



VARIACIÓN RADIAL DE LA DENSIDAD A TRES ALTURAS DE FUSTE DE 5 CLONES DE *Eucalyptus*

Christian BULMAN HARTKOPF^{1,2*}, Rosa A. WINCK¹, Hugo E. FASSOLA¹, Diego R. AQUINO¹, Pablo M. STEFANI³

RESUMEN

Se evaluó la densidad aparente de 5 materiales genéticos de INTA, a partir de un ensayo de 11 años instalado en la localidad de Leandro N. Alem, provincia de Misiones. Se trata de dos clones puros de *Eucalyptus grandis* y tres híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* y *E. grandis* x *E. tereticornis* de interés para la industria, los cuales fueron EG INTA 157, EG INTA 36, GC INTA 24, GC INTA 27 y GT INTA 31, respectivamente. Las variables analizadas fueron la densidad básica (Db), estacionada (De), anhidra (Do) y saturada (Ds) de todas las muestras obtenidas en el sentido radial y a las alturas de fuste de 0,10; 2,65 y 5,50 m. Los valores de densidad de los materiales híbridos fueron mayores y más homogéneos. Todos los clones presentaron aumento de la densidad en sentido radial, desde la médula hacia la corteza, a diferencia del EG INTA 157, que disminuye levemente, no se encontraron diferencias significativas entre alturas. El *E. grandis* EG INTA 157 podría ser recomendable en aquellas aplicaciones donde se prefieran valores más bajos densidad por la relación peso/resistencia.

Palabras clave: *variación transversal, variación axial, material genético, propiedades físicas*

1. INTRODUCCION

Uno de los objetivos de investigar nuevos materiales genéticos y su silvicultura es la de obtener la materia prima de calidad óptima para la industria (Harrand et al., 2017), ya que se puede clasificar la madera por sus propiedades físicas y dirigir el corte en función de las características deseadas (Calvo et al., 2006). De estas, la densidad aparente podría ser la más importante ya que se la utiliza para clasificar la madera en diversos usos, donde la homogeneidad influye en la calidad del producto final (Cherelli et al., 2018). Por otro lado, está muy relacionada con las propiedades mecánicas (Chave et al., 2009; León, 2010; Pillai et al., 2013; Winck, 2013; Bastin et al., 2015; Bulman et al., 2021), como lo es la resistencia a la flexión estática, compresión y tracción (Awan et al., 2012).

Diferentes autores encontraron variación en sentido radial y longitudinal de la densidad. De Oliveira et al. (2012) en *E. grandis* de 23 años halló un incremento en los valores de esta propiedad en ambos sentidos. Arango y Tamayo (2008) en clones de *E. grandis* y *E. grandis* x *E. urophylla* de 8 años observaron diferentes patrones de variación transversal (constante, creciente, decreciente), encontrando que existen diferencias significativas entre clones de genética pura e híbrida. Por otro lado, Winck et al. (2014) para *E. grandis* de diferentes edades determinaron para la densidad básica un patrón creciente en sentido radial y con respecto a la variación axial estuvo relacionada con la edad del individuo.

Debido a la influencia de la densidad sobre la calidad del producto final y la escasez de información de estos materiales genéticos “nuevos”, este trabajo tiene como objetivo determinar la variación radial de la densidad básica a 3 alturas de fuste de árboles de 5 clones de *Eucalyptus*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los individuos utilizados fueron obtenidos de un ensayo clonal de *Eucalyptus* (Cuadro 1), instalado por la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) de INTA Concordia, Entre Ríos en la localidad de Leandro

¹ INTA, EEA Montecarlo, Montecarlo, Misiones, Argentina. *Contacto: bulman.christian@inta.gov.ar

² INTA, CONICET, EEA Montecarlo, Misiones, Argentina.

³ UNMdP, CONICET, INTEMA, Mar del Plata; Buenos Aires, Argentina.



N. Alem, provincia de Misiones, Argentina. Situado en las coordenadas 55°18'4.27"O, 27°37'22.88"S, a una altitud de 335 m.s.n.m. De acuerdo a los datos de la estación meteorológica más cercana (EEA INTA Cerro Azul), 14 km al sur, la precipitación media anual es de 1955 mm, la temperatura media anual de 20,9 °C. El mes más cálido es enero y el más frío julio, con una frecuencia media anual de 11 heladas meteorológicas (Oliniuck, 2003).

De acuerdo a la clasificación de Köppen-Geiger y el régimen termopluviométrico de Cerro Azul, se corresponde con el clima templado cálido (subtropical) sin estación seca, designado como Cfa. El suelo es rojo profundo, tipo Ultisol, en posición de media loma.

