

Efecto de algunas características anatómicas sobre el módulo de elasticidad dinámico en clones de *Eucalyptus*

Effect of some anatomical characteristics on the dynamic modulus of elasticity in *Eucalyptus* clones

Bulman Hartkopf, C.¹; Winck, R.A.²; Paiva González, K.B.³; Fassola, H.E.²; Stefani, P.M.⁴

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

²INTA, EEA Montecarlo, Misiones, Argentina.

³FCF, UNaM, Misiones, Argentina

⁴UNMdP, CONICET, INTEMA, Mar del Plata; Buenos Aires, Argentina

Abstract

Anatomical characteristics of five *Eucalyptus* clones, fiber length, fiber wall thickness and microfibrillar angle, were determined and compared with basic density, speed of sound and the dynamic modulus of elasticity in logs. Speed of sound and dynamic modulus of elasticity values were measured by acoustic resonance. The results showed that only fiber wall thickness explains basic density, and that there is a negative and significant correlation between microfibrillar angle and fiber length. In addition, these latter variables better describe speed of sound and dynamic modulus of elasticity than fiber wall thickness. Statistical differences were found between the genetic materials for all variables analyzed.

Key words: Correlation; Fast Fourier Transform; Non Destructive Method.

Resumen extendido

Normalmente el aumento de la densidad básica de la madera está asociado con mejores propiedades estructurales (Chave *et al.*, 2009; Awan *et al.*, 2012). Por lo contrario, Zhang (1997) informó que existen grupos de especies cuyas propiedades mecánicas están pobremente relacionadas con la densidad. Esta segregación se basa en la notoriedad de los

anillos de crecimiento, siendo aquellas angiospermas de porosidad difusa (ej: *Eucalyptus*) las que muestran la menor correlación. Por otro lado, las características anatómicas también influyen en la densidad y consecuentemente sobre las propiedades mecánicas. Thomas *et al.* (2007) determinaron que el espesor de la pared de la fibra, el diámetro externo e interno y la proporción de área ocupada por vasos explican hasta el 76% de la densidad. Según Fujirawa *et al.* (1991), el espesor de pared de la fibra, proporción de pared celular y proporción de parénquima explican hasta el 77% de la variación de la densidad. Se puede indicar que el espesor de pared posee gran influencia sobre la densidad.

Las propiedades mecánicas, como el módulo de elasticidad estático (MOE) y módulo de rotura (MOR) pueden ser predichos mediante métodos no destructivos (MND) de ondas acústicas (Ross, 2015), ya que existe alta correlación entre el módulo de elasticidad dinámico (MOEd) con MOE y MOR, o con la velocidad del sonido entre diferentes MND respecto del MOEd (Ilic, 2001; Wang, 2013; Blackburn *et al.*, 2019).

Se han seleccionado cinco clones (del programa de mejoramiento genético de especies forestales de INTA en la región mesopotámica) relativamente nuevos, registrados en el Instituto Nacional de Semillas (INASE) para su estudio, entre los que encontramos puros, EG INTA 157 y EG INTA 36 (*E. grandis*) e híbridos GC INTA 24, GC INTA 27 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) y GT INTA 31 (*E. grandis* x *E. tereticornis*).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia de diferentes características anatómicas: Longitud de fibra (L_f μm), Espesor de pared de fibra (E_p μm) y el Angulo microfibrilar (AMF $^\circ$) sobre la Densidad básica (D_b gr/cm^3) de la madera, la Velocidad del sonido (VS m/s) y MOEd (GPa) por medio de un MND de resonancia acústica con el programa libre *Fast Fourier Analyzer* de Fakopp®, que mide el armónico fundamental de resonancia por transformada rápida de Fourier (FFT) (Wang, 2013), dato con el que se calcula la VS y posteriormente el MOEd, a partir de las dos primeras trozas. Obtenidas de 3 árboles de cada uno de los clones mencionados, de sus extremos (alturas: 0,1, 2,8 y 5,5 m sobre el nivel del suelo) se midió la densidad y anatomía de fibra en sentido radial, calculando un promedio ponderado de estas variables. Las características anatómicas se obtuvieron según la norma IAWA (Wheeler *et al.*, 1989) a partir de astillas disgregadas en ácido acético y clorito de sodio, y medidas con un microscopio Eclipse LV100 de Nikon®. Los resultados de la densidad básica fueron desarrollados en un trabajo previo 0,37, 0,46, 0,5, 0,52 y 0,52 gr/cm^3 para EG INTA 157, EG INTA 36, GC INTA 24, GC INTA 27 y GT INTA 31 respectivamente (Bulman *et al.*, 2021). El

