



## INFLUENCIA DEL ANILLO DE CRECIMIENTO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL PINO RESINOSO ARGENTINO

### GROWTH RING INFLUENCE ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ARGENTINEAN RESINOUS PINE

Fank, Pamela <sup>(1)</sup>; Ramos, M. del Rocío <sup>(2)</sup>; Sosa Zitto, M. Alexandra <sup>(1)</sup> \*; Piter, Juan Carlos <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Dr., Ing., Investigador, GEMA - Depto. de Ingeniería Civil - Facultad Regional Concepción del Uruguay - Universidad Tecnológica Nacional. Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina.

<sup>(2)</sup> Ing. Civil, Investigador, GEMA, Depto. de Ing. Civil – Facultad Regional Concepción del Uruguay – Universidad Tecnológica Nacional. Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina.

\* Contacto: [alexandrasosazitto@gmail.com](mailto:alexandrasosazitto@gmail.com)

CÓDIGO: 4619950

#### Resumen

En las coníferas los anillos de crecimiento anual son claramente visibles debido a la diferencia entre madera temprana y tardía. Normalmente a mayor espesor de anillo corresponde una menor densidad y previsiblemente una menor resistencia, sin embargo, esta afirmación no puede ser generalizada para todas las maderas ya que dicho comportamiento depende de la combinación especie/procedencia. Este trabajo presenta los resultados de un estudio orientado a conocer la calidad predictiva de los anillos de crecimiento sobre la resistencia a flexión, rigidez y densidad de la madera aserrada estructural de pino resinoso (*Pinus taeda/elliottii*) cultivado en el nordeste de Argentina. El programa experimental involucró 233 tablas y 225 vigas de diferentes secciones transversales, las primeras fueron flexionadas de plano y las segundas de canto. La determinación de las propiedades físico-mecánicas se realizó a través de ensayos a flexión estática siguiendo los lineamientos de la norma IRAM 9663 (2013). Los resultados revelaron que en las vigas los anillos de crecimiento no explican más de un 12% de la variabilidad de las propiedades mecánicas en flexión, por lo que se discute su utilización como criterio predictivo de la calidad de tales piezas. Respecto de las tablas, en cambio, el espesor de los anillos explicó el 27% de la variabilidad de la resistencia y el 43% de la variabilidad de la rigidez, por lo que resulta conveniente su consideración en la clasificación por calidades resistentes para este elemento estructural.

*Palabras-clave: Pinus taeda/elliottii, resistencia, rigidez, densidad.*

#### Abstract

Annual growth rings are easily seen in conifers due to the difference between early- and latewood. A greater ring thickness normally corresponds to a lower density and predictably, to a lower strength. However, this statement cannot be generalized because wood behavior depends on the species/provenance combination. This paper reports the results of an investigation regarding the predictive quality of growth rings on bending strength, stiffness and density in structural sawn timber from resinous pine (*Pinus taeda/elliottii*), which is grown in the Northeast of Argentina. An empirical project that included a total of 233 boards and 225 beams with different nominal cross-section sizes was designed. Physical and mechanical properties were determined by bending tests following the procedure of Argentinean IRAM 9663 (2013). Results showed that in the beams, growth rings do not explain more than 12% of the mechanical properties variability, so its use as a quality predictor is discussed. Regarding boards, however, growth ring width explained 27% of the strength variability and 43% of the stiffness variability, so for this case it is appropriate to consider this visual parameter in the strength grading rules.

Write in this page the abstract of the paper in English, followed by the keywords. The abstract should have a length of 200 to 250 words. The Abstract must have the same format as the summary.

