



VARIACIÓN DE LA POROSIDAD EN SENTIDO RADIAL A TRES ALTURAS DE CINCO CLONES DE *Eucalyptus*

Christian BULMAN HARTKOPF¹*, Rosa A. WINCK², Hugo E. FASSOLA², Elsa I. FIGUEREDO², Pablo M. STEFANI³

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue describir la variación de la porosidad en el perfil radial a tres alturas de cinco clones de *Eucalyptus* (dos puros y tres híbridos) de 11 años, provenientes de un ensayo situado en Leandro N. Alem, provincia de Misiones, a partir de dos características anatómicas: el diámetro tangencial de poro (Dtg) y la frecuencia de poros por unidad de superficie (F) por medio de regresión cuadrática, y a su vez establecer la correlación entre estas variables con la densidad básica (Db) por medio de la prueba de Pearson. Los parámetros fueron medidos por microscopía óptica, sobre láminas obtenidas por corte con micrótopo rotativo de probetas de 1 cm². Se observó que los valores de Dtg poseen una tasa de variación mayor que F, tanto en la dirección radial como axial. La correlación de Pearson entregó valores de -0,33, 0,15, 0,28, 0,57 y 0,42 entre Dtg y Db y 0,22, -0,33, -0,51, -0,59 y -0,54 entre F y Db para los clones EG INTA 157, EG INTA 36, GC INTA 24, GC INTA 27 y GT INTA 31 respectivamente, presentándose un comportamiento inverso en el clon EG INTA 157.

Palabras clave: *anatomía, variación radial, variación axial*

1. INTRODUCCIÓN

La madera juvenil corresponde a la región central del fuste, que se extiende desde la base hasta la copa, formando un cilindro de manera más o menos uniforme, esto ocurre durante los primeros años del crecimiento secundario, originado por el cambium, y se caracteriza por ser una etapa de rápido crecimiento en el que se forma madera de baja densidad (Zobel y Buijtenen, 1989). Conforme el árbol acumula anillos de crecimiento, debido al cambium, en el que se generan células cada vez más maduras, se produce una transición gradual entre la madera juvenil y madera madura, esta última comprende la región periférica del fuste en el que las células producidas año a año tienen poca variabilidad, formando así madera más estable y de mayor densidad. A su vez, la diferencia entre estas dos regiones es más amplia en coníferas que en latifoliadas (Zobel y Buijtenen, 1989). Si bien este cambio gradual está determinado por la edad del cambium, su extensión también dependerá de la característica anatómica que se esté analizando (Cobas et al., 2013).

Según Tsuchiya y Furukawa (2009), el diámetro de los vasos es una de las características anatómicas más importantes para determinar la edad de transición entre madera juvenil y madura en latifoliadas, debido a que presenta un patrón de variación radial creciente desde la médula antes de estabilizarse hacia la corteza (Bhat et al., 2001), indicando la presencia de madera madura. Asimismo, la cantidad de vasos por unidad de superficie, es decir su frecuencia, tiene un comportamiento similar, pero en forma decreciente (Cobas et al., 2013). Por otro lado, estas variables determinan la capacidad de conductividad hídrica (Barotto et al., 2017), por lo que están íntimamente relacionadas con la densidad, que puede considerarse como una medida de la estructura interna de la madera (Naidoo et al., 2006). Siendo, la densidad una variable integradora de la fracción de poros y morfología de fibras, es por esto que existen especies y genotipos de densidad similar, pero con distinta anatomía celular (Monteoliva et al., 2017).