análisis estadístico fue realizado con el *software* InfoStat, para la determinación de diferencias entre tratamientos (clones) se trabajó con modelos lineales generales y mixtos, utilizando al clon como variable de efecto fijo y al árbol como variable de efecto aleatorio. Para la comparación múltiple de medias y contrastes se utilizó el procedimiento DGC, y la correlación entre variables se determinó por el test de Pearson. Todo el análisis fue realizado con un nivel de significancia del 5%.

Los valores medios encontrados para las características anatómicas y del MOEd se pueden observar en la figura 1, existieron diferencias significativas entre tratamientos. Los clones EG INTA 36 y GC INTA 27 comprenden un mismo grupo con el mayor Lf, menor AMF y mayor MOEd, por otro lado, el GT INTA 31 posee el mayor AMF y EG INTA 157 presenta el menor Ep, Lf y MOEd.

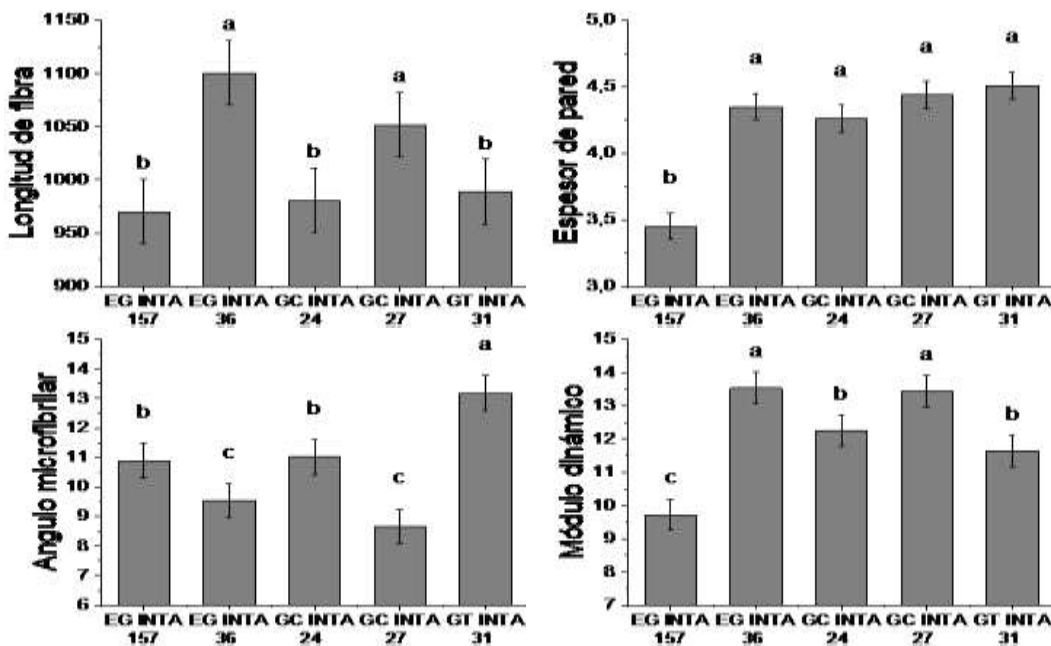


Figura 1. Promedio ponderado de las características anatómicas y MOEd de cada material genético.

Los resultados de AMF son consistentes con los descriptos en la bibliografía para diferentes genotipos de *Eucalyptus*, encontrando diferencias significativas entre ellos (Ferreira *et al.*, 2018; Lima *et al.*, 2004). Los antecedentes reportan valores de Lf en *E. grandis*, similares a estos resultados, pero más largos respecto a los descriptos para las especies *E. camaldulensis* y *E. tereticornis*. Mientras que los valores de Ep obtenidos son similares a *E. grandis*, *E. camaldulensis* y *E. tereticornis* (Villegas y Rivera, 2002; Moglia *et al.*, 2008; Palermo *et al.*, 2015; Rojas, 2009). Según Lindtröm *et al.*, (2002), el método de resonancia es

adecuado y rápido para predecir el módulo elástico y segregar materiales genéticos por su rigidez.