*Keywords: Pinus taeda/elliottii, strength, stiffness, density.*



## 1. INTRODUCCIÓN

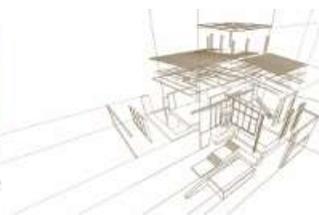
La superficie de bosques cultivados en Argentina alcanza aproximadamente 1,12 millones de hectáreas de las cuales el 64% se corresponde a plantaciones con coníferas, el 78% (560.000 hectáreas) de éstas se ubican en las provincias de Misiones y Corrientes, donde se destacan las especies de crecimiento rápido: *Pinus taeda* y *Pinus elliottii*. Actualmente las mismas se explotan en ciclos cortos de rotación y proveen aproximadamente 3 millones de m<sup>3</sup> de madera aserrada por año, equivalente al 50% del total producido en el país (Dirección de Producción Forestal 2016). Como la madera de ambas especies presenta una apariencia similar y no existen estudios que evidencien una diferencia significativa entre sus propiedades físico-mecánicas (Fank, Stefani y Piter 2017; Moya *et al.* 2015), usualmente éstas son comercializadas en forma conjunta y, a su vez, son consideradas como un grupo de especies en las normativas nacionales vinculadas al diseño estructural (Instituto Argentino de Normalización y Certificación 2002, 2015; Instituto Nacional de Tecnología Industrial 2016).

En las coníferas, como puede observarse en la Figura 1, cada anillo de crecimiento anual consta de dos zonas claramente diferenciadas, la madera temprana -o de verano- es oscura y densa mientras que la tardía -o de primavera- suele ser clara y ligera. Como generalmente la capa de verano aparece en franjas de espesor prácticamente constante, la variación del ancho del anillo está originada por el cambio en el espesor de la capa de primavera (Álvarez Lazo *et al.* 2011). La existencia de anillos grandes normalmente suele ser un indicador de la presencia de madera juvenil, la cual se destaca por mostrar un comportamiento diferente al de la madera madura, adquiriendo especial importancia en coníferas de crecimiento rápido donde su proporción crece a medida que disminuye la edad de rotación de los árboles. Un criterio ampliamente difundido indica que a mayor espesor de anillo se corresponde una menor densidad de la madera y previsiblemente una menor resistencia y rigidez (Hermoso Prieto 2001; Hoffmeyer 1995). Sin embargo esta afirmación no puede ser generalizada para todas las maderas ya que dicho comportamiento depende de la especie y la procedencia (Coronel 1994).



Figura 1. Anillos de crecimiento en una sección de madera de pino resinoso

Basado en el criterio antes mencionado, las normas de clasificación visual para piezas aserradas estructurales procedentes de coníferas generalmente consideran a los anillos de crecimiento -entre otros parámetros de inspección visual- como predictores de las propiedades mecánicas de la madera. La restricción es realizada usualmente a través del establecimiento de un límite superior para el espesor del anillo, ya sea el promedio o el mayor, o de una cantidad máxima de anillos en un radio determinado. Particularmente la norma argentina IRAM 9662-3 (Instituto Argentino de Normalización y Certificación



2015) de clasificación por resistencia de tablas aserradas de *Pinus taeda/elliottii* del nordeste, al igual que ciertas normas europeas como la DIN 4074-1 (Deutsches Institut für Normung 2008) aplicable en secciones estructurales de variadas dimensiones, incorporan al ancho máximo del anillo de crecimiento como parámetro penalizador de calidad. Mientras que otras normas de clasificación, como la argentina IRAM 9670 (Instituto Argentino de Normalización y Certificación 2002) aplicable a vigas aserradas de la especie y procedencia antes mencionada, únicamente limitan el número promedio de anillos por pulgada con el fin de distribuir a las piezas en clases estructurales pero no como medida de descarte.

En contraste, existen reportes sobre especies de crecimiento rápido que cuestionan la fiabilidad predictora de las propiedades mecánicas por parte de los anillos de crecimiento (Fernández Golfín-Seco y Diez Barra 1995; Hermoso Prieto 2001). En correspondencia con esto, algunos métodos de clasificación visual de piezas estructurales no contemplan a dicha característica visual como parámetro clasificatorio con el fin de no condicionar inadecuadamente a la madera aserrada de ciertas especies de crecimiento rápido donde la proporción de madera juvenil suele ser de importancia respecto de las de crecimiento lento (Wagner 2008). Como ejemplo se pueden citar la norma NCh 1207 (Instituto Nacional de Normalización 2005) referida al Pino radiata cultivado en Chile y las recientes propuestas de clasificación visual tanto del pino resinoso (*Pinus elliottii/taeda*) procedente de Brasil (Ballarin, Ballarin y Calil Júnior 2017) como del cultivado en la república del Uruguay (Moya *et al.* 2017).