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

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

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



Dada la relación entre estos dos parámetros anatómicos con otras características del leño, son considerados buenos indicadores de la calidad de la madera de latifoliadas a nivel anatómico. Es por ello, que el objetivo del presente trabajo es describir el comportamiento radial del diámetro tangencial de los poros (DTg) y su frecuencia por unidad de superficie (F), para 3 alturas en el fuste de 5 clones de eucaliptos y establecer su relación con la densidad básica (Db) de la madera.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras para el estudio se obtuvieron de un ensayo clonal de *Eucalyptus* establecido en la localidad de Leandro N. Alem en el año 2009 por la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Concordia de INTA. Se analizaron 5 clones: dos puros de *E. grandis* EG INTA 157 y EG INTA 36, dos híbridos de *E. grandis* x *E. camaldulensis* GC INTA 24 y GC INTA 27 y un híbrido de *E. grandis* x *E. tereticornis* GT INTA 31.

Para cada clon se utilizaron 3 árboles de 11 años de edad. La información sobre las características de clima, suelo y diseño fueron previamente informados en Bulman et al. (2021).

En este trabajo, se estudió para cada clon, la variación de la porosidad en sentido radial, en términos del diámetro tangencial de poros (Dtg) y su frecuencia por unidad de superficie (F) contando la cantidad de poros por mm⁻², de acuerdo con las especificaciones de la norma IAWA Comité (1989). Para ello, se cortaron probetas de aproximadamente 1 cm² de área transversal desde la médula hacia la corteza a tres alturas desde el suelo (H=0,10; 2,65 y 5,50 m), posteriormente se realizaron cortes transversales de 30 µm de espesor con un micrótopo rotativo y observados con un microscopio óptico Eclipse LV100DA-U marca Nikon.

Los datos obtenidos de ambas variables fueron analizados, en primer lugar, mediante el análisis de la varianza (ANOVA) con el fin de comparar sus medias generales por la prueba DGC (p <0,05). En el caso de la variable F fue necesario realizar una conversión logarítmica, para que los residuos se distribuyan de forma normal en ambos casos. En segundo lugar, se ajustaron las variables Dtg y F con la ecuación (1) por regresión cuadrática para observar la variación radial entre alturas.

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot DN + \beta_2 \cdot DN^2 \quad (1)$$

Donde, y es la variable de análisis Dtg [µm] o F [poros.mm⁻²] a cada altura muestreada, β₀ es la ordenada al origen, β₁ y β₂ los coeficientes de regresión, DN (valores entre 0 y1) es la distancia normalizada obtenida a partir del cociente entre la distancia radial y el radio total de la rodaja de cada altura de cada árbol. Se analizó además por medio del coeficiente de correlación de Pearson la correlación (r) existente entre estas variables y los valores de densidad básica (Db) previamente informadas por Bulman et al. (2021a) para las mismas muestras.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el Cuadro 1 se comparan los valores promedios del conjunto de datos entre clones, encontrando que existe mayor diferencia significativa para la variable F que para Dtg entre los distintos materiales genéticos, siendo solo el GC INTA 27 diferente a otro clon para ambas variables.

Cuadro 1. Promedios de diámetro tangencial de poro Dtg y frecuencia de poros (F) entre clones (desvío estándar) y comparación de medias DGC.

Clon	Diámetro Medio (µm)	Frecuencia (poros.mm ⁻²)
EG INTA 157	93,5 (19,8) a	12,9 (4,3) c
EG INTA 36	89,1 (20,1) a	11,5 (3,8) b
GC INTA 24	90,6 (22,7) a	14,0 (5,4) c
GC INTA 27	96,6 (22,6) b	10,3 (3,6) a
GT INTA 31	91,9 (17,8) a	11,8 (2,8) b

Letras diferentes indican diferencia estadísticamente significativa (valor-p≤0,05).