En la tabla 1 se presentan los coeficientes de correlación de Pearson entre las características anatómicas, la densidad básica, velocidad del sonido y modulo dinámico.

Tabla 1. Coeficientes de correlación de Pearson

	Db	Lf	Ep	AMF	VS
Lf	0,08 ^{ns}	1			
Ep	0,82**	0,45*	1		
AMF	0,12 ^{ns}	-0,56**	0,01 ^{ns}	1	
VS	0,32 ^{ns}	0,62**	0,37*	-0,76**	1
MOEd	0,45*	0,66**	0,53**	-0,63**	0,93**

**coeficiente de correlación significativa al p-valor < 0,01; * coeficiente de correlación significativa al p-valor < 0,05; ns: no significativo.

Se concluye que el espesor de pared celular muestra una mayor relación con la densidad básica, seguida por el módulo dinámico. Por otro lado, la longitud de fibras y el ángulo microfibrilar resultaron mejores predictores de la velocidad del sonido que el espesor de pared celular, aunque las tres variables anatómicas describieron de manera significativa al módulo dinámico. La velocidad de transmisión de las ondas acústicas mostró una mayor relación con la anatomía de la madera que con la densidad. El clon EG INTA 36 se destacó sobre los demás materiales genéticos por sus características anatómicas, elásticas y relativamente baja densidad y que lo hace deseable para fines estructurales.

Agradecimientos: Se agradece a los Ing. Javier Oberschelp y Leonel Harrand de EEA-INTA Concordia quienes instalaron el ensayo y al propietario del terreno Sr. Ricardo Schesani.

Bibliografía

- Awan, A. R., Chughtai, M. I., Ashraf, M. Y., Mahmood, K., Rizwan, M., Akhtar, M., ... & 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.
- Blackburn, D., Vega, M., & Nolan, G. 2019. Using acoustic wave velocity to select fibre-managed plantation *Eucalyptus nitens* logs for laminated veneer lumber products. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 81(3), 223-234.

- Bulman Hartkopf, C., Winck, R. Á., 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*.
- 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.
- Ferreira, C. A., de Oliveira Ribeiro, A., Urbinati, C. V., & Mori, F. A. 2018. Biometria das fibras e o ângulo microfibrilar em genótipos de eucalipto. *Scientia Agraria Paranaensis*, 352-358.
- Fujiwara, S., Sameshima, K., Kuroda, K., & Takamura, N. 1991. Anatomy and properties of Japanese hardwoods I. Variation of fibre dimensions and tissue proportions and their relation to basic density. *IAWA journal*, 12(4), 419-424.
- Ilic, J. 2001. Relationship among the dynamic and static elastic properties of air-dry *Eucalyptus delegatensis* R. Baker. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 59(3), 169-175.
- Lindström, H., Harris, P., & Nakada, R. 2002. Methods for measuring stiffness of young trees. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 60, 165-174.
- Moglia, J. G., Bravo, S., & Gerez, R. 2008. Anatomía comparada del leño de *Eucalyptus camaldulensis* (Myrtaceae) de dos orígenes, ensayados en Santiago del Estero. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 43(3-4), 239-246.
- Palermo, G. D. M., Latorraca, J. D. F., De Carvalho, A. M., Calonogo, 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, 775-780.
- Rojas Rojas, K. M. 2009. Características anatómicas y propiedades físicas del *Eucalyptus tereticornis* Smith-Satipo.
- Thomas, D. S., Montagu, K. D., & Conroy, J. P. 2007. Temperature effects on wood anatomy, wood density, photosynthesis and biomass partitioning of *Eucalyptus grandis* seedlings. *Tree Physiology*, 27(2), 251-260.
- Villegas, M. S., & Rivera, S. M. 2015. Revisión xilológica de las principales especies del género *Eucalyptus* L'Herit. cultivadas en Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 105(1), 9-28.
- Wang, X. 2013. Acoustic measurements on trees and logs: a review and analysis. *Wood Science and Technology*, 47, 965-975.
- Wheeler, E. A., Baas, P., & Gasson, P. E. (Eds.). 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification
- Zhang, S. Y. 1997. Wood specific gravity-mechanical property relationship at species level. *Wood Science and Technology*, 31(3), 181-191.