El objetivo del presente trabajo es evaluar la calidad predictiva del ancho de los anillos de crecimiento sobre la resistencia a flexión, rigidez y densidad tanto en vigas como en tablas de madera aserrada de pino resinoso (*Pinus taeda* y *Pinus elliottii*) cultivado en el nordeste de Argentina.

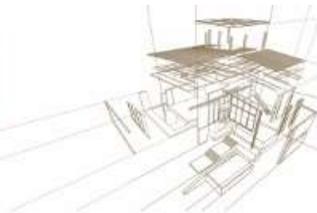
## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Materiales

El material destinado a la investigación empírica estuvo compuesto por 458 cuerpos de prueba en tamaño estructural de madera aserrada de pino resinoso cultivado en la provincia de Misiones (Argentina). El mismo fue dividido en dos muestras como se aprecia en la Tabla 1.  $M_V$  integrada por 225 piezas (54% *P. taeda* y 46% *P. elliottii*) con secciones típicas para vigas y  $M_T$  conformada por 233 piezas (50% *P. taeda* y 50% *P. elliottii*) con la sección más usual para tablas.

Tabla 1. Detalle de las muestras diseñadas

| Muestra | Ancho [mm] | Alto [mm] | Cantidad (n) |
|---------|------------|-----------|--------------|
| $M_V$   | 45         | 100       | 64           |
|         | 45         | 150       | 61           |
|         | 70         | 150       | 50           |
|         | 70         | 200       | 50           |
| $M_T$   | 105        | 25        | 233          |



## 2.2. Métodos

La metodología empleada fue similar para ambas muestras y todas las pruebas fueron llevadas a cabo en el laboratorio de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Concepción del Uruguay de la Universidad Tecnológica Nacional (Entre Ríos, Argentina).

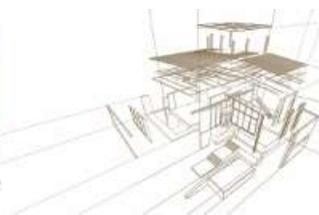
Luego de preparar los cuerpos de prueba, los mismos se climatizaron a una temperatura de  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa ambiente de  $65\pm 5\%$ . Posteriormente fueron registradas las dimensiones reales de cada uno junto al espesor del máximo anillo de crecimiento anual ( $e_{max}$ ). Este parámetro fue medido en dirección radial sobre la mayor línea recta que fue posible trazar en los extremos de la pieza, despreciando aquellos anillos ubicados en un radio de 25 mm alrededor de la médula, de acuerdo a lo establecido por la norma IRAM 9662-3 (Instituto Argentino de Normalización y Certificación 2015).

Los ensayos estáticos de flexión se efectuaron siguiendo el procedimiento de la norma IRAM 9663 (Instituto Argentino de Normalización y Certificación 2013a), la cual está basada en la norma europea EN 408 (European Committee for Standardization 2010b). Las piezas de la muestra  $M_V$  fueron flexionadas de canto mientras que las de  $M_T$  fueron flexionadas de plano, en la Figura 2 se puede observar una fotografía de ambas disposiciones de ensayo.

Los cuerpos de prueba fueron ubicados con una separación entre apoyos igual a  $18h$ , siendo  $h$  la altura de la sección transversal, y cargados simétricamente a una distancia igual a  $6h$  desde cada apoyo. Para la aplicación de las cargas se utilizó una máquina de ensayos universales con capacidad de desplazar el cabezal a velocidad constante y precisión igual al 1% de la carga aplicada. En cada caso particular se utilizaron adecuados dispositivos de aplicación de cargas y de apoyo con el objeto de reducir el aplastamiento localizado de la madera en esas zonas (ver Figura 2).



Figura 2. Ensayo estático de flexión. Izq.: Flexión de canto. Der.: Flexión de plano.



