



RELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS VISUALES, RIGIDEZ Y RESISTENCIA EN PIEZAS DE ESCUADRÍAS COMERCIALES DE PINO HÍBRIDO

Rosa A. WINCK^{1,2*}, María C. AREA³, Diego R. AQUINO¹, Hugo E. FASSOLA¹, María E. GAUCHAT¹

RESUMEN

En maderas aserradas de escuadrías comerciales de 15 familias de pino híbrido (*Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*) F₁ INTA-PINDO, provenientes de dos ensayos de progenies de 11 años, se registraron características visuales que afectan a las propiedades mecánicas y se determinó el módulo de elasticidad (MOEe) y de rotura (MOR) a la flexión estática. Se evaluaron 274 tablas de 90 rollizos de 3,15 m de longitud, tomados inmediatamente por encima de los 1,3 m de altura. Las tablas se secaron en horno, se registraron sus dimensiones y el contenido de humedad, se evaluaron visualmente y se ensayaron con maquina universal. Las tablas de la sección externa, representando un 46,5 % del volumen evaluado, alcanzaron valores de MOEe y MOR que duplicaron los de las piezas internas. Estas tablas externas presentaron mayor cantidad de anillos por pulgada, una orientación tangencial y ausencia de médula. La madera externa alcanzó valores de propiedades mecánicas que cumplen satisfactoriamente con los requisitos de la clase 2 de las normas IRAM 9662-3 y 9670 para uso estructural.

Palabras clave: *Estructural, Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, propiedades de la madera, calidad.

1. INTRODUCCIÓN

Las especies más utilizadas para plantaciones forestales en las provincias de Misiones y Corrientes son *Pinus taeda* L., *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm (PEE) y pino híbrido (*Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*) de segunda generación (F₂) desarrollado en Australia. El pino híbrido es muy requerido para el cultivo por su crecimiento y sus características en cuanto a rectitud de fuste, diámetro de ramas y estructura de copa (Belaber et al., 2022). La superficie implantada con este material alcanzó al año 2018, alrededor de 21.000 hectáreas (Belaber et al., 2018), y sigue en aumento. A pesar de la amplia difusión en el mercado y la producción de materiales genéticos F₁ y F₂, aún existe escasa información sobre este híbrido interespecífico de primera generación (F₁), en cuanto a las diferentes estrategias de establecimientos, tratamientos silvícolas, propiedades físico-mecánicas y la aplicación de su madera en usos estructurales. Respecto a la resistencia a la flexión de la madera del híbrido F₂ (PEE × PCH) entre 8 y 14 años cultivado en la zona norte de la provincia de Misiones, se registraron valores de MOEe y MOR de 91.694 kg/cm² y 704 kg/cm², respectivamente para probetas clear (Pereyra et al., 2007). Para el híbrido F₁, se realizaron estudios de parámetros genéticos que definen la calidad de la madera (Rotundo, 2021). A su vez, Winck (2023) realizó estudios sobre características anatómicas y la calidad estructural de la madera de distintas familias de pino híbrido F₁ INTA-PINDO. A pesar de los antecedentes existentes para este taxón, es necesario avanzar en estudios de clasificación visual, determinar los grados resistentes según las normas desarrolladas para *P. taeda* y *P. elliottii*, y establecer la relación con el módulo de elasticidad (MOEe) y de rotura (MOR) a la flexión estática, que son fundamentales para usos estructurales.

El objetivo de este trabajo fue realizar una tipificación visual a partir de características observables en tablas aserradas de escuadrías comerciales; determinar el MOEe y el MOR a la flexión estática y establecer la relación entre los parámetros estructurales y visuales de las piezas evaluadas.

¹ INTA, EEA Montecarlo, Montecarlo, Misiones, Argentina. *Contacto: winck.rosa@inta.gob.ar

² IMAM, UNaM, FCF, Laboratorio de Tecnología de la Madera, Eldorado, Misiones, Argentina.

³ IMAM, UNaM, CONICET, FCEQYN, Programa de Celulosa y Papel (PROCYP), Posadas, Misiones, Argentina.



