrientes), para edades entre 4 a 32 años. Se debe considerar que las variaciones de densidades dependen de las proporciones de los vasos y del espesor de las paredes celulares de las fibras (Oliveira y Silva, 2003).

Por otro lado, la uniformidad del valor de densidad básica de cada material genético evaluado en el presente estudio, puede observarse a través del coeficiente de variación, donde aquellos materiales con menores valores presentan mayor homogeneidad. Esta característica se considera deseada para la producción de cualquier producto derivado de la madera (Rojas *et al.*, 1990).

Para los cambios dimensionales, el material seminal de *E. grandis*, presentó un coeficiente de anisotropía promedio de 1,90, resultando superior al reportado por Carvalho *et al.* (2015), en evaluaciones realizadas en madera de *E. grandis*, de 16 años. Por otra parte, los valores promedios para contracciones radiales y tangenciales obtenidos en el presente trabajo fueron menores respecto a este mismo trabajo. Para los diferentes materiales genéticos evaluados, los valores de contracción tangencial y radial a distintas alturas, no presentaron un comportamiento similar a la bibliografía consultada, donde presentan una disminución de estas propiedades con la altura (Calvo *et al.*, 2006). Para el material de *E. grandis* estudiado, las contracciones y coeficiente de anisotropía hallados, fueron menores e intermedios respectivamente, a los resultados obtenidos en madera de *E. saligna*, caracterizada como madera estable a moderadamente estable (Oliveira y Silva, 2003). En el caso de *E. tereticornis*, Cardoso *et al.* (2013) encontraron valores de contracción radial, tangencial y volumétrica de 7,04 %, 14,70 % y 20,64 %, respectivamente.

En el presente estudio las evaluaciones de contracción radial, tangencial y coeficiente de anisotropía, demostraron que los clones híbridos interespecíficos de *E.s grandis* x *E. camaldulensis* (GC) exhibieron valores superiores a los puros (EG) y

material seminal. Se han obtenido valores mayores a los encontrados en literatura consultada, aunque coincidente con el ordenamiento de los materiales genéticos evaluados por López *et al.* (2016). Para EG INTA 36 y EG INTA 157, en el presente trabajo se obtuvieron valores superiores e inferiores, respectivamente, a lo citado por López *et al.* (2009), en evaluaciones de la primera generación de clones puros de *E. grandis* de 8,5 años. Esta divergencia puede deberse a la diferencia de edad, dado que a mayor edad existe una estabilización en los distintos caracteres de la madera para diferentes sitios de crecimientos. Por otro lado, se obtuvieron valores superiores en contracción tangencial e inferiores en contracción radial para los clones híbridos interespecíficos (GC) estudiados en comparación al estudio de otro híbrido local, *E. grandis* x *E. tereticornis* (Sánchez, 2016); y estas diferencias podrían atribuirse a la genética de uno de sus progenitores, es decir, el cruzamiento con *E. tereticornis*

Los clones híbridos interespecíficos estudiados presentaron valores en contracción tangencial de 9,47 % a 16,26 %, contracción radial de 5,50 % a 10,31 %, coeficiente de anisotropía de 1,63 % a 1,82 %, cercano con el rango de resultados publicados por Santos *et al.* (2008), para clones híbridos de 7 a 9 años de *E. grandis* con especies más templadas (*E. tereticornis*, *E. viminalis*, etc.) quienes obtuvieron valores de 6,7 a 18 % para contracción tangencial; 4,2 a 6,4 % para contracción radial, coeficiente de anisotropía de 1,5 a 2,8 % (anisotropía de clase alta), y contracciones volumétricas de 14 % a 27 % (contracciones volumétricas medianas a fuertes). En el presente estudio, los valores se encuentran dentro del rango de los resultados obtenido por Moutinho (2013), en clones híbridos de *E. camaldulensis* x *E. grandis* x *E. urophylla* de 5 a 6 años, donde tuvo valores de contracción tangencial de 10,19 %, contracción radial de 5,50 % y coeficiente de anisotropía de 1,85. Los altos valores de anisotropía y contracciones pueden deberse a la constitución del leño de sus predecesores. En cambio, los valores hallados en el presente estudio en coeficiente de anisotropía fueron menor al rango de 1,87 a 2,58, obtenidos por Batista *et al.* (2010), para clones híbridos de *E. grandis* de 11 años.

La diferenciación en aspectos de contracción e hinchamiento de los materiales evaluados podría estar dado por la cantidad de extractivos presente en la pared celular que los conforman. Esta suposición se encuentra sustentada por afirmaciones de Tsoumis (1991), que considera a la contracción de la madera como proporcional a la cantidad de extractivo en la pared celular. Conocido como fenómeno de abultamiento, la reducción

es proporcional al espacio ocupado por los extraíbles en las paredes celulares (Avila y Herrera, 2012).

En cuanto a PSF, se observaron valores de 22,45 % a 33,25 % en el presente trabajo, próximo a lo observado por Doldan (2003), en *E. grandis* de 18 años, donde presentó promedio de 29,7 %. La conformación de diferentes PSF, se pueden deber al contenido de extraíbles, donde el PSF al contenido de extraíbles es inversamente proporcional. Estos al ocupar espacio en las paredes celulares, ocasionan la saturación de la pared celular con menor cantidad de líquido (agua) provocando un PSF menor (Ávila y Herrera, 2012). Algunos autores realizando estudios sobre el PSF indicaron una alta correlación del PSF con extractivos solubles etanol-toluol y acetona (Hernández, 2007; Popper *et al.*, 2006).

Finalmente, efectuar el estudio de las propiedades físicas de la madera de los clones contribuye al conocimiento de las aplicaciones finales más adecuadas para diferentes productos. Principalmente a través de la densidad básica, utilizada como índice de calidad, entre las características tecnológica de la madera.

Además, el estudio de la estabilidad dimensional de la madera puede ser complementario para conocer las limitaciones que presentan los clones, para usos donde la estabilidad dimensional es importante, como en la industria del mueble.

## CONCLUSIONES

El contenido de humedad en la madera estacionada influye en el comportamiento de las propiedades físicas de los distintos materiales genéticos estudiados, apreciándose mayores valores de contenido de humedad en maderas más porosas y de bajas densidades. En este estudio se obtuvo mayor contenido de humedad en el clon híbrido intraespecíficos de *E. grandis*, EG INTA 157 y valores promedios menores para los materiales clonales híbridos interespecíficos GC (*E. grandis* x *E. camaldulensis*).

Respecto a las propiedades física como la densidad básica y estacionada, los materiales clonales híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* INTA 24 e INTA 27 resultaron con valores mayores y con diferencias significativas al resto de los materiales evaluados, lo que les confiere mejores aptitudes para usos de mayor resistencia mecánica y/o usos bioenergéticos.

Los clones intraespecíficos de *E. grandis* INTA 157 e INTA 36, presentaron características más homogéneas para la densidad tanto en sentido radial como axial, permitiendo mejor aptitud tecnológica para el secado y variaciones dimensionales.

Todos los materiales genéticos evaluados presentaron mayor densidad en la zona radial más externa del árbol, indicador potencial de mejores propiedades. En cambio, no se presentó un patrón uniforme de la densidad de la madera según las alturas de fustes consideradas.

En general las maderas clasificadas como livianas y/o ligeras, los clones de *E. grandis* INTA 157 e INTA 36 y el material seminal de *E. grandis* INTA HSP, son aptas para uso en la industria del mueble y celulosas y papel. Las maderas semipesadas y/o pesadas, ambos clones híbridos interespecíficos, *E. grandis* x *E. camaldulensis* (GC), se presentan como alternativa para el empleo en pisos, decks y estructuras. La madera de los materiales genéticos ensayados se encuentra dentro de los parámetros normales para su aplicación en diferentes usos.

Las evaluaciones de contracción radial, tangencial y coeficiente de anisotropía, demostraron que los clones híbridos interespecíficos de *Eucalyptus* (GC) exhibieron valores superiores a los puros *E. grandis* (EG) y material seminal, *E. grandis* INTA HSP. Aquellos materiales con coeficiente de anisotropía alta podrían ser tratada por diseño a través de utilización de madera proveniente de cortes radiales.

Respecto de las contracciones volumétricas de los materiales evaluados no se obtuvieron diferencias significativas para las distintas alturas de fuste examinadas indicando homogeneidad de la madera en esta propiedad. Presentando la tendencia a incrementar sus valores con la altura, excepto para GC INTA 27.

En futuros estudios científicos se debería contemplar aspectos anatómicos y química de la madera vinculada a las propiedades físicas. Considerar muestreos para propiedades físicas a mayores alturas en los clones.

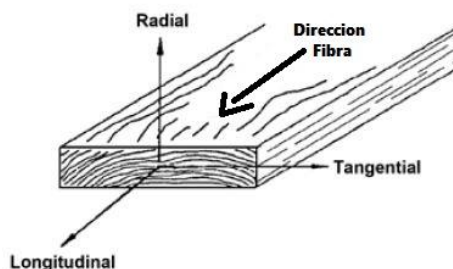
## **CAPÍTULO 4. PROPIEDADES MECÁNICAS**

## INTRODUCCIÓN

### *Definición y antecedentes*

Las propiedades mecánicas son aquellas relacionadas con la resistencia que opone la pieza de madera a la aplicación de fuerzas o cargas externas (Medina, 2009; Sánchez Acosta, 1995). El conocimiento de estas propiedades permite realizar un uso más racional y eficiente del recurso maderero (Cortizo *et al.*, 2017; Gonçalves *et al.*, 2009). Las mismas pueden estar afectadas por diferentes factores, tales como factores genéticos, silvícolas, edad, propiedades físicas como el contenido de humedad y la densidad, composición química y anatómica, entre otros (Cato *et al.*, 2006; Carlquist, 2001; Mattheck y Kubler, 1997; Lewin y Goldstein, 1991). De modo general, las propiedades mecánicas están influenciadas por la densidad, que refleja la composición química y leñosa; y el porcentaje de contenido de humedad, pues su disminución en la madera resulta un aumento en las propiedades de resistencia de la misma (Leite, 2014), entre otros factores.

La madera es un material de naturaleza ortotrópica (Figura 10), donde las propiedades mecánicas son únicas e independientes en las tres direcciones perpendiculares entre sí: longitudinal, radial y tangencial (Forest Product Laboratory, 2010).



**Figura 10. Ejes principales de la madera. Fuente: Forest Product Laboratory, 2010.**

Dentro de los antecedentes disponible en Argentina, se dispone de trabajos con información sobre las propiedades físicas y mecánicas de la madera de poblaciones locales de *Eucalyptus*. Algunos de ellos tratan de estudios de procedencias genéticas; comparaciones de especies (Hernández, 2019; Javier Oberschelp *et al.*, 2007; Sánchez Acosta *et al.*, 2003; Tinto, 1991; Sánchez Acosta, 1990; D'antoni, 1986). Respecto a clones locales, interespecíficos e intraespecíficos, existen estudios comparativos de sus propiedades mecánicas con respecto a sus parentales (López *et al.*, 2018; Sánchez Acosta, 2016; López *et al.*, 2009).

En países limítrofes como Brasil existen experiencias respecto a las propiedades mecánicas en especies del género *Eucalyptus* y clones híbridos (Balboni *et al.*, 2021; Moura, 2000; Oliveira, 1999). En Australia, país de origen de la mayoría de las especies del género *Eucalyptus*, se han desarrollado diferentes evaluaciones respecto a propiedades mecánicas de la madera para su mejor utilización (Derikvand *et al.*, 2019; Forest and Wood Products Australia, 2009). En Nueva Zelanda, se han realizado evaluaciones de sus propiedades mecánicas en especies como *E. nitens*, *E. globulus* y *E. maidenii*, donde los investigadores evaluaron la variación de las propiedades mecánicas con respecto a la posición radial de las muestras extraídas de los discos, en el sentido desde la médula hacia la corteza (Mckinley Russel *et al.*, 2001).

### ***Ensayos mecánicos***

Dentro de las pruebas empleadas para la determinación de las propiedades mecánicas de la madera, el ensayo a la flexión estática es el más comúnmente utilizado. Este ensayo consiste en la aplicación de una fuerza a una pieza de madera, en una luz determinada, la cual produce una deformación, hasta el límite elástico y posteriormente, la rotura de la pieza. La evaluación de este ensayo se realiza fundamentalmente a través de dos parámetros: módulo de elasticidad (MOE), el cual indica la rigidez de la pieza de madera (Berger, 2000), y módulo de rotura (MOR), la resistencia máxima de la pieza de madera (Leite, 2014; Forest Product Laboratory, 2010). Cuando la pieza de madera es sometida a flexión estática se producen tres esfuerzos: de compresión, generando un acortamiento longitudinal en la parte superior de la pieza, de tracción, ocasionando un alargamiento en la parte inferior de la pieza, y un esfuerzo de corte o cizalla en el centro de la pieza. La duración de las cargas ejerce una importante influencia sobre la resistencia y la rigidez de la madera, lo que debe tenerse en cuenta en el diseño estructural de una construcción con madera (Andriamitantsoa, 1995; Thelandersson 1995a; Thelandersson, 1995b).

Otra propiedad mecánica de importancia en la caracterización de la madera es la compresión paralela, la cual indica la resistencia que presenta una pieza de madera en sentido paralelo a la dirección de las fibras (Forest Product Laboratory, 2010; Torres Cruz, 2003). El conocimiento del comportamiento de los materiales genéticos cuando se someten a compresión paralela a la fibra es de gran importancia para el diseño de columnas y estructuras reticuladas (Sosa Zitto *et al.*, 2019). Existen antecedentes a nivel regional de este tipo de estudios en clones híbridos y material seminal de *Eucalyptus*

(Sánchez *et al.*, 2016; Sánchez *et al.*, 2005; Sánchez *et al.*, 2003). Esta propiedad se ha utilizado en ocasiones para la selección de genotipos del género *Eucalyptus* (Caixeta *et al.*, 2003) destinados a elementos estructurales que en casos específicos son tratados con tratamiento de temperaturas superiores a 140 °C, para aumentar su resistencia (Menezes *et al.*, 2019).

El cizallamiento paralelo a las fibras es otra propiedad de importancia para la caracterización de una madera e indica la capacidad que dicho material posee para resistir fuerzas que tienden a causar el deslizamiento de una sección sobre otra, adyacente a la anterior (Torres Cruz, 2003). Su determinación es de importancia en usos constructivos, por ejemplo, en secciones de encastres, como así también para usos como varillas de madera, rodillos y poleas. Por lo general, la madera posee menos resistencias al cizallamiento cuando este ocurre paralelo a la dirección de sus fibras, y esto se ve potenciado ante la presencia de defectos (Leite, 2014; Forest Product Laboratory, 2010). Existen investigaciones de cizallamiento tanto para *E. grandis* como para híbridos de esta misma especie en madera de uso estructural, algunos estudios distinguen entre probetas provenientes del duramen y albura; como también comparando materiales de diferentes sitios de plantación (Pima *et al.*, 2018; Bal *et al.*, 2013).

Otra propiedad mecánica de interés, es el rajado o hendidura, el cual registra la capacidad de la madera a resistir esfuerzos que tienden a rajarlas en la dirección de las fibras; característica de interés, por ejemplo, en la madera usada para encofrados. Es una característica importante en el uso práctico de la madera como combustible, donde se necesita facilidad de partición, donde una madera con baja resistencia a la rotura se divide fácilmente bajo una fuerza de cuña en una dirección radial (Zziwa *et al.*, 2006). La resistencia a la hendidura paralela a las fibras es interesante principalmente en el diseño de juntas estructurales, para todo tipo de estructuras; y también en el efecto que se produce en la madera, debido a los procedimientos de clavado y atornillado (Almeida *et al.*, 2015).

Por último, la dureza, es una característica que describe la resistencia que ofrece la madera a la penetración de cuerpos de mayor solidez y consistencia (Cortizo *et al.*, 2017); es una medida de resistencia a la deformación plástica (acompañada de algunas deformaciones elásticas) que también determina su resistencia al rozamiento, como el desgaste, y su trabajabilidad. Esta propiedad suele estar altamente correlacionada con la densidad de la madera (Holmberg, 2000) y es muy importante en caso de elegir madera para construcción de pisos (Grześkiewicz, 2020). En términos generales se considera que



una madera dura es más apropiada para pisos y para su utilización en piezas que requieren retener tornillos, clavos, etc.

### Objetivo

Determinar las propiedades mecánicas de dos clones de *Eucalyptus grandis*, dos clones híbridos, *E. grandis* x *E. camaldulensis*, y realizar su comparación con el material seminal de *E. grandis*.

Como objetivo específico, determinar:

- La resistencia a la flexión estática.
- La resistencia a la compresión paralela a las fibras.
- El cizallamiento paralelo a la fibra.
- La resistencia al clivaje o rajadura, hendimiento.
- La Dureza Janka.

### MATERIALES Y METODOS

Para el estudio se utilizaron 8 árboles por material genético. El dimensionamiento del material de ensayo y acondicionamiento del mismo se realizó según lo establecido en las normativas correspondientes para cada ensayo (Cuadro 20). Todos los materiales genéticos se evaluaron en el mismo periodo.

**Cuadro 20. Denominación de ensayos realizados y dimensiones de probetas utilizadas.**

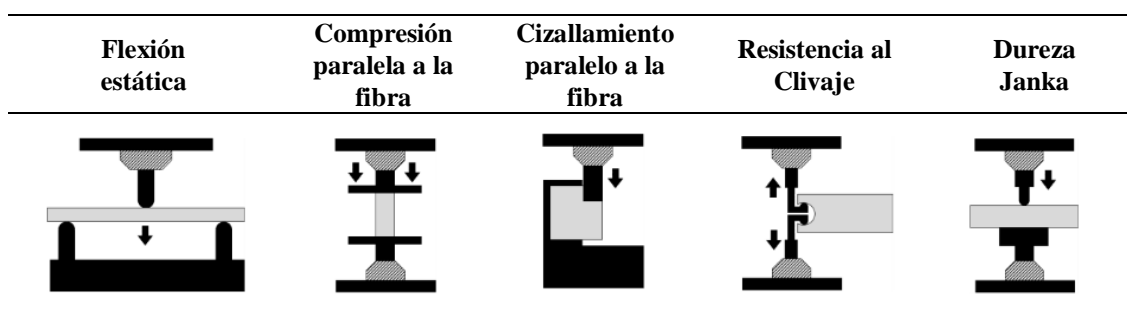
Ensayo	Norma	Dimensiones de probeta (mm)
Flexión estática	IRAM 9542	20 x 20 x 340
Compresión paralela	IRAM 9541	20 x 20 x 60
Cizallamiento paralelo a la fibra	IRAM 9596	50 x 50 x 65
Resistencia al clivaje o rajadura	ASTM D143	50 x 50 x 95
Dureza Janka	IRAM 9570	50 x 50 x 150

Las probetas para los ensayos mecánicos se obtuvieron de la troza basal de 1,3 metros obtenida inmediatamente por encima de los 0,30 m (tocón), éstas fueron codificadas, marcadas y aserradas longitudinalmente, obteniéndose un tablón central de 8 cm aproximadamente de espesor por ancho variable, de cada árbol. De este tablón posteriormente se elaboraron listones de 80 mm x 80 mm x 1,30 m. Seguidamente los mismos fueron cepillados y sobre ellos se marcaron y se cortaron las probetas para los distintos ensayos mecánicos (Cuadro 21).

El trabajo de aserrado de tablones fue realizado en la carpintería de la EEA INTA de Concordia y en el CEDEFI (Centro de Desarrollo Forestal de Entre Ríos-FUNDEFI).

Los ensayos mecánicos se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de la madera de la Facultad de Ciencias Forestales (UNaM). Para su realización se utilizó la máquina universal de ensayos electromecánica, con capacidad de 300 kN y sensibilidad de 300 N. Los datos fueron obtenidos con el software incorporado al equipo “MetroCom”-Dina 960 xp.

**Cuadro 21. Esquema de los ensayos mecánicos.**



Fuente: Derikvand *et al.*, 2019

En el Cuadro 22 se presentan los valores de contenido de humedad determinados a fin de referenciar los parámetros mecánicos con éste parámetro.

**Cuadro 22. Estadísticos de resumen para contenido de humedad.**

Materiales genéticos	N	CH	C.V.	Mín.	Máx.
EG INTA HSP	67	20,24	4,50	18,77	23,32
EG INTA 157	36	19,87	4,72	17,77	21,56
EG INTA 36	68	19,93	3,83	18,19	21,44
GC INTA 24	49	22,02	4,50	19,94	24,37
GC INTA 27	40	21,10	7,14	17,71	23,72

Valores promedios (CH). Coeficiente de variación (C.V.), mínimo (Mín.), máximo (Máx.) y cantidad de probetas ensayadas (N).

Los valores promedios del CH oscilaron entre 19,87 % y 22,02 %, con mayores valores para el clon GC INTA 24 y menores para el clon EG INTA 157. A través del coeficiente de variación se observó que los valores extremos para el CH con menor y mayor variabilidad, estuvieron representados por EG INTA 36 y por el clon GC INTA 27, respectivamente.

#### ***Determinaciones por ensayo***

Para llevar a cabo esta etapa, en cada muestra se determinó el contenido de humedad (CH), según indica la Norma IRAM N° 9532 (Ecuación 7).

$$CH (\%) = \frac{Ph_i - P_o}{P_o} \times 100 \quad (\text{Ecuación 7})$$

CH: contenido de humedad de la probeta, en %. Phi= peso de la probeta en estado “hi”, en gr. Po= peso de la probeta en estado anhidro, en gr.

El ensayo de flexión estática se inició colocando la probeta sobre apoyos cilíndricos de ejes paralelos separados 300 mm entre sí. La carga fue aplicada/transferida mediante un cilindro presionador superior y centrado a los apoyos (figura 5). La aplicación de la carga se realizó de manera tangente a los anillos de crecimientos. La velocidad de avance del cabezal móvil de la máquina fue de 5 mm/minuto. Los valores de módulo de elasticidad (MOE) y módulo de rotura (MOR) a la flexión estática fueron calculados respectivamente a partir de la ecuación 8 (IRAM 9542, 1965)

$$MOE = \frac{L^3}{4bh^3} \times \frac{P'}{f'} \therefore MOR = \frac{3}{2} \times \frac{PL}{bh^2} \quad (\text{Ecuación 8})$$

MOE: Modulo de elasticidad, en kg/cm<sup>2</sup>. MOR: Modulo de rotura, en kg/cm<sup>2</sup>. L: Distancia entre apoyo o luz de la probeta, en cm. b: Ancho de la probeta, en cm. h: Altura de la probeta, en cm. P': Carga en el límite proporcional elástico, en Kg. f': deformación en el límite proporcional elástico, en cm. P: Carga rotura, en kg/cm<sup>2</sup>.