La velocidad de avance del cabezal de carga fue constante y provocó un desplazamiento menor a 0,003h (mm) en la unidad de tiempo (s). Durante el período elástico se registraron las deformaciones empleando un comparador micrométrico con precisión de 0,01 mm ubicado en la parte inferior del centro de la luz. El ensayo continuó hasta alcanzar la rotura de la pieza en el tiempo establecido (300 +/- 120 s), registrándose la carga máxima y el tiempo empleado en alcanzarla. La tensión de rotura y el módulo de elasticidad global se calcularon con las ecuaciones provistas por la norma IRAM 9663 (Instituto Argentino de Normalización y Certificación 2013a).

Inmediatamente después de finalizado cada ensayo se cortó un trozo libre de defectos, cercano a la zona de rotura involucrando a toda la sección transversal, destinado a la determinación del contenido de humedad y de la densidad conforme a los lineamientos de las normas ISO 3130 e ISO 3131 (International Organization for Standardization 1975a,b). Las medidas del trozo se registraron con un calibre de precisión de 0,01 mm y para la medición de las masas se empleó una balanza electrónica de precisión de 0,01 g. El secado del trozo hasta lograr su masa anhidra se realizó en estufa a una temperatura de 103+/-2°C.

Con el fin de obtener resultados comparables, los valores de las propiedades fueron ajustados a las condiciones de referencia según la norma IRAM 9664 (Instituto Argentino de Normalización y Certificación 2013b) basada en la norma europea EN 384 (European Committee for Standardization 2010a). Los valores de la resistencia se ajustaron a una altura de referencia de 150 mm, y los valores del módulo de elasticidad y de la densidad a un contenido de humedad del 12%.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Figura 3 se presenta el histograma de frecuencia del mayor anillo de crecimiento discriminado por muestra. En este gráfico se observa que la mayoría de las piezas (47%) presentaron anillos de crecimiento anual comprendidos entre 10 mm y 15 mm de ancho, registrándose proporciones similares tanto en vigas (45%) como en tablas (48%).

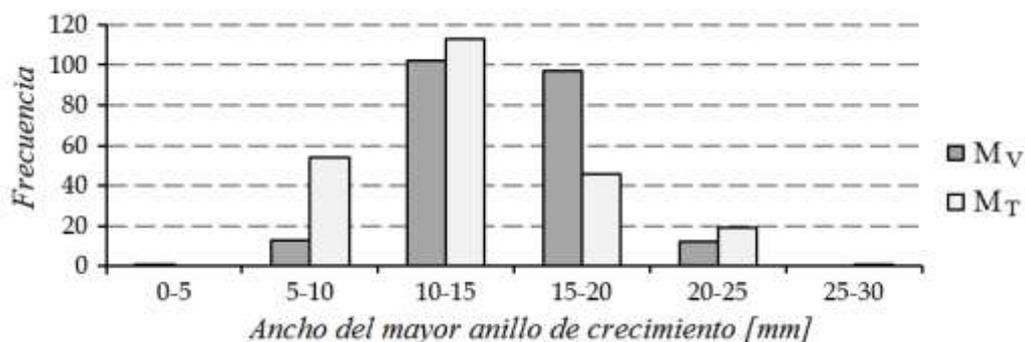


Figura 3. Histograma de frecuencias del ancho del mayor anillo de crecimiento

El contenido de humedad mostró valores medios del 12,7% y 11,9% asociados a coeficientes de variación (CV) menores al 5% y 9% para las muestras M<sub>v</sub> y M<sub>t</sub>, respectivamente. Como en ambos casos la humedad resultó cercana al 12% vinculada a



un bajo CV, se puede descartar una influencia desigual de esta variable sobre la resistencia de las distintas muestras.

En la Tabla 2 son expuestos los resultados obtenidos para las relaciones encontradas entre el ancho del mayor anillo de crecimiento ( $e_{max}$ ) y cada propiedad en estudio: resistencia a flexión ( $f_m$ ), módulo de elasticidad a flexión ( $E_{m,g}$ ) y densidad ( $\rho$ ). A su vez, tales relaciones son exhibidas gráficamente en la Figura 4, indicándose en cada caso el valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) junto a la ecuación de la recta de regresión.

