



## RESISTENCIA EN FLEXIÓN DEL PINO PONDEROSA DE LA PATAGONIA NORTE, ARGENTINA

### RESISTANCE IN FLEXION OF THE PONDEROSA PINE OF THE NORTH PATAGONIA, ARGENTINA

Alfredo A. Guillaumet<sup>1\*</sup>, María C. Filippetti<sup>2</sup>, Roberto D. Manavella<sup>3</sup>, Lía C. Meyer<sup>4</sup>, Gonzalo Caballé<sup>5</sup>, Alejandro Martínez Meier<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Profesor Titular. GIDEC UTN FRVT, Venado Tuerto. UNNOBA, Junín. Argentina

<sup>2</sup>Profesor Adjunto. GIDEC UTN FRVT, Venado Tuerto. UNNOBA, Junín. Argentina

<sup>3</sup>Profesor Titular. GIDEC UTN FRVT, Venado Tuerto. Argentina

<sup>4</sup>Ayudante de Trabajos Prácticos. GIDEC UTN FRVT, Venado Tuerto. Argentina

<sup>5</sup>Dr. Ing. Forestal. INTA Bariloche. Argentina

\* Contacto: Alfredo Guillaumet: [aaguillaumet@frvt.utn.edu.ar](mailto:aaguillaumet@frvt.utn.edu.ar)

CÓDIGO: 4484271- 4654619

#### Resumen

En la zona andina de las Provincias de Neuquén, Chubut y Río Negro existen más de 100.000 ha implantadas de coníferas, la gran mayoría con pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl x Laws). No existe a la fecha una norma de clasificación estructural de esta combinación especie / procedencia. Resulta de interés el estudio de su comportamiento estructural para su inclusión en los suplementos del reglamento INTI-CIRSOC (2016). En este trabajo se presentan los resultados de los ensayos realizados sobre 6 muestras de distinta escuadría de dimensiones estructurales (273 probetas). Se utilizó madera de pino ponderosa aserrada de árboles de 25-32 años provenientes de un primer raleo comercial. Los ensayos se realizaron de acuerdo a las prescripciones de la norma UNE EN 408 (2011). Se evaluaron ocho perfiles de límites para una clasificación visual resistente. En todas ellas se obtuvo un bajo rendimiento en la calidad superior motivado por la presencia de una nudosidad importante, consecuencia de la falta de trabajo silvicultural en las plantaciones. Los valores de resistencia a la flexión alcanzados fueron 18,9 N/mm<sup>2</sup> y 9,1 N/mm<sup>2</sup>, con módulos de elasticidad de 6.345 N/mm<sup>2</sup> y 4.637 N/mm<sup>2</sup>, para los grados superior e inferior respectivamente. La densidad media obtenida fue de 389 kg/m<sup>3</sup>. Resulta una madera de baja resistencia y muy bajo módulo de elasticidad.

*Palabras-clave: Pino ponderosa, Clasificación visual, propiedades mecánicas madera.*

#### Abstract

In the Andean region of the Provinces of Neuquén, Chubut and Río Negro there are more than 100,000 ha implanted with conifers, the vast majority with the species ponderosa pine (*Pinus ponderosa* Dougl x Laws). To date, there is no standard of structural classification for this combination species/provenance. It is interesting to study its structural behavior for its inclusion in the supplements of the INTI-CIRSOC (2016) regulation. This work presents the results of the tests carried out on 6 samples of different structural dimensions (273 specimens). It was used ponderosa pine sawed timber of 25-year-old trees from a first commercial thinning. The tests were carried out according to the requirements of the UNE EN 408 (2011) standard. Eight boundary profiles were evaluated for a resistant visual classification. In all of them, a low yield in superior quality was obtained, motivated by the presence of an important knot, consequence of the lack of forest work in the plantations. The values of flexural strength reached were 18.9 N/mm<sup>2</sup> and 9.1 N/mm<sup>2</sup>, with modulus of elasticity of 6,345 N/mm<sup>2</sup> and 4,637 N/mm<sup>2</sup>, for the upper and lower grades respectively. The average density obtained was 389 kg/m<sup>3</sup>. It is a wood of low resistance and very low modulus of elasticity.