**Figura 11. Ensayo de flexión estática. Máquina universal de ensayos de laboratorio de tecnología de la madera. FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES-UNaM-IMAN.**

Para la compresión paralela a las fibras (Ecuación 9) se ubicó la probeta en forma perpendicular sobre una base sólida, mientras que en el extremo superior la misma recibía una fuerza transmitida por un cabezal, la velocidad de avance del cabezal fue de 0,6 mm/minuto, determinándose el módulo de elasticidad y el módulo de rotura respectivamente (IRAM 9541, 1977).

$$MOE = \frac{P'}{f'} \times \frac{L}{S} \quad \therefore \quad MOR = \frac{P}{S} \quad (\text{Ecuación 9})$$

MOE Módulo de elasticidad a la compresión longitudinal, en kg/cm<sup>2</sup>. MOR: Modulo de rotura a la compresión longitudinal, en kg/cm<sup>2</sup>. P': Carga en el límite proporcional elástico, en kg. f': Deformación límite proporcional elástico, en cm. L: Longitud de las probetas, en cm. S: Sección de las probetas, en cm<sup>2</sup>. P: Carga de rotura, en Kg.

El ensayo para la determinación de la resistencia al corte (cizallamiento) paralela a las fibras (Ecuación 10). Consiste en aplicar y medir la tensión de las fibras de madera, con el fin de provocar la separación entre ellas. Las probetas presentan un escalón en uno de sus extremos que consiste en el plano de falla donde se aplica la carga. La velocidad de avance del cabezal fue de 0,6 mm/min. Este ensayo se efectuó tanto en el plano tangencial como radial y se determinó la tensión de corte (IRAM 9596, 1977).

$$Tc = \frac{P}{S} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Tc: Tensión de corte, en kg/cm<sup>2</sup>. P: Carga de rotura, en Kg. S: Sección del plano de falla, en cm<sup>2</sup>.

Para el ensayo de resistencia al clivaje, se evaluó la resistencia que ofrece la madera ante el rajado generado por un elemento externo a esta en sentido tangencial y radial a los anillos de crecimiento de la madera (Ecuación 11). La velocidad de ensayo fue de 2,5 mm/min y se evaluó la tensión de corte (ASTM D143, 1956).

$$Cl = \frac{P}{L} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Cl: Tensión de corte, en Kg/cm<sup>2</sup>. P: Carga de rotura, en Kg. L: Longitud de la escultura, en cm<sup>2</sup>.

La Dureza de la madera se determinó por el método de “Dureza Janka”, el cual consiste en la introducción de una semiesfera de acero de 11,28 mm de diámetro en la madera, la cual deja una impronta de sección circular de un centímetro cuadrado de superficie sobre la pieza ensayada (Figura 12). La velocidad de aplicación de carga fue de 6 mm/min y se determinó la resistencia a la dureza mediante ecuación 12 (IRAM 9570, 1971).

$$Du = \frac{F}{S} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Du: Dureza, en Kg/cm<sup>2</sup>. F: Fuerza, en Kg. S: Sección, en cm<sup>2</sup>

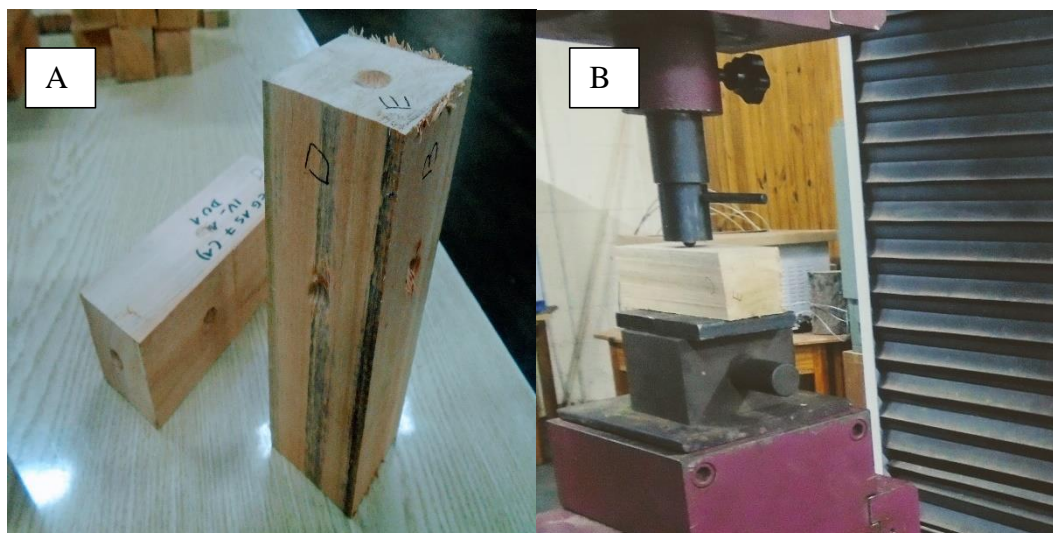


Figura 12. A) Probeta luego de ser ensayada para dureza Janka. B) Máquina universal de ensayo de la UNaM-IMAN-FCF.

### *Análisis estadísticos*

Se realizaron procedimientos estadísticos para los diferentes ensayos realizados, análisis descriptivo, modelos lineales generales mixtos (MGL), por la estructura dependiente de datos y desbalanceado. Comparación de medias mediante el test de Tukey-Kramer. Los supuestos estadísticos fueron corroborados mediante test de shapiro wilks e histograma de residuos Q-Q, para normalidad y con gráfico de dispersión de los residuos, para la heterocedasticidad de varianzas. En todos los casos se empleó un nivel de significancia de 5 %, como variable de efecto aleatorio se empleó al árbol y como variables de efectos fijos se empleó el material genético (MG) y sentido de corte de las muestras (radial, tangencial y axial). Los datos extremos considerados “*outliers*” se desestimaron del análisis.

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando software R-4.0.3 (R Core Team 2020) y los paquetes nlme (v. 3.1-149; Pinheiro et al., 2020), psycho (v 2.1.3; Revelle, W.,2020) emmeans (v.1.6.3. Russell V. Lenth, 2021), ggplot2 (v. 3.3.5. Wickham H., 2016).

## **RESULTADOS**

### *Flexión estática (FL):*

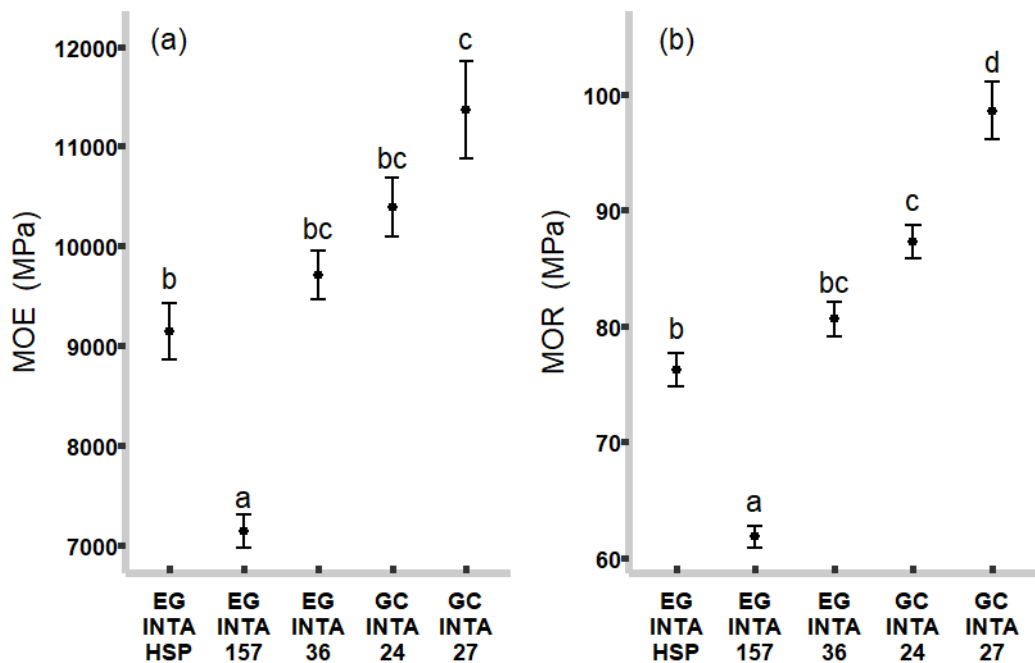
En el Cuadro 23 se presentan los valores de módulo de elasticidad y módulo de rotura a la flexión estática.

**Cuadro 23. Estadísticos de resumen para módulo de elasticidad (MOE) y módulo de r tura (MOR) a la flexión estática.**

Materiales genéticos	N	MOE				MOR			
		Media (MPa)	C.V. (%)	Mín. (MPa)	Máx. (MPa)	Media (MPa)	C.V. (%)	Mín. (MPa)	Máx. (MPa)
EG INTA HSP	44	9147,44	20,36	6096,90	12885,57	76,23	15,10	56,44	102,63
EG INTA 157	41	7143,35	14,95	5392,82	10543,78	61,83	10,95	49,08	80,68
EG INTA 36	73	9711,14	21,50	5364,76	13826,85	80,61	14,77	53,55	109,63
GC INTA 24	54	10393,98	21,00	5585,40	14538,51	87,25	13,88	62,23	111,19
GC INTA 27	43	11365,43	28,31	5478,21	16439,52	98,62	22,63	57,89	146,05

Valores promedios (Media). Coeficiente de variación (C.V.), mínimo (Mín.), máximo (Máx.) y cantidad de probetas ensayada (N).

De acuerdo al Cuadro 22 y la Figura 13a y 13b, se observó para el MOE y MOR diferencias estadísticamente significativas entre los materiales genéticos. El EG INTA 157 presentó diferencias significativas con el resto de los materiales para ambas variables de estudio, obteniendo menores valores de MOE y MOR respecto a los demás materiales evaluados, con un valor promedio más bajos, en un 37 % respecto al material de mayor promedio, GC INTA 27. Para el MOR el GC INTA 27 también presento diferencias significativas con el resto de los materiales, pero en este caso con un valor significativamente superior.



**Figura 13. Flexión estática. a) Módulo de elasticidad (MOE). b) Módulo de r tura (MOR). Las barras indican el error estándar.**

El valor medio de MOE para el material seminal, se diferenci6 estadisticamente del EG INTA 157 y GC INTA 27 pero no del resto de los materiales evaluados; respecto al MOR el material seminal se diferencia de todos los materiales salvo el EG INTA 36.

El EG INTA HSP, result6 con valores promedios para MOE, superiores en 22 % respecto al EG INTA 157 e inferiores en 24 % al GC INTA 27. En cambio, present6 un valor promedio de MOR, 19 % superior al EG INTA 157 e inferior en 29 % al GC INTA 27.

### *Compresi6n paralela a las fibras (Co)*

En el Cuadro 24 se presentan los valores de m6dulo de elasticidad y m6dulo de rotura a la compresi6n para los diferentes materiales gen6ticos analizados.

**Cuadro 24. Estadisticos de resumen para el m6dulo de elasticidad (MOE) y m6dulo de r6tura (MOR) a la compresi6n paralela a las fibras.**

Materiales gen6ticos	N	MOE				MOR			
		Promedio (MPa)	C.V. (%)	M6n. (MPa)	M6x. (MPa)	Promedio (MPa)	C.V. (%)	M6n. (MPa)	M6x. (MPa)
EG INTA HSP	69	3292,55	44,12	1140,43	7432,32	39,92	27,82	16,61	59,41
EG INTA 157	51	2507,24	30,19	1156,38	4577,87	32,19	25,20	13,65	45,72
EG INTA 36	62	3990,93	34,57	1313,60	7835,95	32,38	33,89	16,03	59,27
GC INTA 24	53	3119,11	38,08	977,90	6230,59	43,36	28,19	16,35	63,06
GC INTA 27	47	4128,15	33,81	2079,45	8040,25	43,78	27,79	25,44	75,64

Valores promedios (Promedio). Coeficiente de variaci6n (C.V.), m6nimo (M6n.), m6ximo (M6x.) y cantidad de probetas ensayada (N).

En la Figura 14 se presentan los valores promedios y error est6ndar de los diferentes materiales gen6ticos para la compresi6n paralela a las fibras.

De acuerdo a lo indicado en el Cuadro 24 y en la Figura 14a y 14b, para los valores medios de MOE en compresi6n paralela a las EG INTA 157 presento valores significativamente menores con respecto al resto de los materiales

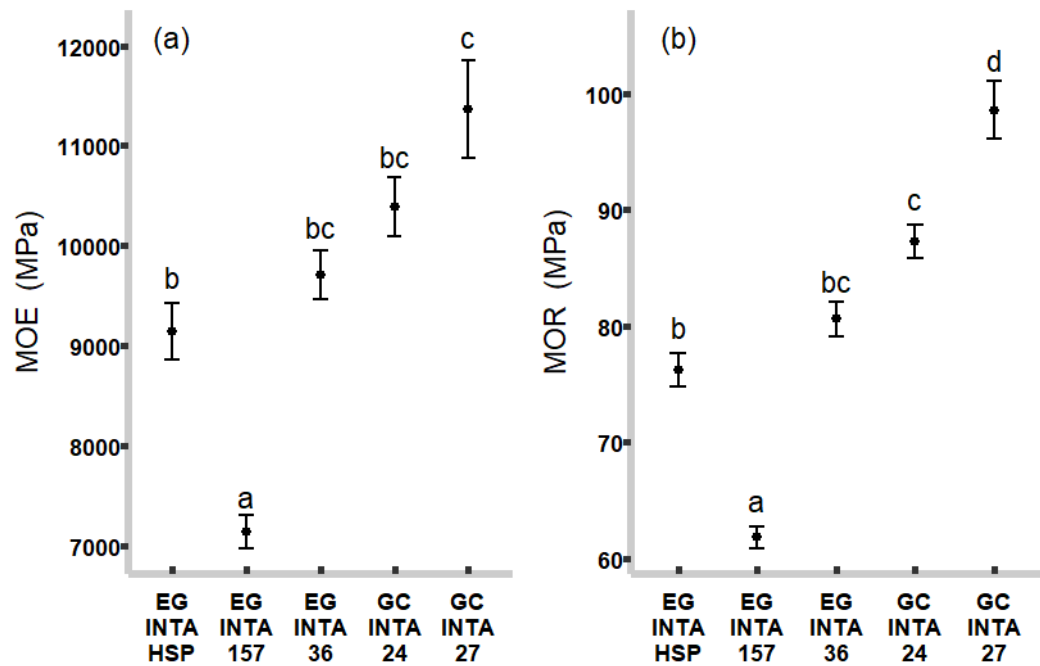


Figura 14. Compresión paralela a las fibras. a) Módulo de elasticidad (MOE). b) Módulo de r tura (MOR). Las barras indican el error estándar.

De manera general para el coeficiente de variación de la variable MOE, en compresión paralela a la fibra, se observó una alta variabilidad de los datos. Esto demuestra un comportamiento muy heterogéneo en esta propiedad para los diferentes materiales genéticos.

Por parte del material seminal, arrojó valor medio de MOE a la compresión paralela a las fibras, diferencias estadísticamente significativas con los clones EG INTA 157 y GC INTA 27. Los clones híbridos en valores de MOE, no presentaron diferencias significativas entre ambos.

Por otro lado, se registraron mayores promedios de MOR para los clones híbridos interespecíficos (GC), intermedios para el material seminal y el EG INTA 36, y menor para el clon EG INTA 157 (Tabla 24).

Se observaron diferencias estadísticamente significativas en MOR, entre el material seminal y los demás materiales, excepto con el EG INTA 36. Entre clones híbridos en MOR, existió diferencias estadísticamente, siendo el GC INTA 27 con mayores valores a GC INTA 24. El EG INTA 157 resultó con el menor valor de MOR, diferenciándose significativamente de todos los demás materiales evaluados.



### *Resistencia al corte o cizallamiento (Tc)*

En el Cuadro 25 se presentan los valores medios de tensión de corte o cizallamiento (Tc) para ambos sentidos, radial y tangencial.

**Cuadro 25. Estadístico de resumen para resistencia al corte o cizallamiento (Tc).**

Materiales genéticos	Sentido	N	Tc (MPa)	C.V. (%)	Mín. (MPa)	Máx. (MPa)
EG INTA HSP	Radial	16	7,11	19,61	6,41	7,82
EG INTA 157		13	6,39	21,53	5,61	7,17
EG INTA 36		20	7,96	17,74	7,31	8,60
GC INTA 24		10	8,38	15,15	7,57	9,20
GC INTA 27		18	9,30	14,95	8,64	9,97
EG INTA HSP	Tangencial	14	9,08	14,70	8,36	9,80
EG INTA 157		11	8,36	15,47	7,56	9,15
EG INTA 36		19	9,92	14,04	9,27	10,57
GC INTA 24		12	10,35	13,17	9,55	11,15
GC INTA 27		17	11,27	12,12	10,60	11,94

Valores promedio (Tc). Coeficiente de variación (C.V.), mínimo (Mín.), máximo (Máx.) y cantidad de probetas ensayada (N).

En la Figura 15a y 15b se presenta la resistencia media al cizallamiento y el error estándar para cada sentido de corte radial y tangencial.

Para la resistencia al corte o cizallamiento (Tc) en sentido tangencial se observa en el Cuadro 25 y las Figuras 15a y 15b, que los valores de Tc fueron superiores al sentido radial.

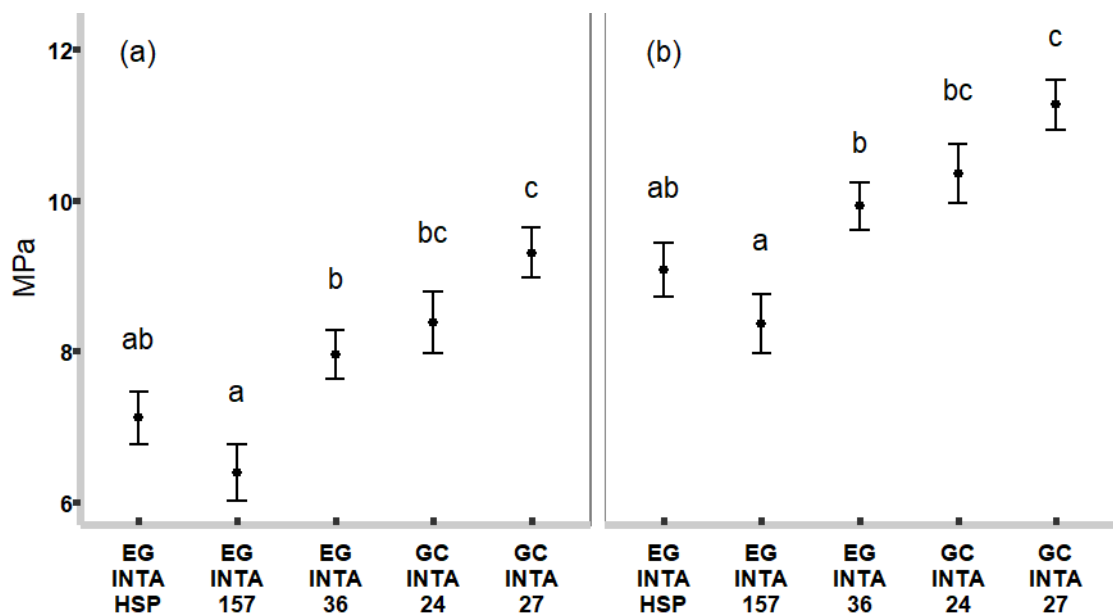


Figura 15. Resistencia al corte o cizallamiento. a) Sentido radial, b) Sentido tangencial. Las barras indican el error estándar.

En la resistencia al cizallamiento el material seminal sólo se diferenció estadísticamente del clon GC INTA 27 para ambos sentidos del ensayo. Para el sentido radial y tangencial, los valores medios de Tc para el clon GC INTA 27 fue estadísticamente superior a los valores alcanzados para EG INTA 36 y EG INTA 157, mientras que el valor de Tc para GC INTA 24 fue estadísticamente superior al EG INTA 157, pero similar al EG INTA 36.

Para ambos sentidos de corte, el clon EG INTA 157 arrojó menor valor respecto a los demás materiales genéticos. Por otro lado, el clon GC INTA 27 presentó el mayor de Tc en el sentido tangencial y radial, seguido por GC INTA 24 y EG INTA 36.

La observación de los coeficientes de variación de Tc (Cuadro 25), demostró valores menos variables en el sentido tangencial y radial, para los clones provenientes de híbridos interespecíficos (GC).

#### *Clivaje o rajadura (CL)*

En el Cuadro 26 se presenta un resumen de los parámetros descriptivos correspondientes al ensayo de clivaje.

**Cuadro 26. Estadísticos de resumen para clivaje o rajadura (CL).**

<b>Materiales genéticos</b>	<b>Sentido de corte</b>	<b>N</b>	<b>CL (MPa)</b>	<b>C.V. (%)</b>	<b>Mín. (MPa)</b>	<b>Máx. (MPa)</b>
EG INTA HSP	Radial	16	0,66	14,82	0,61	0,71
EG INTA 157		16	0,55	16,15	0,50	0,59
EG INTA 36		15	0,61	19,32	0,55	0,67
GC INTA 24		13	0,67	13,60	0,62	0,72
GC INTA 27		13	0,94	17,97	0,84	1,03
EG INTA HSP	Tangencial	17	0,57	17,44	0,52	0,62
EG INTA 157		7	0,46	14,61	0,41	0,51
EG INTA 36		17	0,52	23,69	0,46	0,58
GC INTA 24		12	0,58	15,26	0,53	0,63
GC INTA 27		8	0,85	15,92	0,75	0,95

Valores promedio. Coeficiente de variación (C.V.), mínimo (Mín.), máximo (Máx.) y cantidad de probetas ensayada (N).

En la Figura 16a y 16b se muestra el análisis comparativo entre los materiales genéticos considerados, para cada dirección de ensayo.

