

## CALIDAD DE MADERA PARA USO ESTRUCTURAL EN HUERTO CLONAL DE *PINUS PONDEROSA* EN NORPATAGONIA

### TIMBER STRUCTURAL QUALITY IN ORCHARD CLONAL OF *PINUS PONDEROSA* IN NW PATAGONIA, ARGENTINA

**Gonzalo Caballé<sup>(1)</sup>, Oscar Santaclara<sup>(2)</sup>, Victor Mondino<sup>(3)</sup>, Luis Tejera<sup>(4)</sup>, Esther Merlo<sup>(5)</sup>,  
Alejandro Martinez Meier<sup>(6)</sup>**

(1) Dr. Ing. Ftal., Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Bariloche, Argentina

(2) Ing. Ftal., MADERA PLUS, SL. Ourense, España

(3) Dr. Ing. Ftal., Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Esquel, Argentina

(4) Ing. Ftal., Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Esquel, Argentina

(5) Dra. Ing. Ftal., MADERA PLUS, SL. Ourense, España

(6) Dr. Ing. Ftal., Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Bariloche, Argentina

Dirección de contacto: [caballe.gonzalo@inta.gob.ar](mailto:caballe.gonzalo@inta.gob.ar)

**Código de identificación: T1-02**

#### Resumen

La selección conjunta de caracteres que controlan los procesos fisiológicos y bioquímicos ligados al crecimiento y las propiedades de calidad de madera definen una estrategia de mejoramiento multipropósito. El crecimiento y forma (diámetro, altura y esbeltez) y las propiedades tecnológicas de la madera determinadas mediante técnicas no destructivas (velocidad de propagación de la onda acústica en árboles en pie y extracción de tarugos para estudios de densidad de la madera) fueron evaluados en 26 clones de pino ponderosa que constituyen el material base del primer ciclo de mejora. Todas las variables mostraron heredabilidades (en sentido amplio) significativamente diferentes de cero:  $0,15 \pm 0,08$ ,  $0,29 \pm 0,09$ ,  $0,44 \pm 0,09$ ,  $0,54 \pm 0,09$ ,  $0,26 \pm 0,09$  (diámetro, altura, esbeltez, propagación de la onda sónica y densidad respectivamente –heredabilidad y error estándar-). Correlaciones significativas moderadas entre variables de crecimiento (diámetro y altura, diámetro y esbeltez, altura y esbeltez) y bajas entre crecimiento y tecnológicas de la madera (esbeltez y altura con la propagación de la onda acústica) nos indican que es posible la selección por parámetros de crecimiento –altura- y forma –esbeltez-, sin afectar la buena performance para madera estructural dado la relación existente entre la propagación de la onda acústica y el MOE.

**Palabras clave:** métodos no destructivos; densidad; MOE; productividad; selección multipropósito

#### Abstract

*The selection of characters that control the physiological and biochemical processes related to growth and wood quality properties allow to define a multipurpose strategy of improvement. Growth, shape and technological properties of wood using non-destructive techniques were evaluated in 26 ponderosa pine clones constituting the base material of the first improvement cycle. All variables showed significantly different non-zero heritabilities ( $0.15 \pm 0.08$ ,  $0.29 \pm 0.09$ ,  $0.44 \pm 0.09$ ,  $0.54 \pm 0.09$ ,  $0.26 \pm 0.09$  (diameter, height, slenderness, propagation of acoustic wave and density respectively – heritability and standard error). Moderate significant correlations between growth variables (diameter and height, diameter and slenderness, height and slenderness) and low between growth and wood technological variables (slenderness and height with propagation of the acoustic wave) indicate that it is possible to identify genotypes for grown –height- and shape - slenderness -, of good performance for structural wood given the relationship between the propagation of the acoustic wave and the MOE.*

**Keywords:** non-destructive methods; density; MOE; productivity; multipurpose selection

## 1. INTRODUCCIÓN

La superficie de plantaciones en la región patagónica norte es mayor a 100.000 ha, de las cuales más del 95% se corresponden a coníferas, la gran mayoría pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws). La provincia de Neuquén cuenta con el 60% de la superficie implantada, seguida en relevancia por Chubut y en menor medida Río Negro. Si bien se han incrementado las actividades silviculturales, todavía existe una gran proporción de plantaciones sin intervenciones: rodales sin manejo o que han recibido tratamientos tardíos, principalmente raleos.

