

# PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MADERA DE PRIMER RALEO DE PINO PONDEROSA PROVENIENTE DE ESQUEL, CHUBUT

Alejandro Jovanovski<sup>1,2\*</sup>, Claudia Zapata<sup>1</sup>, Oscar Ambrosio Battaglia<sup>2</sup>,  
Raúl Alberto Ríos<sup>2</sup>

1. Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP). CC 14, (9200) Esquel, Chubut.

2. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB). Chubut.

\* [ajovanovski@ciefap.org.ar](mailto:ajovanovski@ciefap.org.ar)

**Resumen:** Conocer las características tecnológicas de una madera es un aspecto importante para definir sus usos y aplicaciones a nivel industrial. Considerando la importancia que el pino ponderosa [*Pinus ponderosa* (Dougl. Ex Laws)] tiene para la región andino patagónica y el creciente volumen disponible de materia prima de raleo, se realizó el presente trabajo en el que se estudiaron, en material de pequeñas dimensiones y acorde a normas internacionales, sus propiedades físicas (densidad básica, densidad anhidra, parámetros de contracción), y mecánicas (resistencia a la flexión y a la compresión). Los valores de las propiedades físicas y mecánicas fueron similares a los estimados para otros sitios de la Patagonia, aunque fueron menores en comparación con los informados para la madera de pino ponderosa de la región de origen de la especie en Estados Unidos, marcando una limitación de la madera de raleo de la Patagonia Argentina para su utilización en productos que requieren prestaciones mecánicas elevadas.

**Palabras clave:** madera juvenil, densidad, resistencia a la flexión, propiedades tecnológicas.

## Introducción

La Región Andino Patagónica cuenta con una superficie de plantaciones forestales con fines productivos que entregan año a año crecientes volúmenes de materia prima (Loguercio *et al.* 2011). La principal especie que compone estas forestaciones es el pino ponderosa [*Pinus ponderosa* (Dougl. Ex Laws)], que además es la especie más empleada para plantaciones en la región.

A nivel industrial, el volumen de materia prima de pino ponderosa se incrementa anualmente, con una proporción muy importante de madera obtenida en raleos. Este fenómeno representa un gran desafío para la industria en función de los elevados volúmenes que anualmente estarán disponibles y que requerirán ser procesados y convertidos en productos de diferente índole. En este sentido, es necesario considerar que el material obtenido en los raleos tiene elevada proporción de madera juvenil, por lo tanto sus propiedades físicas y mecánicas aún no se han estabilizado ni alcanzado valores de referencia para la especie (Larson *et al.* 2001), lo que sin duda limita el desarrollo de diferentes remanufacturas.

La utilización y aplicación de la madera de raleo de pino ponderosa depende de sus propiedades, que favorecerán o limitarán su uso para determinados tipos de productos. Es-

pecíficamente, desde el punto de vista de desarrollo local, las manufacturas de madera maciza se presentan, en primera instancia, como las de mayor potencial. Desde el punto de vista tecnológico, la disposición de los verticilos en pino ponderosa dejan porciones de madera totalmente libre de nudos, característica que indica un importante potencial para madera aserrada saneada y encolada longitudinalmente.

A partir de lo expuesto, en este trabajo se analizan algunas de las principales propiedades físico-mecánicas de la madera de un primer raleo tardío de pino ponderosa. Los resultados obtenidos contribuirán al conocimiento de las características tecnológicas de una materia prima particular, cuya disponibilidad se incrementa en la región. Por otro lado, para contextualizar los resultados obtenidos, los valores estimados en este trabajo se comparan con los que presenta la especie en otros lugares de la Patagonia Argentina, Chile y Estados Unidos, aunque en la mayoría de los casos el material estudiado no provino de raleos.

## Materiales y métodos

### Madera para los ensayos

El material se obtuvo de 18 árboles de raleo extraídos de un rodal puro de pino ponderosa de 20 años de edad,

con un diámetro medio cuadrático de 20 cm, ubicado en cercanías de la localidad de Esquel, Chubut, a 42°53'48" de latitud sur, 71°20'35" de longitud oeste y 830 metros sobre el nivel del mar. La plantación contaba con una poda previa y no había sido raleada anteriormente, por lo tanto la intervención es considerada un primer raleo tardío.