2. MATERIALES Y MÉTODOS

El material utilizado se obtuvo de dos ensayos de progenies de pino híbrido F₁ INTA-PINDO ubicados a los 26° 33' latitud S y 54° 40' longitud O (sitio 1) y a los 26° 09' latitud S y 54° 26' longitud O (sitio 2). A los 11 años se apearon 90 árboles, 45 de cada sitio, teniendo en cuenta la variabilidad en diámetros. De cada árbol se obtuvo un rollizo de 3,15 m a partir de 1,30 m de altura desde el suelo. Estos fueron aserrados obteniéndose un total de 274 piezas, en escuadrías de 3"x3" y 3"x5" (internas) y tablas de 1" y 1 ½" de espesor (externas) de ancho variable. Las piezas fueron identificadas y secadas en cámara. Posteriormente, se determinaron sus dimensiones y el contenido de humedad (CH) con un xilohigrómetro.

Evaluación visual

Para todas las piezas de madera aserrada, se registraron el ancho, la altura de la sección transversal y la longitud. También se registraron observaciones relevantes para la interpretación de los resultados, como la clasificación de la madera en interna o externa, tipos de corte (tangencial, radial, semitangencial), presencia de médula, número de anillos en cada pieza, nudos y resinas. A cada pieza se le asignaron clases de resistencia según las normas IRAM 9662-3 (2015) para tablas e IRAM 9670 (2002) para tirantes. La presencia de una característica o atributo cualitativo (por ejemplo, médula) se indicó con el número 1 (uno) y su ausencia con el 0 (cero).

Evaluación destructiva

El ensayo a la flexión estática se realizó con una máquina electromecánica universal de ensayos DIDACTA® modelo 10407030, de procedencia italiana, con capacidad de 300 kN y una sensibilidad de 300N. Con este equipo se determinó el módulo de elasticidad a la flexión estática (MOEe) y el módulo de rotura (MOR), mediante el software "MetroCom"-Dina 960 xp incorporado al equipo, siguiendo el procedimiento indicado en la norma IRAM 9663 (2013).

Análisis estadísticos

Para el análisis de los datos, se utilizaron modelos lineales mixtos (Di Rienzo *et al.* 2017) con el software InfoStat®, empleando un nivel de significancia del 5 %. El árbol se consideró como una variable de efecto aleatorio, mientras que los sitios, familias y tipo de pieza (interna y externa) se trataron como variables de efecto fijo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El volumen total de madera tipificada fue de 6,07 m³, 3,25 m³ corresponde a madera de la sección interna del rollizo (53,5 %) y 2,82 m³ a piezas externa (46,5 %). El CH promedio para las muestras evaluadas fue de 13,7 %, que luego fueron corregidos al 12 % de humedad.

Respecto a **la evaluación visual por clases resistentes**, el 83 % (5,04 m³) del volumen de madera tipificó visualmente según las normas IRAM 9662-3 e IRAM 9670, mientras que sólo el 17 % (1,03 m³) fue considerado como rechazo. El 70,5 % del volumen correspondió a la clase 1 (clase 1: 12.000 N/mm² y 18 N/mm² de MOE y MOR, respectivamente) y 12,5 % a la clase 2 (7.000 N/mm² y 11 N/mm² de MOE y MOR, respectivamente).

Con relación a la **clasificación mecánica**, no se detectaron diferencias significativas (p-valor > 0,05) entre sitios, ni a nivel de familia para el MOEe y el MOR a la flexión estática. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas (p-valor ≤ 0,05) según el tipo de pieza (interna o externa), con valores medios más elevados en las piezas externas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Módulo de elasticidad y de rotura a la flexión estática.

| Tipo de pieza | MOR (N/mm ²) | MOR* (N/mm ²) | MOEe (N/mm ²) |
|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Externa (46,5% del volumen) | 43,6 a | 18,4 a | 10.090,0 a |
| Interna (53,5% del volumen) | 27,6 b | 17,4 b | 6.341,0 b |

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05). MOR*: percentil 5% (valor característico).



Estos resultados son consistentes con la literatura sobre pinos resinosos, que indica que la madera lateral de coníferas presenta mejores propiedades físicas y mecánicas en comparación con la madera de la sección interna del rollizo (Winck, 2023).