El proceso de formación de la madera en términos de cantidad y calidad puede ser afectado por múltiples factores: condiciones ambientales, disponibilidad de recursos, silvicultura, *el acervo genético*, o mismo por la edad cambial [1,2]. La calidad de los productos finales se ve afectada en definitiva por todos estos factores, adicionando las actividades post-cosecha como la tecnología de procesos de aserrío o los criterios de clasificación de tablas.

Las propiedades mecánicas y físicas de la madera -módulo de elasticidad y densidad, respectivamente- son algunos de los criterios de clasificación que definen las posibilidades de uso para madera estructural. La variación fenotípica de caracteres de interés comercial puede ser manipulada mediante selección artificial, permitiendo ganancias de generación en generación.

La posible ganancia genética en crecimiento podría tener un efecto indirecto sobre las propiedades de la madera [3], debido a posibles correlaciones genéticas desfavorables. Tal es el caso del pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco) [4], el pino taeda (*Pinus taeda* L.) [5] y el pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) [6,7]. Sin embargo, falta de asociaciones han sido reportadas en otras especies, tal el caso del pino marítimo (*Pinus pinaster* Ait.) [8], y pino ponderosa [9].

Sobre una muestra representativa de clones que constituyen el material de base del primer ciclo de mejoramiento genético de pino ponderosa, que cubre todo el ranking genético para crecimiento, evaluado sobre su descendencia, se realizó un muestreo no-destrutivo para determinar propiedades físicas -densidad- y mecánicas -módulo de elasticidad- de la madera con el objetivo de conocer 1) la existencia de variación genética significativa de dichas propiedades de la madera y 2) establecer si dicha variación se correlaciona positiva o negativamente con el valor genético de selección por crecimiento. Los principales resultados y algunas implicaciones prácticas son presentados y discutidos a continuación.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En 25 clones de pino ponderosa de alto, medio y bajo valor genético (BLUP) de crecimiento (evaluado por el crecimiento en altura de sus progenies al 7° año de edad sobre una red de ensayos genéticos que cubre toda el área de plantación de la especie en Patagonia) fueron obtenidos tarugos de madera con barrenos de Pressler de 5.15 mm de diámetro a la altura del pecho (DAP) perpendicular al eje principal del árbol. La recolección de tarugos se realizó a los 15 años de edad en tres sitios (Huinganco - pcia. Neuquén, Golondrinas y Trevelin - pcia. Chubut), los cuales constituyen los huertos semilleros clonales obtenidos a partir de la propagación vegetativa de árboles plus (seleccionados fenotípicamente). En cada sitio, se obtuvo un tarugo de 4 a 5 ramets/clon. En total se recolectaron 373 tarugos.

En uno de los sitios (Trevelin) se evaluó, sobre los mismos individuos de los cuales se obtuvieron los tarugos, la velocidad de propagación de la onda sónica mediante el impacto con un martillo, utilizando un equipo HITMAN ST 300 -Fibre-Gen Limited, New Zeland-, al tiempo que el DAP, la altura y la esbeltez fueron recolectados. La densidad de la madera fue establecida al 12% de humedad mediante la técnica de microdensidad.

Para todas las variables aquí consideradas, el siguiente modelo lineal de efectos mixtos fue utilizado para estimar la proporción de la varianza debido al efecto clon:

$$y_i = \mu + \tau_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

Donde  $y_i$  =  $i$ th es la variable evaluada,  $\mu$  = efecto fijo de la media,  $\tau_i$  = efecto aleatorio del  $i$ th clon y  $\varepsilon_i$  = efecto aleatorio debido al componente de error. En el caso de la densidad de la madera, se consideró también el efecto de sitio. En este caso, el nivel del factor fue considerado en el modelo como un efecto aleatorio.