*Keywords: Ponderosa pine, Visual classification, mechanical properties wood.*



## 1. INTRODUCCIÓN

Argentina es un país con muy poca tradición en el empleo de la madera en la construcción, se privilegia el uso de mampostería y estructuras de hormigón o acero. La baja utilización de este material se limitó históricamente a especies provenientes de bosques nativos. Recién en este siglo se iniciaron los estudios de las propiedades estructurales de las maderas provenientes de bosques implantados, los mismos condujeron a la confección de una serie de normas IRAM que establecen pautas para la clasificación visual resistente y valores característicos de las propiedades mecánicas de distintas combinaciones de especie / procedencia. La primera fue la IRAM 9670 (2002) para madera aserrada de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* y le siguieron en año 2006 las normas IRAM 9662/1/2/3 para tablas de *Araucaria angustifolia* de Misiones, *P. taeda* y *P. elliottii* de Misiones y Corrientes, y *Eucalyptus grandis* de la Mesopotamia, estas normas fueron modificadas en el año 2015, año en el que se sumó la norma IRAM 9662/4 para tablas de *Populus deltoides* del delta del río Paraná.

La aprobación del “Reglamento Argentino de Estructuras de Madera”, INTI-CIRSOC 601 (2016), y sus suplementos con los valores de diseño de referencia para las diferentes especies y lugares de procedencia, puso en evidencia la falta de información sobre el comportamiento estructural de muchas especies de rápido crecimiento en Argentina. A las especies que estaban contempladas en las normas IRAM mencionadas en el párrafo anterior solo se le pudo sumar en los suplementos del reglamento las propiedades de vigas de *Araucaria angustifolia* y *Eucalyptus grandis*.

El pino ponderosa es actualmente es la especie forestal más plantada en la región andinopatagónica, concentrándose en la pre-cordillera de las provincias de Neuquén, Río Negro y Chubut; su crecimiento es vigoroso en ausencia de importantes pestes o enfermedades (Gonda, 2001). Los árboles maduros poseen albura de color amarillento pálido y duramen rojizo claro, diseño floreado en el corte tangencial y veteado en corte radial. La transición entre madera juvenil y madura ocurre a los 20 años de edad (Zingoni et al. 2007, Letourneau et al. 2014). En la actualidad, la mitad del área forestada en la región (44.000 ha) tiene entre 20 y 30 años (Logercio y Deccechis 2006) momento del primer raleo comercial. En consecuencia, la mayor parte de la madera presente en la región proviene de estos raleos y presenta gran proporción de madera juvenil y, en general, numerosos nudos provocados por la ausencia de podas realizadas en tiempo y forma. Los principales productos de pino ponderosa encontrados en el mercado hoy son: postes impregnados para alambrado, postes para construcción y revestimiento de cabañas, tablas y tacos para pallets y fabricación de bins, tablas y tirantes para encofrado y machimbres. Otro producto que se fabrica con esta especie es la madera clear, fundamentalmente para la construcción de vigas laminadas, en etapa incipiente como también la construcción de viviendas utilizando ladrillos de madera. La falta de reportes de ensayos de piezas de dimensiones estructurales con una propuesta de clasificación visual resistente marca la necesidad de estudiar esta combinación de especie / procedencia con el fin de evaluar su posible incorporación a los suplementos del reglamento INTI-CIRSOC (2016) y generar las bases para ampliar el uso de esta madera en productos con mayor valor agregado.

La madera es un material natural que presenta grandes variaciones de su calidad en función de la especie, tratamiento silvicultural y condiciones ambientales. Las



propiedades no solo varían de un árbol a otro, sino también dentro del árbol en función de la altura y la distancia a la médula. Las singularidades como la presencia de médula, dimensión de los nudos y anillos de crecimiento, inclinación de las fibras, entre otras, afectan las propiedades estructurales. Todo ello conduce a grandes variaciones en las propiedades resistentes y al definir la resistencia característica como el percentil 5% inferior, toda la muestra se encuentra condicionada por los elementos más débiles, desaprovechando las mejores propiedades del 95% de la población restante. La posibilidad de dividir la muestra en muestras más pequeñas, con menor dispersión y propiedades más homogéneas de acuerdo a sus defectos, permite alcanzar en cada una de ellas valores característicos más altos, esta es la base de la clasificación por resistencia (Glos 1995).