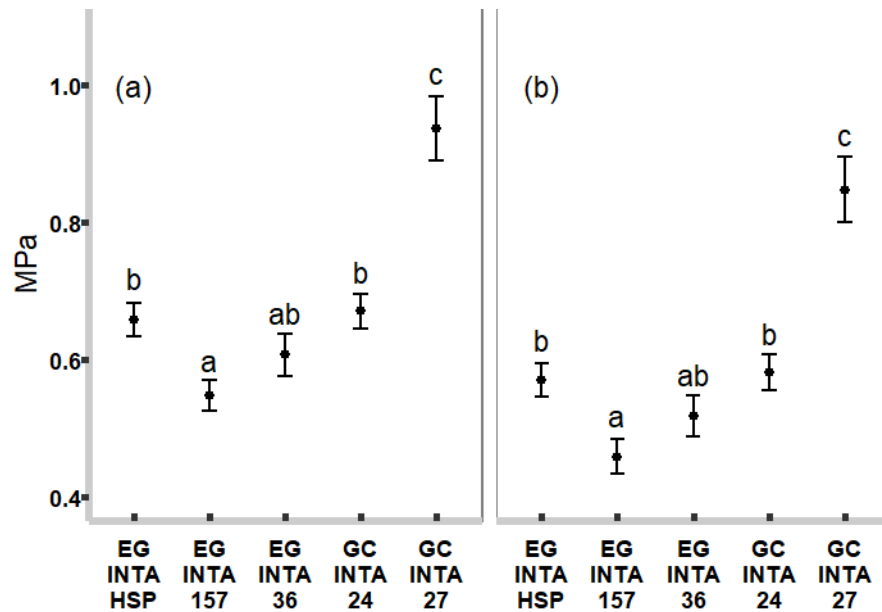


Figura 16. Tensión a la rajadura o clivaje. a) Sentido radial. b) Sentido tangencial. Las barras indican el error estándar.

De acuerdo con lo indicado en el Cuadro 26 para todos los materiales evaluados, los valores medios de Clivaje o rajadura en el sentido radial fueron superiores a los tangenciales. Al igual que para la resistencia al cizallamiento, en el sentido radial la madera se separa más fácilmente por la presencia de radios medulares, constituidos por células parenquimatosas.

Los valores de CL en sentido radial resultaron superiores con respecto al tangencial, estos fueron 19 % y 17 % para los clones puros, EG INTA 157 y EG INTA 36, respectivamente, 16 % para el seminal y de 15 % y 10 % para los clones híbridos, GC INTA 24 y GC INTA 27, respectivamente.

En la Figura 16a (sentido radial), el valor medio de tensión a la rajadura del material seminal resultó con promedios superior y estadísticamente diferente al EG INTA 157. A su vez, este último, resultó con el menor valor promedio de CL y se diferenció significativamente a los clones híbridos GC. Entre los GC, se diferenciaron estadísticamente, donde el GC INTA 27 resultó con el mayor valor en CL y se diferenció estadísticamente de los demás materiales evaluados. Los clones puros EG, no tuvieron diferencias significativas entre ambos.

En el sentido tangencial, se mantuvieron las diferencias significativas halladas en el sentido radial. Donde en el sentido tangencial el valor medio del material seminal, resultó con valores superiores a los clones puros, EG INTA 36 y EG INTA 157 en 4 % y

13 %, respectivamente. Por parte de los clones híbridos GC INTA 24 y GC INTA 27 reflejaron valores de CL superiores al del material seminal en 4 % y 33 %, respectivamente (Cuadro 26; Figura 16b).

### ***Dureza Janka (Du)***

En el Cuadro 27 se presenta el resumen estadístico referido al ensayo de dureza mediante el método Janka.

**Cuadro 27. Estadístico de resumen para dureza Janka (Du), en tres sentidos de evaluación de la madera.**

<b>Materiales genéticos</b>	<b>Sentido</b>	<b>N</b>	<b>Du (MPa)</b>	<b>C.V. (%)</b>	<b>Mín. (MPa)</b>	<b>Máx. (MPa)</b>
EG INTA HSP	Transversal	31	41,85	15,07	28,09	52,12
EG INTA 157		27	32,41	12,04	24,00	40,14
EG INTA 36		32	47,25	21,84	29,27	69,35
GC INTA 24		28	57,91	25,33	39,21	91,95
GC INTA 27		44	65,97	18,12	37,47	89,47
EG INTA HSP	Radial	30	30,95	23,34	15,52	44,95
EG INTA 157		28	20,78	19,00	14,22	29,49
EG INTA 36		31	37,48	29,40	21,17	58,98
GC INTA 24		26	43,42	23,23	28,47	67,58
GC INTA 27		46	53,61	24,17	27,97	85,00
EG INTA HSP	Tangencial	31	34,31	24,36	21,61	53,71
EG INTA 157		31	23,33	15,09	14,87	31,51
EG INTA 36		32	39,27	23,55	22,54	57,15
GC INTA 24		28	47,83	24,21	28,03	69,23
GC INTA 27		45	58,54	27,90	23,97	90,49

Valores promedios (Du). Coeficiente de variación (C.V.), mínimo (Mín.), máximo (Máx.) y cantidad de probetas ensayadas (N).

El la Figura 17 se presenta el análisis comparativo entre los materiales genéticos considerados, para cada dirección de ensayo.

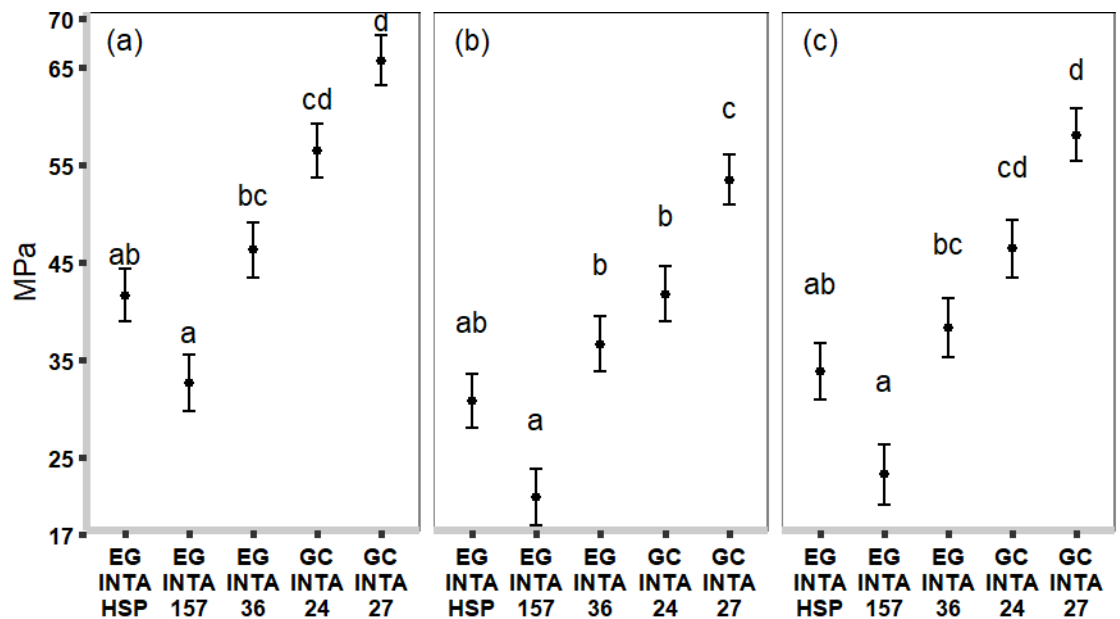


Figura 17. Dureza Janka. a) Sentido transversal. b) Sentido radial. c) Sentido tangencial. Las barras indican el error estándar.

De acuerdo a lo observado en el Cuadro 27, los valores de dureza Janka fueron mayores en el sentido transversal, seguido por el tangencial y radial. Para los 3 sentidos de corte analizados el EG INTA 157 arrojó los menores valores medios de dureza. Mientras que se obtuvieron los valores mayores para los clones híbridos GC INTA 27 y GC INTA 24. Por otra parte, se observó que el clon EG INTA 157 mostró un comportamiento más homogéneo, presentando un menor coeficiente de variación.

En el Cuadro 27 y Figura 17, los materiales genéticos presentaron un comportamiento similar en el sentido de ensayo transversal y tangencial, mientras que en el corte radial el clon GC INTA 24 presentó similitud estadística con el material seminal. El clon EG INTA 157 y el material seminal, en los tres sentidos de ensayo, no presentaron diferencias significativas, a su vez, el primero presentó un promedio de dureza inferior en 22 %, 33 % y 32 % en el sentido transversal, radial y tangencial, respectivamente. Mientras que los demás clones, arrojaron mayores valores de dureza en los tres sentidos de corte, respecto al material seminal.

Con respecto a los clones, en todas las direcciones evaluadas se obtuvo una diferencia significativa entre el EG INTA 157 y los demás materiales evaluados. Además, los EG INTA 36 y GC INTA 24 resultaron con medias sin diferencias estadísticas. En cambio, GC INTA 27 en el sentido radial se diferenció significativamente del GC INTA 24, mientras que en los demás cortes resultaron estadísticamente iguales.

Según la clasificación de madera argentinas propuesta por García y García (1949), la madera del clon EG INTA 157 se clasificaría dentro de la categoría muy blanda, mientras que la madera obtenida del material seminal EG INTA HSP, los clones EG INTA 36 y GC INTA 24, se clasificaría como blanda, y la del clon GC INTA 27, como semidura.

## DISCUSIÓN

El conocimiento del contenido de humedad de las piezas al momento de ensayo es fundamental, dado que con la disminución del contenido de humedad se incrementan las propiedades mecánicas de la madera (Nogueira *et al.*, 2018; Logsdon y Cali 2002). Además, permite ajustar los valores de módulos de elasticidad y de rotura a la flexión estática y a la compresión paralela a las fibras al contenido de humedad normal (12 %) para estudios comparativos (González y Palazón, 1955).

Los valores promedio de las propiedades de flexión estática demostraron ser similares y con coeficiente de variación mayores a lo registrado en la literatura local consultada (Sánchez Acosta, 2016; Sánchez *et al.*, 2003). Esto se debe a diferencias propias de materiales de distintas procedencias y/o clones distintos a los evaluados. Los valores medios de los parámetros evaluados, MOE y MOR, a la flexión estática presentaron un orden jerárquico similar en los clones puros evaluados por López *et al.* (2009), a la edad de 6 años. Al efectuar la comparación con otras especies del mismo género, por ejemplo, con el *E. saligna*, se encontró que el material seminal presentó un comportamiento inferior a esta especie (SAGyP-INTA, 1995).

Los clones híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* estudiados, arrojaron valores promedio de MOE más cercanos a la especie parental *E. camaldulensis* con mayores edades (Nogueira *et al.*, 2018). La rigidez (MOE) obtenida para los clones híbridos interespecíficos fue mayor respecto a los demás materiales evaluados, confiriéndole mayor aptitud para aplicaciones que demandan esfuerzo estructural, coincidiendo con los resultados obtenidos por otros autores también con híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* de 9 años (Pima *et al.*, 2018).

A valores mayores de MOE en flexión estática, la madera posee mayor capacidad retornar a su estado original, cuando deja de ser expuesta a fuerzas externas, no provocando una deformación plástica, proceso irreversible (Gallio *et al.*, 2016). Las diferencias en valores de flexión en los materiales genéticos evaluados, podría estar

influenciada por el ángulo microfibrilar (AMF). Valores altos de AMF ocasionan menor resistencia a la rigidez (Baldoni *et al.*, 2021). También la proporción de cristalinidad de la celulosa esta correlacionada positivamente con la rigidez a la flexión de la madera (Fujimoto *et al.*, 2007).

Los valores de MOR y MOE a la compresión paralela a las fibras presentados en este estudio resultaron inferiores respecto a evaluaciones de *E. grandis* realizadas a mayores edades (Sosa Zitto *et al.*, 2019; Sánchez Acosta *et al.*, 2005; Pérez del Castillo, 2001), la diferencia de valores hallados puede deberse a la edad y proporción de madera madura. Además, estos resultados aquí obtenidos, son inferiores a los obtenidos en otros estudios para clones intraespecíficos e interespecíficos del género *Eucalyptus* con diferentes combinaciones parentales para un rango de edades entre 2 y 17 años (Sánchez Acosta, 2016; Gonçalves *et al.*, 2009; Sánchez Acosta *et al.*, 2008). Cabe destacar que, en los citados trabajos han utilizados diferentes normas a la empleada en el presente estudio.

Los diferentes valores hallados en compresión paralela a la fibra en el presente estudio pueden estar influenciados por radios y fibras constituidos en la madera de cada material genético. Marini *et al.* (2022) determinaron para la compresión paralela a la fibra una correlación positiva con la altura y ancho de los radios; diámetro de lumen y longitud de fibra, y una correlación negativa con la frecuencia de los vasos.

En propiedades de corte o cizallamiento, los valores medios obtenidos fueron inferiores a los registradas para especies del mismo género. El rango de valores promedios para los clones híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* para este estudio, estuvo entre 8,38 MPa y 11,27 MPa, valores algo inferiores a los reportados por la literatura para el mismo tipo de clones híbridos, de 9 años en Tanzania (Pima *et al.*, 2018). La tensión de corte para *E. camaldulensis*, registrado por Nogueira *et al.* (2018), fue de 12 a 15 MPa, superiores a este trabajo en clones híbridos. Los valores medios de tensión de corte para el material seminal se encuentran dentro de los valores determinados por Lahr *et al.* (2018), en *E. grandis* de edades entre 8 años hasta 41 años.

Lima *et al.* (2014), observaron una correlación positiva entre cizallamiento y densidad específica, relacionando indirectamente la propiedad de cizallamiento de la madera con valores altos para aquellos con mayores proporciones de paredes celulares y menores lúmenes celulares.

Los valores medios de rajadura o clivaje fueron de 0,49 MPa a 1,00 MPa, encontrándose dentro del rango reportado en la literatura para árboles de *E. grandis* de entre 9 y 41 años (Lahr *et al.*, 2018). Por otra parte, los valores medios para los clones híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* fueron superiores a los hallados por Turinawe *et al.* (2014), para clones de *E. grandis* x *E. camaldulensis* a los 7 años.

La variación de clivaje en los clones evaluados en el presente trabajo, puede estar sujeta a la disposición y orientación de las fibras, que generan un grano recto o en espiral. El grano recto origina valores menores de clivaje. Valores altos en densidades básicas y moderados en clivaje, con alto crecimiento de volumen en los clones, posibilitan la viabilidad de utilizarlo como leña (Turinawe *et al.*, 2014).

Los promedios de dureza Janka mostrados en este trabajo estuvieron entre 20,78 MPa y 65,97 MPa. En cambio, los valores de dureza Janka encontrados para el *E. grandis* seminal fueron menores a los valores indicados por Sánchez Acosta *et al.* (2005), y superiores a los registrados por Pérez del Castillo (2021), ambos autores trabajaron con la misma especie, esto se debe a la diferencia de edad de los materiales y sitios de los ensayos. Asimismo, los materiales evaluados arrojaron resultados inferiores en comparación con otras especies del mismo género, como por ejemplo *E. bosistoana* de 41 años (Mantero *et al.*, 2014) y *E. camaldulensis* (Nogueira *et al.*, 2018). Sin embargo, los resultados alcanzados para dureza Janka se encuentra dentro del rango obtenido para el *E. uruphylla* (Lahr *et al.*, 2017). La dureza está relacionada con varias características intrínsecas de la madera, tales como, espesores de pared celular, composición y distribución de los elementos anatómicos de la madera (Gallio *et al.*, 2016).

Se debe contemplar en posteriores estudios, las correlaciones de las propiedades mecánicas con las anatómicas. La diferencia de propiedades específicas puede surgir por el resultado de la compleja estructura de la madera (Galio *et al.*, 2016).

## CONCLUSIONES

El material seminal, presentó características mecánicas intermedias entre los dos clones puros de *E. grandis*.

El clon de *E. grandis* INTA 157, fue el material genético que presentó valores medios inferiores para todas las propiedades mecánicas evaluadas.

Los clones híbridos, *E. grandis* x *E. camaldulensis*, se destacaron con valores medios superiores para todas las propiedades mecánicas ensayadas, dentro de estos, el



clon *E. grandis* x *E. camaldulensis* INTA 27 resultó superior a *E. grandis* x *E. camaldulensis* INTA 24. A su vez, presentaron valores intermedios a los promedios de las especies parentales, con valores superiores al *E. grandis* e inferiores a los del *E. camaldulensis*.

Por las propiedades mecánicas alcanzadas, los materiales clonales de *E. grandis* puros podrían desempeñarse bien en usos para muebles, construcciones ligeras o fabricación de componentes que requieran solicitudes estructurales de manera similar a los clones híbridos, pero con la precaución de utilizar mayores escuadrías.

De acuerdo con los valores de rigidez, la madera de los materiales híbridos, *E. grandis* x *E. camaldulensis*, soportaría mejor las solicitaciones en flexión, por lo que podría ser considerado adecuado para construcciones civiles en usos como vigas. En base a los valores de módulo de elasticidad y de rotura a la compresión paralela a las fibras obtenidos, tanto los clones como el material seminal presentan buena aptitud para el uso en columnas y estructuras reticuladas.

Para el esfuerzo de compresión el material *E. grandis* x *E. camaldulensis* GC INTA 27 se destacó con mejor desempeño respecto del material seminal.

En referencia a los valores obtenidos en la propiedad rajadura o clivaje, los híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* presentaron mayor aptitud para su trabajabilidad y utilización en productos de madera tallada y también como leña.

Conforme a los valores hallados en resistencia a la penetración o dureza, los clones híbridos interespecíficos se podrían destinar para aplicaciones de pisos, decks.

De acuerdo a los resultados obtenidos para la madera de todos los clones de *Eucalyptus* evaluado, se sugiere al Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad en Obras Civiles (CIRSOC) la consideración para la caracterización estructural de estos materiales y su inclusión en el reglamento, a fin de considerarlos para uso estructural.

Se debe contemplar en posteriores estudios, las correlaciones de las propiedades mecánicas con las anatómicas.

## **CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN VISUAL DE TABLAS ASERRADAS**

## INTRODUCCIÓN

Cualquier irregularidad o imperfección que afecte las propiedades físicas, mecánicas y químicas de una pieza de madera es considerado como una anomalía y esto reduce el volumen utilizable de la madera, así como la vida útil en servicio, la resistencia, el valor estético y la calidad de los productos obtenidos (López *et al.*, 2016; Calderon 2007; Chan, 2002).

Las anomalías de la madera aserrada pueden provenir de condiciones naturales de crecimiento del árbol, procesos de aserrado o secado, ataque de agentes biológicos, y daños originados por el empleo de técnicas inapropiadas para el almacenamiento o transporte (Jiménez, 2007; Martín *et al.*, 2002; IRAM 9560, 1970). El rajado/agrietado y alabeos, se origina del proceso de secado, que ocasionan una disminución en el rendimiento y calidad de la madera, como también, restringen sus aplicaciones. Estos podrían evitarse o minimizarse mediante el empleo adecuado de técnicas de apilado, colocación de separadores, entre otros (De Freitas *et al.*, 2008).

Para el género *Eucalyptus*, las rajaduras, provocadas en el proceso de secado, así como la liberación de tensiones durante el proceso de aserrado y de secado son uno de los defectos más frecuentes. Cabe aclarar que las tensiones de crecimientos pueden deberse a factores como la edad, densidad de plantación y tamaños de los árboles (Monteoliva *et al.*, 2014).

Por otro lado, las deformaciones son causadas principalmente por el tipo de madera, especie, variedad y calidad de sitio (Diez *et al.*, 2001). Las contracciones de la madera aserrada son las causantes principales de la deformación en la madera (López *et al.*, 2018). Si bien algunas deformaciones pueden corregirse con un redimensionado de las tablas, esto genera un incremento en el costo y una reducción del rendimiento (Diez *et al.*, 2001). Existen antecedentes sobre el desarrollo de técnicas de procesamiento en *Eucalyptus* que buscan disminuir determinados defectos, como el rajado y deformaciones (De Freitas *et al.*, 2008); a su vez se ha demostrado la influencia de la edad, materiales genéticos y presencia de médula sobre estos defectos (Carballo *et al.*, 2018; López *et al.*, 2018; López *et al.*, 2016; Souza *et al.*, 2003).

Para disminuir los problemas de defectos en *Eucalyptus* se deben aplicar procesos de industrialización adecuados, como por ejemplo un sistema de aserrado apropiado

donde se pueden originar liberaciones de tensiones de la madera menos brascas (Sánchez Acosta, 2006). Estudios sobre tensiones de crecimiento realizados por Hernández *et al.* (2014), mencionan que los defectos de rajado se pueden disminuir empleando sistemas de corte masivo o simultáneos.

### **Objetivo**

El objetivo de este capítulo fue determinar la presencia y proporción de defectos derivados del proceso de secado natural de tablas aserradas de dos materiales clonales híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis*, dos clones puros de *E. grandis* y del material seminal. Tomando este último como referencia o patrón.

## **MATERIALES Y METODOS**

### ***Materiales***

Se emplearon tablas aserradas de 1" de espesor con ancho variable y largo de 3,2 m, proveniente de rollizos R1 y R2, utilizados en el Capítulo 2, para la medición de índice de rajado y alabeos. Estas tablas fueron aserradas en el aserradero ACOM SA (Concordia) con un esquema de corte efectuado por una sierra sin fin principal con carro, donde se realizaron 2 cortes laterales (uno por cada pasada de sierra) dejando un pan central canteado (semibasa). Esta semibasa fue posteriormente tableada/reaserrada en sierra sin fin, la cual realiza cortes paralelos para obtener las tablas de las escuadrías indicadas. Finalmente, las tablas pasaron por una máquina despuntadora constituida por una sierra circular de mesa de eje fijo. Este sistema de aserrado es comúnmente utilizado en la zona de Entre Ríos para *Eucalyptus*.

Las tablas fueron apiladas bajo techo por un período de un año. fueron identificadas de acuerdo al material genético y tipo de rollizo (R1 o R2), y se procedió a su dimensionamiento y caracterización visual. Una vez establecido el contenido de humedad entre 12 % y 19 % de cada pieza. Se trabajó con 753 tablas proveniente de 80 rollizos.