La heredabilidad en sentido amplio ( $H^2$ ) fue establecida a partir de la estimación de los componentes de varianza del modelo mixto

$$H^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_\varepsilon^2} \quad (2)$$

Donde  $H^2$  = es el coeficiente de determinación genética en sentido amplio,  $\sigma_g^2$  = componente genético de la varianza, y  $\sigma_\varepsilon^2$  = varianza del error. Para el caso de la densidad de la madera, el componente de varianza debido al efecto sitio fue considerado parte de la fórmula precedente en el denominador, formando parte de la varianza total.

El error standard de la heredabilidad fue estimado según la siguiente fórmula:

$$s.e.(H^2) = \sqrt{\frac{(2*1 + har - 1) * H^2)^2 * (1 - H^2)^2}{(har * (har - 1) * (n) - 1)}} \quad (3)$$

Donde  $s.e.(H^2)$  = error standard de la heredabilidad,  $har$  = media armónica de individuos en cada clon,  $H^2$  = heredabilidad en sentido amplio, y  $n$  = número de clones.

La relación entre caracteres fue abordada a partir del estudio de las correlaciones de los valores de mejora genética (BLUP) a nivel familiar. Todos los análisis fueron realizados con el paquete de análisis de datos R (R Development Core Team, 2016)

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los ensayos genéticos clonales constituyen las áreas de producción de semilla (huertos clonales) de pino ponderosa en la región Patagónica norte. El valor promedio de densidad de la madera, Tabla 1, es coincidente con los valores hallados para la especie creciendo en la región y levemente menor a los reportados para la especie creciendo en Chile [10,11]. La madera de pino ponderosa estudiada fue liviana y parecería presentar una marcada influencia de la edad en los valores de densidad (15 años de edad al momento de la recolección de los tarugos).

Respecto a los valores de velocidad de propagación de la onda sónica como método indirecto para la determinación de la rigidez mecánica de la madera, Caballe et al. (datos no publicados aún) determinan que un valor superior a 2,7 km/s permitiría establecer valores de rigidez a la flexión, superior a los 4000 N/mm<sup>2</sup>, reportados también por Lomagno (2003) [12] como valores de referencia para la madera del pino ponderosa de la región. El valor promedio de velocidad reportado para Trevelin, indicaría que es posible obtener madera para uso estructural, siendo también, el carácter que presenta el valor más alto de determinismo genético (0,54 ± 0,09, Tabla 1).