El ensayo fue establecido en el año 2009, con un espaciamiento de 4 m x 2,5 m y un diseño experimental de bloques completos al azar (BCA) con 5 repeticiones y parcelas de 4 plantas, con bordura simple.

Cuadro 1. Descripción de los materiales genéticos evaluados

Clon	Tipo de Clon	Material Genético	n	DAP Promedio	DE	HT Promedio	DE
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 medidos; DAP: diámetro a la altura de pecho (cm); HT: altura total (m); DE: desvío estándar.

A los 11 años de edad se eligieron aleatoriamente 15 árboles en total, 3 individuos de cada clon. De cada ejemplar se obtuvieron rodajas a las alturas 0,10, 2,65 y 5,50 m, de las que se obtuvo un listón central desde la médula hacia la corteza, para obtener probetas, según la norma IRAM 9544 (1973), de 2 x 2 x 2 cm discriminadas por duramen y albura. Para el cálculo de la densidad estacionada (De), saturada (Ds), anhidra (Do), básica (Db) y el contenido de humedad (CH%) se utilizaron las ecuaciones (1), (2), (3), (4) y (5) respectivamente, por medio del peso en balanza de precisión y cálculo de volumen por inmersión en agua.

$$De = \frac{P_e}{V_e} \quad (1) \quad Ds = \frac{P_s}{V_s} \quad (2) \quad Do = \frac{P_o}{P_o} \quad (3) \quad Db = \frac{P_o}{V_s} \quad (4) \quad CH = \left(\frac{P_v - P_o}{P_o} \right) * 100 \quad (5)$$

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

Luego estas se agruparon por clases, primero las que abarcaron el 33 %, 66 % y 100 % del radio del duramen como A, B y C, respectivamente, y la clase D abarcó solamente probetas pertenecientes a la albura.

El análisis estadístico se realizó con modelos lineales generales y mixtos con un nivel de significancia del 5 % y el test DGC de comparación de medias, con el programa estadístico Infostat® (Di Rienzo et al., 2020). En todos los casos se utilizó al árbol como variable de efecto aleatorio mientras que, las variables de efecto fijo fueron: el material genético (clones), el tipo de clones (puros e híbridos), posición radial relativa (distancia radial DM%), altura de fuste (H) y el tipo de leño (duramen y albura).

Para simplificar la presentación de los resultados se utilizó la Db al describir la tendencia en el perfil axial y transversal por ser la más difundida en el campo de la investigación científica para la comparación de especies.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Entre los clones estudiados se encontraron, diferencias significativas (p-valor = 0,0001) para todas las densidades (Cuadro 2). La De se obtuvo con el 9,45 % de contenido de humedad. Se observa que los materiales híbridos son de mayor densidad que aquellos puros. Posteriormente se analiza la influencia de los otros factores, encontrando mayor influencia por parte de la distancia radial relativa (DM) y el tipo de tejido que de la altura del fuste (H).



Cuadro 2. Valores promedio por árbol y por clon de los diferentes tipos de densidades.

Clon	n	De		Ds		Do		Db	
		Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
EG INTA 157	51	0,47 ^c	(0,07)	0,93 ^b	(0,11)	0,45 ^c	(0,07)	0,37 ^c	(0,03)
EG INTA 36	63	0,63 ^b	(0,08)	1,06 ^a	(0,05)	0,61 ^b	(0,08)	0,46 ^b	(0,05)
GC INTA 24	49	0,67 ^b	(0,08)	1,07 ^a	(0,05)	0,65 ^b	(0,07)	0,50 ^a	(0,07)
GC INTA 27	65	0,72 ^a	(0,07)	1,10 ^a	(0,04)	0,70 ^a	(0,07)	0,52 ^a	(0,07)
GT INTA 31	46	0,72 ^a	(0,07)	1,09 ^a	(0,05)	0,70 ^a	(0,07)	0,52 ^a	(0,06)

De: densidad estacionada; Ds: densidad saturada; Do: Densidad anhidra; Db; densidad básica; n: número de muestras; DE: desvío estándar; letras diferentes indican diferencia significativa al 95% de confianza.

Se observó que entre los clones GC INTA 27 y GT INTA 31 no hubo diferencias significativas para los distintos tipos de densidades y se diferenciaron de los demás con valores medios superiores, por otro lado, el clon EG INTA 157 fue inferior y estadísticamente diferente de los otros clones en todos los casos. López et al. (2016) estudiaron los mismos materiales al 6° año de edad en Concepción del Uruguay, Entre Ríos, obteniendo resultados similares. La mayor densidad de los híbridos se debe al aporte genético de *E. camaldulensis* y *E. tereticornis* (Harrand et al., 2017).