La mayoría de los antecedentes que existen sobre estudios anatómicos relacionados a la porosidad, para este género, no siempre abordan la variación radial o axial de forma detallada, y generalmente analizando árboles jóvenes, reportando valores promedio, a pesar de que se espera una mayor variación con el radio a edades tempranas. Belini et al. (2008) determinaron a partir de muestras aleatorias de *chips* para pulpa



tomadas del volumen total de los primeros 6 m del fuste para *E. grandis* de 7 años, valores de Dtg promedio de 105 μm y frecuencias de 12 poros. mm^{-2} . En cambio, Ramos et al. (2011) informaron valores de Dtg de 122, 135 y 133 μm entre zona interna, media y externa del radio, respectivamente en *E. grandis* de 23 años a la altura de pecho. Sánchez Acosta (2012) encontró para un híbrido (INTA) de 9 años de *E. grandis* x *E. tereticornis*, valores medios de 123 μm y 14 poros. mm^{-2} de Dtg y F, respectivamente, de los últimos anillos de crecimiento, promediando diferentes alturas.

Monterubbianesi (2020) analizó los clones EG INTA 36, GC INTA 24 y GC INTA 27 entre otros, de 2 años de edad, a la altura de pecho, provenientes de un ensayo clonal en Concordia, Entre Ríos, encontrando menor Dtg y mayor F en GC INTA 24 y mayor Dtg y menor F en GC INTA 27, es importante resaltar que, a pesar de la diferencia de edad, las tendencias generales se mantienen.

Los resultados de la variación radial y el ajuste según la ecuación 1 para cada altura, se muestran en las Figuras 1 y 2. Se observa que en todos los casos Dtg crece (Figura 1) mientras que F disminuye (Figura 2) desde la médula hacia la corteza; Cobas et al. (2013) encontró la misma tendencia en *Populus deltoides*. Esta relación inversa entre Dtg y F está asociada a la capacidad de las plantas para ajustar el suministro de agua en función de la demanda de la superficie foliar (Zanne et al., 2010).

Para todo el rango de DN se observó que los valores de Dtg aumentan con la altura, mientras que los valores de F se solapan entre alturas, excepto para para la altura 0,1 m del clon EG INTA 157 donde F alcanzó un valor más alto. Un patrón similar para el Dtg fue determinado por Shashikala y Vigendra Roa (2009) para *Corimbia citriodora*, quienes hallaron que los valores de Dtg aumentan en ambas direcciones.