En este trabajo se presentan los resultados del ensayo a flexión de 273 elementos estructurales de 5 escuadrías distintas, ejecutados con madera aserrada de pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl x Laws) provenientes de plantaciones de 25-32 años de edad ubicadas en la zona andina de la Patagonia norte. Se analizan distintos perfiles para una clasificación visual resistente con el objetivo de proponer un método de clasificación con las propiedades de resistencia, rigidez y densidad correspondientes a cada calidad y comparar su prestación con la del pino resinoso de la Mesopotamia Argentina.

## 2. MATERIALES Y METODOS

La madera de pino ponderosa fue obtenida de trozas de primer raleo comercial provenientes de tres sitios el predio La Lucha, el predio de la familia Martin y del barrio cerrado Dos Valles (26, 25 y 32 años de edad respectivamente), todos sitios de la cuenca Arroyo del Medio, próxima a la ciudad de San Carlos de Bariloche. El diámetro promedio mayor de las trozas fue 27,4 cm y el menor de 19,9 cm. Los largos variaron entre 2,35 y 4,40 m. El volumen promedio de las trozas fue de 0,14 m<sup>3</sup> y el rendimiento del aserrío alcanzó el 50,3 %. Las trozas fueron aserradas, secadas y cepilladas en Bariloche, posteriormente fueron enviadas, envueltas en polietileno, a Venado Tuerto. En el Laboratorio de la Facultad Regional Venado Tuerto, de la Universidad Tecnológica Nacional, se confeccionaron 5 muestras con las dimensiones que se indican en la Tabla 1. Teniendo en cuenta la edad de los árboles se puede considerar que las piezas poseen una alta proporción de madera juvenil.

*Tabla 1: Dimensiones y cantidad de los cuerpos de prueba*

Muestra	Dimensiones nominales			Cantidad
	Base mm	Altura mm	Largo mm	
1	50	50	1000	56
2	50	75	1500	58
3	50	100	2000	53
4	50	125	2500	57
5	50	150	3000	49



En cada una de las piezas se relevaron las siguientes singularidades: presencia de médula, nudosidad, dimensiones de los anillos de crecimiento, inclinación de las fibras, fisuras, deformaciones previas al ensayo y signos de ataque biológico. El relevamiento se realizó de acuerdo a las prescripciones de la norma IRAM 9662-3 (2015). La nudosidad K se determina a través la relación entre la dimensión del nudo mayor o agrupamiento de nudos, medida entre líneas paralelas al eje de la pieza y tangentes al mismo con la dimensión transversal de la cara donde se manifiesta (método alternativo UNE EN 1310 1997). Para los agrupamientos de nudos se considera la proyección superpuesta una sola vez. Se considera nudos agrupados cuando la distancia entre el centro de ellos es menor de 150 mm o menor que la altura de la pieza en el plano de flexión.

Los ensayos se realizaron de acuerdo a los lineamientos de la norma UNE EN 408 (2012), para la determinación del módulo de elasticidad global se consideró al módulo de elasticidad transversal “G” igual a infinito. El procedimiento es similar al determinado en la norma IRAM 9663 (2013). La determinación de los valores característicos y los ajustes a las condiciones de referencia se realizó de acuerdo a la norma IRAM 9664 (2013). Los ensayos se efectuaron ubicando siempre los cuerpos de prueba con los mayores defectos en la zona traccionada, desatendiendo el criterio de las normas IRAM 9663 (2013) y UNE EN 384 (2010) que establece una selección al azar para este caso. La disposición elegida en esta investigación permite estudiar con mayor profundidad la influencia de los defectos sobre las propiedades mecánicas. Para la resistencia a flexión se determinó el percentil 7,5% en lugar del 5% para, de esta manera, corregir los efectos negativos que origina la ubicación de los defectos siempre en la zona traccionada (Glos & Tratzmiller, 1996; Glos & Lederer, 2000).