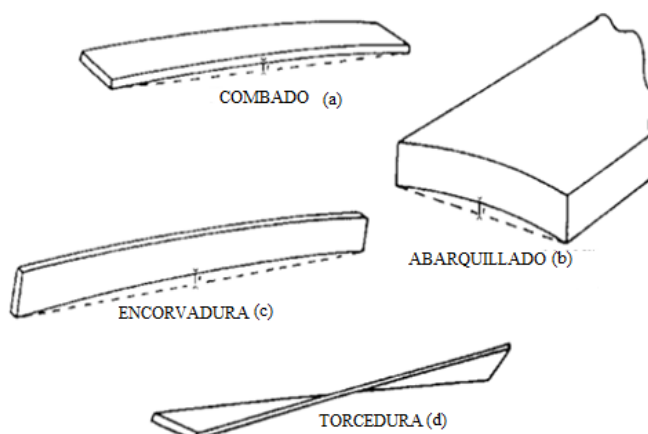
### ***Defectos***

Los defectos se determinaron de acuerdo con las normas Panamericana COPANT N° 746 para maderas aserradas y cepilladas, utilizando el apartado de descripción del método de medición de los defectos originados por el aserrado y secado de la madera, tal como se detalla a continuación:

El rajado fue medido con cinta métrica con precisión de 1 mm, en cada extremo de la tabla, obteniendo por sumatoria de las rajaduras de cada extremo la longitud del rajado total presente en las tablas.

Los alabeos se midieron con calibre digital, precisión de 0,01 milímetros, de acuerdo a los procedimientos siguientes:

- **Combado:** se midió la desviación máxima, en milímetros, que presentaba una cara con respecto a una línea recta trazada por las cabezas de la pieza. Este puede producirse por diferencia de contracción longitudinal en la caras o cantos opuestos de una tabla (Figura 18a,).
- **Abarquillado:** se midió la desviación máxima, en milímetro, que presenta una cara con respecto a una línea recta trazada por sus aristas (Figura 18b). Este defecto se origina por diferencia de contracción en la dirección tangencial con respecto a la radial en la madera, debido a que las contracciones en la madera son mayores en el sentido tangencial.
- **Encorvadura:** se midió la desviación máxima, en milímetros, que presentaba un canto con respecto a una línea recta trazada por las cabezas de la pieza (Figura 18c). Este puede originarse de la misma manera que el combado, por contracciones de las caras o cantos opuestos.
- **Torcedura (revirado):** se midió la distancia, en milímetros, de una esquina de la pieza a una superficie plana sobre la cual se apoyaban las otras tres esquinas (Figura 18d). Este defecto se origina debido a las desviaciones de las fibras presentes en las tablas y las contracciones longitudinales diferenciales en las mismas.



**Figura 18. Defectos evaluados en tablas aserradas. a) Combado. b) Abarquillado. c) Encorvado. d) Torcedura (revirado). Vignote (2006).**

Por otro lado, se registró la presencia o ausencia de medula en una sola cara, En *Eucalyptus grandis*, este defecto es determinante para la calidad de las tablas y su posterior introducción al proceso de secado o no.

#### ***Análisis estadísticos.***

Se realizaron los análisis estadísticos descriptivos, media, coeficiente de variación y rango de los valores, para cada variable. Los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza se efectuaron mediante prueba de Shapiro-Wilk y con gráfico de dispersión de los residuos versus predichos, respectivamente. Se utilizó análisis de varianza (ANOVA) para modelos mixtos lineales (MGL). Como efecto aleatorio se utilizó la variable árbol y como efecto fijo se utilizaron las variables material genético (MG) y tipo de rollizos (R1 y R2). La comparación de medias se efectuó mediante el test de Tukey-Kramer. En todos los casos se empleó un nivel de significancia de 5 %. Los datos extremos considerados “*outliers*” se desestimaron del análisis.

Las estadísticas se realizaron utilizando software RStudio versión 1.3.1093 (R Core Team 2020); utilizando R-4.0.3 y los paquetes nlme (v. 3.1-149; Pinheiro *et al.*, 2020), psycho (v 2.1.3; Revelle, W.,2020) emmeans (v.1.6.3. Russell V. Lenth, 2021), ggplot2 (v. 3.3.5. Wickham H., 2016).

## RESULTADOS

### *Cubicación de la madera*

En el Cuadro 28 se presentan las características de los rollizos evaluados, donde el volumen se expresa en m<sup>3</sup> y en Pie Tablar (PT) ya que este último es utilizado corrientemente en la industria del aserrado regional. En este cuadro se observó mayores volúmenes de rollizos para el EG INTA 36 y con menores volúmenes resulto el GC INTA 24.

**Cuadro 28. Caracterización de los rollizos evaluados.**

<b>Materiales genéticos</b>	<b>TR</b>	<b>PF s/c (cm)</b>	<b>PG s/c (cm)</b>	<b>Vol. s/c (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Vol. s/c (PT)</b>
EG INTA HSP	R1	25,1	27,2	0,17	72,90
	R2	22,9	25,0	0,14	61,23
EG INTA 157	R1	19,1	20,6	0,10	42,14
	R2	17,6	19,4	0,09	36,47
EG INTA 36	R1	26,4	28,2	0,19	79,51
	R2	24,8	26,5	0,17	70,15
GC INTA 24	R1	18,2	20,1	0,09	39,18
	R2	16,2	17,9	0,07	31,07
GC INTA 27	R1	23,1	24,6	0,14	60,53
	R2	21,2	22,9	0,12	51,82

Diámetros y volúmenes de los rollos analizados, tipo de rollo (TR). punta fina del rollo sin corteza (PF s/c), punta gruesa del rollo sin corteza PG s/c), volumen del rollo sin corteza (Vol. s/c).

### *Rajado en tablas aserradas*

En la Tabla 29 se presentan cantidad de tablas aserradas, discriminadas por presencia de médula.

**Cuadro 29. Presencia de médula en tablas aserradas.**

<b>Materiales genéticos</b>	<b>Médula</b>			<b>Total</b>
	<b>NO</b>	<b>SI</b>	<b>% PRESENCIA</b>	
EG INTA HSP	144	30	17,24	174
EG INTA 157	107	19	15,08	126
EG INTA 36	165	28	14,51	193
GC INTA 24	101	16	13,68	117
GC INTA 27	115	28	19,58	143

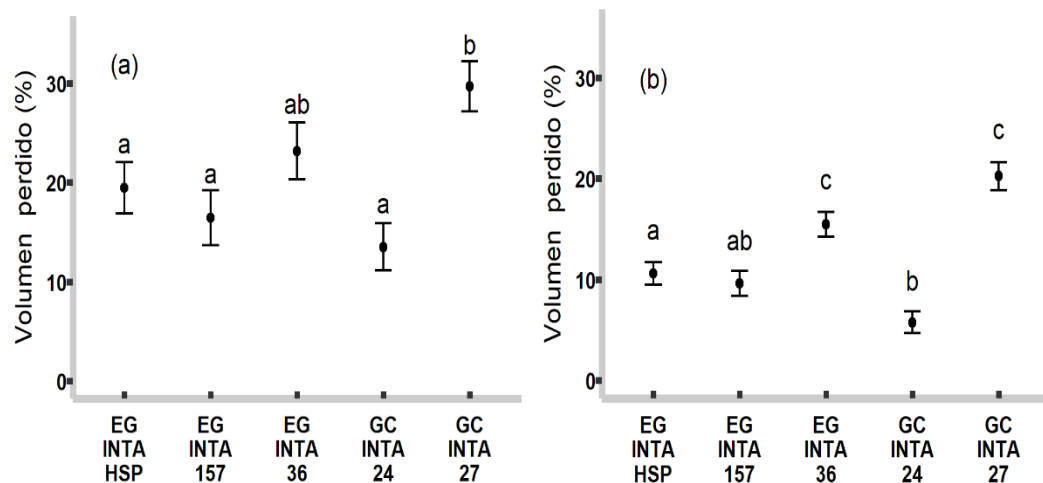
El 80 % de las tablas no presentó médula en ninguna de las caras, siendo el GC INTA 24 el que menor cantidad de tablas con médulas presentó (13,68 %) y el GC INTA 27 el que mayor cantidad de piezas con este defecto presentó (19,58 %). Se observó que

la presencia de médula se incrementó en las tablas proveniente del rollo 2 (superior), lo cual se debe a la disminución de los diámetros con respecto al rollo 1 (Cuadro 27).

Las tablas con presencia de médula presentaron un mayor porcentaje de pérdida por rajado, entre 13 % a 29 %, según material genético. Aquellas tablas sin médula, presentaron menores porcentaje de pérdidas de volumen de rajado, entre 7 % a 22 %.

Las tablas con medula son descartadas para el proceso de secado por los aserraderos de la region debido a la asociacion de la misma con otros defectos ( rajado; pasmado;etc). Estas son comercializadas en verde para usos de bajo valor agregado, como por ejemplo para encofrado.

En la Figura 19 se presenta el análisis comparativo entre los materiales genéticos de pérdida por rajadura en tablas aserradas.



**Figura 19. Porcentaje de pérdida por rajadura en tablas aserradas. a) Con presencia de médula. b) Ausencia de médula. Las barras indican el error estándar.**

De acuerdo a lo observado en la Figura 19 a y 19 b, en las tablas con presencia de médula, el volumen de pérdida es mayor comparado con aquellas sin médula. En ambas figuras se observa que los materiales EG INTA 36 y GC INTA 27 arrojaron los mayores porcentajes de pérdida. En ambos casos, estos materiales no se diferenciaron significativamente entre sí. Sin embargo, el GC INTA 27, exhibió diferencia estadísticamente significativa con el resto de materiales evaluados. En tablas con presencia de médula (Figura 19a) el material seminal no presentó diferencias significativas con el resto de los materiales, salvo el GC INTA 27.



Lo indicado en el Figura 19 b, en tablas sin médula el material seminal resultó sin diferencias significativas con respecto a EG INTA 157 y con diferencias estadísticamente significativas respecto al resto de los materiales genéticos. Para EG INTA HSP el porcentaje de pérdida de volumen por rajado en tabla fue superior en 45 % a GC INTA 24, e inferior en 45% al EG INTA 36 y 91 % a GC INTA 27.

En promedio de longitud de rajado total (suma de ambos extremos), el material seminal no presentó diferencia significativa respecto a los clones intraespecíficos, EG INTA 36 y EG INTA 157, resultando en tablas individuales con promedios intermedios a estos clones (Cuadro 30). En cambio, el GC INTA 27 tuvo un promedio superior en longitud de rajado total en 73 % respecto a la semilla, EG INTA HSP, y este último a su vez, un promedio superior en 38 % al GC INTA 24; resultando entre ellos con diferencias estadísticamente significativas En cambio, para el contraste entre clones, en tablas con médula, se observó sin diferencia significativa en los valores medios de EG INTA 157 con GC INTA 24, y EG INTA 36 con GC INTA 27, estos últimos pares de clones con valores mayores de rajado a los dos primeros.

Sobre el volumen de rollizos procesados, la pérdida total de volumen de madera por rajado en el total de las tablas aserradas, sin discriminar por presencia de médula, resultó en 4,5 % para GC INTA 24, 6,4 % en EG INTA 157, 7,5 % para EG HSP, 11 % para EG INTA 36 y 13 % para GC INTA 27. El material de EG INTA 36 y GC INTA 27 fueron los que presentaron mayores porcentajes de pérdida sobre volumen de rollizos.

En el Cuadro 30 se presentan los valores promedio de la longitud total y media de rajado en para cada material genético.

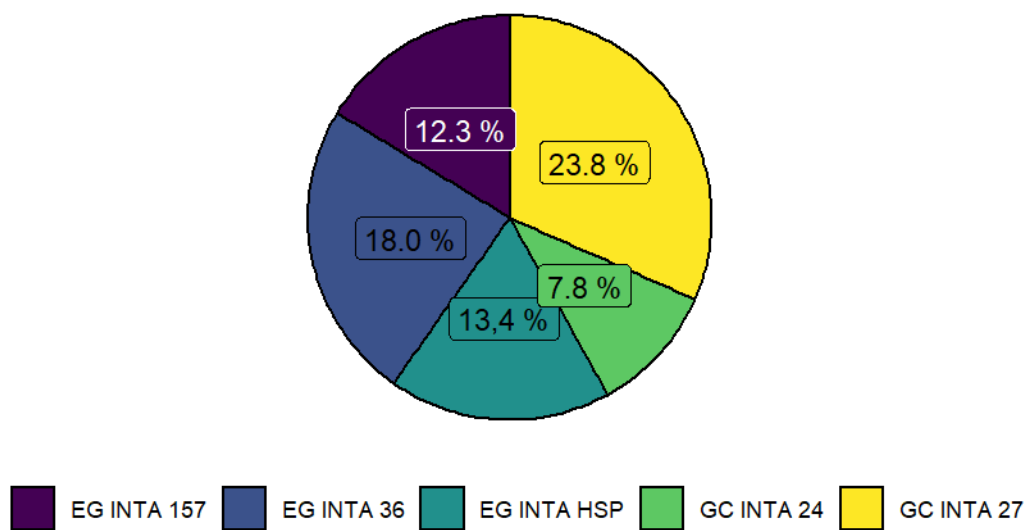
**Cuadro 30. Estadístico de resumen para rajado en tablas**

<b>Materiales genéticos</b>	<b>N</b>	<b>Promedio (cm)</b>		<b>Long. Media (cm/m)</b>	<b>C.V. (%)</b>	<b>Mín. (cm)</b>	<b>Máx. (cm)</b>
EG INTA HSP	161	42,17	ab	13,18	61,27	3,00	127,50
EG INTA 157	113	38,29	bc	11,97	53,80	7,00	105,20
EG INTA 36	178	57,41	ad	17,94	48,69	8,00	173,00
GC INTA 24	105	24,04	c	7,51	61,57	3,00	82,00
GC INTA 27	137	73,03	d	22,82	46,36	10,00	210,00

Valores promedio (cm), longitud media (cm/m), coeficiente de variación (C.V.), máximo (Máx.), mínimo (Mín.) y cantidad de tablas medidas (N). Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ). Test Tukey-Kramer.

El 90 % de las tablas evaluadas tuvo presencia de rajadura. Los valores promedio de longitud total de rajado oscilaron entre 24,04 cm y 73,03 cm, con menores valores para el clon GC INTA 24 y mayores para el clon GC INTA 27. Existió una gran variabilidad en los valores de rajado para todos los materiales genéticos evaluados, con el mayor valor para GC INTA 24, seguido por el material seminal. La longitud media de rajado osciló entre los 7,51 cm/m a 22,82 cm/m.

En la Figura 20 se observan los porcentajes de pérdida promedio por rajaduras en tablas aserradas.



**Figura 20. Porcentaje promedio en pérdida por presencia de rajado en tablas aserradas.**

EG INTA HSP presentó en promedio 13 % de pérdida por rajado y en los clones EG INTA 157 y GC INTA 24, presentaron valores porcentuales menores (12 % y 8 %, respectivamente). Contrariamente a lo sucedido con GC INTA 27 y EG INTA 36, que tuvieron mayores pérdidas volumétricas por rajado respecto al material seminal, en 24 % y 18 %, respectivamente (Figura 20).

Respecto a la posición del rollo en el fuste, R1 y R2 no presentaron diferencia estadísticamente significativa en pérdida de volumen por rajado para ninguno de los materiales ensayados. Este comportamiento fue similar ante la presencia o ausencia de médula en las tablas.

### *Alabeos*

En el Cuadro 31 se observa el porcentaje de piezas con presencia de defectos para cada material genético.

**Cuadro 31. Presencia de defectos en tablas aserradas expresada en porcentajes.**

<b>Materiales genéticos</b>	<b>N° Tablas</b>	<b>Combado (%)</b>	<b>Abarquillado (%)</b>	<b>Encorvado (%)</b>	<b>Revirado (%)</b>
EG INTA HSP	174	95,98	95,98	82,18	16,09
EG INTA 157	126	93,65	78,57	79,37	16,67
EG INTA 36	193	92,75	91,71	78,76	10,88
GC INTA 24	117	99,15	90,60	66,67	7,69
GC INTA 27	143	98,60	94,41	76,22	10,49

El alabeo que ocurrió en menor proporción fue el revirado, mientras que el encorvado, combado y abarquillado sucedieron con mayor frecuencia en las tablas aserradas.

*Combado:* La presencia de combado en las tablas fue superior al 92 % en todos los materiales evaluados. En el Cuadro 32, se presenta el promedio de combado por cada material genético, clasificado de acuerdo con la presencia o ausencia de médula, y en la Figura 21, se presentan las comparaciones para todos los materiales genéticos analizados.

**Cuadro 32. Estadístico de resumen para tablas con combado (mm),**

<b>Materiales genéticos</b>	<b>N</b>	<b>Ausencia de médula en tabla</b>				<b>Presencia de médula en tabla</b>				
		<b>Combado (mm)</b>	<b>C.V. (%)</b>	<b>Mín. (mm)</b>	<b>Máx. (mm)</b>	<b>N</b>	<b>Combado (mm)</b>	<b>C.V. (%)</b>	<b>Mín. (mm)</b>	<b>Máx. (mm)</b>
EG INTA HSP	139	12,27 a	57,72	3,43	43,98	28	9,07 a	44,80	3,30	18,97
EG INTA 157	100	13,98 a	52,53	3,98	33,79	17	9,82 a	50,23	3,86	22,96
EG INTA 36	151	11,35 a	53,44	3,24	37,58	28	9,94 a	62,15	4,25	32,71
GC INTA 24	100	12,49 a	55,52	3,13	33,06	16	6,85 a	26,58	4,37	10,63
GC INTA 27	114	13,08 a	50,06	3,63	31,16	27	10,56 a	52,45	3,52	22,48

Valores promedios. Coeficiente de variación (C.V.), mínimo (Mín.), máximo (Máx.) y cantidad de muestras (N). Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ). Test Tukey-Kramer.

Para la variable combado de tablas con médula y sin médula, no se presentaron diferencias significativas entre materiales evaluados. Esto podría indicar que el defecto de combado fue debido al sistema de aserrado más que por orígenes genéticos. La variabilidad de los valores obtenidos para ambas categorías de tablas, resultó con una dispersión alta, demostrando un comportamiento heterogéneo.

*Encorvado:*

En el Cuadro 33 se presentan los valores promedios de encorvado por cada material genético, discriminado por presencia o ausencia de médula.

**Cuadro 33. Estadístico de resumen para tablas con encorvado**

Materiales genéticos	Ausencia de médula en tablas					Presencia de médula en tablas				
	N	Encorvado (mm)	C.V. (%)	Mín. (mm)	Máx. (mm)	N	Encorvado (mm)	CV (%)	Mín. (mm)	Máx. (mm)
EG INTA HSP	114	13,57 ab	70,71	4,03	55,19	29	23,40 a	70,51	7,60	77,14
EG INTA 157	80	14,39 ab	62,61	3,00	45,54	19	14,37 a	36,74	3,22	25,66
EG INTA 36	126	12,85 ab	47,42	3,37	44,85	26	17,52 a	48,02	5,03	40,06
GC INTA 24	62	12,34 a	49,19	3,85	28,66	16	19,58 a	71,59	5,09	47,51
GC INTA 27	84	15,40 b	45,15	4,55	32,33	25	17,21 a	34,89	7,34	34,41

Valores promedio(mm). Coeficiente de variación (C.V.), mínimo (Mín.), máximo (Máx.) y cantidad de muestras (N). Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ). Test Tukey-Kramer.

El material con menos presencia de encorvado en tablas evaluadas, sin discriminar la presencia o ausencia de médula, fue el GC INTA 24, arrojando un 66 % de las tablas con este defecto, mientras que el material seminal fue el que presentó mayor presencia de este defecto, 82 %. Para los materiales clonales intraespecíficos EG los valores de tablas con presencia de encorvados estuvieron entre 77 % y 79 %.

En ambas categorías de tablas, las mayores dispersiones de datos se observaron en el material seminal, seguido por GC INTA 24 para el caso de tablas con médula.

#### *Abarquillado:*

En el Cuadro 33 se observan los valores promedios de abarquillado para cada material genético, según tablas con presencia o ausencia de médula.

**Cuadro 34. Estadístico de resumen para tablas con abarquillado.**

Materiales genéticos	Abarquillado de tabla sin médula					Abarquillado de tabla con médula				
	N	Abarquillado (mm)	C.V. (mm)	Mín. (mm)	Máx. (mm)	N	Abarquillado (mm)	C.V. (mm)	Mín. (mm)	Máx. (mm)
EG INTA HSP	139	4,25 ab	20,64	2,64	8,18	28	4,07 ab	16,12	3,00	5,69
EG INTA 157	85	4,36 a	69,53	1,76	30,00	14	3,46 a	34,64	1,93	5,24
EG INTA 36	149	5,13 bc	21,91	2,87	9,82	28	5,48 bc	36,86	3,94	15,16
GC INTA 24	94	4,48 ab	25,95	3,05	12,53	12	4,09 a	14,49	2,89	4,67
GC INTA 27	107	5,73 c	42,99	1,82	21,42	28	6,00 c	37,45	3,49	12,44

Valores promedio(mm). Coeficiente de variación (C.V.), mínimo (Mín.), máximo (Máx.) y cantidad de muestras (N). Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ). Test Tukey-Kramer.

Para tablas libres de médula y con médula el material seminal se diferenció estadísticamente solo del clon GC INTA 27. Sus valores medios en ambas categorías de tablas fueron intermedias a la obtenida para los clones intraespecíficos EG y clones híbridos interespecíficos GC. Entre clones, el GC INTA 27 se diferenció estadísticamente para ambas categorías de tablas con los EG INTA 157 y GC INTA 24, en cambio estos dos no tuvieron diferencias significativas entre ambos. Mientras el EG INTA 36 no tuvo diferencia significativa al GC INTA 27 en tablas con médula. En aquellas con ausencia de médula EG INTA 36 no se diferenció estadísticamente con GC INTA 24.

Para ambas categorías de tablas los mayores valores de abarquillado se presentaron en los clones EG INTA 36 y GC INTA 27. En tablas sin médula el material seminal se destacó con promedios menores de abarquillado respecto a los demás materiales evaluados. Mientras que en tablas con presencia de médula se observaron menores valores de abarquillado en EG INTA 157. El comportamiento del abarquillado resultó más homogéneo en el material seminal, en tablas sin médula y en GC INTA 24 en tablas con médulas.

