

**Densidad y proporción de albura y duramen en nuevos clones de
Eucalyptus spp
Density and proportion of sapwood and heartwood in new *Eucalyptus spp*
clones**

Christian Bulman-Hartkopf ¹ <https://orcid.org/0000-0002-0817-1002>

Rosa A. Winck ^{1,2} <https://orcid.org/0000-0002-2302-3219>

Diego R. Aquino ^{1,3} <https://orcid.org/0000-0003-2849-5159>

Hugo E. Fassola ¹ <https://orcid.org/0000-0002-2770-1101>

Pablo M. Stefani ³ <https://orcid.org/0000-0002-8140-4415>[✉]

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria (EEA). Montecarlo, Argentina.

²Universidad Nacional de Misiones (UNaM). Facultad de Ciencias Forestales (FCF). Laboratorio de Tecnología de la Madera. Eldorado, Argentina.

³Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMDP). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA). Div. Materiales Sostenibles. Mar del Plata, Argentina.

[✉]Autor de Correspondencia: pmstefan@fi.mdp.edu.ar

Resumen:

La generación de nuevos materiales genéticos para atender las diversas demandas del mercado de la madera requiere una constante evaluación de sus propiedades tecnológicas. En el presente estudio, se evaluó el contenido relativo de duramen y albura a tres alturas de fuste (0,10 m, 2,80 m y 5,50 m) así como la variación de densidad en dirección axial y radial de clones puros *Eucalyptus grandis* (rose gum) e híbridos (*Eucalyptus grandis* (rose gum) x *Eucalyptus camaldulensis* (red gum) y *Eucalyptus grandis* (rose gum) x *Eucalyptus tereticornis* (red iron gum)) de 11 años de edad. Los clones puros mostraron un 10 % más de duramen que los híbridos. El material híbrido alcanzó el mayor valor medio de densidades, siendo más homogéneo en el perfil radial y axial. En general, la densidad presentó un patrón creciente en la dirección radial. No se encontraron diferencias significativas en la densidad para las alturas estudiadas en los clones híbridos, mientras que los clones puros presentaron valores de densidad significativamente mayores a 0,10 m. La densidad de la albura fue mayor que la del duramen para las tres alturas de fuste en todos los materiales genéticos. El análisis de los resultados indica que los clones híbridos podrían ser aptos para la producción de pulpa de celulosa debido a la menor proporción de duramen, lo cual facilita el proceso de blanqueo, así como para su uso como madera aserrada o contrachapado estructural por su mayor densidad y homogeneidad en altura.

Palabras clave: Clones, duramen, *Eucalyptus*, peso específico, propiedades físicas.

Abstract:

The generation of new genetic materials to meet the diverse demands of the wood market requires a continual evaluation of their technological properties. In the present study, heartwood and sapwood relative content at three stem heights (0,10 m, 2,80 m and 5,50 m) as well also the variation of density in the axial and radial direction of pure *Eucalyptus grandis* (rose gum) and hybrid (*Eucalyptus grandis* (rose gum) x *Eucalyptus camaldulensis* (red gum) and *Eucalyptus grandis* (rose gum) x *Eucalyptus tereticornis* (red iron gum)) clones of 11-years-old were evaluated. Pure clones showed 10 % more heartwood than the hybrids. The hybrid material reached the highest average value of densities, being more homogeneous in the radial and axial profile. In general, the density presented an increasing pattern in the radial direction. No significant differences were found in the density for the heights studied in the hybrid clones, while the pure clones showed significantly higher density values at 0,10 m. Sapwood density was greater than heartwood density for all three stem heights in all genetic materials. As a result, the hybrid clones could be suitable for the production of cellulose pulp due to the lower proportion of heartwood, which facilitates the bleaching process, as well as for their use as sawn wood or structural plywood due to their high density and homogeneity in height.

Keywords: Clones, heartwood, *Eucalyptus*, specific gravity, physical properties.

Recibido: 17.02.2022

Aceptado: 06.10.2023

Introducción

El desarrollo de la silvicultura clonal y la investigación sobre nuevos materiales genéticos tienen como objetivo mejorar el rendimiento y homogeneizar la calidad de la madera como materia prima para la industria (Silva 2003, López *et al.* 2016, González y Balmelli 2020), por lo que es necesario tener en cuenta sus propiedades físicas y su distribución dentro del fuste.

Una cualidad de importancia tecnológica en latifoliadas, es la proporción relativa de duramen y albura. Generalmente, cuando se orienta la producción de madera a la obtención de

productos sólidos y/o para usos de apariencia, es deseable mayor proporción de duramen (Pereira *et al.* 2013), por su valor estético y reducción de costos en el consumo de impermeabilizantes. En cambio, la madera con alto porcentaje de albura facilita los procesos en la industria celulósica, ya que consume menor cantidad de reactivos en el proceso de blanqueo por su menor contenido de lignina y extractivos que en el duramen (Pereira *et al.* 2003, Miranda *et al.* 2009, Lachenbruch *et al.* 2011). También para su uso en postes, un alto contenido de albura es recomendable por su mayor capacidad de absorción de preservantes (Caniza 2010, Valle *et al.* 2013, Brito *et al.* 2019).

La proporción de duramen y albura en la madera varían significativamente entre especies (Saito *et al.* 2008) y clones (Costa *et al.* 2017), a su vez son influenciados por la edad, la posición dentro del árbol, la tasa de crecimiento y los tratamientos silvícolas (Kumar y Dhillon 2014). Se ha informado que, para un mismo género, especie y edad, los árboles que crecen más en diámetro y altura presentan más duramen (Miranda *et al.* 2009). Así, el mayor distanciamiento entre árboles en la plantación influye incrementando el diámetro de fuste, y consecuentemente la proporción de duramen (Gominho y Pereira 2005, Miranda *et al.* 2009). Costa *et al.* (2017) observaron para dos clones de red gum (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) de 7,5 años de edad, un 15 % de diferencia en el contenido de duramen medido en la base del árbol y en ambos casos una reducción significativa del contenido de duramen con la altura. En un estudio de calidad de madera de rose gum (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden), Winck *et al.* (2016) determinaron un incremento de la proporción de duramen con la edad, registrándose valores medios de 55 %, 65 %, 68 % y 75 % de duramen respecto al volumen sin corteza para todo el fuste, a edades de 10, 12, 15 y 32 años, respectivamente. En otros trabajos similares, se registraron valores de 76 % de duramen en árboles de 27 años de rose gum (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) del sur de Brasil (Lopes *et al.* 2004) y 76

% en individuos de red gum (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) de 10 años de edad, implantados en Santiago del Estero, Argentina (Moglia *et al.* 2011).