Al finalizar el ensayo de cada probeta se determinó el contenido de humedad y la densidad aparente. Se efectuó sobre un trozo de sección completa y libre de nudos extraído de una zona cercana a la rotura. Se respetaron los procedimientos descriptos en las normas IRAM 9663 (2013), ISO 3131 (1975) e ISO 3130 (1975).

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1 Resultados de los ensayos**

En la Tabla 2 se presentan los valores resistencia a flexión (MOR), módulo de elasticidad (MOE) y densidad. Los valores se muestran por separado para cada una de las muestras. Para el MOR se determinó el valor medio y el del percentil 7,5%, para el MOE el valor medio y para la densidad aparente el valor medio y el del percentil 5%, en todos los casos se presenta el coeficiente de variación (COV).

No se encontraron en las probetas signos de ataque biológico ni deformaciones previas a los ensayos.



Tabla 2: Propiedades mecánicas y densidad para cada muestra

Muestra	MOR			MOE		Densidad			Cantidad n
	$f_{m,m}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{m,075}$ N/mm <sup>2</sup>	COV %	$E_{m,g,m}$ N/mm <sup>2</sup>	COV %	$\rho_m$ Kg/m <sup>3</sup>	$\rho_{05}$ Kg/m <sup>3</sup>	COV %	
1	18,6	9,7	38	4109	37	389	332	13	56
2	20,7	11,6	46	5188	39	381	341	8	58
3	18,7	9,1	44	5068	27	390	331	9	53
4	17,6	8,4	38	4979	29	392	340	10	57
5	16,4	8,5	44	4360	41	394	339	7	49
Total	18,5	9,1	43	4751	35	389	337	10	273

$f_{m,m}$ : valor medio de la resistencia a la flexión.  $f_{m,075}$ : percentil 0,075% de la resistencia a la flexión.  $E_{m,g,m}$ : valor medio del módulo de elasticidad global.  $\rho_{05}$ : percentil 0,05% de la densidad.  $\rho_m$ : valor medio de la densidad. COV: coeficiente de variación. N: número. La resistencia a la flexión está ajustada a la altura de 150 mm (UNE EN 384 2010). El Módulo de elasticidad y la densidad están ajustados a un contenido de humedad del 12% (UNE EN 384 2011).

El valor medio del MOR para cada una de las muestras varían entre 16,4 N/mm<sup>2</sup> y 20,7 N/mm<sup>2</sup>, con valores de COV superiores al 38%. El MOE presenta valores entre 4109 N/mm<sup>2</sup> y 5188 N/mm<sup>2</sup>, con valores de COV un poco inferiores a los del MOR, pero superiores al 27%. Los valores medios de MOR y MOE son sensiblemente inferiores a los publicados por Fank (2018) para el pino resinoso de Misiones que reportó para el MOR valores medios entre 25,9 N/mm<sup>2</sup> y 38,1 N/mm<sup>2</sup>, mientras que para el MOE los valores fueron entre 8713 N/mm<sup>2</sup> y 9264 N/mm<sup>2</sup>. La densidad presentó un COV menor, inferior al 13%, y valores medios entre 381 y 392 Kg/m<sup>3</sup>, inferior en un 25% a los reportados para el pino resino por Fank (2018).

Para probetas pequeñas libres de defectos provenientes de cuatro plantaciones de la provincia de Río Negro Spavento *et al.* (2017) reportó valores de MOR, sin corrección a la altura de referencia de 150 mm, entre 31,1 y 64,2 N/mm<sup>2</sup>; con un MOE entre 2447 y 3805 N/mm<sup>2</sup> y una densidad entre 360 y 460 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.2 Análisis de las singularidades

A los efectos de poder proponer un método de clasificación visual se analizan las principales singularidades y su relación con las propiedades mecánicas y resistentes.

En la Tabla 3 se presenta la nudosidad acumulada para todas las muestras dividida en seis segmentos, se puede apreciar que solo el 17% de las piezas presentaron nudosidad inferior a  $K=1/3$  y que un 35% presenta nudosidad superior a  $K=2/3$ . La nudosidad promedio resultó de  $K=0,57$ , superior a la reportada por Fank (2018) para las piezas de pino resinoso de Misiones donde obtuvo  $K=0,46$ .