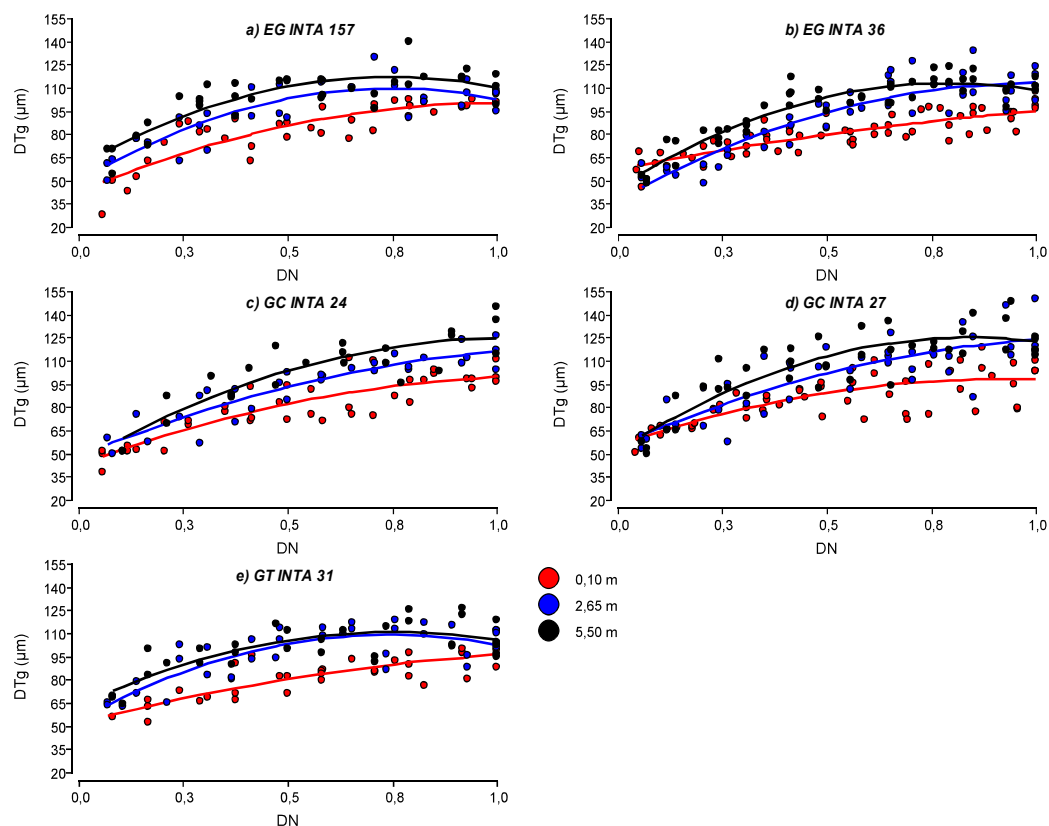


Figura 1. Diámetro tangencial de vasos para cada clon estudiado a tres alturas de fuste y curva de ajuste, siendo DN la distancia radial normalizada entre 0 y 1.

A su vez, la disminución de la pendiente indica la estabilización de las variables lo cual podría estar asociado al proceso de transición de madera juvenil a madura (Duong et al., 2021; Cobas y Monteoliva 2018).