Además de la proporción de duramen, otro parámetro considerado como una herramienta clave en la clasificación de la madera para diversos usos, principalmente estructurales, es la densidad (Núñez 2007, Sinha *et al.* 2017, Cherelli *et al.* 2018, Tichi *et al.* 2021). El grado de homogeneidad de esta propiedad influye fuertemente en la calidad final del producto obtenido, ya que existe una relación directa con las propiedades mecánicas, como ser flexión, compresión, tracción y capacidad de sujeción de clavos (Piter *et al.* 2004, Chave *et al.* 2009, Espinoza *et al.* 2009, Williams 2010, Awan *et al.* 2012, Pillai *et al.* 2013, Bastin *et al.* 2015, Tichi *et al.* 2021) y sobre el módulo de elasticidad dinámico de árboles en pie y madera aserrada (Dickson *et al.* 2003, Mastrandrea *et al.* 2016).

El estudio pormenorizado de la variación de la densidad en el árbol, a nivel celular, permite orientar el corte para la obtención de piezas con mejores aptitudes físicas y mecánicas (Calvo *et al.* 2006, Bailleres *et al.* 2019, Nicolao *et al.* 2022), ya que se trata de un material heterogéneo y anisotrópico, debido a la naturaleza jerárquica de su estructura, a escala nano, micro y macroscópica (Bucur 2006).

Bastin *et al.* (2015) observaron que los valores de densidad varían entre especies y árboles individuales, aunque también según la dirección radial y altura de fuste considerada. Estos autores describieron tres patrones de variación radial desde la médula hacia la corteza (creciente, constante y decreciente) en 14 especies latifoliadas, determinando que el 45 % de la variación de la densidad está explicada por la especie. Por su parte, Winck *et al.* (2014) en rose gum (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) de diferentes edades y considerando la totalidad del fuste, determinaron un patrón creciente de la densidad básica en sentido radial, y en sentido longitudinal, aunque en este segundo caso estuvo relacionado con la edad del

individuo; para edades superiores a los 10 años la densidad aumentó con altura de fuste. Otra característica de interés en el género *Eucalyptus*, es el poder calorífico, cuando se desea utilizar la madera para combustible. Pereira *et al.* (2013) y Andrade *et al.* (2018), demostraron que a partir de clones con mayor densidad básica se produce carbón de mayor densidad aparente. Debido a que la densidad básica, es una propiedad que está directamente relacionada con el contenido de celulosa (Silva *et al.* 2009), aumenta con el espesor de paredes celulares, dimensión de las fibras y disminuye con la porosidad (Palermo *et al.* 2015). Al mismo tiempo, el rendimiento energético depende del porcentaje de celulosa y lignina (Pereira *et al.* 2012).

En el marco de las investigaciones sobre nuevos materiales genéticos, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Argentina, ha desarrollado numerosos clones híbridos interespecíficos de *Eucalyptus* que se encuentran en diferentes etapas de evaluación. López *et al.* (2016) estudiaron la variación genética para muchos de estos materiales en Entre Ríos, a edades tempranas, generando así los primeros antecedentes, constatando algunas diferencias tecnológicas entre los materiales puros e híbridos.

Debido al impacto de la densidad de la madera y la proporción de tejido leñoso sobre varios procesos productivos que utilizan la madera como materia prima, este trabajo propone determinar las proporciones de área de duramen y albura, y la variación radial de la densidad a tres alturas de fuste, de cinco clones nuevos de *Eucalyptus*, del INTA. Estos materiales genéticos están registrados en el Instituto Nacional de Semillas (INASE) y desde hace 10 años en producción por muchos viveros de la región mesopotámica (Harrand y Marcó 2012), pero la información respecto a sus propiedades tecnológicas es escasa y debe ser ampliada.

Materiales y métodos

Los individuos utilizados fueron obtenidos de un ensayo clonal de *Eucalyptus* (Tabla 1). El mismo fue instalado en la localidad de Leandro N. Alem, provincia de Misiones, Argentina por agentes de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) de INTA Concordia, Entre Ríos. Establecido en diciembre del año 2009, con un espaciamiento de 4 m x 2,5 m, resultando en una densidad de plantación de 1000 plantas/ha, en un diseño experimental de bloques completos al azar (BCA) con 5 repeticiones y parcelas de 4 plantas, con bordura simple, sobre un lote en el que previamente se cultivaba yerba mate. El ensayo estaba situado en longitud 55°18'4.27"O, latitud de 27°37'22.88"S y altitud 335 m.s.n.m. Por el régimen termoplumiométrico el sitio corresponde a un clima templado cálido (subtropical) sin estación seca, designado como *Cfa*, según el sistema de clasificación de Köppen-Geiger (Peel *et al.* 2007), y posee un suelo rojo profundo, en posición de media loma. No se observaron efectos de heladas ni problemas sanitarios durante su desarrollo.

Tabla 1: Descripción de los materiales genéticos evaluados a nivel rodal.

Clones	Tipo de clon	Taxónes	<i>N</i>	<i>DAP</i> promedio (cm)	<i>DE</i> (cm)	<i>HT</i> promedio (m)	<i>DE</i> (m)
EG INTA 157	Puro	<i>E. grandis</i>	12	28,7	(6,6)	34,3	(4,5)
EG INTA 36	Puro	<i>E. grandis</i>	13	33,7	(5,8)	37,8	(3,5)
GC INTA 24	Híbrido	<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>	12	27,4	(3,8)	30,7	(4,8)
GC INTA 27	Híbrido	<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i>	13	32,0	(5,6)	32,9	(3,9)
GT INTA 31	Híbrido	<i>E. grandis</i> x <i>E. tereticornis</i>	8	28,5	(5,0)	30,0	(4,9)

N: cantidad de árboles en pie; *DAP*: diámetro a la altura de pecho; *HT*: altura total; *DE*: desviación estándar.

La nomenclatura utilizada para describir el material genético fue propuesta por el INTA para su registro en el INASE. A los 11 años de edad se eligieron 5 clones comerciales de interés potencial para la industria, 2 puros y 3 híbridos. Se seleccionaron aleatoriamente 3 ejemplares de cada material genético (Tabla 2), totalizando 15 ejemplares con diámetro a la altura de pecho (*DAP*) superior a 25 cm. Este *DAP* fue establecido como límite inferior por requerimientos de la industria del debobinado, ya que las trozas obtenidas fueron posteriormente sometidas a este proceso industrial.

Tabla 2: Dimensiones de los individuos apeados.

Clones	<i>n</i>	<i>DAP promedio (cm)</i>	<i>DE (cm)</i>	<i>ht promedio (m)</i>	<i>DE (m)</i>
EG INTA 157	3	30,0	(1,0)	37,6	(3,9)
EG INTA 36	3	38,2	(1,8)	40,5	(1,5)
GC INTA 24	3	30,9	(4,8)	32,1	(5,3)
GC INTA 27	3	37,4	(2,4)	35,5	(2,6)
GT INTA 31	3	32,2	(1,5)	31,0	(1,6)

n: cantidad de individuos; *DAP*: diámetro a la altura de pecho; *ht*: altura total; *DE*: desviación estándar.