Tabla 3: Nudosidad acumulada

		Nudosidad K					
		1/6	1/3	1/2	2/3	5/6	1
Nudosidad	n	11	47	107	178	228	273
acumulada	%	4%	17%	39%	65%	83%	100%



La Tabla 4 presenta las correlaciones entre las propiedades mecánicas y la densidad con las principales singularidades. Para la nudosidad se puede apreciar una correlación negativa débil con el MOR y el MOE, mientras que con la densidad la misma resulta no significativa. La inclinación de las fibras presenta correlaciones no significativas con las tres propiedades. La dimensión del anillo de crecimiento mayor muestra correlaciones negativas moderadas con el MOR y el MOE, en ambos casos superiores a las observadas con la nudosidad, mientras que con la densidad la misma es muy débil.

Tabla 4: Correlaciones de las singularidades con las propiedades mecánicas y la densidad

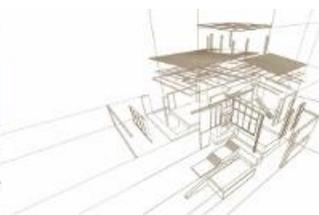
Singularidad	MOR	MOE	Densidad	n
Nudosidad (K)	-0,40	-0,30	-0,09	273
Inclinación de las fibras (IF)	-0,06	-0,02	-0,07	273
Anillo mayor (AnM)	-0,42	-0,60	-0,14	273

Para el pino resinoso de Misiones Fank (2018) reportó una correlación de la resistencia con la nudosidad de -0,46, es decir ligeramente superior a la alcanzada en esta especie. La correlación reportada por la misma autora entre la dimensión del anillo de crecimiento mayor y la resistencia fue de -0,34, y con el módulo de elasticidad de -0,48, estos valores son menores a los obtenidos para el pino ponderosa. En ambos pinos se observó una mayor correlación con el módulo de elasticidad.

### 3.3 Clasificación visual

Sobre la base de los análisis del punto anterior se analizan ocho perfiles de clasificación visual resistente. Se utilizan como límites de clasificación la presencia de médula, la nudosidad y la dimensión del anillo de crecimiento mayor. No se considera la inclinación de las fibras por su correlación no significativa con las propiedades mecánicas. Para el MOR se presenta el valor medio y el del percentil 7,5% (ya se explicaron las razones en el punto 2), para el MOE el valor medio y para la densidad aparente el valor medio y el del percentil 5%.

En la Tabla 5 se observan los valores de resistencia, rigidez y densidad para los 8 perfiles de clasificación estudiados. El perfil 1 es el de referencia e incluye los valores de todo el conjunto de las muestras. El perfil 2 muestra la separación entre las piezas que contenían médula y las que no, se puede apreciar que las piezas sin médula presentan un valor medio de resistencia a la flexión un 19% superior a las que si la contenían, para el pino resinoso Fank (2018) reportó diferencias del 23% en la resistencia de las piezas que no contenían médula de las que si la contenían. El perfil 3 corresponde a los criterios para asignar clases resistentes en la norma IRAM 9662/3 (2015) para tablas de *Pinus taeda* y *elliottii* de la Mesopotamia Argentina. Se destaca el bajo rendimiento en la calidad superior (10%). En los perfiles 4 y 5 se modifican los límites de nudosidad. En el perfil 4 se hacen más exigentes y se produce una fuerte baja del rendimiento que pasa al 4% con menos de un 3% de aumento en el percentil 7,5% de la resistencia. En el perfil 5 se aumenta la



nudosidad admisible lo que lleva al rendimiento en la calidad superior al 18% pero con una disminución del 34% en la resistencia. En los perfiles 6 a 8 se admite una mayor dimensión de los anillos de crecimiento. El perfil 6 admite la misma nudosidad que el perfil 3, se alcanza una resistencia similar a la del perfil 3 en ambas calidades con un incremento del rendimiento en la calidad superior que alcanza el 13%. El perfil 7 admite la misma nudosidad que el perfil 4 pero el rendimiento de solo el 6%. El perfil 8 admite médula en todas las calidades, una nudosidad similar a la del perfil 3 y una mayor dimensión de anillo de crecimiento, se observa una resistencia similar a la de los perfiles 3 y 6 con un rendimiento que sube al 15%, y una disminución del 7% en el módulo de elasticidad respecto del perfil 3 y valores similares en la densidad.