#### *Revirado:*

En el Cuadro 35, se visualiza los promedios del defecto revirado de cada material genético, diferenciando las tablas según ausencia o presencia de médula.

**Cuadro 35. Estadístico de resumen para tablas con defecto de revirado.**

Materiales genéticos	Revirado en tablas sin médula					Revirado en tablas con médula				
	N	Revirado (mm)	C.V. (mm)	Mín. (mm)	Máx. (mm)	N	Revirado (mm)	C.V. (mm)	Mín. (mm)	Máx. (mm)
EG INTA HSP	21	11,73 a	18,59	7,89	15,12	7	12,64 a	15,99	9,89	15,16
EG INTA 157	13	8,24 a	66,85	2,31	20,08	8	6,61 a	72,81	2,82	16,95
EG INTA 36	17	11,17 a	22,22	7,50	16,00	4	10,71 a	36,79	6,20	15,80
GC INTA 24	5	10,82 a	14,60	8,70	12,60	4	12,50 a	19,91	10,20	15,70
GC INTA 27	13	12,52 a	30,21	7,20	20,40	2	7,60 a	26,05	6,20	9,00

Valores promedio(mm). Coeficiente de variación (C.V.), mínimo (Mín.), máximo (Máx.) y cantidad de muestras (N). Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ). Test Tukey-Kramer.

De acuerdo a lo observado en el Cuadro 35 en ambos casos (tablas con y sin médula) no existieron diferencias entre materiales genéticos para revirado en tablas. En tablas sin médula, se observaron, menores valores de revirado para el clon EG INTA 157, y mayores para el material de GC INTA 27. En tablas con presencia de médula, el material seminal

y el clon EG INTA 157 fueron los que presentaron mayores y menores valores de revirado, respectivamente.

En ambas categorías de tablas la variabilidad de los datos fue mayor en EG INTA 157, con un comportamiento heterogéneo sobre la característica de revirado. En cambio, el resto de los materiales resultaron con un comportamiento menos variable.

## DISCUSIÓN

En todos los materiales genéticos evaluados en el presente trabajo, la incidencia de la médula en las tablas tiene un efecto negativo en cuanto apariencia, coincidiendo con Yang *et al.* (2002). Se debe considerar que la proporción de tablas con presencia de médula puede minimizarse con el aumento de los diámetros de los árboles a talar y utilizando otro sistema de aserrado (Brennan *et al.*, 1992; Tinto, 1986).

Por otra parte, se observó un incremento de pérdida de volumen de tablas por rajaduras en aquellas con presencia de médula, comportamiento similar al encontrado por López *et al.* (2018), para clones de *Eucalyptus* de 7 años y 14 años. En coincidencia, Rocha y Tomaselli (2002), obtuvieron un comportamiento similar para madera de *E. grandis*, donde las rajaduras más grandes se presentaban en las tablas con médula. Este comportamiento puede deberse a la proporción de madera juvenil y madura que se encuentra en los troncos procesados (Severo *et al.*, 2010)

Se considera que las rajaduras presentes en los extremos de las tablas aserradas afectan el rendimiento del producto obtenido y son atribuidas, por una parte al proceso de secado y por otra parte a las tensiones de crecimiento propias de cada material genético (Rosales-Solórzano, 2008). Por otro lado, García y Lima (2000), consideraron que el rajado de los extremos de las tablas, podría ser un posible indicador para seleccionar de materiales genéticos para el aserrado, por no verse afectado por los raleos y la posición de los troncos de los árboles.

En este estudio, existieron pérdidas de volumen de madera aserrada debido al defecto rajado, entre un 4,5 % a 13 % sobre volumen de rollizos, valores superiores a lo determinado por Hernández *et al.* (2014) para *E. dunnii.*, de 2,42 %, medidos inmediatamente aserradas las tablas. Junior y García (2003), determinaron una pérdida de 17 % para *Eucalyptus urophylla* de 19 años de edad, en mediciones 24 horas posteriores al aserrado.

En cambio, existió una pérdida de 8 % a 24 % de volumen de las tablas secas por rajaduras sobre el volumen total producido de madera aserrada, presentando valores menores a lo reportado en *E. saligna* donde fue de 24 % (López *et al.*, 2016), y menores a los valores determinados por López *et al.* (2018), para los mismos clones, quienes obtuvieron intervalos de 12 % a 35 % de pérdida de volumen por rajado en tablas, donde las primeras mediciones fueron 3 meses posteriores al aserrado, con un contenido de humedad entre 15,3 % a 17,8 %. Junior y García (2003), obtuvieron una pérdida de 24 % en *Eucalyptus urophylla* de 19 años en mediciones realizadas 24 horas posteriores al aserrado.

En cuanto a los valores medios de longitud de rajado del presente trabajo, estos fueron de 7,51 cm/m a 22,82 cm/m, para tablas obtenidas de un sistema de corte tangencial. Rocha y Tomaselli (2002), han determinado que los cortes tangenciales, independientemente de la especie, tendrán rajaduras superiores a los de corte radial, debido a la distribución de las tensiones de crecimiento. Por lo cual el sistema de corte es una variable a contemplar en el momento de aserrar los rollizos, para disminuir las presencias de rajado en tablas.

Respecto a la presencia de alabeos, los valores medios fueron similares a los encontrados por López *et al.* (2016), para tablas de *E. saligna*, quienes mencionaron valores de 9,09 mm a 10,17 mm para combado, 10,20 mm a 11,20 mm para encorvado, 1,55 mm a 2,07 mm para abarquillado y 9,73 mm a 10,74 mm para revirado, mientras que el presente trabajo el rango de valores varió para combado entre 6,85 mm a 13,98 mm, encorvado 13,57 mm a 23,40 mm, abarquillado 3,46 mm a 6,00 mm y revirado 6,61 mm a 12,64 mm. López *et al.* (2018), para los mismos materiales genéticos, presentaron diferencias significativas entre los materiales genéticos para el encorvado y abarquillado en tablas sin médula, aunque en contraste, estos autores no tuvieron diferencias significativas en encorvado entre el GC INTA 24 y GC INTA 27.

Rocha y Tomaselli (2002), en *E. grandis* registraron promedio de 0,15 mm/m para cortes tangenciales y 7,78 mm/m para los cortes radiales para encorvado de tablas, resultando con mayor frecuencia de aparición en tablas de cortes radiales. Este tipo de defecto, se debe principalmente a las tensiones presentes en las tablas, causado por la liberación de las tensiones interna del tronco; y mediante sistema de aserrado orientados a cortes tangenciales y disminución del largo de las piezas finales, se puede reducir la

intensidad y frecuencia de esta deformación (Büchner *et al.*, 2014, Kliger *et al.*, 1996, Tinto, 1986).

Con respecto al combado en el presente trabajo se obtuvo rango de 2,14 mm/m a 4,36 mm/m, similares a los obtenidos Rocha y Tomaselli (2002), en *E. grandis*, quienes obtuvieron valores de 2,26 mm/m a 3,79 mm/m. Este defecto puede ser provocado por las tensiones de crecimiento, en ocasiones, su principal origen es en la exposición de una de las caras a la acción desecante de los rayos solares, o la falta de preparación de las estivas y correcta ubicación y distanciamiento de los separadores (Tinto, 1986). Su presencia se puede disminuir con diagrama de corte radial, y es factible de ser controlado durante el proceso de secado, aplicando peso sobre los paquetes de madera (Büchner *et al.*, 2014).

El defecto de abarquillado, es frecuente en tablas tangenciales y está influenciado por el diagrama de corte de los rollizos, donde las piezas aserradas en orientación tangencial causan este tipo de curvatura y la diferencia de la contracción tangencial y radial que existe en la madera (França *et al.*, 2019; Rocha y Trugilho, 2006). Los cortes radiales constituyen un medio eficaz para evitar este tipo de defectos, así como también la aplicación de peso en la cubierta de las estivas, limitando la tendencia natural de formar el abarquillado en las tablas (Tinto, 1986). Se debe contemplar que, a dimensiones menores de ancho de las tablas, como también a relaciones de escuadrías próximas a 1 (espesor/ancho), el defecto de abarquillado incide en menor medida.

La formación del defecto revirado, es una combinación de una contracción longitudinal desigual y la presencia de grano inclinado en las tablas (López *et al.*, 2018; Tinto, 1986). La presencia del defecto revirado en tablas fue variable, se observó una cantidad de tablas afectadas similar a la bibliografía consultada para el EG INTA 36 (López *et al.*, 2018). Este tipo de defecto, consecuencia del grano inclinado, tiene un efecto perjudicial para maderas estructurales y produce reducción de la rigidez de la madera (Franca, 2020; Brémaud *et al.*, 2010; Hernández *et al.*, 2007).

Entre los defectos de alabeo de las tablas, el abarquillado y revirado son los que más limitan el mecanizado de la madera, dificultando o llegando hacer inviable el cepillado de las piezas. Los defectos de forma pueden ser atenuados tomando los recaudos técnicos necesarios, por ejemplo, correcto estivado, secado, aserrado y



acondicionamiento. El encorvado y el combado pueden mitigarse o incluso eliminarse reduciendo la longitud de las piezas (Rocha y Trugilho 2006).

### CONCLUSIONES

Los diferentes materiales genéticos y la presencia de defectos afectan al rendimiento del producto final obtenido, ocasionando una disminución de la producción.

La presencia de médula en las tablas favoreció la aparición del defecto de rajado, causando una reducción en el rendimiento del producto final.

Las tablas aserradas proveniente del segundo rollizo arrojaron una mayor cantidad de piezas con presencia de médula.

El clon *E. grandis* x *E. camaldulensis*, GC INTA 24 se destacó como uno de los materiales con menores pérdidas de volumen por rajado en tablas. En cambio, el clon *E. grandis* x *E. camaldulensis*, GC INTA 27 demostró lo contrario, y el material seminal presentó un comportamiento intermedio entre los materiales genéticos evaluados.

El clon *E. grandis*, EG INTA 157 tuvo un mejor desempeño en cuanto a abarquillado, revirado y encorvado. En el caso de combado, *E. grandis* x *E. camaldulensis*, GC INTA 24 y el clon *E. grandis*, EG INTA 36 se destacaron por presentar un mejor comportamiento.

En términos generales, el material seminal presentó un comportamiento intermedio entre los materiales genéticos evaluados, respecto a la presencia de alabeos, excepto para encorvado y revirado en tablas con presencia de médula, que presentó un desempeño inferior a los clones.

En futuros estudios se propone evaluar distintos materiales genéticos en cuanto a la presencia de defectos, rajados y proporción de médula en tablas y tirantes provenientes de distintos sistemas de corte en el aserrado.

## **CAPÍTULO 6. DISCUSIONES GENERALES**

Los resultados obtenidos de la caracterización de los clones evaluados, aportan información para la toma de decisiones en programas de mejoramiento y la realización de procedimientos adecuados para la manipulación de la madera en campo e industria del aserrado. Efectuar estudios de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de los materiales genéticos, contribuye al conocimiento de las aplicaciones más adecuadas para diferentes productos. De igual manera conocer las características de la madera aserrada derivado de los rollizos de estos clones, permite identificar la incidencia de determinados defectos en el rendimiento final del producto y cuáles serían los recaudos técnicos necesarios para atenuarlos.

En estudio dendrométricos, principalmente en conicidad de los rollizos, los valores hallados de 0,46 a 0,77 cm/m resultaron inferiores a los 1,4 cm/m obtenidos por Ferreira *et al.* (2004), en evaluaciones de 11 clones de *E. grandis* con rango de edad de 7,5 a 13,5 años. Estudios efectuados con *E. grandis* de la zona de Entre Ríos (Concordia), se determinó que la conicidad de las trozas no afectó el rendimiento en el aserrado (Mastrandrea *et al.*, 2009).

En relación a la proporción de duramen, en el presente estudio, alcanzaron un promedio de 56 % a la altura del DAP, valores superiores a los 51 % fueron reportados por Gominho *et al.* (2001), para clones híbridos de Urograndis de 5 – 6 años. Algunos estudios han demostrado que el área del duramen está sujeta al crecimiento del árbol y no a su edad (Cherelli *et al.*, 2018; Pillai *et al.*, 2012; Kumar y Dhillon, 2014). En lo concerniente a los resultados con respecto a las tensiones de crecimiento a través del índice de rajado en rollizos (IRr), oscilaron entre 0,40 a 2,82 para las 72 horas, mostrando el incremento en las tensiones de crecimiento con el transcurrir del tiempo de observación tendencias similares con las referencias bibliográficas (González *et al.*, 2014; Oberschelp *et al.*, 2007). En cuanto al índice de rajado en rollizos a las 144 horas, se obtuvo un incremento en la rapidez de aumento del IRr en los clones puros de EG y una reducción en los clones híbridos interespecíficos GC, comparativamente con el registro a las 72 horas. Esto puede deberse a que la mayoría de las tensiones se liberan en las primeras horas luego del apeo en los clones GC en comparación con los clones EG.

En propiedades físicas, la densidad básica para el presente trabajo varió entre 360 kg/m<sup>3</sup> y 550 kg/m<sup>3</sup>, fueron superiores a los registrados para los mismos materiales de 6 años de edad por López *et al.* (2016), este comportamiento puede deberse a la presencia de mayor porcentaje de leño maduro. La densidad básica de la madera puede variar por

las características propia de cada material genético y su relación con el ambiente, su composición anatómica tales como tipos células, dimensiones del lumen y paredes celulares, así como contenido de extraíble, proporción y tipo de fibras (Lima *et al.*, 2014; Omonte *et al.*, 2011). En coincidencia con Arango *et al.* (2001), para todos los materiales genéticos, la densidad presentó un patrón creciente con la altura del fuste. Esta variación de médula a corteza de la densidad, está relacionada con la edad de los árboles y la transición entre madera juvenil y madura (Zobel *et al.*, 1989). Con respecto a las evaluaciones de contracción radial, tangencial y coeficiente de anisotropía, en el presente trabajo, demostraron que los clones híbridos interespecíficos de *Eucalyptus* (GC) exhibieron valores superiores a los puros (EG) y al material seminal. A su vez, los valores fueron mayores a literatura consultada, aunque coincidente con el ordenamiento de los materiales genéticos evaluados por López *et al.* (2016). Esta divergencia puede deberse a la diferencia de edad, a mayores edades existen una estabilización en los distintos caracteres de la madera para diferentes sitios de crecimientos. La diferenciación en aspectos de contracción e hinchamiento de los materiales evaluados, podría estar dado por la cantidad de extractivos presente en la pared celular que los conforman, conocido como fenómeno de abultamiento, la reducción es proporcional al espacio ocupado por los extraíbles en las paredes celulares (Avila y Herrera, 2012).

En relación a las propiedades mecánicas, los valores medios de los parámetros evaluados a la flexión estática, presentaron un orden jerárquico similar en los clones puros evaluados por López *et al.* (2009), a la edad de 6 años. La rigidez (MOE) obtenida para los clones híbridos interespecíficos GC, fue mayor respecto a los demás materiales evaluados, confiriéndole mayor aptitud para aplicaciones que demandan esfuerzo estructural, coincidiendo con los resultados obtenidos por otros autores también para híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* de 9 años (Pima *et al.*, 2018). La diferencia en los materiales genéticos evaluados, podría estar influenciado por el ángulo microfibrilar (AMF), valores altos ocasionan menores valores para la rigidez (Baldoni *et al.*, 2021). También la proporción de cristalinidad de la celulosa esta correlacionado positivamente con la rigidez de la madera a la flexión (Fujimoto *et al.*, 2007). En el caso de los valores a la compresión paralela a las fibras presentados en este estudio, resultaron inferiores respecto a evaluaciones de *E. grandis* realizadas a mayores edades (Sosa Zitto *et al.*, 2019; Sánchez Acosta *et al.*, 2005; Pérez del Castillo, 2001), estas diferencias pueden deberse a la edad y proporción de madera madura. Se ha observado para la compresión paralela a

la fibra una correlación positiva con la altura y ancho de los radios; diámetro de lumen de las células, longitud de fibra y una correlación negativa con la frecuencia de los vasos (Marini *et al.*, 2022). En propiedades de cizallamiento, los valores promedios para los clones híbridos GC, en este estudio, estuvo entre 7,52 MPa y 12,58 MPa, valores algo inferiores a los reportados por la literatura para los mismos clones híbridos de 9 años (Pima *et al.*, 2018). Lima *et al.* (2014), observaron una correlación positiva del cizallamiento con la densidad específica.

Los valores medios de rajadura o clivaje fueron de 0,49 MPa a 1,00 MPa, encontrándose dentro del rango reportado en la literatura para árboles de *E. grandis* de entre 9 y 41 años (Lahr *et al.*, 2018). En los clones híbridos GC, estos fueron superiores a los valores hallados para la edad de 7 años, pero con valores similares de coeficientes de variación (Turinawe *et al.*, 2014). La variación de los valores de clivaje depende de la disposición y orientación de las fibras, que generan un grano recto o en espiral (Turinawe *et al.*, 2014). Los valores medios de dureza Janka hallados en este trabajo, estuvieron entre 20,78 MPa y 65,97 MPa. Para los clones híbridos GC, alcanzaron valores disímiles a los reportado para el híbrido *E. grandis* x *E. tereticornis* (Sánchez Acosta *et al.*, 2016). En cambio, para el *E. grandis* seminal fueron superiores a los registrados por Pérez del Castillo (2021), esto se debe a la diferencia de edad de los materiales y sitios de los ensayos. Además, la dureza está relacionada con varias características intrínsecas de la madera, tales como, espesores de pared celular, composición y distribución de los elementos anatómicos de la madera (Gallio *et al.*, 2016).

En cuanto a las tablas aserradas en el presente trabajo, la incidencia de la médula en éstas, tiene un efecto negativo en cuanto apariencia como también estructuralmente, coincidiendo con Yang *et al.* (2002). Se observó un incremento de la pérdida de volumen de tablas por rajaduras en aquellas con presencia de médula. Un comportamiento similar al encontrado por López *et al.* (2018), para clones de *Eucalyptus* de 7 años y 14 años de edad. Las rajaduras presentes son atribuidas al proceso de secado y a las tensiones de crecimiento propias de cada material genético (Rosales-Solórzano, 2008). Por otro lado, García y Lima (2000), consideraron que el rajado de los extremos de las tablas, podría ser un posible indicador para seleccionar de materiales genéticos para el aserrado, por no verse afectado por los raleos y la posición de los troncos de los árboles. En este estudio, existieron pérdidas por rajaduras entre 8 % y 24 % del volumen de las tablas secas del volumen total producido de madera aserrada. Estos valores son menores a los

determinados por López *et al.* (2018), para los mismos clones, quienes obtuvieron intervalos de 12 % a 35 %. Por otra parte, Rocha y Tomaselli (2002), han determinado que los cortes tangenciales son más afectados por el defecto de las rajaduras que los de corte radial debido a la distribución de las tensiones de crecimiento.

Respecto a la presencia de alabeos, los valores para combado fueron entre 6,85 mm a 13,98 mm, encorvado 13,57 mm a 23,40 mm, abarquillado 3,46 mm a 6,00 mm y revirado 6,61 mm a 12,64 mm. López *et al.* (2018), para los mismos materiales genéticos, presentaron diferencias significativas entre los materiales genéticos para el encorvado y abarquillado en tablas sin médula, aunque en contraste, estos autores no tuvieron diferencias significativas en encorvado entre el GC INTA 24 y GC INTA 27. El defecto de encorvado, se debe principalmente a las tensiones presentes en las tablas, y se podría reducir la intensidad y frecuencia de esta deformación mediante un sistema de aserrado para obtención de cortes tangenciales y con una disminución del largo de las piezas finales (Büchner *et al.*, 2014; Kliger *et al.*, 1996). Con respecto al combado, se podría prevenir su aparición mediante la preparación de las estivas y la correcta ubicación y distanciamiento de los separadores (Tinto, 1986). Por otro lado, podría disminuir su presencia, aplicando peso sobre los paquetes de madera (Büchner *et al.*, 2014). Para el abarquillado, son frecuentes en tablas tangenciales, influenciado por el diagrama de corte de los rollizos (França *et al.*, 2019; Rocha y Trugilho, 2006). Por último, el revirado es consecuencia del grano inclinado, ejerce un efecto perjudicial para maderas estructurales y produce una reducción de la rigidez de la madera (Franca, 2020; Brémaud *et al.*, 2010; Hernández *et al.*, 2007)

Entre los defectos de alabeo de las tablas, el abarquillado y revirado son los que más limitan el mecanizado de la madera, dificultando y a veces resultando inviable el cepillado de las piezas. Los defectos de forma pueden ser atenuados tomando los recaudos técnicos necesarios, por ejemplo, correcto estivado, secado, aserrado y acondicionamiento. El encorvado y el combado pueden mitigarse o incluso eliminarse reduciendo la longitud de las piezas (Rocha y Trugilho 2006).

## **CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES GENERALES**

Se evidenció por medio de los resultados, la aceptación de las diferentes hipótesis planteadas, donde se puede concluir la existencia dentro de los clones de *Eucalyptus* evaluados, la superioridad o similitud de comportamiento de la madera con respecto al material seminal de *E. grandis*, contemplando la alternancia de diferentes clones para determinadas características evaluadas. Donde las diferencias halladas deberán ser consideradas en el momento de analizar la aptitud o conveniencia de uso de los diferentes materiales genéticos en su transformación industrial.

Respecto a lo anterior, en cuanto a la forma de fuste y conicidad media de los rollizos, se destacó el *E. grandis* INTA 157, superando al material seminal y diferenciado de los demás clones. Estas características inciden en el rendimiento en aserrado y debobinado, dado que, a mayores valores de esta característica en la materia prima a procesar, originará una menor producción de tablas, tirantes y láminas para compensado.

En la proporción de duramen, resultaron mayores en clones intraespecíficos *E. grandis* INTA 36 e INTA 157, favorable para usos industriales aserrables; en relación duramen/albura, con menores valores resultaron los clones interespecíficos *E. grandis* x *E. camaldulensis* INTA 27 e INTA 24, que habilitan la utilización de su madera en la industria del carbón vegetal, proporcionando mayores rendimientos en peso. A su vez, el *E. grandis* x *E. camaldulensis* INTA 27, presentó un mayor espesor de albura, por lo tanto, podría ser considerado para destinos finales como la industria celulósica y en otras aplicaciones que requieran un proceso de impregnado.

