

Tiempo de propagación de ondas de impacto para la caracterización de árboles en pie de clones de *Eucalyptus*

Christian Bulman H.^{1,2*} Rosa A. Winck^{1,3}, Hugo E. Fassola¹, Diego R. Aquino¹, Pablo M. Stefani⁴

¹ Estación Experimental Agropecuaria (EEA). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Montecarlo, Misiones, Argentina. ² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET). ³ Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Misiones. Eldorado. ⁴ Instituto de Materiales de Mar del Plata (INTEMA), Facultad de Ingeniería, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. *bulman.christian@inta.gob.ar

Introducción

En un programa de mejoramiento los parámetros genotípicos son variables que no pueden ser observadas y por lo tanto deben ser medidas cuantitativa o cualitativamente por medio de ensayos a campo (López, 2016). Obtener estos parámetros genotípicos (físicos y mecánicos), implica un elevado costo que puede ser reducido y optimizado gracias a instrumentos acústicos que permiten estimar la rigidez de los árboles en pie, trozas y madera aserrada (Matheson, *et al.*, 2008, Farrell *et al.*, 2012). Estos son métodos no destructivos, rápidos y confiables que determinan las características de la madera sin modificarlas (Fathi, *et al.*, 2020). Estas técnicas si bien tienen un amplio desarrollo y difusión en el mundo, principalmente en Estados Unidos, Australia y Nueva Zelanda, (Huang, *et al.*, 2003), en Argentina se empezó a utilizarlos desde los últimos 12 años (Fassola *et al.*, 2014). Por medio de las mediciones acústicas y la velocidad de la onda de impacto, se puede establecer correlaciones con las variables analizadas, tanto sobre árboles en pie, como en trozas y madera aserrada en especies de *Eucalyptus* (Dickson, *et al.*, 2003, Valencia, 2008). Existen antecedentes exitosos a partir de diferentes métodos para evaluar la calidad estructural de la madera de *E. nitens* (Farrell, *et al.*, 2012) y *E. grandis* sobre la correlación entre el módulo de elasticidad dinámico por vibraciones longitudinales y módulo estático por métodos destructivos (Mastrandrea, *et al.*, 2016).

El objetivo del presente trabajo fue caracterizar los árboles en pie de cinco clones de *Eucalyptus* por medio de sus propiedades físico mecánicas.

Metodología

El estudio fue realizado con 5 materiales genéticos (Tabla 1) obtenidos de un ensayo ubicado en Leandro N Alem, Misiones, Argentina. El área de la plantación se sitúa en una longitud de 55°18'4.27"O, latitud de 27°37'22.88"S y a una altitud de 335 msnm. De acuerdo a los datos de la estación meteorológica de la EEA Cerro Azul cercana (14 km S), 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 es julio, con una frecuencia media anual de 10 a 12 heladas meteorológicas.

El sitio posee un suelo rojo profundo, tipo Ultisol, en posición de media loma. La clasificación de Köppen-Geiger y el régimen termopluviométrico de Cerro Azul, se corresponde con el clima subtropical sin estación seca, designado como Cfa (Ramos *et al.*, 2018).

Tabla 1. Descripción de los materiales genéticos evaluados

| Material Genético | Especie | n | DAP min. | DAP medio | DAP máx. | Desvío |
|-------------------|--|----|----------|-----------|----------|--------|
| EG INTA 157 | Clon <i>E. grandis</i> | 12 | 19,0 | 28,7 | 40,0 | 6,6 |
| EG INTA 36 | Clon <i>E. grandis</i> | 12 | 23,4 | 33,7 | 41,9 | 5,8 |
| GC INTA 24 | Clon <i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i> | 11 | 22,0 | 27,4 | 36,5 | 3,8 |
| GC INTA 27 | Clon <i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i> | 11 | 22,6 | 32,0 | 40,1 | 5,6 |
| GT INTA 31 | Clon <i>E. grandis</i> x <i>E. tereticornis</i> | 8 | 17,2 | 28,5 | 33,6 | 5,0 |

n: cantidad de árboles medidos. DAP: diámetro a la altura de pecho (cm)