Tabla 5: Perfiles de resistencia, rigidez y densidad

Perfiles	$f_m$	$f_{m,075}$	$E_{m,g}$	$\rho_m$	$\rho_{05}$	Cantidad	
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	n	%
1 Todos	18,5	9,1	4751	389	337	273	(100)
2 SM	19,7	9,2	5098	388	335	172	(63)
AM	16,5	8,6	4160	391	339	101	(37)
S SM; K<1/3; AnM<10	30,1	18,5	6770	384	349	26	(10)
3 I AM; K<2/3; AnM<15	18,0	9,6	4698	390	337	146	(53)
D Descarte	16,1	7,8	4308	390	337	101	(37)
S SM; K<1/4; AnM<10	30,8	19,6	6927	385	325	11	(4)
4 I AM; K<1/2; AnM<15	20,5	9,9	5101	386	341	94	(34)
D Descarte	16,5	8,5	4413	391	336	168	(62)
S SM; K<1/2; AnM<10	25,1	12,3	6203	386	331	49	(18)
5 I AM; K<3/4; AnM<15	17,5	9,6	4493	387	336	155	(57)
D Descarte	16,0	7,5	4300	396	339	69	(25)
S SM; K<1/3; AnM<12	29,0	18,9	6431	380	325	35	(13)
6 I AM; K<2/3; AnM<16	17,6	9,6	4634	392	337	138	(50)
D Descarte	16,0	7,5	4312	389	336	100	(37)
S SM; K<1/4; AnM<12	28,8	19,4	6620	380	325	15	(6)
7 I AM; K<1/2; AnM<16	20,5	9,4	5058	388	345	91	(33)
D Descarte	16,5	8,5	4416	390	336	167	(61)
S AM; K<1/3; AnM<12	28,8	18,9	6321	382	341	41	(15)
8 I AM; K<2/3; AnM<16	17,1	9,6	4596	392	337	132	(48)
D Descarte	16,0	7,8	4312	386	336	100	(37)

$f_{m,m}$ : valor medio de la resistencia a la flexión.  $f_{m,075}$ : percentil 0,075% de la resistencia a la flexión.  $E_{m,g,m}$ : valor medio del módulo de elasticidad global.  $\rho_{05}$ : percentil 0,05% de la densidad.  $\rho_m$ : valor medio de la densidad. n: número. S: calidad superior. I: calidad Inferior. D: descarte. SM: sin médula. AM: admite médula, K: nudosidad. AnM: dimensión del anillo de crecimiento mayor. La resistencia a la flexión está ajustada a la altura de 150 mm (IRAM 9664 2013). El Módulo de elasticidad y la densidad están ajustados a un contenido de humedad del 12% (IRAM 9664 2013).

El perfil 8 es el que se presenta como el más conveniente desde el punto de vista técnico y económico. Se debe considerar que para obtener el valor característico se debe aplicar el ajuste por tamaño de muestra ( $K_s$ ) que establece la norma IRAM 9664 (2013), para la calidad superior se determina un  $K_s=0,77$  y para la calidad inferior  $K_s=0,85$ , de lo que



resultan los siguientes valores de resistencia característica  $f_{m,k}=14,4 \text{ N/mm}^2$  y  $f_{m,k}=8 \text{ N/mm}^2$  para las calidades superior e inferior respectivamente.

Para vigas de *Pinus taeda / elliotti* clasificadas de acuerdo a la norma IRAM 9670 (2002) Fank (2018) reportó valores para la resistencia (percentil 5%) de  $25,9 \text{ N/mm}^2$  y  $13,5 \text{ N/mm}^2$  para los grados 1 y 2 respectivamente, con un MOE de  $10883 \text{ N/mm}^2$  y  $9532 \text{ N/mm}^2$  para cada grado y una densidad (percentil 5%) de  $458 \text{ kg/m}^3$  y  $418 \text{ Kg/m}^3$ , con rendimientos del 17% en el grado 1 y del 38% en el grado 2. La norma IRAM 9670 (2002) propone para la resistencia a flexión los valores de  $23,9 \text{ N/mm}^2$  y  $11,9 \text{ N/mm}^2$  para los grados 1 y 2 respectivamente, con valores para el módulo de elasticidad de  $9000 \text{ N/mm}^2$  y  $7500 \text{ N/mm}^2$ .