Por otro lado, el *E. grandis* x *E. camaldulensis* INTA 24 presentó mejor performance en cuanto al índice de rajado en rollizos. A su vez, para todos los materiales evaluados, el valor medio para el índice de rajado en rollizos se incrementó con una tendencia lineal con el tiempo de observación.

Respecto a las propiedades de densidad básica y estacionada, los materiales clonales híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* resultaron con valores mayores y con diferencias significativas al resto de los materiales evaluados, que análogamente les confiere mejores aptitudes para usos de mayor resistencia mecánica y/o usos bioenergéticos. Por otra parte, los clones intraespecíficos de *E. grandis* presentaron características más homogéneas para la densidad tanto en sentido radial como axial, permitiendo mejores propiedades tecnológicas para el secado y variaciones dimensionales, obteniendo al mismo tiempo, mejores rendimientos durante el proceso de



aserrado, por sus menores deformaciones. Se observó en todos los casos, mayores densidades en la zona radial más externa del árbol.

Se debe considerar que las maderas clasificadas en base a su densidad básica, como livianas y/o ligeras, los clones *E. grandis* INTA 157; *E. grandis* INTA 36 y el material seminal de *E. grandis* INTA HSP, son aptas para uso de mueblerías, celulosas y papel. En cambio, las maderas con tendencias a semipesados y/o pesadas, en el caso de ambos clones híbridos interespecíficos *E. grandis* x *E. camaldulensis* INTA 27 e INTA 24, se presentan como alternativas de empleo en pisos, decks y estructuras.

Las evaluaciones de contracción radial, tangencial y coeficiente de anisotropía, demostraron que los clones híbridos interespecíficos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* INTA 27 e INTA 24 exhibieron valores superiores a los puros *E. grandis* y material seminal. Aquellos materiales con coeficiente de anisotropía alta podrían ser tratada por diseño a través de utilización de madera proveniente de cortes radiales.

Respecto de las contracciones volumétricas de los materiales evaluados no se obtuvieron diferencias significativas para las distintas alturas de fuste examinadas indicando homogeneidad de la madera en esta propiedad. Presentando la tendencia a incrementar sus valores con la altura, excepto para *E. grandis* x *E. camaldulensis* INTA 27.

Por otro lado, los clones híbridos *E. grandis* x *E. camaldulensis* se destacaron con valores medios superiores para todas las propiedades mecánicas ensayadas, dentro de estos, *E. grandis* x *E. camaldulensis* INTA 27 resultó superior a *E. grandis* x *E. camaldulensis* INTA 24.

Por los valores de las propiedades mecánicas alcanzadas, los materiales clonales de *E. grandis*, podrían desempeñarse bien en usos para muebles, construcciones ligeras o fabricación de componentes que requieran solicitudes estructurales de manera similar a los clones híbridos interespecíficos *E. grandis* x *E. camaldulensis*, pero con la precaución de utilizar mayores esquadras.

De acuerdo con los valores de rigidez, la madera de los materiales híbridos, *E. grandis* x *E. camaldulensis*, soportaría mejor las sollicitaciones en compresión paralela a las fibras, por lo que podría ser considerado adecuado para construcciones civiles en usos como vigas. En referencia a los valores obtenidos para la propiedad rajadura o clivaje, los híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* presentaron mayor aptitud para su

trabajabilidad y utilización en productos de madera tallada y también como leña. Conforme a los valores hallados en resistencia a la penetración o dureza, los clones híbridos interespecíficos se podrían destinar para aplicaciones de pisos, decks.

De acuerdo a los resultados obtenidos para la madera de los clones de *Eucalyptus grandis* se sugiere al Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad en Obras Civiles (CIRSOC) la consideración y/o aprobación de caracterizar estructuralmente, en piezas de grandes escuadrías, estos clones a fin de considerarlos para uso estructural.

Respecto al estudio de las características visuales de las tablas aserradas, la presencia de defectos afecta al rendimiento del producto final obtenido, ocasionando una disminución de la producción. En este sentido, las tablas aserradas proveniente del segundo rollizo arrojaron una mayor cantidad de piezas con presencia de médula. A su vez, la médula en las tablas favoreció la aparición del defecto de rajado, causando una reducción en el rendimiento de producto final.

Continuando a lo anterior, el clon *E. grandis* x *E. camaldulensis*, GC INTA 24 se destacó como uno de los materiales con menores pérdidas de volumen por rajado en tablas y el material seminal presentó un comportamiento intermedio entre los materiales genéticos evaluados.

Por otra parte, el clon *E. grandis*, EG INTA 157, tuvo un mejor desempeño, respecto a las deformaciones de tablas en cuanto al abarquillado, revirado y encorvado. En el caso de combado, *E. grandis* x *E. camaldulensis*, GC INTA 24 y el clon *E. grandis*, EG INTA 36 se destacaron por presentar un mejor comportamiento.

En términos generales, el material seminal presentó un comportamiento intermedio entre los materiales genéticos evaluados, respecto a la presencia de alabeos, excepto para encorvado y revirado en tablas con presencia de médula, que presentó un desempeño inferior a los clones.

En futuros estudios se propone evaluar distintos materiales genéticos en cuanto a la presencia de defectos, rajados y proporción de médula en tablas y tirantes provenientes de distintos sistemas de corte en el aserrado. Además, se debería contemplar aspectos anatómicos y químicos de la madera vinculada a las propiedades físicas. Considerar muestreos para propiedades físicas a mayores alturas en los clones.

También, debido al incremento de plantaciones de estos clones, sería recomendable continuar realizando estudios sobre el comportamiento en el aserrado, secado, clasificación visual por resistencia, composición química, características anatómicas como el ángulo microfibrilar, propiedades directamente vinculada a las propiedades físicas y mecánicas de la madera, durabilidad natural y adquirida.

## REFERENCIAS

- Alarcón, P.C.; Fernández, M.E.; Pathauer, P.; Harrand, L; Oberschelp, GPJ; Monteoliva, S.; Martínez-Meier, A. (2018). Comparación de metodologías para la estimación de la densidad de la madera y sus implicancias en la estimación de parámetros genéticos en tres especies del género *Eucalyptus*. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata. Vol. 117 (2), 175-183.
- Almeida, D. H, Chahud, E., Branco, L. A. M. N., Christoforo, A. L., & Lahr, F. A. R. (2015). Cleavage Parallel to the Grain for *Schizolobium amazonicum* Wood Specie. International Journal of Materials Engineering, 5(4), 105-108.
- Andriamitantsoa, L. D. (1995). Creep, en Timber Engineering. Centrum Hout, The Netherlands. Step 1(19), 5 p.
- Aparício, J.A., Caniza, F.J. y Larocca, F. (2011). Crecimiento y caracteres de la madera de *Eucalyptus grandis* con manejo para uso sólidos en un suelo malezal. resultados a los 8 años de edad. Consorcios Forestales Corrientes Norte, Corrientes Centro, Río Uruguay y Forestal Argentina S.A. Paso de los Libres.
- Arango A. B., Hoyos G., J. F., Vásquez C., A. M. (2001). Variación de la densidad básica de la madera de *Eucalyptus grandis* en árboles de siete años de edad. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 54(1 y 2), 1275-1284.
- Arango, A.B., y Tamayo, L. (2008). Densidad de la madera en clones de *Eucalyptus* por densitometría de rayos X. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 45, 87-99.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), N° 143/52
- Ávila, L.E., Herrera, M.A. (2012). Efecto de los extraíbles en tres propiedades físicas de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* procedente de Michoacán, México. Bosque (Valdivia), 33(2), 227-232. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002012000200013>
- Baillères, H. (1994). Précontraintes de croissance et propriétés mécano-physiques de clones d'Eucalyptus (Pointe Noire, Congo): hétérogénéités, corrélations et interprétations histologiques. [Thèse (docteur) -L' Université de Bordeaux I].
- Bal, B. C., Bektas, I. (2013). The Mechanical Properties of Heartwood and Sapwood of Flooded gum (*Eucalyptus grandis*) Grown in Karabucak, Turkey. Ormancilik Dergisi 9(1).71-76.
- Balboni, B. M., Batista, A. S., García, J. N. (2021). Evaluating the potential for timber production of young forests of *Eucalyptus* spp. clones used for bioenergy: Wood density and mechanical properties. Australian Forestry, 84(3), 122-132. <https://doi.org/10.1080/00049158.2021.1945238>
- Balmelli, G. y Rasquin F. (2000). Evaluación de especies de *Eucalyptus* al quinto año. Serie Técnica (114), 23 p. ISBN: 9974 -38 -120 -7.
- Balmelli, G. y Rasquin F. (2006). Productividad de diferentes especies de *Eucalyptus* sobre areniscas de Tacuarembó-Rivera. 30 años de investigación en suelos de areniscas. INIA Tacuarembó. (Ed) María Bemhaja y Oscar Pittaluga. Serie Técnica N° 159. 23 p. ISBN: 9974-38-224-6.

- Barraza, G.Q., Cobos, F.C., Larreta, B.V. y Hernández, F.J. (2009). Estimación del diámetro, altura y volumen a partir del tocón para especies forestales de Durango. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 3(9), 23-39.
- Batista, D.C., Klitzke, R.J., Taborda, C.V. (2010). Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. Ed. Universidade Federal de Santa Maria. *Rev. Ciência Florestal*. 20(4), 665-674. <https://doi.org/10.5902/198050982425>.
- Beale I., Ortiz, E.C. (2013). El Sector Forestal Argentino: EUCALIPTOS. *Revista de divulgación técnica* N° 53. 10 p. ISSN 1852 – 7086.
- Bedetti, F.; Rimoldi, P.; Sanabria, C. (2017). *Eucalyptus camaldulensis* DEHNH. (MYRTACEAE) como una especie casual en el sur de la provincia de santa fe. *Historia natural. Tercera Serie. Volumen 7 (2)*, 143-150. ISSN 0326-1778. (Impresa) ISSN 1853-6581 (En Línea).
- Berger, R. (2000). Efeito do espaçamento e da fertilização sobre o crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. Santa Maria: UFSM, CCR, Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, 107 p.
- Bianchet, J. (1980). Ensayo físico y mecánico en maderas de coníferas: *Pinus ponderosa*, *P. radiata*, *P. contorta* var. *Latifolia* y *Pseudotsuga menziesii*. Folleto técnico forestal N° 58. Ed. IFONA. 23 p.
- Biechele, T., Nutto, L. y Becker, G. (2009). Growth strain in *Eucalyptus nitens* at different stages of development. *Silva Fennica*, 43(4), 669–679.
- Boland, D.J, Brooker, I., McDonald, M. W. (2006). *Forest trees of Australia*. (5th ed). CSIRO. 768 p. ISBN 0 643 06969 0.
- Boland, D.J., Brophy, J.J. y House, A.P.N. (1991). *Eucalyptus Leaf Oils. Use, Chemistry, Distillation and Marketing*. Melbourne. ACIAR/CSIRO.
- Böthig, S., Sánchez, A., Doldán, J. (2008). Durabilidad natural de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden de plantaciones de rápido crecimiento. Publicación anual del laboratorio tecnológico del Uruguay. *INNOTEC (3)*, 7-16. <https://ojs.latu.org.uy/index.php/INNOTEC/article/view/29> (24-04-2020).
- Braz, R.L., Da Silva Oliveira, J.T., Rosado, A.M., Baptista Vidaurre, G., Lima de Oliveira, J.G., (2017). Deformação residual longitudinal de clones de *Eucalyptus* em local sujeito a sentos. *Floresta Ambiente*, 24. e00028013. DOI 10.1590/2179-8087.028013.
- Brémaud, I., Cabrolhier, P., Gril, J. (2010). Identificación de las propiedades vibratorias anisotrópicas de la madera de padauk con grano entrelazado. *Wood Sci Technol* 44, 355–367. <https://doi.org/10.1007/s00226-010-0348-0>
- Brennan, G.K., Hanks, W.R, Ward, S.L. (1992). Processing plantation-grown Tasmanian blue gum. Department of Conservation and Land Management. WURC Technical Report No. 41, 14.
- Brito, A.S., Vidaurre, G.B., Oliveira, J.T.S., Missia da Silva, J.G., Rodrigues, B.P. y Carneiro, A.C.O. (2019). Effect of planting spacing in production and permeability of heartwood and sapwood of *Eucalyptus* wood. *Floresta e Ambiente*, 26(esp1), e20180378. 9p. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.037818>

- Brosimum lactescens (S. Moore) C. C. Berg (manchinga) Revista el ceprosimad. 06 (2): 29-35.
- Büchner, C.A., Cabrera, P.J., Ipinza, R.C. (2014). Mejoramiento genético de eucaliptos en Chile. Edición: 1ª. Capítulo: Identificación de las limitantes de *Eucalyptus nitens* para madera sólida. Editorial: INFOR – FIA. Editores: Roberto Ipinza, Santiago Barros, Braulio Gutiérrez, Nuno Borralho. 363 – 376.
- Butcher, P.A., McDonald, M.W. y Bell, J.C. (2009). Tree Genetics & Genomes Springer-Verlag. 5: 189. doi.org/10.1007/s11295-008-0169-6
- Caixeta, R.P. (2000). Qualidade da madeira, classificação e seleção de genótipos de eucalipto. [Mestrado em Engenharia Florestal – Universidade Federal de Lavras]. Repositório institucional – Universidad Federal de Lavras.
- Caixeta, R.P., Trugilho, P.F, Da Silva-Rosado, S.C., Lima, J.T. (2003). Propiedades e classificação da madeira aplicadas à seleção de genótipos de *Eucalyptus*. Rev. Árvore 27(1), 43-51. https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000100006.
- Calderón, A.D. (2007). Defectos de las maderas. Cuaderno de dasonomía. Serie didáctica N° 15. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo. 17 p
- Calderón, A., Roig, F., Zanetti, R., Aguado, E. G., Furlani, A. M., y Martínez, F. (2011). Características físicas y mecánicas de maderas de clones de álamos ensayada en la provincia de Mendoza. Mendoza, Argentina. III Congreso internacional de Salicáceas. Argentina. https://www.agroindustria.gov.ar/new/0-0/forestacion/\_archivos/\_biblioteca/Calderon\_Alberto\_1\_TC.pdf
- Calvo, C. F, Cotrina, A.D.; Cuffré, A.G.; Piter, J. C., Stefani, P. M.; Torrán, E.A. (2006). Variación radial y axial del hinchamiento, del factor anisotrópico y de la densidad, en el *Eucalyptus grandis* de Argentina. Maderas. Ciencia y tecnología 8(3), 159-168. ISSN 0717-3644. ISSN online 0718-221X
- Calvo, C. F, Cotrina, A.D.; Cuffré, A.G.; Ott, M.; Piter, J.C.; Stefani, P.M.; Torran, E.A., Vivian, A. (2007). Propiedades de hinchamiento y contracción en la madera de *Eucalyptus grandis* de Argentina. Revista Madeira Arquitetura & Engenharia, 20. ISSN 1806-6097
- Caniza, J.; Lopez, J.; Montenegro, P.; Assame, S. y Aparicio, J., (2007). Variación de las tensiones de crecimiento en tres clones de *Eucalyptus grandis* según el estado de competencia individual. XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos. 9 p.
- Caniza, F.J.; Mastrandrea, C.; Alberti, S.; Aparicio, J.L; Ingaramo. L. (2008). Efecto del raleo en la densidad básica de la madera de *Eucalyptus grandis*. XXIII Jornadas Forestales de Entre Ríos. 10 p.
- Caniza, F.J. (2010). Efecto de los estados de competencia post-raleo en los caracteres de importancia de la madera del *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden para usos sólidos. [Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales]. Repositório Institucional - INTA Digital.
- Cardoso, A., Cagno, M., Cárdenas, P., Gatto, F. (2013). Contracción, hinchamiento y peso específico aparente de madera de eucalipto colorado (*Eucalyptus tereticornis* Smith). Revista del laboratorio tecnológico del Uruguay, (8), 5-12.

- Pupo Carballo, Ivania, Álvarez Lazo, Daniel Alberto, Morejón Rivera, Rogelio, Estévez, Ignacio, & Prieto Ruiz, Libeydys. (2018). Tratamientos para reducir los índices de rajaduras. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 6(3), 260-271.
- Carlquist, S. (2001). *Comparative wood anatomy. Systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood*. 2nd Edition. Springer series in wood science. Springer. Berlin, Germany. 448 p.
- Carmo de Assis Bulhões, O., Costa Cerqueira, C., Moraes Albeny, M., & Filho, S. (1995). Do planejamento e critérios adotados pela CVRD para identificação de clones de *E. grandis* para serraria. *Anais do Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria*. San Pablo, Brasil. IPEF/IPT/IUFRO. 42-49.
- Carvalho, S.P.C., Rodrigues, L.C.E., Calegario N., Savian, T.V, Lima, M.P, Silva, C.A y Mendonça. A.R, Nicoletti, M.F. (2014). Modelagem não linear mista para descrever o afilamento de árvores clonais de *Eucalyptus* sp. *Scientia Forestalis*, 42 (104), 605-614.
- Carvalho, D.E., Santini, E.J., Magno, A.V. Freitas, D.E., Da Rosa Azambuja, R. (2015). Variação dimensional da madeira tratada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana*. Ed. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. *Scientia Agraria Paranaensis* 14(3), 178-182. <https://doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v14n3p178-182>.
- Castro, G. y Fragnelli, G. (2006). New technologies and alternative uses for poplar wood. *Boletín Informativo CIDEU*. Nº. 2,27-36. ISSN 1885-5237
- Cato, S., McMillan, L., Donaldson, L., Richardson, T., Echt, C., & Gardner, R. (2006). Wood Formation from the Base to the Crown in *Pinus radiata*: Gradients of Tracheid Wall Thickness, Wood Density, Radial Growth Rate and Gene Expression. *Plant Molecular Biology*, 60(4), 565-581. <https://doi.org/10.1007/s11103-005-5022-9>
- Cerqueira, C.L., Mora, R., Tonini, H. (2017). Forma do fuste de eucalipto em diferentes arranjos de plantio e espaçamentos. *Advances in Forestry Science*. Cuiabá,4(3), 137-141. <https://doi.org/10.34062/afs.v4i3>
- Chan M.M.H., Araujo, M.O., Azueta G.M. (2002). Los defectos naturales en la madera aserrada. Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, México. *Ingeniería*, 6(1), 29-38.
- Cherelli, S.G., Sartori, M.M.P., Próspero, A.G. y Ballarin, A.W. (2018). Heartwood and sapwood in *Eucalyptus* trees: non-conventional approach to wood quality. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90(1), 425-438. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820160195>.
- COPANT 458:1972. (1972). *Maderas: Selección y colección de muestras*. Comisión Panamericana de Normas Técnicas, Buenos Aires, Argentina. 22 p.
- Coronel, E. (1994). *Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas; aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones*. Santiago del Estero: El Liberal. ISBN: 950-43- 6061-0
- Cortizo, S., Monteverde, M. S., & Abbiati, N. (2017). Caracterización de la madera de cinco clones de *Populus deltoides* seleccionados dentro del programa de mejoramiento de inta. 10. II Congreso Latinoamericano de Estructura de la

- madera. II congreso Ibero-Latinoamericano de la madera en la construcción. 10 p. Repositorio INTA.
- Cuffré, A.G., Calvo, C.F., Genovese, F.V., Dorado, M.L., Piter, J.C. (2010). Caracterización de la durabilidad natural de la madera de *Eucalyptus grandis* de Argentina para su utilización en construcciones. VI Congreso Internacional Sobre Patología y Recuperación de Estructuras. Argentina. 11 p.
- D'antoni, J. (1986). Utilización integral de la madera de eucalipto. II Jornadas Forestales de ER. Concordia, Entre Ríos. 5p.
- Da Silva, J.C., Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho, A.M.M, Faria, B.F.H. (2017). Métodos para el alivio y reducción de los efectos del estrés de crecimiento en *Eucalyptus urophylla*. Rev. Árvore 41 (4), 8 p. <https://doi.org/10.1590/1806-90882017000400003>
- De Freitas A., Monteiro de Carvalho, K., Aparecida García, A., De Figueredo, R., Latorraca, JV. (2008). Caracterização do rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus saligna* Smith nas condições verde e seca. Revista Forestal Venezolana 52(1), 71-76.
- Déjardin A, Laurans F, Arnaud D, Breton C, Pilate G, Leple JC. (2010). Wood formation in Angiosperms. Comptes Rendus Biologies 333(4), 325-334. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2010.01.010>
- Delmastro, R.; J. Díaz-vaz.; J. Schlatter. (1980). Variabilidad de las características hereditarias del *Pinus radiata* (D. Don). Revisión bibliográfica. Investigación y desarrollo forestal. Corporación Nacional Forestal. Santiago, Chile. 157 p.
- Derikvand, M., Kotlarewski, N., Lee, M., Jiao, H., & Nolan, G. (2019). Characterisation of Physical and Mechanical Properties of Unthinned and Unpruned Plantation-Grown *Eucalyptus nitens* H. Deane & Maiden Lumber. Forests, 10(2), 194. <https://doi.org/10.3390/f10020194>
- Diez, M.R, Fernandez Golfin, J.I., Hermoso, E. (2001). Causas de las deformaciones en madera estructural de *Pinus nigra*. Investigación Agraria.: Sist. Recur. For.,10, 245 -252.
- Dirección Forestal Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca - Uruguay (1994). Proyecto Regional de Alternativas para la Inversión Forestal (PRAIF). Capítulo IV Sistemas actuales de producción forestal. Departamento de desarrollo regional y medio ambiente y Secretaria general de la organización de los estados americanos. Washington, D.C.
- Di Rienzo, J.A.; Guzmán A.W.; Casanoves F. (2002). A Multiple Comparisons Method based on the Distribution of the Root Node Distance of a Binary Tree. Journal of Agricultural, Biological, and Environment Statistics, 7(2): 1-14.
- Duran A. (2004). La Construcción de Viviendas en Madera. Corma. 643 pág.
- Elias, P., y Boucher, D. (2014). Planting for the Future How Demand for Wood Products Could Be Friendly to Tropical Forests.
- ENCE, (2010). La gestión forestal sostenible y el Eucalipto. Wood & Biomass Supply Manager. ENCE. <https://es.slideshare.net/macogo520/la-gestin-forestal-sostenible-y-el-eucalipto-web-publicado-en-2010>