Del extremo grueso de cada árbol apeado se cortó una troza de 1,30 m de largo que fue aserrada para la obtención de un tablón central de 60 mm de espesor, y de dos tabloncillos de similar espesor perpendiculares al mismo, según lo establece la Norma ISO 3129 (Figura 1). La madera aserrada fue secada en forma natural hasta que su contenido de humedad se estabilizó en un valor cercano al 12 % (determinado por el método de secado en estufa), momento en el que se confeccionaron los diferentes tipos de probetas, elaborándose 4 por propiedad, por árbol, totalizando 72 probetas. Dada la edad de la plantación, el tipo de madera ensayada es considerada madera juvenil (Zingoni *et al.* 2011).

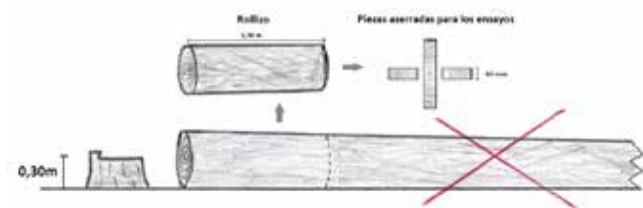


Figura 1. Esquema de cortes para la obtención de la madera de ensayo.

### Propiedades físicas y mecánicas estudiadas

Cada propiedad, tanto física como mecánica, se determinó sobre un total de 20 probetas seleccionadas al azar del lote de 72 probetas confeccionadas para cada propiedad.

La determinación de dimensiones se efectuó con un comparador de precisión 0,001 mm, mientras que la masa para la densidad y el control de contenido de humedad se realizó con una balanza de laboratorio con precisión 0,001 g. La estufa para llevar las probetas a estado anhidro se mantuvo a una temperatura de 103 °C ± 2 °C hasta peso constante (ISO 3130, 1975).

Los ensayos mecánicos se realizaron con una máquina universal marca Shimadzu modelo UMH-50, con los dispositivos específicos para cada ensayo.

Las propiedades físicas y mecánicas ensayadas fueron las siguientes:

- **Densidad anhidra y densidad básica:** según norma ISO 3131 (1975). Se utilizaron probetas de 20 mm x 20 mm x 25 mm.

- **Contracción radial, tangencial, longitudinal y volumétrica:** acorde normas ISO 4469 (1981) e ISO 4858 (1982) respectivamente. Las probetas utilizadas para determinar estas propiedades fueron de 20 mm en el sentido tangencial x 20 mm en el radial x 30 mm en el sentido longitudinal.
- **Compresión paralela al grano:** según norma ISO 3787 (1976), que establece un tamaño de probeta de 20 mm x 20 mm x 60 mm de largo en el sentido del grano. El MOR en compresión paralela al grano, a un contenido de humedad del 12 %, se ajustó con un factor de corrección = 0,04.
- **Compresión perpendicular al grano:** De acuerdo con norma ISO 3132 (1975). Se utilizaron probetas de 40 mm x 40 mm x 60 mm de largo en el sentido del grano dado que los anillos de crecimiento superaban los 4 mm. El MOR en compresión perpendicular al grano correspondiente a un contenido de humedad del 12 % se ajustó con un factor de corrección = 0,04.
- **Flexión estática:** Según la norma ISO 3133 (1975). El tamaño de probeta utilizado fue de 20 mm x 20 mm x 300 mm. El MOR en flexión estática correspondiente a un contenido de humedad del 12 % se ajustó con un factor de corrección = 0,04.

## Resultados y discusión

### Propiedades físicas

La Tabla 1 presenta los resultados obtenidos en los ensayos físicos efectuados.

Tabla 1: Propiedades físicas.

Propiedad	N	Unidad	Promedio	Desvío estándar	Coefficiente variación [%]
Densidad Anhidra	20	kg/m <sup>3</sup>	398	18	4,42
Densidad Básica	20	kg/m <sup>3</sup>	354	16	4,45
Contracción Rd. máxima	20	%	3,92	0,69	17,62
Contracción Tg. máxima	20	%	6,12	0,9	14,71
Contracción Lg. máxima	20	%	0,89	0,37	41,92
Contracción Vol. máxima	20	%	10,6	1,12	10,61
Contracción Rd. a 12%	20	%	2,56	1,77	69,14
Contracción Tg. a 12%	20	%	3,4	1,3	38,08
Contracción Lg. a 12%	20	%	0,65	0,29	44,46
Contracción Vol. a 12%	20	%	6,48	2,42	37,4

Al comparar la densidad básica (DB) estimada en este trabajo con la de estudios similares efectuados en la Patagonia, se observó que la misma se ubicó en el límite inferior de los valores informados por Jovanovski *et al.* (2002) para Neuquén y Chubut, que fue de 375 kg/m<sup>3</sup>, por encima de la informada por Spavento *et al.* (2017) para un sitio de 22

años de edad en Neuquén, que fue de 320 kg/m<sup>3</sup>; y similar a la estimada por Gacitúa *et al.* (2013) que alcanzó 340 kg/m<sup>3</sup> en árboles de 35 años de edad de Aysén, Chile. Al efectuar una comparación similar con datos de sitios de origen de Estados Unidos, la DB informada por diversas fuentes resultó siempre mayor: Barger y Ffolliott (1971), 370 kg/m<sup>3</sup>; Cochran *et al.* (1984), 380 kg/m<sup>3</sup>; y Glass y Zelinka (2010), 380 kg/m<sup>3</sup>.