Las propiedades estudiadas fueron, la distribución de áreas absolutas y relativas de duramen y albura, y la variación radial de la densidad básica a tres alturas en el fuste, así como la comparación de diferentes expresiones de la densidad aparente. Para ello se obtuvieron rodajas a los 0,10 m; 2,80 m y a los 5,50 m de la altura de fuste (*h*), estas alturas engloban el volumen de las dos primeras trozas, que son las comúnmente aceptadas y utilizadas para madera aserrada o tableros contrachapados. Sobre cada rodaja obtenida se registraron 2 mediciones de manera ortogonal del diámetro con y sin corteza, y el diámetro del duramen, delimitado por el cambio de coloración en la rodaja pulida con lija, que es apreciable a simple

vista. Luego se calculó el promedio para cada variable y se estimó el área total de la rodaja y el área del duramen. El área de albura fue obtenida por la diferencia del área total y el área de duramen. Luego se determinó el porcentaje de duramen, Ecuación 1.

$$\text{Duramen (\%)} = \frac{\text{Area Duramen}}{\text{Area Total}} \times 100 \quad (1)$$

Una vez registradas las variables de duramen y albura, se marcó y cortó un listón central desde la médula a la corteza, del cual se obtuvieron probetas de 2 cm x 2 cm x 2 cm, según la norma IRAM 9544 (1973), utilizadas para el cálculo de densidad (identificando el tipo de tejido leñoso al cual pertenecen las muestras). Se determinó la densidad estacionada (D_e), saturada (D_s), anhidra (D_o), básica (D_b) y el contenido de humedad ($CH\%$) utilizando la Ecuación 2, Ecuación 3, Ecuación 4, Ecuación 5 y Ecuación 6 respectivamente.

$$D_e = \frac{P_e}{V_e} \quad (2)$$

$$D_s = \frac{P_s}{V_s} \quad (3)$$

$$D_o = \frac{P_o}{V_o} \quad (4)$$

$$D_b = \frac{P_o}{V_s} \quad (5)$$

$$CH = \left(\frac{P_h - P_0}{P_0} \right) \times 100 \quad (6)$$

Dónde: Pe: peso estacionado, Ve: volumen estacionado, Ps: peso saturado, Vs: volumen saturado, Po: peso anhidro, Vo: volumen anhidro y Ph: peso húmedo.

Las probetas se agruparon en clases de distancia relativa ($DM\%$) A, B, C y D, correspondiendo las tres primeras al 33 %, 66 % y 100 % de la distancia radial del duramen desde la médula hacia la corteza, y la clase D que abarcó únicamente probetas pertenecientes a la albura.

Para el procesamiento de la información fue analizada con modelos lineales generales y mixtos (MGL) con nivel de significancia del 5 %, utilizando el software estadístico Infostat® (Di Rienzo *et al.* 2011). Para la comparación de medias se utilizó el test de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC), ya que evita la superposición de medias y reduce la cantidad de grupos (Di Rienzo *et al.* 2002), utilizando en todos los casos al árbol como variable de efecto aleatorio. Para el análisis de área de duramen, área de albura y porcentaje de duramen se utilizó clones, tipo de clones y altura de fuste (h) como variables de efecto fijo; analizando los clones de manera independiente cuando se comparó entre alturas. Mientras que, para los distintos tipos de densidades y contenido de humedad, se empleó los clones (material genético) y tipo de clon (puro o híbrido) como variable fija. Para analizar la variación de la densidad básica (Db) por clon dentro del árbol, las variables de efecto fijo fueron, la posición radial relativa ($DM\%$) y altura de fuste (h). A los fines prácticos de este trabajo se desarrolló más detalladamente la tendencia en sentido axial y transversal de la Db , ya que es la más difundida en el campo de la investigación científica para la comparación de especies. Esta

nos permite conocer la cantidad de masa seca por unidad de volumen saturado, aunque no es utilizado en las industrias, aporta información indirecta sobre los otros tipos de densidades aparentes (estacionada, saturada y anhidra) (Núñez 2007). Además, tiene la ventaja de permitir la obtención de un valor reproducible, seguro e invariable que lo hace muy útil en estudios teóricos y en comparaciones (Winck *et al.* 2019).

Resultados y discusión

Proporción de duramen y albura

En la Figura 1 se comparan los porcentajes de tejido leñoso de cada clon estudiado. El porcentaje promedio de duramen alcanzado con los distintos tipos de materiales genéticos fueron 72,9 %; 70,1 %; 62,3 %; 61,3 % y 59,7 % para EG INTA 157, EG INTA 36, GC INTA 24, GC INTA 27 y GT INTA 31, respectivamente. Estos resultados fueron superiores a los hallados por Winck *et al.* (2012) para rose gum (*Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden) de 10, 12 y 15 años, quienes informaron valores medios de 55 %, 62 % y 67 %, respectivamente; también por Cherelli *et al.* (2018), en individuos de 18 años en Sao Paulo, Brasil, con valores de 67 % y relativamente similares a los resultados de Lopes *et al.* (2004) con 75,6 % de duramen debiéndose considerar que en este caso que se midió a los 27 años de edad en Rio Grande do Sul, Brasil. Por otro lado, los híbridos GC INTA 24 y GC INTA

27 de rose gum (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) x red gum (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) presentaron porcentajes de duramen superiores, comparado con los informados para uno de los parentales por Moglia *et al.* (2011), red gum (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) de 10 años implantado en la provincia de Santiago del Estero, cuyo promedio fue del 57,5 %. Respecto al híbrido GT INTA 31, se obtuvieron áreas relativas de duramen inferiores a las citadas por Cherelli *et al.* (2018) con 76 % de duramen en árboles de 35 años de rose gum (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) x red iron gum (*Eucalyptus tereticornis* Sm.), esto puede deberse a la diferencia de edad de los árboles evaluados en cada caso. En otro estudio realizado por Pillai *et al.* (2013) en la India, sobre individuos de 6,5 años de edad, sometidos a diferentes tratamientos de fertilización, observaron que la proporción de duramen disminuyó con la altura, hallaron para rose gum (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) valores de 41 % a 59 % en la base, 41 % a 60 % al dap y 39 % a 41 % a la mitad de la altura comercial, y para red iron gum (*Eucalyptus tereticornis* Sm.), 50 % a 59 % en la base, 34 % a 47 % al DAP y 26 % a 32 % a la mitad de la altura comercial, concluyendo que el rose gum (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) presentó una mayor proporción de duramen que para red iron gum (*Eucalyptus tereticornis* Sm.).