El ensayo fue establecido en diciembre del año 2009 sobre un lote ex-yerbal, de suelo rojo profundo, con un espaciamiento de 4 x 2,5 m, resultando en una densidad de plantación de 1000 plantas/ha. El diseño experimental empleado fue de bloques completos al azar (BCA) con 5 repeticiones y parcelas de 4 plantas, con una bordura simple. La preparación del terreno consistió en un subsolado y rastra, el mantenimiento se realizó mediante carpida. No se observaron efectos de heladas ni problemas sanitarios durante su desarrollo. Anualmente se realizaron mediciones de diámetros a la altura de pecho (dap), altura total del árbol (h) y rectitud de fuste. Para evaluar la calidad estructural de la madera, a los 11 años de edad se eligieron 5 clones comerciales de potencial interés para la industria, 2 puros y 3 híbridos. Para ello se midieron los dap con forcípula, la h con Vertex y el tiempo de traslado de una onda de impacto de todos los árboles en pie mediante un dispositivo denominado Tree Sonic (Fakopp®). Paralelamente se tomaron muestras de madera de 5 mm de diámetro y 70 mm de longitud con un barreno tipo "Presler". Los tarugos fueron identificados, envueltos en papel de aluminio y colocados en una conservadora para evitar pérdidas de humedad. Luego se procesaron en el laboratorio y se determinó, la densidad verde (DV), básica (DB), anhidra (DA), saturada (DS) y el contenido de humedad (CH) utilizando las ecuaciones (1), (2), (3), (4) y (5), respectivamente, según la norma americana ASTM D-2395-93 (1997).

$$DV = \frac{P_v}{V_v} \quad (1)$$

$$DB = \frac{P_0}{V_s} \quad (2)$$

$$DA = \frac{P_0}{V_0} \quad (3)$$

$$DS = \frac{P_s}{V_s} \quad (4)$$

$$CH = \left(\frac{P_v - P_0}{P_0} \right) * 100 \quad (5)$$

Dónde: P_v: peso en verde, V_v: volumen en verde, P₀: peso anhidro, V₀: volumen anhidro, P_s: peso saturado, V_s: volumen saturado.

Para medir el tiempo de traslado de una onda de impacto se introdujeron los terminales del Tree Sonic aproximadamente a 50 mm dentro del tronco, separados una distancia de 1 metro sobre eje vertical, de esta manera fue posible calcular la velocidad del sonido (VS) (ecuación 6) (Proto *et al.*, 2017; Wang, 2013), aplicando 3 golpes de martillo que luego fueron promediados. El módulo de elasticidad dinámico (MOEd) de cada clon se obtuvo por medio de la ecuación (7).

$$VS \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{(1000 * distancia conocida (mm))}{(tiempo Fakopp (\mu m) + 2,8)} \quad (6)$$

$$MOEd = DV * VS^2 \quad (7)$$

Donde 2,8 es un factor de corrección estipulada por el fabricante del equipo.

Las variables fueron sometidas a un análisis de variancia, con un nivel de significancia <0,05 y comparado con un test de análisis de medias (Di Rienzo *et al.*, 2002) y un test de correlación de Pearson con el programa estadístico Infostat.

Resultados y discusión

El DAP medio fue de 30,4 cm y la HT media de 33,6 m para todo el ensayo. En cuanto a la altura total de los árboles se observó una menor variación que en el diámetro. Entre los resultados obtenidos de las cuatro variables analizadas MOEd, VS, DB y DV para cada clon se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas (p-valor <0,0001) con un nivel de confianza del 95% (Figura 1). Donde el clon híbrido GC-INTA-27 presentó los mayores valores de MOEd, VS, DB y DV y el clon puro EG-INTA-157 los menores valores de las cuatro variables. Los otros clones EG-INTA-36, GC-INTA-24 y GT-INTA-31 exhibieron valores intermedios para todas las variables, aunque con diferentes agrupamientos.