En la Figura 1 se ilustra la comparación de la resistencia y la rigidez obtenidas en este trabajo para el pino ponderosa con el pino resinoso de la Mesopotamia Argentina según la norma IRAM 9670 (2002) y Fank (2018). Se puede apreciar que la resistencia es significativamente inferior a la que propone la norma IRAM para el pino resinoso, un 40% y un 37% para las calidades superior e inferior respectivamente. Para el módulo de elasticidad se aprecian también importantes diferencias, 30% y 39% para ambas calidades respectivamente. Las diferencias son aún mayores respecto de los valores reportaos por Fank (2018).

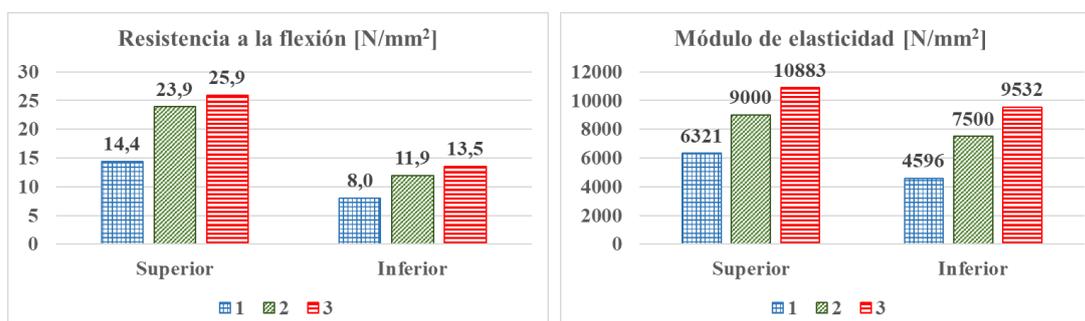


Figura 1: Propiedades mecánicas del pino ponderosa y el pino resinoso

1: Pino ponderosa según este trabajo. 2: Pino resinoso (IRAM 9670 2002). 3: Pino resinoso de Misiones (Fank 2018).

La densidad prácticamente no varía con la calidad (Tabla 5, perfil 8) y su valor característico ( $341 \text{ kg/m}^3$  y  $337 \text{ kg/m}^3$ ) resultan inferiores a los determinados por Fank (2018) para el pino resinoso en un 22% y un 19% para las calidades superior e inferior respectivamente.

El rendimiento obtenido en el perfil 8 de la Tabla 5 para la calidad superior (15%) es ligeramente inferior al obtenido por Fank (2018) para el pino resinoso (17%) clasificado de acuerdo a la norma IRAM 9670 (2002) y el obtenido en la calidad inferior (48%) es superior al obtenido para el pino resinoso (38%).



#### 4. CONCLUSIONES

La clasificación visual que presentó el mejor rendimiento técnico económico para el pino ponderosa admite médula en ambas calidades, para la calidad superior acepta nudosidad menor de 1/3 con anillo de crecimiento menor de 12 mm y para la calidad inferior una nudosidad menor de 2/3 y anillo de crecimiento menor de 16 mm.

Para el perfil de clasificación elegido, los valores característicos de resistencia a flexión son de 14,4 N/mm<sup>2</sup> y 8,0 N/mm<sup>2</sup> en las calidades superior e inferior respectivamente, con un valor medio de módulo de elasticidad global de 6321 N/mm<sup>2</sup> y 4596 N/mm<sup>2</sup>. Para la densidad se obtuvieron valores de 341 kg/m<sup>3</sup> y 377 kg/m<sup>3</sup> para cada una de las calidades.

La baja proporción de piezas en la calidad superior está motivada por la alta nudosidad encontrada (valor medio de K= 0.46) que se puede atribuir a un deficiente trabajo de poda.

Las propiedades de resistencia, rigidez y densidad determinadas para la madera el pino ponderosa de la Patagonia norte de la Argentina, proveniente de primer raleo comercial, resultan marcadamente inferiores al pino resinoso de la Mesopotamia Argentina y sugieren trabajar en el desarrollo de productos encolados que mejoren la resistencia.