En la Figura 1 se compara la tendencia de la Db para cada clon, en el sentido radial y axial, discriminado por tipo de tejido. El análisis de modelos mixtos reveló que no existió interacción entre las variables clon y altura de fuste (p -valor = 0,377).

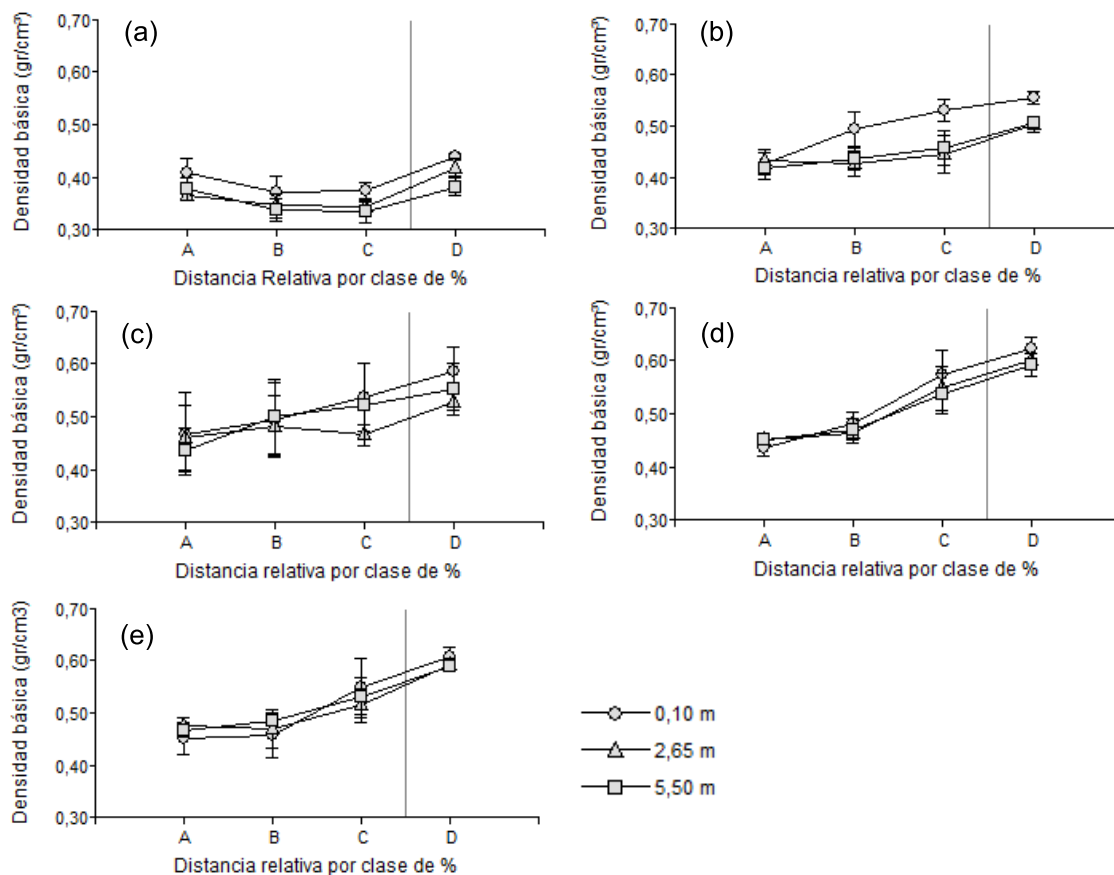


Figura 1. Comparación de la densidad básica en sentido radial y axial para los clones (a) EG INTA 157, (b) EG INTA 36, (c) GC INTA 24, (d) GC INTA 27 y (e) GT INTA 31. La línea vertical indica la separación entre duramen y albura.



De la Figura 1 se observa que independientemente de la altura de fuste considerada, la densidad de la albura es mayor para todos los clones. Cherelli et al. (2018) atribuye este comportamiento al hecho de que los individuos son jóvenes. Con la edad, el meristema cambial genera que las fibras desarrollen paredes celulares más gruesas y disminuye la frecuencia de los vasos haciendo un tejido más denso (Sette Jr. et al., 2012).

La tendencia encontrada es que la densidad aumentó desde la médula hacia la corteza, más notoriamente que las alturas, entre las cuales existe poca o ninguna diferencia, excepto para el clon EG INTA 157 en el que esta propiedad disminuye en sentido radial a través del duramen y en forma general con la altura. El patrón de incremento radial de la densidad también ha sido registrado por varios autores para *E. grandis* para edades comprendidas entre 5 y 32 años (Cherelli et al., 2018; De Oliveira et al., 2012; Winck et al., 2014). Contrariamente, Arango y Tamayo (2008) para *E. grandis* de 8 años de edad encontraron un comportamiento radial diferente al de este estudio.