- Food and Agriculture Organization. (1955). El eucalipto en la repoblación forestal, FAO: Estudios de silvicultura y productos forestales No 11. <https://www.fao.org/3/ac459s/AC459S00.htm#TOC>
- Fassola, H.E., Crechi, E., Keller, A., Barth, S. (2007). Funciones de forma de exponente variable para la estimación de diámetros a distintas alturas en *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. cultivado en la Mesopotamia argentina. Revista Investigación Argentina, 36 (2), 109-128. ISSN 0325 – 8718 ISSN 1669 – 2314
- Ferreira, S.; Lima, T.J.; Rosado, S.C.S.; Trugilho, P.F. (2004). Influência de métodos de desdobro tangenciais no rendimento e na qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. Cerne, Lavras, 10(1), 10-21.
- Forest and Wood Products Australia. (2009). Comparison of solid wood quality and mechanical properties of three species and nine provenances of 18-year old eucalypts grown in clearwood plantations across southwest Western Australia.
- Forest Products Laboratory. (2010). Wood handbook—Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 508 p.
- França, F.J.N., Maciel, A.P.V., França, T.S.F.A., Silva, J.G.M., Batista, D.C. (2019). Secado al aire de siete clones de madera de *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* ", *BioRes.* 14(3), 6591-6607.
- França, F.J.N., França, F.A., Suely, T., Vidaurre, G.B. (2020). Effect of growth stress and interlocked grain on splitting of seven different hybrid clones of *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* wood. *Holzforchung*, (74),10. 917-926. <https://doi.org/10.1515/hf-2019-0209>
- Freitas, D.L., Carvalho, D.E., Beltrame, R., Dos Santos, G.A., Gatto, D.A., Haselein, C.R. (2016). Estabilidade dimensional da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. *Sci. Agrar. Parana.*, Marechal Cândido Rondon, 15(4), 435-439. <http://dx.doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v15n4p435-439>.
- Frühwald, Welling, Scharai-Rad. (2003). Comparison of wood products and major substitutes with respect to environmental and energy balances. ECE/FAO. Seminar: Strategies for the Sound use of Wood. Poiana Brasov, Romania.
- Fujimoto T, Yamamoto H, Tsuchikawa S. (2007). Estimation of wood stiffness and strength properties of hybrid larch by near-infrared spectroscopy. *Applied Spectroscopy*. 61(8):882–888. doi:10.1366/000370207781540150.
- Gallio, E., Santini, E. J., Gatto, D. A., Souza, J. T., Ravasi, R., Menezes, W. M., Floss, P. A., Beltrame, R. (2016). Caracterização Tecnológica da Madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. *Scientia Agraria Paranaensis*, 15(3), 244-250. <https://doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v15n3p244-250>
- Garcia, J.N. y Lima, LL. (2000). Log end splitting and improvement in sawing *Eucalyptus grandis*. In: Proc. of IUF30 Conference ‘The Future of eucalypts for wood products’, Launceston, Hobart, Forestry Tasmania, 113- 123.
- García, J.N. (2002). Mundo científico Actas del Simposio Internacional - Guangzhou, China (1 - 6 de septiembre de 2002)] Plantaciones de eucalipto - ganancias y pérdidas en el rendimiento y la calidad de la madera aserrada mediante estrategias de mejora, gestión y aserrado forestal. (), 392–403. doi:10.1142/9789812704504\_0032

- Garrán, S., Garin, O. (2010). Síntesis agroclimática de la región de Concordia. Concordia-Entre Ríos: EEA INTA.
- Genes, P.Y.; López, J.A. (2011). Importancia del tamaño de probeta en la determinación de las contracciones de la madera. V Reunión GEMFO - Buenos Aires, Argentina. 9 p.
- Glas, S.M. y Zelinka, S.L. (2021). Moisture Relations and Physical Properties of Wood. Forest Products Laboratory (Ed). Wood handbook—wood as an engineering material (pp.4-22). Department of Agriculture, Forest Service. 543 p.
- Gominho J., Figueira J., Rodrigues J.C., Pereira H. (2001). Within-tree variation of heartwood, extractives and wood density in the *Eucalyptus* hybrid *urograndis* (*E. grandis* x *E. Urophylla*). *Wood and Fiber Science*, 33(1), 3-8.
- Gominho J, Pereira H. (2005). La influencia de la separación de los árboles en el contenido de duramen en *Eucalyptus globulus* Labill. *Wood and Fiber Science*, 37 (4), 582-590.
- Gonçalves G.F. (2006). Avaliação da qualidade da madeira de híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* para produtos sólidos. [Tese Mestrado, Universidade Federal de Espírito Santo. Brasil]. Repositório institucional - Universidad Federal Espirito Santo.
- Gonçalves, F. G., Oliveira, J. T. da S., Lucia, R. M. D., & Sartório, R. C. (2009). Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, 33(3), 501-509. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000300012>
- González, D. P.; Moglia, J. G.; López, A. J.; Pece, M.; López, J. A.; Moreno, R. (2014). Estimación de las tensiones de crecimiento en individuos selectos de *Eucalyptus camaldulensis* mediante extensómetro e índice de rajado. *Quebracho Revista de Ciencias Forestales*, 22(1-2), 57-65.
- Griffin, A.R., 2014. ¿Clones or improved seedlings of *Eucalyptus*? Not a simple choice. *International Forestry Review*, 16(2), 216-224.
- Grześkiewicz, M. (2020). Influence of top layer density and thickness on hardness of two-layer floor elements. *drewno. Prace naukowe. Doniesienia. Komunikaty*, 63(205), 69 p. <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.336.12>
- Gualpa, M.; Suatunce, J.; Canchignia, H. (2019). Tiempos y rendimiento en el proceso de aserrado de *Eucalyptus globulus* Labill, con sierra circular y de cinta. *Enfoque UTE*, 10(2), 126-143.
- Hanum, F.; Van Der Maesen (1997). *Plant Resources of South-East Asia*. Backhuys Publishers, Leiden 1997. Foundation, Bogor, Indonesia, ISBN 90-73348-66-8. 386 pág.
- Harris, J. M. (1989). *Spiral grain and wave phenomena in wood formation*. Springer series in wood science. Springer, New York, U.S.A. 214 p.
- Hermoso, E. (2003). Caracterización mecánica de la madera estructural del *Pinus sylvestris* L. [Tesis Doctoral del INIA]. Serie Forestal. Madrid, España.
- Hernández, R.E. (2007). Effects of extraneous substances, wood density and interlocked grain on fiber saturation point of hardwoods. *Wood Material Science and Engineering* 2(1): 45-53.

- Hernández M., Zaderenko C y Monteoliva S. (2014). Estrés de crecimiento y propiedades físicas de la madera de *Eucalyptus dunnii* en Argentina. Maderas. Ciencia y tecnología, 16(3), 373-384. Repositorio institucional – UNLP.
- Hernández, M. A. (2019). Developing NIR spectroscopy models for a breeding programme of *Eucalyptus grandis* for timber production. Quebracho - Revista de Ciencias Forestales, 27(2), 76-85.
- Higuchi, T. (1997). Biochemistry and molecular biology of wood. Springer series in wood science. Springer, New York, U.S.A. 362 p.
- Hillis, W.E. (1987). Heartwood and tree exudates. Springer series in wood science. Editor: T.e. timell. Springer-verlag. New York, U.S.A. 268 p. ISBN 9783642604690 (online)
- Holmberg, H. (2000). Influence of grain angle on Brinell hardness of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Holz als Roh- und Werkstoff., 58 (1-2), 91-95.
- Hornburg, K.F., Eleotério, 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. Scientia. Forestalis., Piracicaba, 40(96), 463-471.
- Husch B., Beers T.W. y Kershaw Jr. J.A. (2003). Forest mensuration (4. ed). Malabar: Krieger Publishing Company. 443 p.
- Ian Brooker. (2002). Botany of the eucalyptus. Coppen, J.J.W (Ed.). Eucalyptus: The Genus Eucalyptus. Londres, Inglaterra. Taylor and Francis. 13-35.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2006). Postes y crucetas redondas de eucalipto preservados para líneas aéreas de energía eléctrica y sistemas de telecomunicaciones (IRAM 9513). 10 p.
- Intituto de Pesquisas Tecnologicas (1997). San Pablo. Brasil.
- IRAM 9532. 1973. Método de Determinación de Humedad. IRAM, Buenos Aires. 11 p.
- IRAM 9541. 1977. Método de ensayo de compresión paralela a las fibras. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 6 p.
- IRAM 9542. 1965. Método de Ensayo de Flexión Estática de Maderas con Peso Específico Aparente Mayor de 0,5 g/cm<sup>3</sup>. IRAM, Buenos Aires. 6 p.
- IRAM 9543. 1966. Método de determinación de las contracciones totales, axil, radial y tangencial y el punto de saturación de las fibras. IRAM. Buenos Aires. 10 p.
- IRAM 9544. 1973. Maderas – Método de determinación de la densidad aparente. IRAM. Buenos Aires. Argentina. 10 p.
- IRAM 9596. 1977. Método de ensayo de corte paralelo a la dirección de las fibras. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 10 p.
- IRAM 9570. 1971. Método de ensayo de la dureza janka. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 6 p.
- IRAM 9662-2:2015. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por resistencia. Parte 2 - Tablas de Eucalipto grandis (*Eucalyptus grandis*). Madera, madera por aserrar y madera aserrada. 14 p.

- Jacobs, M. (1959). La importancia de los eucaliptos en la Argentina y los problemas relaciona con su cultivo. Folletos Técnicos Forestales. No 2. Adrn. Nac. de Bosques. Buenos Aires.
- Jiménez, A.B. (2007). Clasificación de daños producidos por agentes de biodeterioro en la madera. Kurú: Revista Forestal 4(10), 9 p.
- Kliger, R., Perstorper, M., Johansson, G. (1996). Variability in wood properties and its effect on distortion and mechanical properties of sawn timber. In. Timber Management Toward Wood Quality and End-Product Value. Conference proceedings of CTIA/IUFRO International Wood Quality workshop, Quebec city, Canada, September 1997.
- Kumar A., Dhillon G.P.S. (2014). Variation of sapwood and heartwood content in half-sib progenies of *Eucalyptus tereticornis* Sm. Indian Journal of Natural Products and Resources, 5(4), 338-344. ISSN 0976-0512 (en línea);0976-0504 (impresión).
- Lachenbruch, B., y McCulloh, K. A. (2014). Traits, properties, and performance: how woody plants combine hydraulic and mechanical functions in a cell, tissue, or whole plant. New Phytologist, 204(4),747-764. <https://doi.org/10.1111/nph.13035>
- Lahr, F. A. R., Nogueira, M. C. D. J. A., Araujo, V. A. D., Vasconcelos, J. S., & Christoforo, A. L. (2017). Physical-mechanical characterization of *Eucalyptus urophylla* wood. Engenharia Agrícola, 37, 900-906. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n5p900-906/2017>
- Lahr, R.F., Nogueira, C.J.A. Marta, Araujo, V., Vasconcelos, J., Christoforo, A. (2018). Wood Utilization of *Eucalyptus grandis* in Structural Elements: Densities and Mechanical Properties. Engenharia Agrícola, 38, 642-647. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n5p642-647/2018>.
- Lalinde, J. D. H., y Tarazona, E. P. (2018). Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: Definición, propiedades y suposiciones. Revista AVFT, 37(5), 9 p.
- Latorraca J.V.F., Albuquerque C.E.C. (2000). Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. Floresta e Ambiente, 7(1), 279-291.
- Leite M.K. (2014). Caracterizacao tecnológica da madeira de *Corymbia maculata*, *Eucalyptus cloeziana* e resinífera para a aplicacao no design de productos de maior valor agregado (PMVA). Universidade de Sao Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz". 136 p.
- Lewin, M., & Goldstein, I. S. (1991). Wood structure and composition. International fiber science and technology series. Marcel Dekker, Inc. New York, U.S.A. 488 p.
- Lima, T. (1996). Variaciones nos sentidos radial e longitudinal de algunas características das madeiras de *Eucalyptus microcorys* F. Muell e *Eucalyptus pilularis* Sm. Vicosá: [Tese Maestrando]. Repositorio-Universidade Federal de Vicosá.
- Lima, J. (1999). Clonal Variation in the solid wood properties of *Eucalyptus*. Bangor: [Tesis Doctorado]. University of Wales. Bangor (United Kingdom).
- Lima I.L, Garcia J.N, Nogueira M.C.S. (2000). Influência do desbaste nas tensões de crescimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden growth stress. Scientia Forestalis, (58), 111-125. ISSN 1413-9324 (impreso) y 2318-1222 (online).

- Lima, I. L., Longui, E. L., Freitas, M. L. M., Zanatto, A. C. S., Zanata, M., Florsheim, S. M. B., Bortoletto, G. (2014). Physical-Mechanical and Anatomical Characterization in 26-Year-Old *Eucalyptus resinifera* Wood. *Floresta e Ambiente*, 21(1), 91-98. <https://doi.org/10.4322/floram.2014.006>
- Logsdon N.B., Calil J.R.C. (2002). Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira. *Cadernos de Engenharia de Estruturas (USP)* 18, 77-108.
- Lopes, C.M., Haselein, C.R., Santini, E.J., Longhi, S.J., Rosso, S., Fernandes, D.L.G. y Menezes, L.F. (2004). Agrupamiento de árboles matrices de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrometrias e das características tecnológicas da madeira. *Ciência Florestal*, 14(2), 133-144.
- López, J.A. (h.), Parisi, L.M., Harrand, L. (2002). Densidad de la madera de 3 huertos semilleros de progenies de *Eucalyptus grandis*. 9 p.
- López J.A. (h) y Genes, P.Y. (2005). Ajuste y validación de un método no destructivo para seleccionar genotipos de *Eucalyptus grandis* con bajo niveles de tensiones de crecimiento. [Ponencia]. 3º Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Corrientes, Argentina.
- López, J.A, Genes, P., Hernández, M., Marco, M., Harrand, L., y Oberschelp, J. (2009). Propiedades Físicas, Mecánicas y Organolépticas de 10 clones de *Eucalyptus grandis* de 1º generación del programa de mejoramiento genético del INTA. Bella Vista, Argentina.
- López, A.J.; Genes, P.J.; López, J.A. (h.) (2010). Evaluación no-destructiva de la densidad de la madera de árboles vivos en pie de *Eucalyptus grandis* utilizando resistógrafo. XXIV Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, Argentina. 9 p.
- López., A.J.; López, J.A (h.) (2011). *Eucalyptus grandis* en el sudeste de corrientes: variación de la densidad de la madera. XXV Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, Argentina. 9 p.
- López(h) J.A, López J.A., Hernández M.A. y Genes P.Y. (2010). Análisis de 10 clones de *Eucalyptus grandis* en el establecimiento Aguai- Corrientes. Informe: Reunión 184, Consorcio Forestal Corrientes Norte.
- López (h.), J.A. y López J.A. (2013). Coeficiente de repetibilidad edad-edad de las tensiones de crecimiento en clones de *Eucalyptus grandis* [Ponencia]. 4to Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Iguazú. Argentina.
- López, J.A., Harrand, L., Marcó, M.A., López, A.J., (2016). Variación genética de clones híbridos de *Eucalyptus*. *Quebracho* 24(1,2), 5-17.
- López, J. A., Marcó, M.A., Harrand, L., Pathauer, P.S., García, M.N., López, A.J., Oberschelp, J., Vera Bravo, C., Cappa, E.P., Acuña, C.V., Villalba, P. (2016). Subprograma *Eucalyptus* y otras Latifoliadas (*Corymbia* y *Grevillea*). Domesticación y mejoramiento de especies forestales. Ed. INTA UCAR. Argentina. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.
- López, N., Yucta, M. F., Caraguay, K., & Minga, R. (2016). La variabilidad dimensional y defectos de secado afectan rendimientos en procesos de cepillado de madera de *Eucalyptus saligna*. *Bosque (Valdivia)*, 37(1), 169-178. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002016000100016>

- López J. (2017). Variación genética de propiedades físicas y organolépticas de importancia para usos sólidos de alto valor de clones híbridos de *Eucalyptus* de Entre Ríos. XXX Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, Argentina. 67-76.
- López, J.A. (h); Mastrandrea, C.A.; López, A.J.; 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. Concordia, Argentina. 41-53. ISSN 1668-8279.
- López Perez, I., Fuente Salina, M., Borja de la Rosa, A., Honorato-Salazar, J. (2003). Características anatómicas y físicas-mecánicas de la madera de *Eucalyptus camadulensis* DEHNH proveniente de plantaciones de "ING. MARIO AVILA" En Texcoco, División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Loulidi, I., Famiri, A., Elghorba, M. (2012). The physical and mechanical properties of Eucalyptus hybrid *E. camadulensis* x *E. grandis*: Comparison with its parental species. International Journal of Engineering and Science. 1(1), 1-7. ISSN: 2278-4721.
- Mantero, C.H., Cardoso, A., Castagna, A. (2014). Propiedades físicas y mecánicas de la madera de una población de *Eucalyptus bosistoana* F. Muell. cultivada en Uruguay. Agrociencia Uruguay 18, 65-74.
- Marcó, M. (2005). Mejores árboles para más forestadores. El programa de producción de material de propagación mejorado y el mejoramiento genético en el Proyecto Forestal de Desarrollo. 1a. edición. Buenos Aires: Secretaría Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos.
- Marco, M.; Harrand, L. (2005). Valor potencial de los Eucaliptos colorados en combinaciones híbridas. I Jornada Sobre Potencialidad Foresto-Industrial Del Eucalipto En Santiago Del Estero. [4 de mayo].
- Margarette, O.E.M. (2014). Tensiones de crecimiento longitudinales en árboles de *Eucalyptus nitens* con dimensiones aserrables. Universidad de Concepción de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Tesis de Pos grado. 29 p. Repositorio-UDEC
- Martín, M. H. C., Molina, O. A., & García, M. A. (2002). Los defectos naturales en la madera aserrada. Ingeniería 6(1), 29-38.
- Massayuki, M.M.; Magajewski, C.; Machado, J. (2014). Resistencia a corte paralela a la tensión de la fibra de la madera, por medio de la prueba de punzonamiento propuesta. Revista ingeniería de construcción, 29(1), 46-60. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732014000100003>
- Mastrandrea, C. y Alberti, S. (2009). Características de las trozas de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden) y su relación con el rendimiento de aserrado [Ponencia]. XIII Congreso Forestal mundial. Buenos Aires, Argentina. 3 p.
- Marini, L. J., Cavalheiro, R. S., De Araujo, V. A., Cortez-Barbosa, J., de Campos, C. I., Molina, J. C., Silva, D. A. L., Lahr, F. A. R., Christoforo, A. L. (2022). Estimation of mechanical properties in *Eucalyptus* woods towards physical and anatomical

- parameters. *Construction and Building Materials*, 352, 128824. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128824>
- Matos, J.L.M., Iwikari S., Rocha, M.P., Paim, R.M., y Andrade, L.O. (2003). Redução do efeito das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus dunnii*. *Scientia Forestalis* (64),128-135. ISSN 1413-9324 (impreso) y 2318-1222 (online).
- Mattheck, C., & Kubler, H. (1997). *Wood - The internal optimization of trees*. Springer, New York, U.S.A. 129 p.
- Mckinley, R., Shelbourne, C.J.A., Low, C., Penellum, B., Kimberley, M. (2002). Wood properties of young *Eucalyptus nitens*, *E. globulus*, and *E. maidenii* in Northland, New Zealand. 32, 334-356.
- Medina, A. A., Dionisio, N. M., Laffitte, L. N., Andía, I. R., & Rivera, S. M. (2013). Variación radial y axial de longitud de fibras y elementos de vaso en *Nothofagus nervosa* (Nothofagaceae) de la Patagonia Argentina. *Madera y bosques*, 19(2), 7-19.
- Mendoza, A. R. (2006). Avaliação de uma metodologia para otimização do volume de toras comerciais de *Eucalyptus* sp. em função da qualidade do fuste. [Tese Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo. Brasil]. Repositório institucional - Universidade Federal do Espírito Santo
- Menezes, W., Souza, J., Carvalho, D., Talgatti, M., & Santini, E. (2019). Mechanical Properties of Thermally Modified *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus saligna* Woods. *Floresta e Ambiente*. 26 p. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.011415>.
- Miranda I., Gominho J., Pereira H. (2009). Variation of heartwood and sapwood in 18-year-old *Eucalyptus globulus* trees grown with different spacing. *Trees*, 23(2), 367-372. <https://doi.org/10.1007/s00468-008-0285-9>
- Miranda I., Gominho J., Pereira H. (2015). Heartwood, sapwood and bark variation in coppiced *Eucalyptus globulus* trees in 2nd rotation and comparison with the single-stem 1st rotation. *Silva Fennica* 49(1), 13p. <https://doi.org/10.14214/sf.1141>.
- Moglia J.G.; Bravo, S.; Gerez, R. (2008). Anatomía comparada del leño de *Eucalyptus camaldulensis* (Myrtaceae) de dos orígenes, ensayados en Santiago del Estero. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 43 (3-4), 239 - 246.
- Moglia, J. G.; Giménez, A. M.; González, D.; Gerez, R. (2010) Caracterización de los anillos de crecimiento y su relación con la densidad básica de la madera en *Eucalyptus camaldulensis* Quebracho - *Revista de Ciencias Forestales*, 18(1-2), 47-57.
- Moglia, J. G., Venturini M., Gerez R. (2011). Relación entre el radio de duramen y algunas magnitudes alométricas en individuos selectos de *Eucalyptus camaldulensis* en Santiago del Estero Argentina. *Boletín del CIDEU* 10, 107-117. ISSN 1885-5237.
- Monteoliva S., Ciganda S., Igartúa D. (2012). Contenido de duramen y de albura en *Eucalyptus globulus* y *Acacia melanoxylon* implantadas en Argentina. *Madera, Ciencia y tecnología*, 14(1), 53-63. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2012000100005>