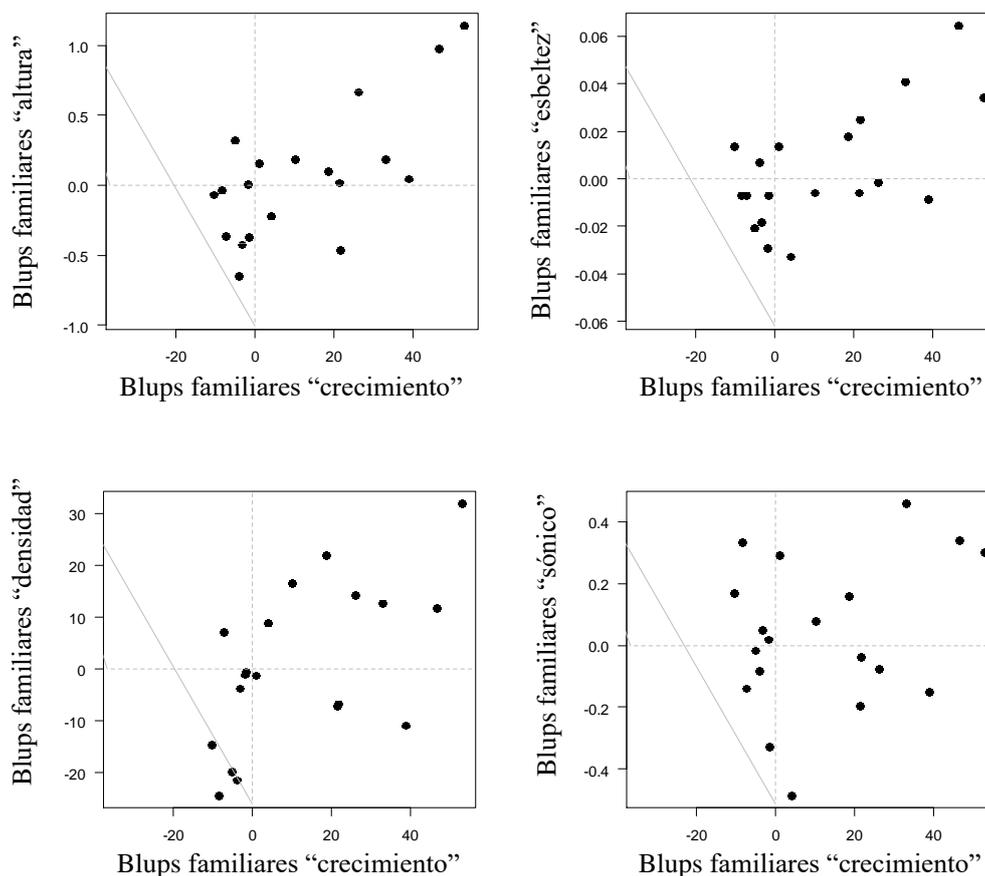
Todos los valores de heredabilidad presentados en este trabajo fueron establecidos solamente sobre uno de los sitios de ensayo (Trevelin), mientras que la densidad fue evaluada en los tres sitios antes descriptos. Todas las variables analizadas presentan heredabilidad significativa diferente de cero (Tabla 1). Esto indica que es esperable una respuesta a la selección artificial a partir de la identificación de material genético de alto valor para los caracteres de interés comercial.

Tabla 1: Valores medios fenotípicos, error estándar, heredabilidad en sentido amplio y error estándar de la heredabilidad para las variables analizadas.

Variable	Media	Error estándar	H <sup>2</sup>	s.e H <sup>2</sup>
Diámetro (cm)	21,2	3,2	0,15	0,08
Altura (m)	8,1	1,1	0,29	0,09
Esbeltez	0,39	0,04	0,44	0,09
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0,326	0,04	0,26	0,09
Sónico* (km/s)	2,9	0,35	0,54	0,09

\* Valor de velocidad de propagación de la onda sónica

Las relaciones entre caracteres son presentadas a partir de los siguientes gráficos de valores genéticos (BLUPs) a nivel familiar (Figura 1). Esto permite comprender el impacto (positivo o negativo) sobre el valor genético de la población base del programa de mejora si la selección se ejerciera sobre uno de los caracteres seleccionados.