Tabla 2. Relación entre las propiedades físico-mecánicas y el ancho del anillo de crecimiento

| Muestra                  | $f_m^{(1)}$ |       | $E_{m,g}^{(2)}$ |       | $\rho^{(2)}$ |       |
|--------------------------|-------------|-------|-----------------|-------|--------------|-------|
|                          | $R^2$       | R     | $R^2$           | R     | $R^2$        | R     |
| M <sub>V</sub> (n = 225) | 0,11        | -0,34 | 0,12            | -0,34 | 0,23         | -0,48 |
| M <sub>T</sub> (n = 233) | 0,27        | -0,52 | 0,43            | -0,65 | 0,23         | -0,48 |

Nota. (1) Valor ajustado a la altura de referencia de 150 mm de acuerdo a la norma IRAM 9664 (Instituto Argentino de Normalización y Certificación 2013b); (2) Valores corregidos al contenido de humedad de referencia (12%) de acuerdo a la norma IRAM 9664 (Instituto Argentino de Normalización y Certificación 2013b); n: cantidad de cuerpos de prueba;  $R^2$ : Coeficiente de determinación; R: Coeficiente de correlación de Pearson.

Para las vigas, como puede apreciarse en la Tabla 2, el coeficiente de correlación obtenido para ambas propiedades mecánicas fue similar ( $R = -0,34$ ), explicándose a través del mismo tan solo un 11% y 12% de la variabilidad de  $f_m$  y  $E_{m,g}$  respectivamente. Estudios llevados a cabo sobre piezas estructurales de *Pinus pinaster*, *P. radiata* y *P. sylvestris* también arrojaron una reducida predicción de la calidad de la madera a través de la consideración del ancho de los anillos de crecimiento (Diéz Barra y Fernández-Golfín 1998; Fernández-Golfín Seco y Diéz Barra 1994; Hermoso Prieto 2001). En cambio, la correlación alcanzada en la muestra integrada por tablas (M<sub>T</sub>) fue notoriamente superior a la registrada para las vigas (M<sub>V</sub>), obteniéndose valores R negativos de 0,52 para  $f_m$  y de 0,65 para  $E_{m,g}$ . Estos resultados están en correspondencia con el criterio adoptado por ambas normas argentinas referidas a la clasificación visual por resistencia del pino resinoso del nordeste (Instituto Argentino de Normalización y Certificación 2002, 2015), ya que la IRAM 9662-3 referida a tablas considera al  $e_{max}$  como parámetro penalizador de la calidad de las piezas aserradas, mientras que la IRAM 9670 aplicable a vigas, aunque contempla otro modo de medición de los anillos de crecimiento, lo aplica simplemente con el fin de dividir a las piezas en dos clases estructurales pero no como medida de descarte.

Al evaluarse las tablas, los resultados obtenidos (Tabla 2) también dejaron en evidencia una mayor influencia del ancho del anillo sobre la rigidez respecto de la resistencia, ya que a través de  $e_{max}$  fue posible explicar un 43% de la variabilidad de  $E_{m,g}$  y tan sólo un 27% de la correspondiente a  $f_m$ . En cuanto a la relación anillo-densidad, ambas muestras (M<sub>V</sub> y M<sub>T</sub>) presentaron idéntica correlación ( $R = -0,48$ ) asociada a un coeficiente de determinación de 0,23. Esta cifra supera –en algunos casos en varios órdenes de magnitud– a las encontradas para vigas estructurales procedente de diferentes pinos de crecimiento rápido (*P. pinaster*, *P. radiata* y *P. sylvestris*) (Fernández-Golfín Seco y Diéz Barra 1995).