Según la clasificación mecánica con máquina universal de ensayos, los valores de resistencia (MOR*) de la madera interna y externa superaron a lo establecido por las normas IRAM para la clase 2 (11 N/mm²). Mientras que para la rigidez (MOEe), solo la madera externa alcanzó valores medios que superaron a lo establecido para la clase 2 (7.000 N/mm²), no así para la clase 1 (12.000 N/mm²).

Los resultados indican que la tipificación visual por clases resistentes no fue suficiente para alcanzar grados estructurales mediante la clasificación mecánica. Este inconveniente podría deberse, en parte, a un problema de diseño de las normas, ya que este comportamiento se ha observado también en *P. elliotii* y *P. taeda* de mayor edad que este taxón (Fank, 2018). En dicho estudio se reportó que la presencia de madera de calidad superior (clase 1) fue prácticamente nula para el módulo de elasticidad tal como está definido en las normas IRAM. Sería recomendable considerar un ajuste en el nivel de exigencia del módulo de elasticidad para la clase 1 estipulado en las normas argentinas, o desarrollar una norma específica para el pino híbrido F₁.

Variación del módulo de elasticidad y de rotura según las características visuales

El tipo de corte, tangencial (Tg), semitangencial (Stg) o interno (Int), relacionado a la posición de la pieza dentro del rollizo, afectó el comportamiento mecánico del material estudiado. La madera de corte tangencial presentó propiedades de rigidez y resistencia más elevadas, seguidas por las piezas de corte semitangencial, y en último lugar en la madera de la sección interna del rollizo, que constaba con presencia de médula y resina (Gráfico 1a y 1b).

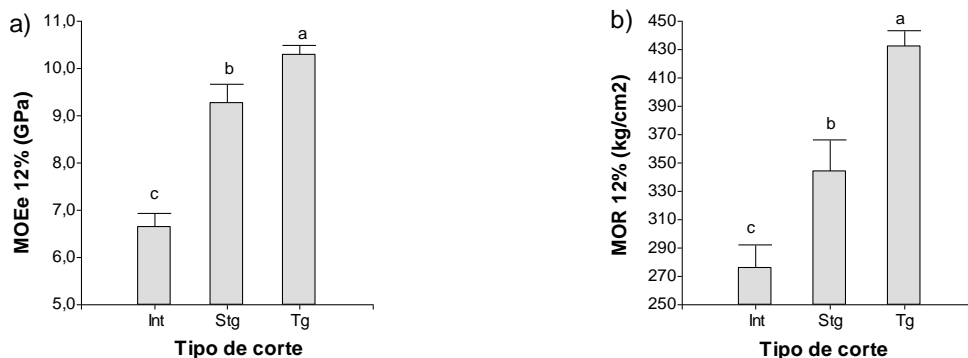


Gráfico 1. Variación del módulo de elasticidad (a) y módulo de rotura a la flexión estática (b) según el tipo de corte. Las barras indican los errores estándares. Medias con letras distintas son significativamente diferentes (p-valor $\leq 0,05$) para el test de DGC.

A su vez, se determinó que la presencia de médula en las piezas ejerció una influencia negativa sobre las propiedades mecánicas (Gráfico 2a y 2b), afectando en mayor medida al módulo de rotura (Gráfico 2b).

Considerando que en estos ensayos solo se hizo poda a los 4 años, se puede sugerir que la adopción de raleos y podas planificadas, y, con un turno de corta a mayor edad que la evaluada, podrían favorecer la obtención de un mayor porcentaje de madera para uso estructural. El tratamiento de poda contribuye a la disminución de presencia de nudos y a un aumento de las propiedades mecánicas, dado que permite el desarrollo de madera externa libre de nudos (Jones y Emms, 2010; Krajnc et al., 2019; Ruano y Hermoso 2021).