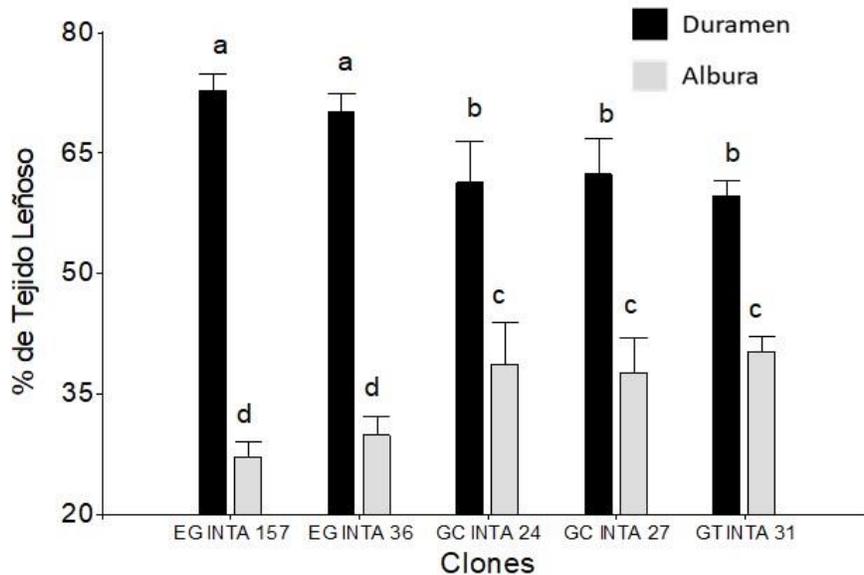


Figura 1: Porcentaje medio de tejido leñoso por clones. Letras diferentes indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Los clones puros arrojaron mayor porcentaje de tejido duraminizado que los híbridos (aproximadamente un 10 %). La distribución de la superficie ocupada por ambos tipos de tejido leñoso se puede observar en la Tabla 3, donde se comparan las medias entre alturas de cada clon en forma independiente y el porcentaje de duramen, donde se observa que este último no varió estadísticamente con la altura de fuste ($valor-p > 0,05$) para los clones EG INTA 157, EG INTA 36 y GT INTA 31. Mientras que para GC INTA 24 y GC INTA 27, la altura de 5,50 m presentó menor porcentaje de duramen con diferencias estadísticas respecto a las alturas 0,10 m y 2,80 m, debido a un abrupto aumento del espesor de albura que se manifiesta como incremento del área de albura entre 2,80 m y 5,50 m.

Tabla 3: Relación de área y proporción de tejido leñoso a distintas alturas de fuste.

Clones	h	Área de albura (cm ²)		Área de duramen (cm ²)		% Duramen	
		Media	DE	Media	DE	Media	DE
EG INTA 157	0,10	201,3 ^a	48,5	533,1 ^a	107,6	72,7 ^a	0,9
	2,80	164,6 ^b	24,6	455,9 ^b	90,6	73,3 ^a	2,9
	5,50	161,8 ^b	19,8	434,5 ^b	98,7	72,6 ^a	2,3
EG INTA 36	0,10	427,5 ^a	81,3	934,7 ^a	246,4	68,3 ^a	1,8
	2,80	289,9 ^b	58,4	715,0 ^b	57,0	71,3 ^a	3,0
	5,50	266,5 ^b	31,5	640,2 ^b	81,6	70,6 ^a	1,0
GC INTA 24	0,10	393,5 ^a	125,5	737,1 ^a	119,8	65,7 ^a	3,7
	2,80	240,3 ^b	47,6	413,7 ^b	124,4	62,9 ^a	2,5
	5,50	266,5 ^b	79,3	331,6 ^c	100,3	55,4 ^b	1,2
GC INTA 27	0,10	589,5 ^a	83,7	1090,7 ^a	138,3	64,8 ^a	5,2
	2,80	397,4 ^b	77,1	703,2 ^b	94,0	64,0 ^a	2,9
	5,50	405,6 ^b	44,3	563,3 ^b	44,4	58,2 ^b	1,4
GT INTA 31	0,10	509,0 ^a	72,4	776,6 ^a	98,7	60,4 ^a	1,7
	2,80	299,4 ^b	55,4	458,7 ^b	100,3	60,4 ^a	2,5
	5,50	292,6 ^b	42,8	406,8 ^b	48,4	58,2 ^a	0,6

Duramen %: proporción de duramen respecto del diámetro de la troza a cada altura de fuste; h: altura de fuste (m); DE: desviación estándar.

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre alturas de fuste dentro de cada clon.

A su vez, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre alturas de fuste para el área de albura y duramen, que se diferencian entre 0,10 m y las dos alturas siguientes (2,80 m y 5,50 m). Con excepción del clon GC INTA 24, donde hubo diferencias significativas entre las tres alturas, esto probablemente debido al hecho de que entre los árboles que conforman esta muestra, existe mayor variación en el DAP respecto de los otros clones. Dado que el análisis de MGL utiliza al árbol como variable de carácter aleatorio esta diferencia se acentúa, por lo que este efecto podría disminuir, si se aumentara el tamaño de la muestra. En general existe poca información sobre la variación de áreas de tejido leñoso en sentido axial, sobre todo de los parentales red gum (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) y red iron gum (*Eucalyptus tereticornis* Sm.), como para establecer una comparación, sin embargo, otros autores como Morais y Pereira (2007), que estudiaron árboles de blue gum (*Eucalyptus globulus* Labill.) en segunda rotación a edades similares a las de este estudio, encontraron que el porcentaje del duramen disminuyó con la altura y que el espesor de la albura se

mantuvo relativamente constante hasta el 55 % de la altura total. Por otro lado, Caniza (2010) halló diferentes tendencias en la variación de la relación albura/duramen entre clones de rose gum (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden): i) un valor constante hasta 4,8 m para luego crecer con altura, ii) un aumento monótono y leve con la altura, iii) un incremento notable desde la base hasta los 11 m de fuste. Estas diferencias fueron atribuidas al tratamiento silvícola y al genotipo.

Densidad aparente

A través del análisis con MGL se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los materiales genéticos ($valor-p < 0,05$). Luego, la comparación de medias con la prueba *DGC* permitió evaluar las diferencias estadísticas entre clones y tipo de clones, para las distintas densidades (Tabla 4). También se comparó la significancia estadística de la variable “Tipo de clon”, encontrándose que para cualquier densidad estudiada los clones puros se diferenciaron estadísticamente de los clones híbridos, arrojando valores medios inferiores. Los distintos tipos de densidades del clon EG INTA 157 fueron en todos los casos inferiores y estadísticamente diferentes de los otros materiales evaluados. Por otro lado, entre los clones GC INTA 27 y GT INTA 31, se observó que no hubo diferencias significativas para los distintos tipos de densidades, pero sí se distinguieron de los demás materiales genéticos arrojando valores medios superiores. Mientras que en la *Ds* se diferencia el EG INTA 157 de los demás, presentando el menor valor. En cuanto a la densidad básica no se detectaron

diferencias estadísticas entre los híbridos, pero sí fueron mayores y distintos que los clones puros. López *et al.* (2016) obtuvieron valores medios muy similares de *Db* a partir de tarugos radiales tomados a la altura de pecho, al estudiar los mismos materiales genéticos al 6° año de edad en plantaciones ubicadas en Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina. Comparando los valores medios de densidad según tipo de clones (puros o híbridos) los valores de *De*, *Ds*, *Do* y *Db* de los clones híbridos fueron 25 %, 9 %, 26 % y 22 % respectivamente, más altos que los puros.