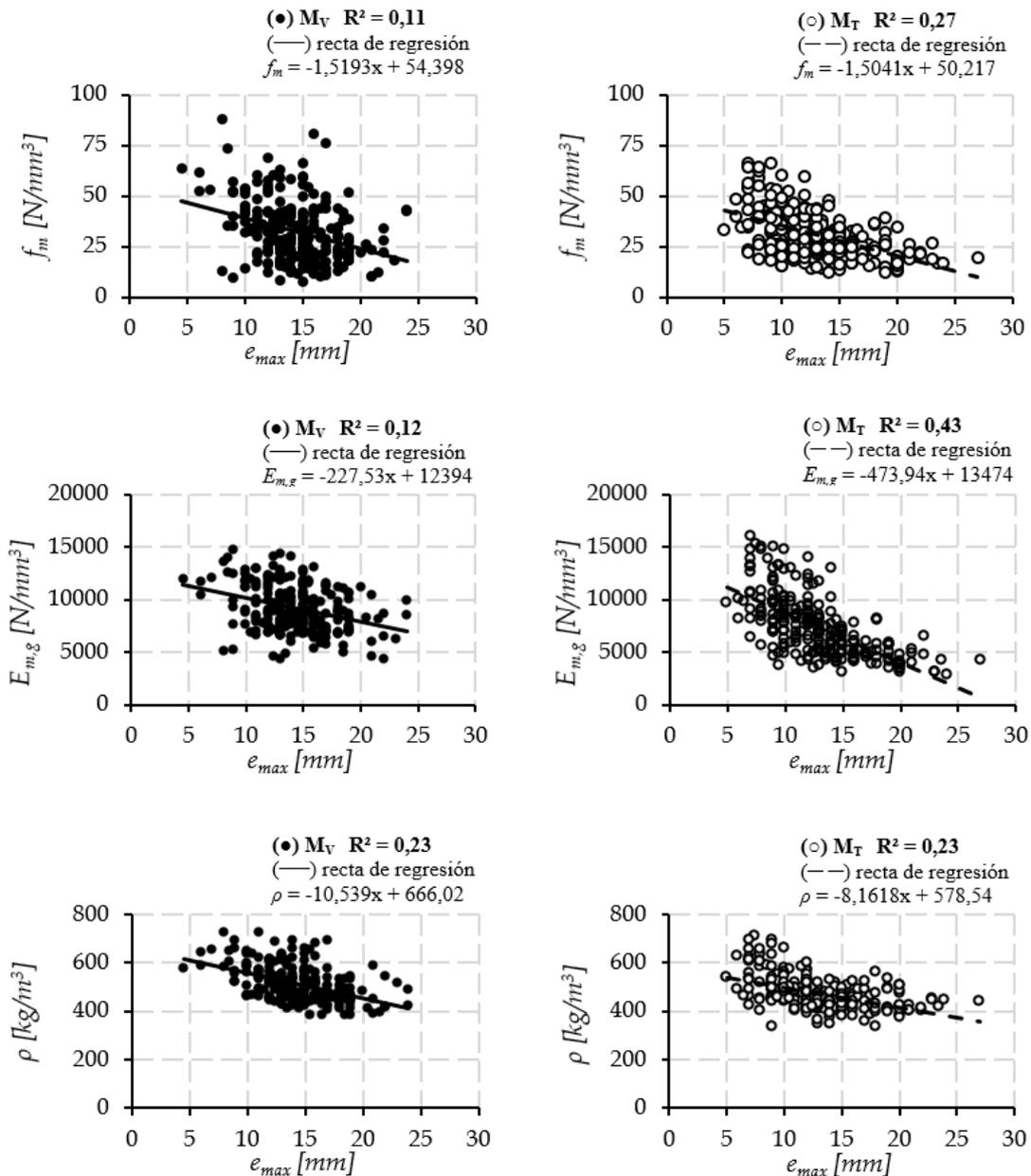
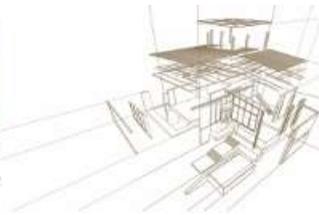
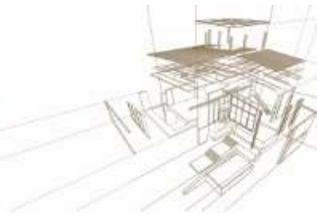


