

Evaluación operativa de una metodología no destructiva para la determinación del módulo de elasticidad dinámico del Pino híbrido F₁.

Operational evaluation of a non-destructive tool for determination of dynamic elasticity modulus in hybrid pine F₁.

C. A. Rotundo^{1*}, R. A. Winck¹, D. R. Aquino¹, M. E. Gauchat¹, E. Belaber¹

¹EEA Montecarlo, INTA, Av. El Libertador 2472. Montecarlo, Misiones, Argentina. Telef. 3751-480512.

*rotundo.cristian@inta.gob.ar

Abstract

Evaluation of parameters that define wood quality in breeding programs is fundamental in the decision-making. The use of non-destructive methodologies simplifies this issue. The acoustic tools are based on the recording of wave stress time (SWT) between two sensors. When measuring large quantities of trees, it is necessary to adjust the measurement technique looking for an acceptable cost/ accuracy ratio. Correlations between the dynamic MOE obtained with three, five and eight recordings were established. No differences between them were found, so that three registrations of SWT would be sufficient for acceptable accuracy values.

Keywords: Breeding programs, acoustic tools, correlations.

Resumen extendido

La estimación de parámetros genéticos en los Programas de Mejoramiento implica la evaluación de un gran número de árboles. La rigidez de la madera, medida según su módulo de elasticidad (MOE), es una propiedad importante para los productos de madera estructural. Sin embargo, las mediciones no dejan de ser costosas a la hora de medir miles de árboles, siendo deseable el desarrollo de un método de detección rápida de árboles que cumplan con los estándares deseados (Matheson *et al.*, 2008). La capacidad de mejorar genéticamente la rigidez de la madera ha aumentado debido a la disponibilidad de herramientas que permiten obtener la velocidad acústica, como medida indirecta del MOE dinámico (MOEd) en árboles en pie (Urhan *et al.*, 2014). El método de tiempo de vuelo de la onda acústica (SWT por su siglas en inglés) determina la velocidad del sonido (VS) en función de la distancia entre dos acelerómetros (sensores) y el tiempo requerido para que la onda de sonido, generada con un golpe de martillo en uno de ellos, cubra la distancia entre los dos sensores (Essien *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2004; Wang, 2013). El objetivo de este trabajo fue evaluar el número óptimo de repeticiones de SWT necesarios para la estimación del MOEd en árboles en pie de *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PEExPCH) pertenecientes al programa de mejoramiento genético que el INTA lleva adelante en conjunto con la empresa PINDO SA. Para ello, se trabajó en dos ensayos de progenies de 11 años de edad, instalados en el Campo Anexo Laharrague (S1) del INTA Montecarlo (549 árboles) y en Colonia Delicia Km 22 (817 árboles), ambos sitios con características de clima y suelo similares. En cada árbol, utilizando el equipo TreeSonic Timer (Fakopp® Enterprise), se registró SWT entre dos sensores insertados en la madera con un ángulo de 45 grados respecto al eje del árbol, separados a 1 m de distancia y centrados a 1,3 m aproximadamente desde la base del árbol. Con un martillo de acero de 200 g, se realizaron 8 golpes, registrándose de esta manera 8 lecturas de SWT. Luego para cada árbol se estimó la VS utilizando el promedio de SWT obtenido con 3, 5 y 8 registros (golpes de martillo) con la siguiente ecuación:

$$VS_n = 1000 * 1000/SWT_n + 2,8 \quad (\text{Ec.1})$$

Donde VS_n es la velocidad del sonido (m/s) obtenida a partir de SWT_n promedio (μm), n indica el número de golpes de martillo utilizados para obtener esta última variable y 2,8 es un factor corrección (relación entre tiempo y distancia) específico del equipo.



Fig. 1: a) golpes de martillo en sensor de inicio del TreeSonic, b) registro de SWT (μm).