Tabla 4: Valores promedio de densidades por árbol para los clones y tipos de clones.

Clones y Tipo de clones	n	CH%	De (kg/m ³)		Ds (kg/m ³)		Do (kg/m ³)		Db (kg/m ³)	
			Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
EG INTA 157	51	11,1 ^a	473 ^c	69	936 ^b	107	453 ^c	73	368 ^c	34
EG INTA 36	63	10,8 ^a	636 ^b	75	1055 ^a	61	614 ^b	76	467 ^b	52
GC INTA 24	49	10,9 ^a	672 ^b	82	1072 ^a	45	648 ^b	79	502 ^a	66
GC INTA 27	65	10,8 ^a	716 ^a	75	1098 ^a	40	697 ^a	74	518 ^a	68
GT INTA 31	46	10,5 ^a	718 ^a	74	1094 ^a	59	698 ^a	74	518 ^a	61
Clones puros	114	10,8 ^a	555 ^b	109	994 ^b	102	536 ^b	111	418 ^b	67
Clones híbridos	160	10,7 ^a	702 ^a	79	1086 ^a	49	681 ^a	78	513 ^a	65

CH%: contenido de humedad estacionado; *De*: densidad estacionada; *Ds*: densidad saturada; *Do*: Densidad anhidra; *Db*: densidad básica; *n*: número de muestras; *DE*: desviación estándar. Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$).

Con respecto a las alturas de fuste, en la Tabla 5 se presentan los valores medios de la densidad básica para los distintos clones y alturas de fustes. Si bien *Db* presentó una tendencia decreciente con *h*, sólo hubo diferencias estadísticamente significativas entre los valores de densidad en la base del árbol respecto a las otras dos alturas para los clones puros EG INTA 157 y EG INTA 36.

Este comportamiento es consistente con lo observado por de Oliveira *et al.* (2012), quienes describieron una disminución entre las alturas del *DAP* y 3,7 m.

Tabla 5: Variación de la densidad básica promedio por clones a cada altura de fuste.

Clones	<i>h</i>	<i>n</i>	Media (kg/m ³)	DE (kg/m ³)
EG INTA 157	0,10	17	389 ^a	32
	2,80	17	360 ^b	32
	5,50	16	352 ^b	27
EG INTA 36	0,10	24	501 ^a	55
	2,80	20	443 ^b	37
	5,50	19	450 ^b	37
GC INTA 24	0,10	20	519 ^a	76
	2,80	16	479 ^a	44
	5,50	13	502 ^a	70
GC INTA 27	0,10	26	526 ^a	78
	2,80	20	506 ^a	61
	5,50	19	520 ^a	61
GT INTA 31	0,10	16	518 ^a	74
	2,80	16	515 ^a	56
	5,50	14	522 ^a	52

h: altura de fuste (m); *n*: tamaño de la muestra; *DE*: desviación estándar.

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre alturas de fuste dentro de cada clon.

En la Figura 2 se compara la tendencia de la *Db* para cada clon, en el sentido radial y axial, discriminado por tipo de tejido (duramen y albura). Se observa que para todos los materiales genéticos estudiados la densidad básica de la albura (posición radial *D*) fue mayor que la del duramen, independientemente de la altura de fuste, mostrando diferencia significativa ($p < 0,05$) para todos los materiales genéticos. Cherelli *et al.* (2018) y Almeida *et al.* (2020) lograron patrones radiales similares y atribuyeron este comportamiento a la temprana edad de los individuos, debido a los cambios fisiológicos del meristema cambial. Con la edad, la diferenciación celular favorece los requerimientos mecánicos en desmedro de la conducción, las fibras engrosan su pared celular y disminuye la frecuencia de los vasos (Sette Jr. *et al.* 2012).