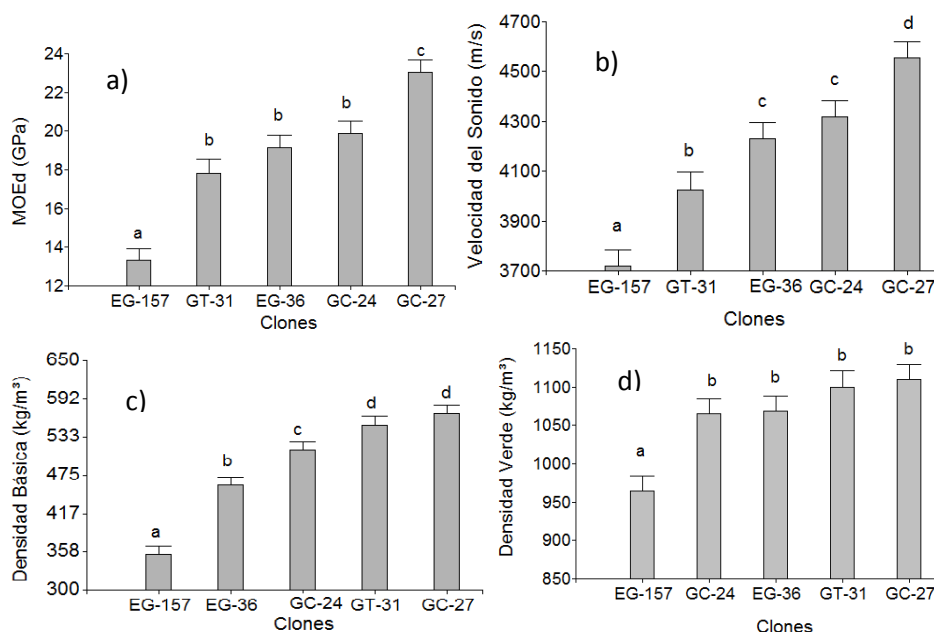


Figura 1. Variación entre clones para las variables a) MOEd, b) VS, c) DB y d) DV

Dickson *et al.*, (2003) encontró para *E. dunnii* de 9 y 25 años, valores de MOE 14-15,5 GPa y VS de 1800-1600 m/s, respectivamente. Sin embargo, obtuvo valores de DV y DB superiores a las obtenidas en este estudio. Se observó una gran homogeneidad en los valores de la DV dentro del rodal e incluso entre distintos materiales genéticos (Figura 1d). Con el test de correlación de Pearson se observó que la VS explica las variables de interés, MOEd, DB, DV, DA y DS (Tabla 2), los p-valores fueron altamente significativos (< 0,05).

Tabla 2. Correlación entre las variables VS, MOEd, DB, DV, DA y DS.

| | VS (m/s) | MOEd (GPa) | DB (kg/m³) | DV (kg/m³) | DA (kg/m³) | DS (kg/m³) |
|------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| VS (m/s) | 1 | 0,0000 | 0,0001 | 0,0039 | 0,0001 | 0,0006 |
| MOEd (GPa) | 0,97 | 1 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| DB (kg/m³) | 0,72 | 0,82 | 1 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| DV (kg/m³) | 0,57 | 0,74 | 0,84 | 1 | 0,0000 | 0,0000 |
| DA (kg/m³) | 0,72 | 0,82 | 0,99 | 0,82 | 1 | 0,0000 |
| DS (kg/m³) | 0,65 | 0,74 | 0,90 | 0,79 | 0,88 | 1 |

Omonte y Valenzuela-Hurtado (2020) encontraron que la VS tiene correlación con la DB y no con la DV en ensayos de *E. nitens* de 18 años y 40 cm de DAP en Chile. Sin embargo, afirmaron que los resultados fueron no significativos. La VS tiene mayor variación dentro de un rodal y por eso resulta un mejor indicador del MOEd que la densidad (Chauhan & Walker, 2006).

Conclusión

El clon híbrido de *Eucalyptus*, GC-INTA-27, presentó mayores valores de módulo de elasticidad dinámico, velocidad del sonido, densidad básica y densidad verde, esto podría indicar un mejor comportamiento físico-mecánico respecto a los clones puros, especialmente el EG-INTA-157. Este tal vez, podría ser recomendado como madera para usos de “apariencia”.