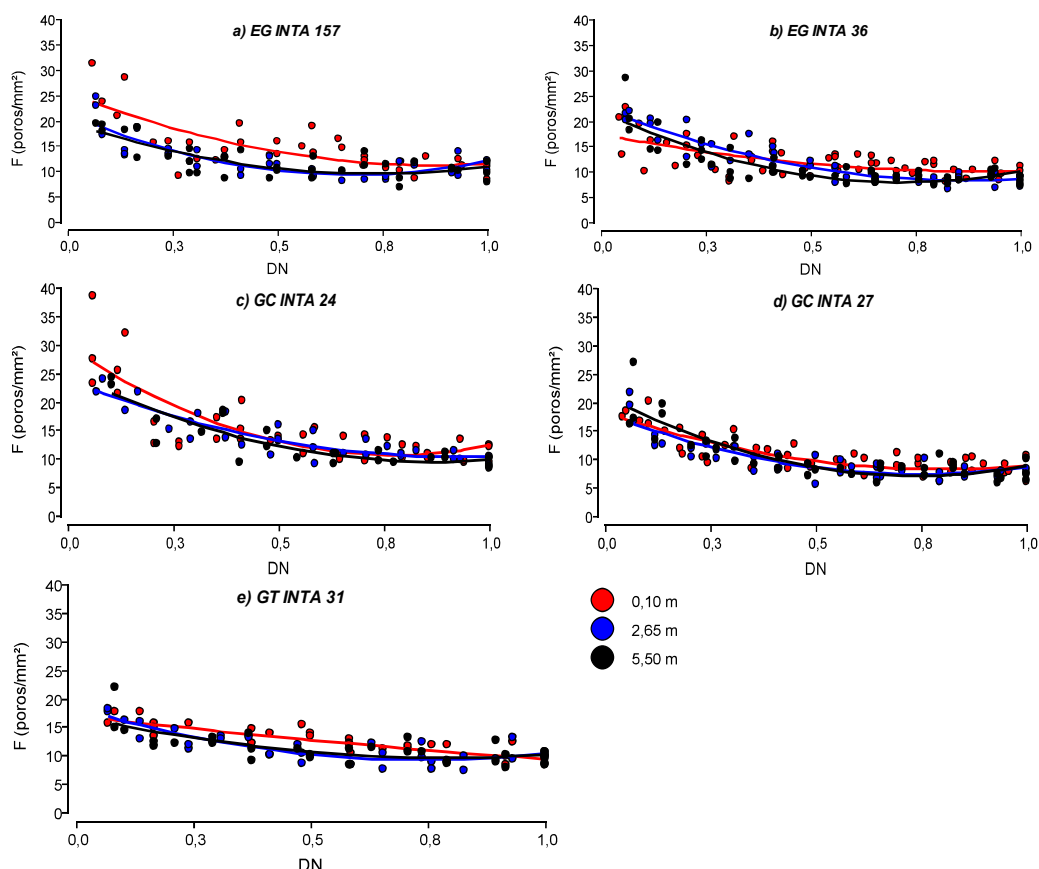


Figura 2. Frecuencia de vasos para cada clon estudiado a tres alturas de fuste y curva de ajuste, siendo DN la distancia radial normalizada entre 0 y 1.

En el Cuadro 2 se presentan las correlaciones existentes entre la variación radial de la densidad básica, diámetro tangencial y frecuencia de poros por clon. Se observó una asociación más fuerte para los clones de mayor densidad (clones híbridos GC y GT) y más débil para los de menor densidad (clones puros EG), siendo positiva en Dtg y negativa en F, a excepción del clon EG INTA 157. Los mayores valores absolutos encontrados en los materiales híbridos en comparación con los materiales EG podría estar influenciada por las características genéticas aportadas por la hibridación con los parentales *E. camaldulensis* y *E. tereticornis*. Estas especies son en general más tolerantes al estrés hídrico y de mayor densidad de madera (Harrand et al., 2017) y existen trabajos que mencionan el aumento de la densidad de la madera como una respuesta a la resistencia a la cavitación (Naidoo et al., 2006).

Cuadro 2. Coeficientes de correlación “r” de Pearson entre las variables densidad básica (Db), diámetro tangencial de poro (Dtg) y frecuencia de poros (F), con su respectivo nivel de significancia (* significativo a p-valor < 0,05; ** significativo a p-valor < 0,01).

Clon	Dtg; Db	F; Db	Dtg; F
EG INTA 157	-0,33**	0,22*	-0,85**
EG INTA 36	0,15	-0,33**	-0,77**
GC INTA 24	0,28**	-0,51**	-0,77**
GC INTA 27	0,57**	-0,59**	-0,74**
GT INTA 31	0,42**	-0,54**	-0,80**

Una correlación alta y negativa entre Dtg y F, indica una condición favorable en eventos de helada, al mismo tiempo que restringe el crecimiento por la limitación de la conductividad hidráulica al existir alta frecuencia de poros de bajo diámetro a una edad temprana (Monterubbianesi, 2020). Esto coincide parcialmente con el dap de los clones analizados, ya que EG INTA 157, GC INTA 24 y GT INTA 31 fueron los de menor diámetro en este trabajo.



La correlación negativa entre Dtg y Db y positiva entre F y Db del clon EG INTA 157 fue reportada para la especie *E. grandis* por Naidoo *et al.* (2006), aunque con menores valores absolutos. Particularmente este material genético manifestó un comportamiento radial de la densidad levemente decreciente con un posterior aumento hacia la zona de la albura (Bulman *et al.*, 2021), posiblemente influenciado por otras características anatómicas, como ser proporción de parénquima o espesor de pared de fibras.

4. CONCLUSIONES

Se concluye que la variación entre alturas de las características de la madera es más notoria en el diámetro tangencial de poros que en la frecuencia, al igual que en el sentido médula-corteza.

Ambos parámetros anatómicos resultaron buenos indicadores de la densidad básica de la madera, con una relación positiva entre Db y Dtg y negativa entre Db y F, a excepción del clon INTA 157 que arrojó un comportamiento inverso a los demás materiales genéticos.

Los clones híbridos presentaron una correlación más fuerte de las variables de la porosidad con la densidad básica que los clones puros, principalmente aquellos de mayor densidad, GC INTA 27 y GT INTA 31.