Posteriormente, para cada VS se calculó el MOEd mediante la siguiente ecuación (Wang et al., 2001):

$$MOEd_n = VS_n^2 \quad (\text{Ec.2})$$

Donde $MOEd_n$ es el módulo de elasticidad dinámico (Gpa), n indica el número de golpes de martillo utilizados en Ec.1 para el cálculo de la VS (m/s) y ρ es la densidad verde de la madera (kg/m^3), la cual se consideró constante e igual a $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Dentro de una forestación, la variación en la velocidad acústica es más importante que en la densidad verde de la madera, para la región exterior donde se mide la VS. Esta mayor variabilidad en la velocidad acústica la hace más eficiente como una variable de calidad de la madera para seleccionar árboles (Chauhan & Walker, 2006). Varios autores suponen esta constante entre y dentro de los árboles, lo que permite que los árboles seleccionados se clasifiquen solo por las mediciones de velocidad (Mochan *et al.*, 2009).

A partir de la Ec.2 se calcularon los MOEd de cada árbol a partir de 3 golpes ($MOEd_3$) 5 golpes ($MOEd_5$) y 8 golpes ($MOEd_8$) de martillo. Los MOEd así obtenidos se correlacionaron de a pares a través de la prueba de asociación entre muestras pareadas (Tabla 1), utilizando los coeficientes de correlación de Pearson en software R versión 3.1.1 (<http://www.r-project.org/>).

Tabla 1: Correlaciones de Pearson entre MOEd obtenido con 3, 5 y 8 golpes de martillo para el S1 (bajo la diagonal y S2 sobre la diagonal).

	MOEd ₃	MOEd ₅	MOEd ₈
MOEd ₃	1	0,9927**	0,989 **
MOEd ₅	0,998 **	1	0,993 **
MOEd ₈	0,996 **	0,998 **	1

Nota: ** correlaciones estadísticamente significativas de cero.

Ambos sitios mostraron correlaciones positivas fuertes entre los MOEd obtenidos con 3, 5 y 8 golpes de martillo.

Conclusión:

Tres golpes de martillo son suficientes en la estimación del módulo de elasticidad dinámico de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* F₁ utilizando el TreeSonic como herramienta acústica.

Agradecimientos: al personal de apoyo de la Estación Experimental Montecarlo y de la empresa PINDO S.A. que han participado y/o facilitado la realización de las actividades.

Bibliografía

- 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>
- Essien, C., Cheng, Q., Via, B. K., Loewenstein, E. F., & Wang, X. (2016). An Acoustics Operations Study for Loblolly Pine. *BioResources*, 11, 7512–7521.
- Matheson, A. C., Gapare, W. J., Ilic, J., & Wu, H. X. (2008). Inheritance and genetic gain in wood stiffness in radiata pine assessed acoustically in young standing trees. *Silvae Genetica*, 57(2), 56–64. <https://doi.org/10.1515/sg-2008-0009>.
- Mochan S., Moore J., Connolly T. 2009. Using acoustic tools in forestry and the wood supply chain. *United Kingdom Forestry Commission*. Technical note, September, 1-6
- Urhan, O. S., Kolpak, S. E., Jayawickrama, K. J. S., & Howe, G. T. (2014). Early genetic selection for wood stiffness in juvenile Douglas-fir and western hemlock. *Forest Ecology and Management*, 320(September 2015), 104–117. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.02.020>
- Wang, X. P., Ross, R. J., Brashaw, B. K., Panches, J., Erickson, J. R., Forsman, J. W., & Pellerin, R. F. (2004). Diameter effect on stress-wave evaluation of modulus of elasticity of logs. *Wood and Fiber Science*, 36(3), 368–377.
- Wang, X., Ross, R. J., McClellan, M., Barbour, R. J., Erickson, J. R., Forsman, J. W., & McGinnis, G. D. (2001). Nondestructive evaluation of standing trees with a stress wave method. *Wood and Fiber Science*, 33, 522–533.
- Wang, X. (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>