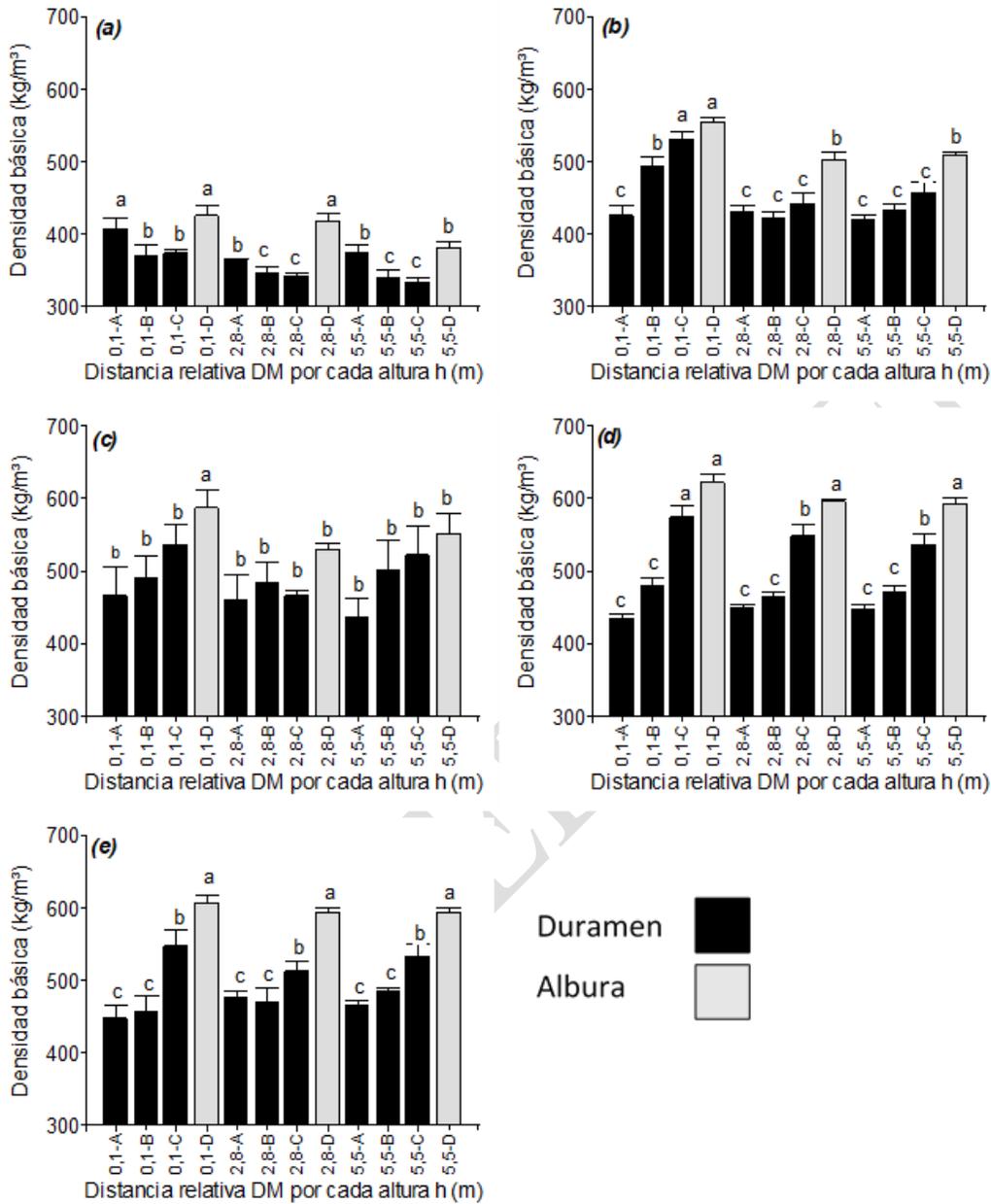


Figura 2: Comparación de la densidad básica en sentido radial y axial para los clones (a) EG INTA 157, (b) EG INTA 36, (c) GC INTA 24, (d) GC INTA 27 y (e) GT INTA 31. Clases A, B y C (negro) corresponden al 33, 66 y 100 % de la distancia radial de duramen; clase D (gris) pertenece a la albura. Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$).

En general la densidad aumentó desde la médula hacia la corteza, y con un patrón menos marcado con respecto a las alturas de fustes evaluadas, excepto para el clon EG INTA 157 en el que esta propiedad disminuyó en ambos sentidos, con un posterior aumento hacia la

albura. En el caso del clon GC INTA 24, prácticamente no se detectaron diferencias entre las clases de distancia radial para *Db*, debido a la mayor amplitud de la desviación. La tendencia creciente de la *Db* radial también ha sido registrada por otros autores para *E. grandis* de distintas edades, de 23 años (de Oliveira *et al.* 2012), de 10, 12 y 15 años (Winck *et al.* 2014), y de 18 años de edad (Cherelli *et al.* 2018).

Es necesario remarcar que la altura estudiada alcanzó a 5,50 m. Si se tomara muestras hasta el diámetro mínimo aprovechable (14 cm en punta fina), y otras edades, probablemente nos encontraríamos con un patrón diferente. En un estudio de variación radial y longitudinal de la densidad básica a edades juveniles y maduras en rose gum (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) para las muestras obtenidas de todo el fuste, Winck *et al.* (2014), encontraron patrones diferentes según la edad considerada, aunque los rangos de alturas considerados fueron más amplios y exceden a los del presente trabajo. Para las edades juveniles entre los 5 y 10 años la densidad básica aumentó hasta el 80 % de la altura relativa y luego disminuyó, atribuyendo este comportamiento a la actividad fisiológica del árbol. Por otro lado, para las edades maduras superiores a los 12 años registraron un aumento de la densidad con la altura del árbol, indicando que esto podría deberse al gran porte de la especie ya que el fuste actúa como un mecanismo de resistencia para poder soportar la estructura de la copa, y el patrón radial fue creciente indistintamente de la edad. En otro estudio realizado por Sette Jr. *et al.* (2012), en árboles de 6 años de rose gum (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden), encontraron una disminución de la densidad básica entre la base y los 3 m, con un posterior aumento hacia la copa, estos autores también atribuyen los altos valores de esta propiedad en la base y la copa, a los requerimientos mecánicos de soporte.

Respecto a la variación radial, otros autores han determinado un patrón similar al de este estudio. Aiso-Sanada *et al.* (2019) en clones de red gum (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.)

de 12 años en un estudio realizado en Tailandia y Winck *et al.* (2014) en plantaciones de rose gum (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) de 10, 12 y 15 años realizado en dos zonas agroecológicas (Norte de Misiones y NE-Corrientes, Argentina) observaron un aumento radial de la densidad.

Conclusiones

Los clones puros arrojaron una mayor proporción de duramen respecto a los híbridos. Esto es interesante desde el punto de vista de la producción de volumen de este tipo de tejido, aunque su densidad fue menor, principalmente para el clon EG INTA 157, por lo que podría destinarse para usos no estructurales como apariencia y mueblería.

La proporción de duramen de todos los clones no varió en el sentido longitudinal hasta la altura evaluada, excepto para los clones *E. grandis* x *E. camaldulensis* donde se observó una leve disminución del porcentaje de duramen para las muestras obtenidas a 5,5 m de altura.

La densidad de los clones híbridos fue significativamente superior a la de los clones puros. Se observó un patrón creciente y marcado de la densidad básica en la dirección radial, mientras que, en el sentido axial, solo los clones puros presentaron variación.

La densidad de la albura fue mayor que la del duramen para las tres alturas de fuste y para todos los materiales genéticos.

Los clones híbridos, por su mayor densidad y homogeneidad observada dentro del perfil longitudinal del fuste podrían ser aptos para madera aserrada o contrachapado estructural. La

producción de pulpa de celulosa también es una alternativa para los híbridos debido a la menor proporción de duramen, lo cual facilitaría el proceso de blanqueo, como así también para fines energéticos, dada su mayor densidad.

A futuro se espera evaluar características anatómicas y su relación con la densidad. El estudio de estas propiedades, conjugadas con otras variables, como, por ejemplo, conicidad e índice de rajado, permitirían optimizar los procesos de transformación mecánica de estos taxones y el uso final de la producción.

Declaración autorías

C. B-H.: Investigación, escritura borrador, redacción original: revisión y edición. R. A. W.: Investigación, escritura borrador original, redacción: revisión y edición, conceptualización, adquisición de fondos, supervisión. D. R. A.: Investigación. H. E. F.: Conceptualización, redacción: revisión y edición. P. M. S.: Conceptualización, adquisición de fondos, administrador del proyecto, supervisión, escritura borrador original, redacción: revisión y edición.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (proyectos 2019-PE-E7- I 148-001, Procesos y tecnologías sostenibles para el agregado de valor en las cadenas y regiones), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) (PIP 11220200100926CO) y Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) (PICT 2020-1003) por el financiamiento recibido. Los autores

agradecen especialmente al propietario del terreno Sr. Ricardo Schesani; a los Ing. Javier Oberschelp y Leonel Harrand de EEA-INTA Concordia quienes instalaron el ensayo y a los técnicos de EEA-INTA Montecarlo, Diego Aquino, Diego Bogado y Tomás J. Haberle por el apoyo en las actividades de campo.