5. LITERATURA CITADA

- BAROTTO, A. J., MONTEOLIVA, S., GYENGE, J., MARTÍNEZ-MEIER, A., MORENO, K., TESÓN, N., & FERNÁNDEZ, M. E. 2017. Wood density and anatomy of three *Eucalyptus* species: implications for hydraulic conductivity. *Forest Systems*, Volume 26, Issue 1, e010.
- BELINI, U. L., TOMAZELLO FILHO, M., CHAGAS, M. P., & DIAS, C. T. D. S. 2008. Caracterização da estrutura anatômica, densidade básica e morfologia de cavacos da madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de painéis MDF. *Revista Árvore*, 32, 707-713.
- BHAT, K. M., PRIYA, P. B., & RUGMINI, P. 2001. Characterisation of juvenile wood in Teak. *Wood Science and Technology*, 34(6), 517-532.
- BULMAN H. C.; WINCK, R. A.; FASSOLA, H. E.; AQUINO, D. R.; STEFANI, P. M. 2021. Variación radial de la densidad a tres alturas de fuste de 5 clones de *Eucalyptus*. XXXV Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia. P 183-187.
- COBAS, A. C., AREA, M. C., & MONTEOLIVA, S. 2013. Juvenile to mature wood transition in one clone of *Populus deltoides* implanted in Buenos Aires, Argentine. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 15(2), 223-234.
- COBAS, A. C.; MONTEOLIVA, S. 2018. Modelos descriptivos de distribución de madera juvenil y madura en *Robinia pseudoacacia*. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 20(2), 287-296.
- DUONG, D. V., SCHIMLECK, L., DINH, T. T., & TRAN, C. V. 2021. Radial variation in cell morphology of *Melia azedarach* planted in northern Vietnam. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 23, 7.
- IAWA Committee. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin* 10:219-332.
- MONTEOLIVA, S. E., BAROTTO, A. J., ALARCÓN, P., TESÓN, N., & FERNÁNDEZ, M. E. 2017. Densidad de la madera como variable integradora de la anatomía del leño: análisis de ramas y fuste en cuatro especies de *Eucalyptus*. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 116.
- MONTERUBBIANESI, R. I. 2020. Caracterización anatómica de nuevos clones del género *Eucalyptus* desarrollados por INTA Concordia. Trabajo final de carrera, UNLP, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.
- NAIDOO, S., ZBONÁK, A., & AHMED, F. 2006. The effect of moisture availability on wood density and vessel characteristics of *Eucalyptus grandis* in the warm temperate region of South Africa. In *Proceedings of the 5th International Symposium on Wood Structure and Properties* (pp. 117-122).
- RAMOS, L. M. A., LATORRACA, J. D. F., PASTRO, M. S., DE SOUZA, M. T., GARCIA, R. A., & DE CARVALHO, A. M. 2011. Radial variation of wood anatomical characters of *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden and age of transition between adult and juvenile wood. *Scientia Forestalis*, 39(92), 411-418.
- SÁNCHEZ ACOSTA, M. M. 2012. Caracterización de la madera del nuevo híbrido *Eucalyptus grandis*, Hill ex Maiden x *Eucalyptus tereticomis*, Smith, su aptitud de usos en Argentina. Tesis doctoral.
- SHASHIKALA, S.; RAO, R. V. (2009). Radial and axial variation in specific gravity and anatomical properties of plantation grown *Eucalyptus citriodora* Hook. *Journal of the Institute of Wood Science*, 19(2), 84-90.
- TSUCHIYA, R., & FURUKAWA, I. 2009. Radial variation of vessel lumen diameter in relation to stem increment in 30 hardwood species. *IAWA journal*, 30(3), 331-342
- ZOBEL, B. J.; VAN BUIJTENEN, J. P. 1989. Wood variations: its causes and control. *Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. doi*, 10, 978-3.
- ZANNE AE, WESTOBY M, FALSTER DS, ACKERLY DA, LOARIE SR, ARNOLD SEJ, COOMES D, 2010. Angiosperm wood structure: global patterns in vessel anatomy and their relation to wood density and potential conductivity. *Amer J Bot* 97(2): 207-215.