- Monteoliva, S., y Hernández, M. (2014). Tensiones de crecimiento en *Eucalyptus dunnii* Maiden.: Parámetros dendrométricos y anatomía de la madera. *Revista Árvore*, 38(4), 755-763. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000400019>
- Monteoliva, S.; Barotto, A.J, Fernandez, M.E. (2015). Anatomía y densidad de la madera en *Eucalyptus*: variación interespecificos e implicancia en la resistencia al estrés abiótico. *Rev. Fac. Agron.* 114 (2), 209-217.
- Morais M.C., Pereira, H. (2012). Variation of extractives content in heartwood and sapwood of *Eucalyptus globulus* trees. *Wood Sci Technol*, 46, 709–719. <https://doi.org/10.1007/s00226-011-0438-7>
- Moreno, K., y Igartúa, D. (2015). *Eucalyptus globulus* en el sudeste de la provincia de Buenos Aires: edades, procedencias y densidad de la madera. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 41(2), 143-148.
- Moura, M. (2000). Variacoes em caracteristica de crescimento e da madeira em clones de *Eucalyptus*. [Tese Mestrado] Univesidade Federal de Vicosa, 63 p.
- Moutinho Pereira, V.H. (2013). Influencia da variabilidade dimensional e da densidade da madeira de *Eucalyptus* sp e *Corymbia* sp. Na qualidade do carvao. [Tese Doutorado]. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 164 p.
- Nanko H, Button A, Hillman D. (2005). The world of market pulp. WOMP, LLC, Appleton, 107–109.
- Nogueira, M.C.J.A., Araujo, V., Vasconcelos, J., Gutiérrez-Aguilar, C., Cruz, J., Vasconcelos, J.C.S., Prativiera, F., Christoforo, A., & Lahr, F.A.R. (2018). Caracterización físico-mecánica de la madera de *Eucalyptus camaldulensis* para uso estructural proveniente de Restinga, Brasil. *Revista Forestal del Perú*, 33 (1), 52 – 62. <http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v33i1.1155>
- Oberschelp, J.; Marcó, M, Sánchez Acosta, M.; Mastrandrea, C. (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. Buenos Aires, Argentina. 7 pág.
- Oliveira, J. T. da S., Hellmeister, J. C. (1998). Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil [Tesis de Maestría]. Universidade de São Paulo, São Paulo. 127 p.
- Oliveira J.T.S., Hellmeister J.C., Simões J.W., Filho M.T. (1999). Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: Avaliações dendrométricas das árvores. *Scientia Forestalis* (56), 113-124.
- Oliveira, J. (1999). Problemas e oportunidades com a utilizacao da madeira de eucalipto. *Anais do workshop Tecnica de Abate, Procesamento e Utilizacao da Madeira de Eucalipto*, 72 p.
- Oliveira, J.T.S. y Silva, J.C. (2003). Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. *Revista Árvore*, 27(3), 381-385. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000300015>.
- Omonte, M., Valenzuela, L. (2011). Variación radial y longitudinal de la densidad básica en árboles de *Eucalyptus regnans* de 16 años. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 13(2), 211-224. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2011000200009>



- Ordoñez, C.V. R., Bácnas, P. G. M., Quiróz, A. (1990). Características físico-mecánicas de la madera de diez especies de San Pablo Macuilianguis, Oax. La madera y su Uso. San Pablo: Instituto de Ecología.
- Orwa C., Kindt Jamnadass, R., y Anthony, R. S. 2009 Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0. <http://www.worldagroforestry.org/sites/treedbs/treedatabases.asp>
- Pan, E.; Jimenez, V.; Umlandt, M.; Medina, J. (2015). Determinación de propiedades físicas de progenies de *Eucalyptus camaldulensis* plantados en Santiago del Estero. XXIX Jornadas Forestales de Entre Ríos. 9 p.
- Pereira B.L.C., Oliveira A.C., Carvalho A.M.M.L., Carneiro A.C.O., Vital B.V. y Santos L.C. (2013). Correlações entre a relação cerne/alburno da madeira de Eucalipto, rendimento e propriedades do carvão vegetal. *Scientia Forestalis*, 41(98),217-225.
- Pérez H.G. (1988). La conicidad de los árboles y algunas posibles aplicaciones en el manejo de bosques. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*, 41(1), 51-60. ISSN 2248-7026 (online). ISSN 0304-2847 (impreso).
- Pérez del Castillo, A. (2021). Propiedades Mecánicas y Calidad de Madera de *Eucalyptus grandis* del Norte de Uruguay. Proyecto de Tecnología de Ensayo de Productos Forestales LATU-JICA. 40 p.
- Pérez-Peña, N., Valenzuel, L., Diaz-vaz, J. E., Ananías, R. A. (2011). Predicción del contenido de humedad de equilibrio de la madera en función del peso específico de la pared celular y variables ambientales. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 13(3), 253-266. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2011000300002>
- Pillai P.k., Pandalai R.C., Dhamodaran T. y Sankaran K.V. (2013). Wood density and heartwood proportion in Eucalyptus trees from intensively-managed short-rotation plantations in Kerala, India. *Journal of Tropical Forest Science*, 25, 220-227.
- Pima N. E., Iddi S., Chamshama S. A. O., Maguzu J. (2018). Wood Properties of Eucalypt Hybrid Clones Growing in Tanzania. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 8(6), 220-226. <https://doi.org/10.5923/j.ijaf.20180806.04>.
- Pinheiro J, Bates D, DebRoy S, Sarkar D, R Core Team (2020). nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-149, URL:<https://CRAN.R-project.org/package=nlme>
- Pinto I., Pereira H. y Usenius A. (2004). Heartwood and sapwood development within maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) stems. *Trees*, 18, 284–294. <https://doi.org/10.1007/s00468-003-0305-8>
- Pires I. E., Paula R.C. (1997). Estado da arte de melhoramento genético florestal para qualidade da madeira. CRC for temperate hardwood forestry – IUFRO, Salvador, Anais. Salvador: CRCTHF; IUFRO.7 p.
- Piter, J.C. (2003). Clasificación por resistencia de la madera aserrada como material estructural. Desarrollo de un método para el *Eucalyptus grandis* de Argentina. Universidad Nacional De La Plata Facultad de Ingeniería Departamento de Construcciones. 215 pág.

- Popper, R., Niemz, P., Torres, M. (2006). Einfluss des Extraktstoffanteils ausgewählter fremdländischer Holzarten auf deren Gleichgewichtsfeuchte. *European Journal of Wood and Wood Products* 64(6): 491-496.
- Prasetyo, A., Haruna, A., Futoshi, I., Imam, W., Wijaya, P.J., Ohshima, J., y Yokota, I. (2017). Variations on growth characteristics and wood properties of three *Eucalyptus* species planted for pulpwood in indonesia. *Tropics* 26(2), 59-69. <https://doi.org/10.3759/tropics.MS16-15>.
- Prodan M.R., Peters F.C. y Real P. (1997). *Mensura forestal*. Deutsche Gesellschaft für Zusammenarbeit (GTZ) FmbH: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica. 586 p.
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL:<https://www.R-project.org/>.
- Ramos, S. (2015). Problemas sanitarios en forestaciones de eucalipto de la Mesopotamia Argentina. XXIX Jornadas Forestales de Entre Ríos. INTA. 5 p.
- Ramos S., De Ruyver R., Gattinoni N., Garin R., Garran S. (2018). Estación agrometeorológica del INTA Concordia 50 años de servicio a la comunidad. (Serie de extensión N° 16). Ed. INTA. ISSN 1851 314.
- Revelle, W. (2020) psych: Procedures for Personality and Psychological Research Northwestern University, Evanston, Illinois, USA, R package version 2.1.3. URL:<https://CRAN.R-project.org/package=psych>
- Ribeiro J.R., Andrade V.C.L. (2016). Equações de perfil do tronco para *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh no centro sul Tocantinense. *Revista Floresta e Ambiente*, 23(4), 534-543. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.141415>
- Rocha, M.P., Tomaselli, I. (2002). Efeito de modelo de desdobro con calidad de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* Cerne .70 – 83.
- Rocha, M.P., Trugilho, P.F. (2006). Calidad de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* em função do método de desdobro e condição de umidade. *Cerne*, Lavras, (12) 4. 314-321.
- Rodríguez-Toro, A., Rubilar-Pons, R., Muñoz-Sáez, F., Acuña-Carmona, E., & Cancino-Cancino, J. (2016). Modelo de ahusamiento para *Eucalyptus nitens*, en suelos de cenizas volcánicas de la región de La Araucanía (Chile). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 14.
- Rojas, P.V., Espejo, J.C. (1990). Variación genética de la densidad básica de la madera de eucalipto. Sección 6.4.
- Rojas J.C.C., Castro, M.L. y Fernandez Garcia F. (2018). Estudio de la conicidad de postes de madera de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill) y pino amarillo (*Pinus sp*) utilizados en el Perú para la electrificación rural. *Ingeniería Industrial Universidad de Lima*, 36. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2018.n036.2450>
- Rogeyro da Cruz, C., Lima, J., y Bolzon de Nuniz, G. (2003). Variacoes dentro das árvorese entre clones das propiedades fisicas e mecanicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. *Scientia Forestalis* N° 64, 33-47.
- Rosales Solórzano, E., Salas Choquehuanca, A., Tuesta Ramirez, Y., Dea Hidalgo, T. (2018). Comparación de cinco métodos de apilado en ambiente cerrado para el

- secado de madera aserrada de *Brosimum lactescens* (S. Moore) C. C. Berg (manchinga), las piedras, Tambopata – madre de Dios. *Ceprosimad*, 6(2), 29-35.
- Rowell, R. M. (1984). *The chemistry of solid wood*. Advances in chemistry series 207. American chemical society, Washington, D.C. U.S.A. 614 p. Link.
- Russell V. L. (2021). Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.6.3. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>
- SAGyP-INTA. (1995). *Manual para productores de Eucaliptos de la mesopotámica Argentina*. (Ed). Carpineti, Luis A.; Dalla Tea, Fernando; Glade, Jorge E.; Marco, Martín A. SAGyP - Subsecretaría de Producción Agropecuaria y Mercados INTA - Estación Experimental Agropecuaria Concordia. 162 p. ISBN 950-9853-55-0.
- Sánchez Acosta, M. (1990). Caracterización y utilización de la madera de *Eucalyptus grandis*. V Jornadas Forestales de Entre Ríos. Entre Ríos, Argentina. INTA. 5 p.
- Sánchez Acosta M. (1995). Experiencia Argentina en el uso de la madera de Eucalipto. *Anais Seminário Internacional de Utilização da madeira de Eucalipto para Serraria LCF/IUFRO/ESALQ/USP*. 74 – 91.
- Sánchez Acosta, M. (1995). *Anais do Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria*. Auditório da Divisão de Mecânica e Eletricidade do IPT, São Paulo – SP. 77 p. Link.
- Sánchez Acosta, M.; Zakowicz, N., Harrand, L 1, Cuffre, A., Torran, E., Calvo, Piter J.C. (2003). Propiedades físico mecánicas de la madera de *Eucalyptus grandis*. de las procedencias genéticas: Kendall (Australia), huerto semillero de Sudáfrica y semilla local Concordia, plantadas comercialmente en Argentina. XVIII Jornadas Forestales de Entre Ríos. 15 p.
- Sánchez Acosta, M., Marcó, M., Piter, J.C., Sossa Zitto, M.A., Villalba, D.I., Carpinetti, L. (2005). Physical and mechanical properties of *Eucalyptus grandis* x *E. tereticornis* hybrid grown in argentina. Ed. INTA. 11 p.
- Sánchez Acosta, M. (2006). Productos sólidos a partir de madera de eucaliptos cultivados. *Boletín del CIDEU* 2, 103-117. ISSN 1885-5237
- Sánchez Acosta M y Mastrandrea C. (2008). Wood technologies and uses of eucalyptus wood from fast grown plantations for solid products. *Proceedings of the 51st International Convention of Society of Wood Science and Technology*. Concepción, Chile. 1-12.
- Sánchez Acosta, M. (2012). Caracterización de la madera del nuevo híbrido *Eucalyptus grandis*, Hill ex Maiden x *Eucalyptus tereticornis*, Smith, su aptitud de usos en Argentina. [Tesis Doctoral]. Universidad de Valladolid. Ingeniería de Montes.
- Sánchez Acosta M. (2016) Características y posibilidades de empleo de la madera del híbrido *E. grandis* x *E. tereticornis*. XXX Jornadas Forestales de Entre Ríos. 35 – 47.
- Santos P.E.T. (2002). Avaliação de características tecnológicas de madeira para serraria em progênies de polinização aberta de eucalipto e implicações para o melhoramento genético. [Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/T.11.2002.tde-16082002-153629>.

- Santos, J.A., Santos, J., Borralho, N.A., Araújo, J.A. (2008). Caracterização das potencialidades de utilização da madeira de híbridos de eucalipto. Ed. Unidade de Silvicultura e Produtos Florestais. *Silva Lusitana*. 16(1), 63-81.
- Sellin A. (1994). Sapwood–heartwood proportion related to tree diameter, age, and growth rate in *Picea abies*. *Canadian Journal of Forest Research*, 24(5), 1022–1028. <https://doi.org/10.1139/x94-133>.
- Severo, E.T.D., Calonego, F.W., Matos, C.A.O. (2010). Lumber quality of *Eucalyptus grandis* as a function of diametrical position and log steaming. *Bioresource Technology*, 101(7), 2545-2548. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.083>
- Silva Castro, J. (2002). Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira. [Tesis de doctorado]. Universidade Federal do Parana. Curitiba, Brasil.
- Sosa Zitto, M. A., Ramos, M. del R., Torrán, E. A., Fank, P. Y., & Piter, J. C. J. (2019). Relación entre las propiedades mecánicas en flexión y compresión del *Eucalyptus grandis* de Argentina. 4<sup>to</sup> Congreso Latinoamericano de estructuras de maderas. 10 p.
- Souza, M.; P. Trugilho; J. Lima y S. Silva Rosado. 2003. “Deformação residual longitudinal e sua relação com algumas características de crescimento e da madeira em clones de Eucalipto”. *Revista Floresta* 33 (3), 275-284.
- Souza R.R., Nogueira G.S., Murta Jr L.S., Pelli E., Oliveira M.L.R., Pereira Abrahão P. y Garcia Leite H. (2016). Forma de fuste de árvores de *Eucalyptus* em plantios com diferentes densidades iniciais. *Scientia Forestalis*, 44(109), 33-40. <https://doi.org/10.18671/SCIFOR.V44N109.03>
- Spear, M., y Walker, J. C. F. (2006). Dimensional instability in timber. En *Primary Wood Processing* (pp. 95-120). *Primary Wood Processing: Principles and Practice*. Springer Netherlands. 589 p. [https://doi.org/10.1007/1-4020-4393-7\\_4](https://doi.org/10.1007/1-4020-4393-7_4)
- Stamm, A. J. (1964). *Wood and cellulose science*. The Ronald press company. New York, U.S.A. 547 p.
- Subsecretaria de Desarrollo Foresto-Industria. (2016). Inventario nacional de plantaciones forestales por superficie. Ministerio de Agroindustria. Buenos Aires. Revisado el 23 de mayo del 2018. <https://datos.agroindustria.gob.ar/dataset/inventario-nacional-de-plantaciones-forestales-por-superficie>
- Suírezs, T.M., Berger, G. (2010). Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. 1a ed. Posadas: Ed. UNaM - Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones, 2010. 58 p.
- Suírezs T.; Bobadilla, E.; Weber, E.; Arenhardt, O.; Bernio, J.; Marek, M.; Morel, M.; Bragañolo A. (2013). Densidades y flexión estática de las maderas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden y *Ruprechtia laxiflora* impregnadas y sin impregnar, de la provincia de Misiones. *Revista Forestal Yvyrareta* 20, 25-31.
- Thelandersson, S. (1995a). Deformations in timber structures, in *Informations dienst holz*. Fachverlag Holz, Duesseldorf. Step 3(11), 16 p.
- Thelandersson, S. (1995b). Serviceability limit states-Deformations, in *Timber Engineering*. Centrum Hout, The Netherlands. Step 1(17), 8p.

- Tinto, J. (1986). Tipificación de la madera de Entre Ríos. Primera Jornada Mes Forestal de Entre Ríos. INTA-IFONA. 7 p.
- Tinto, J. (1991). Características y aserrado de rollizos de *Eucalyptus grandis*. VI Jornadas Forestales de Entre Ríos. Argentina. INTA, 27-50.
- Torres Cruz, M.S.M.F. (2003). Contribución al conocimiento tecnológico de la madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden y *Eucalyptus urophylla* S. T Blake proveniente de plantaciones forestales comerciales de 7 años de edad de las choapas, veracruz, mex. [Tesis de grado. Universidad Autónoma Chapingo] División De Ciencias Forestales. 85 p.
- Torres Medina, F.L.C. (2009). Evaluación de las propiedades físico mecánicas de la especie Pino chuncho (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) proveniente de plantaciones del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt-Ucayali. Tesis de grado. Universidad nacional agraria La molina. Facultad de Ciencias Forestales. 144 p.
- Touza Vázquez, Manuel C. (2001). Tensiones de crecimiento en *Eucalyptus globulus* de galicia (españa): influencia de la silvicultura y estrategias de aserrado. Maderas. Ciencia y tecnología, 3(1-2), 68-89. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2001000100008>
- Trevisan R., Denardi L., Cardoso G., Haselein C. y 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, 41(97), 75-81.
- Trugilho, P.F., Iwakiri, S., Rocha, M.P., Matos, J.L.M. Leopoldo Karman Saldanha. (2004). Efeitos da idade e classe diamétrica na deformação residual longitudinal em árvores de *Eucalyptus dunnii* Maiden. Arvore, 28(5), 725-731.
- Trugilho P.F., Lima J.T., Andrade de Pádua F., Carvalho Soragi L. y Andrade C.R. (2006). Deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) em seis clones de *Eucalyptus spp.* Cerne, 12(3), 279-286.
- Turinawe, H., Mugabi, P., Tweheyo, M. (2014). Density, Calorific Value and Cleavage Strength of Selected Hybrid *Eucalypts* Grown in Uganda. Maderas. Ciencia y tecnología, 16(1), 13-24.
- Vale R.S., Macedo R.L.G., Venturin N., Mori F.A. y Moráis A.R. (2002). Efeito da desrama artificial na qualidade da madeira de clones de eucalipto em sistema agrosilvipastoril. Revista Árbore, 26(3), 285-297. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000300004>.
- Vázquez-Cuecuecha, O. G., Zamora-Campos, E. M., García-gallegos, E., & Ramírez-Flores, J. A. (2015). Densidad básica de la madera de dos pinos y su relación con propiedades edáficas. Madera y bosques, 21(1), 129-138.
- Vázquez, T., & C, M. (2001). Tensiones de crecimiento en *Eucalyptus globulus* de galicia (españa): influencia de la silvicultura y estrategias de aserrado. Maderas. Ciencia y tecnología, 3(1-2), 68-89. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2001000100008>
- Vignote, S., Martinez-Rojas, I. (2006). Tecnología de la madera. Mundi Prensa Libros. 687p.
- Wickham, H. (2016). ggplot2: gráficos elegantes para el análisis de datos (2.<sup>a</sup> ed.). Nueva York, NY: Springer. [https://doi: 10.1007/978-3-319-24277-4](https://doi:10.1007/978-3-319-24277-4)

- Wiedenhoeft A. y Regis B. (2005). Structure and function of wood. Handbook of wood chemistry and wood composites. (Ed. Roger M. Rowell). 485p. ISBN 0-8493-1588-3.
- Wilkins, A. P. (1991). Sapwood, heartwood and bark thickness of silviculturally treated *Eucalyptus grandis*. Wood Science and Technology, 25(6), 415-423. <https://doi.org/10.1007/BF00225234>
- Winandy, J.E. (1994). Wood Properties. (Ed) Arntzen, Charles J.; Encyclopedia of Agricultural Science. Vol 4, 549-561.
- Winck, R.A.; Fassola, H.E.; Barth, S.R.; Keller, A.E.; Crechi, E.H. (2014). Variación de la densidad básica de *Eucalyptus grandis* para diferentes edades y zonas agroecológicas de la Región Mesopotámica. “XVI Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales”. 15 al 17 de mayo de 2014. Trabajo Completo. Disertante. CD Ponencias.
- Winck, R. A., Barth, S. R., Fassola, H. E., Crechi, E. H., & Keller, A. E. (2016). Relación entre la densidad básica y proporción del duramen de la madera de *Eucalyptus grandis* de Misiones y Corrientes, Argentina. XVII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Producción Forestal Secundaria, 390-392.
- Wu, Y.Q., Hayashi, K., Liu, Y., Cai, Y., Sugimori, M. (2006). Relationships of anatomical characteristics versus shrinkage and collapse properties in plantation-grown eucalypt wood from China. Journal of Wood Science 52(3), 187–194. <https://doi.org/10.1007/s10086-005-0751-6>.
- Yang, J.L.; Fife, D.N. (2000) Wood properties of three provenances of plantation-grown *Eucalyptus globulus* Labill. I. Growth strain. In: The future of eucalypts for wood products. Proceedings IUFRO conference; Launceston, Tasmania. IUFRO. 301-309. <http://hdl.handle.net/102.100.100/208559?index=1>
- Yang, J., Fife, F., Waugh, G., Downes, G., Blackwell, P. (2002) The effect of growth strain and other defects on the sawn timber quality of 10-year-old *Eucalyptus globulus* Labill, Australian Forestry, 65:1, 31-37, DOI: 10.1080/00049158.2002.10674850
- Yang J.L., Pongracic, S. (2004). The Impact of Growth Stress on Sawn Distortion and Log End Splitting of 32-Year-Old Plantation Blue gum. Forest and Wood Products Research & Development Corporation. 34 p.
- Yang J. L., Baillères, H., Okuyama, T., Muneri A., y Downes, G. (2005). Measurement methods for longitudinal surface strain in trees: a review, Australian Forestry, 68 (1), 34-43. <https://doi.org/10.1080/00049158.2005.10676224>
- Zobel B. (1981). Wood quality from fast-grown plantations, TAPPI 64(1), 71-74.
- Zobel, B. J., Talbert, J. (1988). Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. (Eds.) Zobel, B. J.; Talbert, J. Editorial Limusa, México, pp. 407-446.
- Zobel, J.P., Van Buijtenen, J.P. (1989). Wood variation: it´s causes and control. Springer, series in sciencia. Berlin (Germany). 363.
- Zziwa, A., Kaboggoza, J. R. S., Mwakali, A., Banana, A. Y., Kyeyune, R. K. (2006). Physical and Mechanical Properties of Some Less Utilised Tropical Timber Tree Species Growing in Uganda. Uganda Journal of Agricultural Sciences 12(1), 29-37.
-