Se destaca que el coeficiente de variación (CV) asociado a la DB de este estudio resultó inferior a los informados por los autores precedentes, situación que puede explicarse porque los árboles utilizados en este trabajo contenían solo madera juvenil y, como consecuencia, la influencia de las condiciones y del crecimiento en la densidad de la madera son menores, disminuyendo el rango de variación de esta propiedad (Zobel y Sprague 1998).

Las contracciones radiales y tangenciales presentaron valores superiores a los determinados por Spavento *et al.* (2017) para madera de una plantación de 22 años, que fueron de 3,3 % y 5,8 % respectivamente, y similares a los informados por Glass y Zelinka (2010) para el pino ponderosa de Estados Unidos, que alcanzaron 3,9 % y 6,2 % respectivamente, destacándose de esta manera que las contracciones de la madera de raleo estudiada no presentaron diferencias con las de la madera de los sitios de origen, pero sí una pequeña diferencia con otros sitios de la Patagonia.

Respecto de la contracción longitudinal (CL), que cobra importancia dado que se trata de madera de raleo, y por lo tanto puede tener elevados índices en esta propiedad, en este estudio su promedio presentó un valor relativamente bajo, con un CV alto, situación que puede explicarse porque las probetas fueron extraídas de porciones de madera de diferentes edades, y por lo tanto a distintas distancias desde la médula, destacándose que en zonas cercanas a la misma, la CL es elevada (Jovanovski *et al.* 2016).

Al calcular el coeficiente de anisotropía (T/R) con las contracciones totales tangenciales y radiales, el mismo alcanza un valor de 1,56 indicando que la madera estudiada es estable/medianamente estable. Dado que las probetas fueron tomadas de madera libre de defectos situada entre verticilos, este resultado es alentador a la luz de potenciales aplicaciones con madera libre de nudos.

### Propiedades mecánicas

En la Tabla 2 se muestran las propiedades mecánicas de la madera de raleo de pino ponderosa, ajustados a un CH del 12 %, según lo estipulado por las normas empleadas.

Tabla 2. Propiedades mecánicas ajustadas a un contenido de humedad del 12 %

Propiedad	N	Unidad	Promedio	Desvío estándar	Coefficiente variación [%]
MOR en flexión	20	MPa	49,4	10,9	19,7
MOR en compresión perpendicular rd	20	MPa	4,4	1,1	19,8
MOR en compresión perpendicular tg	20	MPa	3,3	0,6	15,7
MOR en compresión paralela	20	MPa	23,8	2,3	8,4

El MOR en flexión estática estimado en este estudio fue similar al informado por Spavento *et al.* (2017) para madera de edad similar proveniente de Neuquén (49,33 Mpa), mayor al calculado por Gacitúa *et al.* (2013) para p. ponderosa creciendo en la región de Aysén, que alcanzó una magnitud de 45,6 Mpa, aunque el CV informado por estos autores fue menor (16,84 % y 16,7 %). Al efectuar la misma comparación con Kretschmann (2010) para pino ponderosa de Estados Unidos, el MOR en sitios de origen resultó superior en prácticamente el 30 %, y alcanzó un valor de 65 MPa. Es necesario considerar que los valores de resistencia informados por este último autor corresponden a ensayos de madera madura, mientras que los de Patagonia fueron de madera juvenil.

El MOR en compresión paralela obtenido en este estudio fue superior al hallado por Spavento *et al.* (2017) para Neuquén (20 Mpa), mientras que el MOR en compresión perpendicular determinado fue muy inferior al informado por estos autores (10,39 Mpa). Al hacer esta misma comparación con Gacitúa *et al.* (2013) no se encontraron prácticamente diferencias. Análogamente a lo sucedido con la resistencia a la flexión, el MOR en compresión paralela para pino ponderosa de Estados Unidos fue mayor (36,7 MPa), mientras que el MOR en compresión perpendicular fue similar (4 MPa) al hallado en este estudio (Kretschmann 2010).