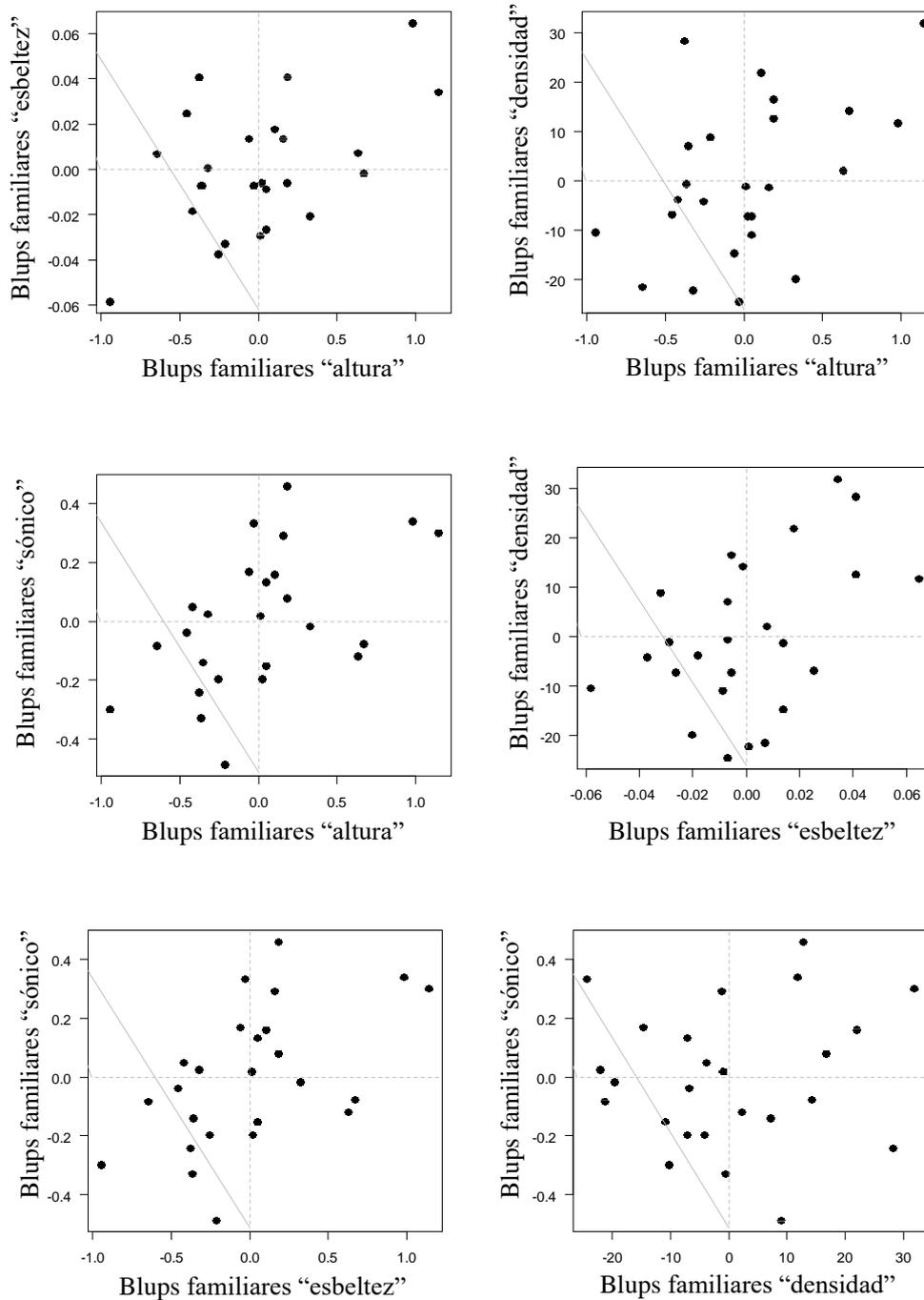


Figura 1: Relaciones entre los valores de mejora genética BLUPs a nivel familiar. Evaluación para "crecimiento" realizada sobre la descendencia con, la altura, la esbeltez, la densidad y la velocidad de propagación de la onda sónica del material parental (primeros 4 gráficos); altura con esbeltez, densidad y velocidad de propagación de la onda sónica (3 gráficos siguientes); esbeltez con densidad y velocidad de propagación de la onda sónica (2 gráficos siguientes) y densidad con velocidad de propagación de la onda sónica (último gráfico).

En todos los casos es posible observar que la selección por características deseables (BLUPs positivos, cuadrante derecho de los gráficos) para uno de los caracteres permite al mismo tiempo identificar familias con características deseables para la variable complementaria (BLUPs positivos,

cuadrante superior del gráfico), lo que nos obliga a concentrarnos sobre el cuadrante superior derecho para ambas variables. Los gráficos también nos indican, que la selección contraria es posible, permitiéndonos identificar ya sea, familias de mala performance para una de las combinaciones de variables o ambas. La mayor dispersión de la nube de puntos es posible identificarla en el gráfico de Blups familiares densidad vs. sónico, lo que demostraría la menor incidencia de la selección en tándem para dichas variables.