Referencias:

- Aiso-Sanada, H.; Ishiguri, F.; Diloksumpun, S.; Nezu, I.; Tanabe, J.; Ohshima, J.; Yokota, S. 2019.** Effects of thinning on anatomical characteristics and wood properties of 12-year-old *Eucalyptus camaldulensis* trees planted in Thailand. *Tropics* 28(3): 67-73. <https://doi.org/10.3759/tropics.MS19-04>
- Andrade, F.W.C.; Tomazello Filho, M.; Moutinho, V.H.P. 2018.** Influence of Wood Physical Properties on Charcoal from *Eucalyptus* spp. *Floresta e Ambiente* 25(3). e20150176. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.017615>
- Almeida, M.N.F.d.; Vidaurre, G.B.; Pezzopane, J.E.M.; Lousada, J.L.P.C.; Silva, M.E.C.M.; Câmara, A.P.; Rocha, S.M.C.; Oliveira, J.C.L.d.; Campoe, O.C.; Carneiro, R.L.; Alvarez, C.L.; Tomazello Filho, M.; Figueiredo, F.d.M.d.; Oliveira, R.F. 2020.** Heartwood variation of *Eucalyptus urophylla* is influenced by climatic conditions. *Forest Ecology and Management* 458: e117743. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117743>
- Awan, A.R.; Chughtai, M.I.; Ashraf, M.Y.; Mahmood, K.; Rizwan, M.; Akhtar, M.; Siddiqui, M.T.; Khan, R.A. 2012.** Comparison for physico-mechanical properties of farm-grown *Eucalyptus camaldulensis* Dehn with conventional timbers. *Pakistan Journal of Botany* 44(6): 2067-2070. [https://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/44\(6\)/38.pdf](https://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/44(6)/38.pdf)
- Bailleres, H.; Lee, D.J.; Kumar, C.; Psaltis, S.; Hopewell, G.; Brancheriau, L. 2019.** *Improving returns from southern pine plantations through innovative resource characterisation*. Project Report. Forest & Wood Products, Australia. <http://era.daf.qld.gov.au/id/eprint/7939/>
- Bastin, J.F.; Fayolle, A.; Tarelkin, Y.; Van den Bulcke, J.; De Haulleville, T.; Mortier, F.; Beeckman, H.; Van Acker, J.; Serckx, A.; Bogaert, J.; De Cannière, C. 2015.** Wood specific gravity variations and biomass of central African tree species: The simple choice of the outer wood. *PLoS One* 10(11): e0142146. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142146>
- Brito, A.S.; Vidaurre, G.B.; Oliveira, J.T.D.S.; Missia da Silva, J.G.; Rodrigues, B.P.; Carneiro, A.D.C.O. 2019.** Effect of planting spacing in production and permeability of heartwood and sapwood of *Eucalyptus* wood. *Floresta e Ambiente* 26(1): e20180378. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.037818>
- Bucur, V. 2006.** *Acoustics of Wood*. Springer Series in Wood Science. 2nd. ed. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F3-540-30594-7.pdf>
- Costa, A.C.S.; Leal, C.S.; Santos, L.C.; Carvalho, A.M.M.L.; Oliveira, A.C.; Pereira, B.L.C. 2017.** Properties of heartwood and sapwood of *Eucalyptus camaldulensis*. *Brazilian Journal of Wood Science* 8(1): 10-20. <http://dx.doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v8n1p10-20>

- 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. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2006000300003>
- 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 uso sólido. Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Forestales. Argentina. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/6723>
- Chave, J.; Coomes, D.; Jansen, S.; Lewis, S.L.; Swenson, N.G.; Zanne, A.E. 2009.** Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters* 12(4): 351-366. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x>
- Cherelli, S.G.; Sartori, M.M.P.; Próspero, A.G.; 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>
- de Oliveira, B.R.U.; Latorraca, J.D.F.; Tomazello Filho, M.; Palermo, G.D.M.; de Carvalho, A.M.; Pastro, M.S. 2012.** X-ray microdensitometry applied to determination of wood density variation of *Eucalyptus grandis* W. Hill trees. *Scientia Forestalis* 40(93): 103-112. <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr93/cap11.pdf>
- Dickson, R.L.; Raymond, C.A.; Joe, W.; Wilkinson, C.A. 2003.** Segregation of *Eucalyptus dunnii* logs using acoustics. *Forest Ecology and Management* 179(1-3): 243-251. [http://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00519-4](http://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00519-4)
- Di Rienzo, J.A.; Guzman, A.W.; Casanoves, F.A. 2002.** Multiple-comparisons method based on the distribution of the root node distance of a binary tree. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* 7: 129-142. <https://doi.org/10.1198/10857110260141193>
- Di Rienzo, J.A.; Macchiavelli, R.; Casanoves, F. 2011.** *Modelos lineales mixtos: aplicaciones en InfoStat*. 1ra Ed. Grupo Infostat: Córdoba, Argentina. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8691?locale-attribute=es>
- Espinoza, E.N.R.; Cárdenas, X.F.; Barra, P.A.N.; Bancalari, M.A.E. 2009.** Effect of silvicultural management and type of crown on basic density of *Eucalyptus nitens*. *Floresta* 39(2): 345-354. <http://dx.doi.org/10.5380/rev.v39i2.14561>
- Gominho, J.; Pereira, H. 2005.** The influence of tree spacing in heartwood content in *Eucalyptus globulus* Labill. *Wood and Fiber Science* 37(4): 582-590. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/792>
- González, M.; Balmelli, G. 2020.** Estimación de parámetros genéticos para características productivas en *Eucalyptus tereticornis* e implicancias en el mejoramiento genético. XXXIV Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia. <https://www.jornadasforestales.com.ar/book/revista/jornadas-forestales2020.pdf>
- IRAM. 1973.** Método de la determinación de la densidad aparente. IRAM: 9544. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales: Buenos Aires, Argentina.
- 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. <http://op.niscair.res.in/index.php/IJNPR/article/view/3087/0>
- Lachenbruch, B.; Moore, J.R.; Evans, R. 2011.** Radial Variation in Wood Structure and Function in Woody Plants, and Hypotheses for Its Occurrence. In: *Size- and Age-Related*

Changes in Tree Structure and Function. Tree Physiol vol 4. Meinzer, F.; Lachenbruch, B.; Dawson, T. (eds). Springer: Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1242-3_5

Lopes, M.D.C.; Haselein, C.R.; Santini, E.J.; Longhi, S.J.; Rosso, S.; Fernandes, D.L.; Menezes, L.F.D. 2004. Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira. *Ciencia Florestal* 14: 133-144. <https://doi.org/10.5902/198050981813>

López, J.A.; Harrand, L.; Marco, M.A.; Lopez, A.J. 2016. Variación genética de clones híbridos de *Eucalyptus*. *Quebracho* 24(1-2): 5-17. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/1210>

Harrand, L.; Marcó, M.A. 2012. Investigación hacia el desarrollo de materiales genéticos tolerantes al frío. XXVI Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia. 7-10 https://www.jornadasforestales.com.ar/edic_antes.php

Mastrandrea, C.A.; Dacoregio, H.M.; Sbravati, M.; Lovatell, Q.C. 2016. Utilización de métodos no destructivos por vibración para evaluar el módulo de elasticidad en tablas aserradas de *Eucalyptus grandis*. En XXX Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia. <https://www.jornadasforestales.com.ar/jornadas/2016/METODOS-NO-DESTRUCTIVOS-PARA-TABLAS-DE-Eucalyptus-grandis.pdf>