#### AGRADECIMIENTOS

A los becarios alumnos y graduados de 1 grupo GIDEC de la Facultad Regional Venado Tuerto de la Universidad Tecnológica Nacional por su responsable colaboración en los ensayos. A la Comisión Forestal y Maderera Bariloche.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fank, P (2018). Caracterización físico-mecánica del pino resinoso (*Pinus taeda* y *Pinus elliotii*) cultivado en el nordeste argentino para uso estructural. Tesis doctoral.

Glos, P. (1995). Strength grading. Basis of design, material properties, structural components and joints. Timber Engineering STEP 1, pp: A6/1-A6/8. Centrum Hout, The Netherlands.

Glos P. & Lederer B. (2000) Sortierung von Buchen- und Eichenschnittholz nach der Tragfähigkeit und Bestimmung der zugehörigen Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte. Bericht Nr. 98508, Institut für Holzforschung, München.

Glos P. & Tratzmiller M. (1996) Höherwertige Starkholznutzung durch verbesserte Einschnitt- und Sortierverfahren. Abschlußbericht 94506 an LWF, München.

INTI CIRSOC (2016a). Reglamento Argentino de Estructuras de Madera. Disposiciones generales y requisitos para el diseño y la construcción de estructuras de madera en edificaciones. Buenos Aires, Argentina, disponible en <https://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/601/CIRSOC601-completo.pdf>.

IRAM 9662-1 (2015). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 1: Tablas de pino Paraná (*Araucaria angustifolia*). Buenos Aires.

IRAM 9662-2 (2015). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2005). Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 2: Tablas de *Eucalyptus grandis*. Buenos Aires.



IRAM 9662-3 (2015). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 3: Tablas de Pino taeda - elliotti. Buenos Aires.

IRAM 9662-4 (2015). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 4 – Tablas de álamo ‘australiano 129/60’ y ‘Stoneville 67’ (Populus deltoides). Buenos Aires.

IRAM 9670 (2002). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Madera estructural. Clasificación en grados de resistencia para la madera aserrada de pinos resinosos (Pino elliotti y Pino taeda) del noroeste argentino mediante una evaluación visual. Buenos Aires.

IRAM 9663(2013). Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires.

IRAM 9664 (2013). Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires.

ISO 3130 (1975). International Organization for Standardization. Wood – Determination of moisture content for physical and mechanical tests.

ISO 3131 (1975). International Organization for Standardization. Wood – Determination of density for physical and mechanical tests.

Letourneau, F.J., Medina, A.A., Andia, I.R., Andenmatten, E., De Agostini, N., Mantilaro, N., 2014. Caracterización xilo-tecnológica de la madera de una plantación adulta de Pinus ponderosa de la patagonia argentina. RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias, vol. 40, núm. 2, pp. 196-201. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina.

Loguercio, G. A. and Dececchis, F., 2006. Forestaciones en la Patagonia Andina: potencial y desarrollo alcanzado. Patagonia Forestal. Año XII N° 1. pp. 4-6 y N° 2. pag. 4-8. ISSN 1514-2280.

Spavento, E.; Acciaresi, G.; Refort, 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. Proceso, producto y gestión de la madera de pino ponderosa. INTA EDICIONES. [https://www.researchgate.net/publication/323167526\\_Producto\\_proceso\\_y\\_gestion\\_de\\_la\\_madera\\_de\\_pino\\_ponderosa](https://www.researchgate.net/publication/323167526_Producto_proceso_y_gestion_de_la_madera_de_pino_ponderosa)

UNE EN 408 (2011). Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. Agencia Española de Normalización y Certificación. Madrid.

UNE EN 1310 (1997). Madera aserrada y madera en rollo. Método de medida de singularidades. Agencia Española de Normalización y Certificación. Madrid.

Zingoni, M.I., Andia, I.; Mele, U., 2007. Longitud de traqueidas y madera juvenil en el fuste de un árbol de pino ponderosa de 50 años. III Congreso Iberoamericano de Productos Forestales IBEROMADERA 2007. 3 al 5 de julio, Buenos Aires, Argentina.