Es necesario remarcar que la altura estudiada alcanzó a 5,50 m, si se tomaran 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 *E. grandis* para las muestras obtenidas de todo el fuste, Winck et al. (2014), encontraron patrones diferentes según la edad considerada. Para las edades entre los 5 y 10 años la densidad básica aumentó hasta el 80 % de la altura relativa, luego disminuyó, atribuyendo este comportamiento a la actividad fisiológica del árbol. Mientras que para las edades superiores a los 12 años registraron un aumento con la altura del individuo, indicando que esto podría deberse al gran porte de la especie y que el fuste actúa como un mecanismo de resistencia para poder soportar a la estructura de la copa.

4. CONCLUSIONES

Los clones híbridos *E. grandis* x *E. tereticornis* GT INTA 31 y *E. grandis* x *E. camaldulensis* GC INTA 24 y 27 fueron los materiales que arrojaron mayor densidad, por lo que podrían ser apreciados por la industria del carbón dado la relación de esta propiedad con el poder calorífico. Mientras que si se prefieren valores más bajos de densidad, por su relación con el peso, para ser utilizado en la construcción, tal vez sería más recomendable la utilización de *E. grandis* EG INTA 157 por sus menores valores de los distintos tipos de densidades evaluadas.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los proyectos: "Procesos y tecnologías sostenibles para el agregado de valor en las cadenas y regiones los proyectos (2019-PE-E7- I 148-001)" y "ANPCyT por (PICT 2016 0445)" por el financiamiento; al propietario del terreno Sr. Ricardo Schesani; a los Ing. Javier Oberschelp y Leonel Harrand de EEA-INTA Concordia quienes instalaron el ensayo; a los técnicos de EEA-INTA Montecarlo, Diego Bogado y Tomás J. Haberle por el apoyo en las actividades de campo y a la MSc. Fidelina Silva por el aporte bibliográfico de los datos climáticos.

6. LITERATURA CITADA

- ARANGO, B.; TAMAYO, L. 2008. Wood Density in eucalyptus clones by X-Rays Densitometry. Rev. fac. ing. univ. Antioquia, (45), 87-99.
- 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. Pak. J. Bot., 44(6), 2067-2070.
- 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.
- BULMAN H., C.; WINCK, R.A.; FASSOLA, H.E.; AQUINO, D.R.; STEFANI, P.M. 2021. Tiempo de propagación de ondas de impacto para la caracterización de árboles en pie de clones de *Eucalyptus*. V Congreso Nacional de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, Paraguay.



- 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-Cienc Tecnol*, 8(3), 159-168.
- CHAVE, J., COOMES, D., JANSEN, S., LEWIS, S. L., SWENSON, N. G., & ZANNE, A. E. 2009. Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecol. Lett.*, 12(4), 351-366.
- 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. *An. Acad. Bras. Ciênc*, 90(1), 425-438.
- 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. *Sci. For.*, 40(93), 103-112.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2020. InfoStat versión 2020. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- HARRAND L., OBERSCHELP J., MASTRANDREA C., 2017. Mejoramiento Genético de especies cultivadas en Entre Ríos. Curso: Principios técnicos para el cultivo de especies Forestales de Entre Ríos.
- LEÓN, W. J. 2010. Anatomía y densidad o peso específico de la madera. *La Revista Forestal Venezolana*, 54(1), 67-77.
- 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.
- Norma IRAM 9544, 1973. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales-IRAM 9544. Método de la determinación de la densidad aparente.
- OLINUCK, J. A. 2003. Informe agrometeorológico de la localidad de Cerro Azul. Año 2002. Período 1967-2002. INTA EEA CA. Miscelánea N° 50, 20p.
- PILLAI, P.K.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. *J. Trop. For. Sci.*, 25. 220-227.
- SETTE JÚNIOR C.R., OLIVEIRA I.R., TOMAZELLO FILHO M., YAMAJI F.M. AND LACLAU J.P. 2012. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. *Rev. Árvore* 36(6): 1183-1190.
- WINCK, R.A. 2013. Influencia del raleo sobre las características anatómicas y las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus taeda* L. plantado en la región NE de la Argentina. Facultad de Ciencias Exactas Químicas y Naturales. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Misiones. Posadas, Misiones. 102p.
- 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". FCF Eldorado, Misiones.