La velocidad del sonido es el estimador de la rigidez de la madera lateral que puede ser utilizado con mayor confianza para clasificar los materiales en pie.

El conocimiento de estas propiedades permitirá a los productores forestales y foresto industriales, orientar de forma más adecuada el destino de sus bosques y los productos posibles a obtener de este material. Estos resultados aún deben ser contrastados con otros métodos acústicos y ensayos destructivos.

Agradecimientos: Los autores agradecen a ANPCyT por el financiamiento (PICT 2016 0445), 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 Bogado y Tomás J. Haberle por el apoyo en las actividades de campo.

Referencias bibliográficas

- ASTM International. 1997. ASTM-D2395-93(1997) e1: Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood-Based Materials. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Chauhan, S. S., & Walker, J. C. F. (2006). Variations in acoustic velocity and density with age, and their interrelationships in radiata pine. *Forest Ecology and Management*, 229(1–3), 388–394. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.04.019>
- Dickson R.L., Raymond C.A., Joe, W., Wilkinson C.A. 2003. Segregation of *Eucalyptus dunnii* logs using acoustics. *Forest Ecol and Manag* 179(1-3): 243-251.
- Di Rienzo J.A., Guzman A.W., Casanoves F. (2002). A Multiple Comparisons Method based On the Distribution of the Root Node Distance of a Binary Tree Obtained by Average Linkage of the Matrix of Euclidean Distances between Treatment Means. *JABES* 7(2), 129-142.
- Farrell, R., Innes, T.C., Harwood, C.E. 2012. Sorting *Eucalyptus nitens* plantation logs using acoustic wave velocity. *Australian Forestry* 75(1): 22-30. <https://doi.org/10.1080/00049158.2012.10676382>
- Fassola H.E., Videla Galaret D., Winck R.A., Area M.C., Crechi E.H., Keller A.E., Maestri G., Mastropaolo J. 2014. Relación entre métodos acústicos con propiedades anatómicas y físico mecánicas de *Pinus taeda* L. sometido a raleos. Actas XVI Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales de Eldorado Productos e Industrias Forestales. Argentina. 611-618 p
- Fathi H., Nasir V., Kazemirad S. 2020. Prediction of the mechanical properties of wood using guided wave propagation and machine learning. *Construction and Building Materials* 262. Ed. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120848>
- Huang C., Lindström H., Nakada R., Ralston J. 2003. Cell wall structure and wood properties determined by acoustics. A selective review. *Holz Roh-Werkst* 61(5): 321-335.
- López, Juan A. (2016) Variación genética de propiedades físicas y organolépticas de importancia para usos solidos de alto valor de clones híbridos de *Eucalyptus* en Entre Ríos. XXX Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia: 34 p.
- 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*. XXX Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia. 5 p.
- Matheson, A.C.; Gapare, W.J.; Ilic, J.; Wu, H.X. Inheritance and Genetic Gain in Wood Stiffness in Radiata Pine Assessed Acoustically in Young Standing Trees. *Silvae Genet.* 2008, 57, 56–64.
- Proto A.R, Macri G, Bernardini V, Russo D, Zimbalatti G (2017). Acoustic evaluation of wood quality with a non-destructive method in standing trees: a first survey in Italy. *iForest* 10: 700-706.– doi: 10.3832/ifor2065-010
- Omonte M. & Valenzuela Hurtado L. 2020. Relación entre la velocidad de la onda acústica y distintas características de la madera, en arboles de *Eucalyptus nitens* con dimensiones aserrables. *Maderas. Ciencia y tecnología* 22(4): 559 - 568, DOI: 10.4067/S0718 221X2020005000414
- Ramos, S.; De Ruyver, R.; Gattinoni, N.; Garin, R. y Garran, S. (2018). Estación agrometeorológica del INTA Concordia. 50 años de servicio a la comunidad. INTA Ediciones.https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_concordia_50_anos_estacion_agrometeorologica_eea_concordia_inta.pdf
- Wang, Xiping. (2013). Acoustic measurements on trees and logs: A review and analysis. *Wood Science and Technology*, 47(5), 965–975.<https://doi.org/10.1007/s00226-013-0552-9>.