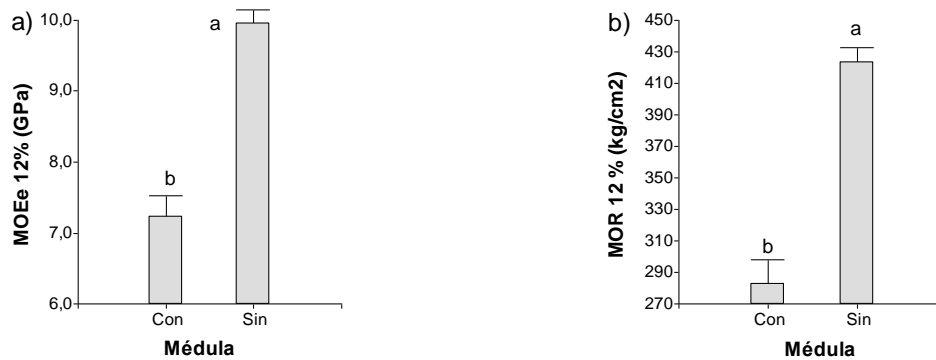


Gráfico 2. Variación del módulo de elasticidad (a) y módulo de rotura a la flexión estática (b) según presencia o ausencia de médula. Las barras indican los errores estándares. Medias con letras distintas son significativamente diferentes (p -valor $\leq 0,05$) para el test de DGC.

En el Gráfico 3 se puede observar la variación del MOEe (3a) y MOR (3b) en función a la cantidad de anillos presente en la muestra. La cantidad de anillos para una distancia dada, aumentó desde la médula hacia la corteza. Los resultados encontrados confirman que la madera exterior, con una mayor cantidad de anillos por unidad de distancia, es de mejor calidad para uso estructural que la interior.

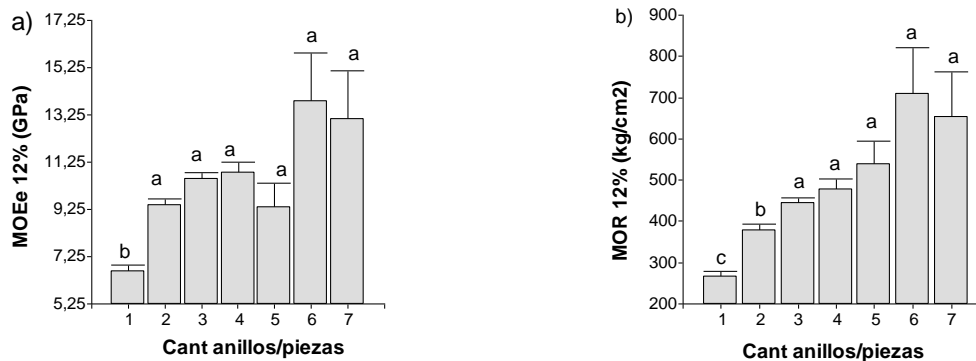


Gráfico 3. Variación del módulo de elasticidad (a) y módulo de rotura a la flexión estática (b) según la cantidad de anillos presentes por pieza. Las barras indican los errores estándares. Medias con letras distintas son significativamente diferentes (p -valor $\leq 0,05$) para el test de DGC.

Según Donaldson (2008) la madera cercana a la médula presenta un valor de gran ángulo microfibrilar (AMF) respecto al eje del árbol. Este fenómeno justifica los menores valores de resistencia y rigidez encontrados para la madera de la sección interna.

4. CONCLUSIONES

La clasificación visual no fue suficiente para garantizar el grado de resistencia mecánica para componentes estructurales. La proporción de madera del grado superior, según la evaluación con máquina universal, resultó muy baja.

Los valores de módulo de elasticidad estático y módulo de rotura mostraron similitudes entre sitios y familias, pero variaron según el tipo de pieza (interna o externa). La madera externa demostró ser de mejor calidad para uso estructural, con valores superiores de rigidez y resistencia.

Las piezas de escuadrías comerciales de la posición interna del rollizo que contenían médula e infiltraciones de resina afectaron negativamente a las propiedades evaluadas.

El valor promedio de la resistencia de la madera externa se ajusta adecuadamente a los valores de referencia especificados por la norma IRAM para las clases 1 y 2 de resistencia. El módulo de elasticidad estático de la madera externa alcanzó fácilmente la clase 2 adoptada por las normas IRAM.



Para las tablas de corte tangencial, tanto el módulo de elasticidad como el módulo de rotura a la flexión estática fueron mayores en comparación con las piezas de corte semitangencial y las de posición interna.