### Conclusiones

El carácter juvenil de la materia prima obtenida en el raleo de pino ponderosa de 20 años de edad de la zona de Esquel influye en las potenciales aplicaciones y en la elaboración de productos sólidos que se puedan fabricar con la misma. Si bien las propiedades físicas y mecánicas estudiadas no presentaron mayores diferencias con las relevadas para otros sitios de la Argentina en árboles de edades similares, sí revelaron diferencias con la madera de pino ponde-

rosa de Estados Unidos y con madera de mayor edad para sitios similares en Patagonia. Específicamente las propiedades mecánicas que presenta la especie en Estados Unidos son superiores a las determinadas en este estudio, lo que sugiere que la madera de raleo proveniente de bosques de alrededor de 20 años presentaría limitaciones para ser usada en aplicaciones que requieran prestaciones elevadas de resistencia mecánica.

## Bibliografía

- Barger R, Ffolliott P. 1971. Effect of extractives on specific gravity of southwestern ponderosa pine. U.S. Forest Service. Research Note RM-205. pp 1-4.
- Cochran PH, Jennings JW, Youngberg CT. 1984. Biomass estimators for thinned second-growth ponderosa pine trees. U.S. Forest Service. Research Note PNW-415. 6p.
- Gacitúa W, Elgueta P, Hernández G. 2013. Propiedades Físico-Mecánicas. En: Informe Técnico N°192 Caracterización Tecnológica del Pino Ponderosa de Aysén. Instituto Forestal de Chile. pp 27-42.
- Glass S V, Zelinka S L. 2010. Moisture Relations and Physical Properties. En: Wood handbook—Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Forest Products Laboratory. Madison. pp. 80-98.
- ISO 3130. 1975. Determination of moisture content for physical and mechanical test. First edition. International Organization for Standardization. 2p.
- ISO 3129. 1975. Sampling methods and general requirements for physical and mechanical tests. First Edition. International Organization for Standardization. 4p.
- ISO 3131. 1975. Determination of density for physical and mechanical tests. First Edition. International Organization for Standardization. 2p.
- ISO 3132. 1975. Testing in compression perpendicular to grain. First Edition. International Organization for Standardization. 2p.
- ISO 3133. 1975. Determination of ultimate strength in static bending. First Edition. International Organization for Standardization. 2p.
- ISO 3787. 1976. Determination of ultimate stress in compression parallel to grain. First Edition. International Organization for Standardization. 2p.
- ISO 4469. 1981. Determination of radial and tangential shrinkage. First Edition. International Organization for Standardization. 2p.
- ISO 4858. 1982. Determination of volumetric shrinkage. First Edition. International Organization for Standardization. 3p.
- Jovanovski A, Jaramillo M, Loguercio G. 2002. Densidad de la madera de *Pinus ponderosa* (Dougl. Ex Laws) en tres localidades de Argentina. *Bosque* 23(2): 99-104.
- Jovanovski A, Zapata C, Salvador G, Costa A, Tiznado M. 2016. Ancho de anillo, densidad, contracción longitudinal y ángulo de grano de madera de primer raleo comercial de pino ponderosa. III Jornadas Forestales Patagónicas. Esquel, Chubut. pp 382-387.
- Kretschmann, D. 2010. Mechanical Properties of Wood. En: Wood handbook—Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Forest Products Laboratory. Madison. pp. 100-145.
- Larson PR, Kretschmann DE, Clark III A, Isebrands JG. 2001. Formation and Properties of Juvenile Wood in Southern Pines. A Synopsis. Forest Products Laboratory. General Technical Report No 129. 42p.
- Loguercio G, Gonda H E, Jovanovski A. 2011. Necesidades de manejo de los bosques plantados en las provincias de Neuquén, Río Negro y Chubut. *Producción Forestal* 1(1): 13-17.
- Spavento E, Acciaresi G, Refort M M, Keil G, Sañudo G. 2017. Propiedades físico-mecánicas de la madera juvenil de pino ponderosa proveniente de cuatro sitios de la provincia de Neuquén. En: Proceso, producto y gestión de la madera de pino ponderosa. INTA. Bariloche. pp 11-16.
- Zobel BJ, Sprague JR. 1998. Occurrence of Juvenile Wood. En: *Juvenile Wood in Forest Trees*. Springer Series in Wood Science. Springer – Verlag. Berlin. pp 56-112.
- Zingoni, M I, Andía I R, Laffitte L. 2011. Variación radial y vertical en la longitud de traqueidas en un árbol de Pino ponderosa de 50 años (Neuquén, Argentina). *Ciencia e Investigación Forestal - Instituto Forestal. Chile*. Volumen 17 N° 1. pp 77-90.