De la evaluación conjunta de caracteres de crecimiento (diámetro y altura), forma (esbeltez) y propiedades de base de la madera determinada a partir de métodos no destructivos (densidad y propagación de la onda sónica como medida de estimación del MOE) para el sitio Trevelin, nos permite establecer la existencia de correlaciones fenotípicas significativas moderadas entre diámetro y altura, diámetro y esbeltez, altura y esbeltez) y bajas entre esbeltez y altura con la propagación de la onda sónica. La determinación de las correlaciones genéticas sobre el material parental extendido a los tres sitios de ensayo y a partir de evaluación genética de su descendencia (red de ensayos genéticos del programa de mejora) nos indicarán las posibilidades de selección conjunta multipropósito.

## AGRADECIMIENTOS

A las personas que realizaron la recolección de tarugos de madera, Juan Diez y Jorge Bozzi (INTA EEA Bariloche) y a José Almeida (INRA Val de Loire-Orléans), quienes de manera desinteresada participaron de los muestreos de campo (obtención de los valores sónicos sobre árbol en pie), y sin quienes este trabajo no podría haberse llevado a cabo. Al proyecto de la Unión Europea Horizon 2020, MSCA-RISE “**TOPWOOD**” (TOols for Phenotyping WOOD: properties, functions and quality) el cual ha permitido financiar de manera parcial las actividades sobre terreno y las movilidades de Oscar Santaclara y Esther Merlo de Madera plus (España) en Argentina.

## REFERENCIAS

- [1] Zobel, B., Jett, BJ. Genetics of wood production. Berlin-Heidelberg, Germany. Springer-Verlag. (1995). 337 p.
- [2] Smith, DM., Larson, BC., Kelty, MJ., Ashton, P. The practice of silviculture: Applied forest ecology. 9th ed. Wiley, New York, NY. (1997). 537 p.
- [3] Zobel, B., Sprague, J. Juvenile Wood in Forest Trees. Berlin-Heidelberg, Germany. Springer-Verlag. (1998). 300 p.
- [4] Bastien JC, Roman-Amat, B. y Vonnet, H. Natural variability of some wood quality traits of coastal Douglas-fir in a French progeny test: implications on breeding strategy. Proceeding IUFRO, Working party S2.02.05: on breeding strategies for Douglas-fir as an introduced species. (1985). 18 p.
- [5] Paludzyszyn Filho, E. Shimoyama, V., Mora, A. Seleção precoce pra incremento simultaneo do crescimento e da qualidade da madeira em Pinus taeda L. Boletim de Pesquisa Florestal 46 (2005): 31-46.
- [6] Baltinus B., Wu, H., y Powell, M. Inheritance of density, microfibril angle, and modulus of elasticity in juvenile wood of Pinus radiata at two locations in Australia. Canadian Journal of Forest Research 37(11) (2007): 2164-2174.
- [7] Wu, H., Ivkovic, M., Gapare WJ., Matheson, AC., Baltunis, BS., Powell, MB., Mcrae, TA. Breeding for Wood Quality and profit in Pinus radiata: a review of genetic parameter estimates and implications for breeding and deployment. New Zealand Journal of Forestry Science 38 (2008): 56-87.
- [8] Gaspar MJ, Lousada, JL., Rodrigues, JC., Aguiar, A., Almeida, HM. Does selecting for improved growth affect wood quality of Pinus pinaster in Portugal? Forest Ecology and Management 258 (2009): 115-121.
- [9] McKimmy, MD. y King, J. Strength relationships in young ponderosa pine of known parentage. Wood Science 12 (3) (1980): 165-167.

- [10] Jovanovski, A., Poblete, H., Torres, M., Fernandez, A. Caracterización preliminar tecnológica de Pinus ponderosa (Dougl.) creciendo en Chile. Bosque 9 (1998): 71-76.
- [11] Jovanovski A., Davel, M., Mohr-Bell, D. Densidad básica de la madera de Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco en la Patagonia. Investigaciones Agrarias: Sistemas Recursos Forestales 14 (2) (2005): 153-160.
- [12] Lomagno, J. Esfuerzos característicos y de diseño en piezas estructurales de madera. Resistencias de diseño de maderas de la Patagonia. Revista Patagonia Forestal, Año IX, N.º 3 (2003). CIEFAP. 4 pp.