El módulo de rotura resultó más sensible a la orientación de los anillos de crecimiento que el módulo de elasticidad. Las piezas con mayor número de anillos, aunque de menor ancho, alcanzaron mayores valores de módulo de elasticidad y de rotura a la flexión estática.

La madera libre de médula duplicó prácticamente los valores de módulo de elasticidad y de rotura de la madera en comparación a la madera con médula, afectando significativamente la resistencia.

La madera aserrada de pino híbrido F₁ INTA-PINDO, a los 11 años, alcanzó y superó los valores mínimos de módulo de rotura y módulo de elasticidad a la flexión estática exigidos por las normas IRAM, permitiéndole formar parte de la clase 2 de resistencia en piezas de escuadrías comerciales.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa Pindó S.A. y al Proyecto INTA 2019-PE-E6-I146-001 por el apoyo brindado para desarrollar la investigación. A los técnicos de INTA (Cristian Rotundo, Tomás Häberle, Diego Bogado y Otto Knebel), por la cooperación en las tareas de campo.

6. LITERATURA CITADA

- BELABER E., WINCK R.A., GAUCHAT M.E., ROTUNDO C., BULMAN C., FASSOLA H.E. 2022. Productividad, calidad potencial de rollizos y características de la canopia en taxones de pinos en Misiones, Argentina. Artículo 293 en Revisión Revista Quebracho. FCF-UNSE. Pp 12.
- BELABER, E. C., GAUCHAT, M. E., REIS, H. D., BORRALHO, N. M., & CAPPA, E. P. 2018. Genetic parameters for growth, stem straightness, and branch quality for *Pinus elliotii* var. *elliottii* *Pinus caribaea* var. *hondurensis* F₁ hybrid in Argentina. *Forest Science*, 64(6):595-608.
- DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M. RCW. 2020. InfoStat. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- DI RIENZO JA, MACCHIAVELLI R, CASANOVES F. 2017. Modelos lineales mixtos. Aplicaciones en InfoStat. 253 p.
- DONALDSON L. 2008. Microfibril angle: Measurement, variation and relationships - A review. *IAWA J.* 29(4):345–86.
- FANK, P.Y. 2018. Caracterización físico-mecánica del pino resinoso (*Pinus taeda* y *Pinus elliotii*) cultivado en el nordeste argentino para uso estructural. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Concepción del Uruguay; 2018.
- IRAM 9662-3.2015. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por resistencia. Parte 3: Tablas de pino taeda y elliotii (*Pinus taeda* y *elliottii*). Inst argentino Norm y Certificación, Buenos Aires.1–15.
- IRAM 9663. 2013. Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires.
- IRAM 9670. 2002. Madera estructural. Clasificación y requisitos. Clasificación en grados de resistencia para la madera aserrada de pinos resinosos del noreste argentino mediante una evaluación visual. Inst argentino Norm y Certificación, Buenos Aires.1–52.
- JONES TG, EMMS GW. 2010. Influence of acoustic velocity, density, and knots on the stiffness grade outturn of radiata pine logs. *Wood Fiber Sci.* 42(1):1–9.
- KRAJNC, L., FARRELLY, N., & HARTE, A.M. 2019. The influence of crown and stem characteristics on timber quality in softwoods. *Forest Ecology and Management*, 435, 8-17.
- PEREYRA O, SUIREZS M.T., BOBADILLA EA, REDKA L, KAHLSTORF E. 2007. Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de la Madera del híbrido *Pinus elliotii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* y su comportamiento en la elaboración de productos remanufacturados. Proyecto UNAM. Código ISIF: II – 15. Código Incentivo: 16/F064.
- ROTUNDO, C.A. 2021. Estimación de parámetros genéticos de la calidad de la madera en árboles de pino híbrido (*Pinus elliotii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*) utilizando metodologías no destructivas. Tesis de maestría.
- RUANO, A., & HERMOSO, E. 2021. Juvenile-mature wood evaluation along the bole considering the influence of silvicultural treatments. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 23.
- WINCK R.A. 2023. Calidad estructural de la madera de pino híbrido F₁ *Pinus elliotii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* basada en métodos no destructivos. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Misiones. Pp. 222. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/14834>.