Miranda, I.; Gominho, J.; Pereira, H. 2009. Variation of heartwood and sapwood in 18-year-old *Eucalyptus globulus* trees grown with different spacings. *Trees* 23(2): 367-372. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00468-008-0285-9.pdf>

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 informativo CIDEU* 10: 107-117. <http://hdl.handle.net/10272/5522>

Morais, M.C.; Pereira, H. 2007. Heartwood and sapwood variation in *Eucalyptus globulus* Labill. Treer at the end of rotation for Pulp wood production. *Annals of Forest Science* 64: 655-671. <https://doi.org/10.1051/forest:2007045>

Nicolao, E.S.; Monteoliva, S.; Cinnamea, E.M.; Stefani, P.M. 2022. Plywoods of northeast argentinian woods and soybean protein-based adhesives: Relationship between morphological aspects of veneers and shear strength values. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 24: 1-28. <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2022000100403>

Núñez, C.E. 2007. Relaciones de conversión entre densidad básica y densidad seca de madera. *Revista de Ciencia y Tecnología* 9(9): 44-50. <https://www.fceqyn.unam.edu.ar/recyt/index.php/recyt/article/view/594>

Palermo, G.D.M.; Latorraca, J.D.F.; De Carvalho, A.M.; Calonego, F.W.; Severo, E.T.D. 2015. Anatomical properties of *Eucalyptus grandis* wood and transition age between the juvenile and mature woods. *European Journal of Wood and Wood Products* 73(6): 775-780. <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0947-4>

Peel, M.C.; Finlayson, B.L.; McMahon, T.A. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences* 11: 1633-1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>

Pereira, B.L.C.; Oliveira, A.C.; Carvalho, A.M.M.L.; Carneiro, A.D.C.O.; Santos, L.C.; Vital, B.R. 2012. Quality of wood and charcoal from *Eucalyptus* clones for ironmaster use. *International Journal of Forestry Research* 2012: e523025. <https://doi.org/10.1155/2012/523025>

Pereira, B.L.C.; Oliveira, A.C.; Carvalho, A.M.M.L.; Carneiro, A.C.O.; Vital, B.R.; 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.
<https://www.ipef.br/PUBLICACOES/SCIENTIA/nr98/cap07.pdf>

Pereira H.; Graça J.; Rodrigues J.C. 2003. Wood chemistry in relation to quality. In: *Wood quality and its biological basis*. Barnett, J.R.; Jeronimidis, G. (Eds.), Blackwell Publishing, United Kingdom, pp. 53-86. <https://doi.org/10.1002/chin.200446298>

Pillai, P.K.C.; Pandalai, R.C.; Dhamodaran, T.K.; 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.
<https://www.jstor.org/stable/23617037>

Piter, J.C.; Zerbino, R.L.; Blaß, H.J. 2004. Visual strength grading of Argentinean *Eucalyptus grandis*. *Holz als Roh- und Werkstoff* 62(1): 1-8.
<https://doi.org/10.1007/s00107-003-0433-2>

Saito, K.; Mitsutani, T.; Imai, T.; Matsushita, Y.; Yamamoto, A.; Fukushima, K. 2008. Chemical differences between sapwood and heartwood of *Chamaecyparis obtusa* detected by ToF-SIMS. *Applied Surface Science* 255(4): 1088-1091.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2008.05.145>

Sette Jr, C.R.; Oliveira, I.R.; Tomazello Filho, M.; Yamaji, F.M.; Laclau J.P. 2012. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore* 36(6): 1183-1190.
<https://www.scielo.br/j/rarv/i/2012.v36n6/>

Silva, J.C. 2003. Influência dos tratamentos silviculturais na qualidade da madeira. *Revista da Madeira* 75: 1-10.
http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=415&subject=Silvicultura&title=Influ%EAncia%20dos%20tratamentos%20silviculturais%20na%20qualidade%20da%20madeira

Silva, L.B.D.; Santos, F.D.A.R.D.; Gasson, P.; Cutler, D. 2009. Anatomia e densidade básica da madeira de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (Fabaceae), espécie endêmica da caatinga do Nordeste do Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 23: 436-445.
<https://doi.org/10.1590/S0102-33062009000200015>

Sinha, S.K.; Vijendra Rao, R.; Rathore, T.S.; Borgaonkar, H.P. 2017. Growth Ring Structure and Specific Gravity Variation in Juvenile and Mature Wood of Natural-Grown Teak (*Tectona grandis* L.f.). In *Wood is Good*. Pandey, K.; Ramakantha, V.; Chauhan, S.; Arun Kumar, A. (eds.). Springer, Singapore. 105-115. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3115-1_11

Tichi, H.; Gholamiyan, H.; Rezanezhad Divkolae, M. 2021. Changes in Biometric, Density, and Microscopic Features of *Parrotia persica* Trees in Longitudinal and Radial Directions of the Stem. *BioResources* 16(2): 3563-3574.
<https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/changes-in-biometric-density-and-microscopic-features-of-parrotia-persica-trees-in-longitudinal-and-radial-directions-of-the-stem/>

Valle, M.L.A.; Silva, J.D.C.; Lucia, R.M.D.; Evangelista, W.V. 2013. Retenção e penetração de CCA em madeira de primeira e segunda rotação de *Eucalyptus urophylla* ST Blake. *Ciencia Florestal* 23(2): 481-490. <https://doi.org/10.5902/198050989292>

Williams, J.L.H. 2010. Anatomía y densidad o peso específico de la madera. *Revista Forestal Venezolana* 54(1): 67-76. https://www.researchgate.net/profile/Williams-Leon/publication/260002299_Anatomia_y_densidad_o_peso_especifico_de_la_madera_Anatomy_and_specific_gravity_of_wood/links/0a85e52f01b9b42fd9000000/Anatomia-y-densidad-o-peso-especifico-de-la-madera-Anatomy-and-specific-gravity-of-wood.pdf

Winck, R.A.; Palacio, M.A.; Bragañolo, A.; Belaber, E.; Gauchat, M.E.; Aquino, D.R.; Suirezs, M.T. 2019. Peso Específico Aparente en dos procedencias de *Pinus taeda*. XVIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Eldorado, Misiones, Argentina. <https://www.jotefa.com.ar/actas>

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. En XVII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Producción Forestal Secundaria. 390-392. <https://www.jotefa.com.ar/actas>

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. En XVI Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. FCF Eldorado, Misiones. <https://www.jotefa.com.ar/actas>

Winck, R.A.; Fassola, H.E.; Barth, S.R.; Crechi, E.H.; Keller, A.E. 2012. Ecuaciones para estimar proporción de volumen de duramen y de albura de *Eucalyptus grandis* H. En XV Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA. <https://www.jotefa.com.ar/actas>

ACCEPTED PAPER