Figura 4. Relación entre el ancho del mayor anillo de crecimiento ( $e_{max}$ ) y la resistencia a flexión ( $f_m$ ), el módulo de elasticidad en flexión ( $E_{m,g}$ ) y la densidad ( $\rho$ )

#### 4. CONCLUSIONES

Los resultados revelaron que en las vigas aserradas de *Pinus taeda/elliottii* la capacidad de predicción del ancho del anillo de crecimiento tanto para la resistencia como para la rigidez es reducida, por lo que es razonable prescindir de este parámetro como criterio predictivo de la calidad de tales piezas. Respecto de las tablas, en cambio, el espesor de los anillos explica el 27% de la variabilidad de la resistencia y el 43% de la variabilidad de la rigidez, cifras notoriamente superiores a las determinadas para las vigas (11% y 12% respectivamente), por lo que se considera apropiada la inclusión de este parámetro



visual en los métodos de clasificación por resistencia de tablas estructurales, tal como lo contempla la norma IRAM 9662-3 (Instituto Argentino de Normalización y Certificación 2015).

## AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a la empresa *Laharrague Chodorge S.A.* por la donación del material de ensayo, al jefe de laboratorio por su participación en el acondicionamiento del equipamiento y a los becarios del grupo GEMA por su colaboración en la realización de los ensayos del programa empírico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarez Lazo, D.; Dorado, M.; Camusso, C. y Lubrano, P. (2011). Tecnología de la madera. Edit. UNIVERSITAS, Córdoba, Argentina.

Ballarin, A.; Ballarin, A. y Calil Júnior, C. (2017). Classificação visual e mecânica simplificada da madeira de *pinus spp.* II CLEM + CIMAD, Buenos Aires, Argentina.

Coronel, E. O. (1994). Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. 1º parte: Fundamentos de las propiedades físicas de las maderas. ITM, FCF, UNSE, Argentina.

Deutsches Institut für Normung (2008). Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit – Teil 1: Nadelschnittholz. DIN 4074-1. Berlin.

Diéz Barra, M.; Fernández-Golfín, J. (1998). Influencia de diversos factores en la calidad de la madera de uso estructural de *P. Sylvestris* L. Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales v. 7, n. 1 y 2, p. 41-51.

Dirección de Producción Forestal. 2016. Argentina: Plantaciones forestales y gestión sostenible. 15 pp. Disponible en <<https://goo.gl/064alb>>, acceso el 23/12/2016.

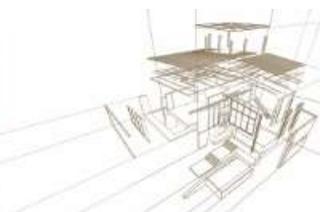
European Committee for Standardization (2010a). Structural timber. Determination of characteristic values of mechanical properties and density. EN 384. Brussels.

European Committee for Standardization (2010b). Timber structures. Structural timber and glued laminated timber. Determination of some physical and mechanical properties. EN 408. Brussels.

Fank, P.; Stefani, P. y Piter, J. (2017). Clasificación mecánica de tablas de pinos resinosos cultivados en el nordeste de Argentina. Maderas. Ciencia y tecnol. v.19, n. 2, p.: 247-264.

Fernández-Golfín Seco, J.; Diéz Barra, M. (1994). Influencia de la anchura del anillo de crecimiento en la densidad y otras propiedades físico-mecánicas de la madera estructural de diversas especies. Invest. Agraria, Sistemas y Recursos Forestales v. 3, n. 2, p. 211-219.

Fernández-Golfín Seco, J. y Diéz Barra, M. (1995). La anchura del anillo de crecimiento. Predictor de la calidad de la madera aserrada para uso estructural. Información técnica AITIM n. 173, p. 59-62.



Hermoso Prieto, E. (2001). Caracterización mecánica de la madera estructural de *Pynus sylvestris* L. Tesis Doctoral, Esc. Téc. Sup. de Ing. de Montes, Univ. Politécnica de Madrid, Madrid.

Hoffmeyer, P. (1995). Wood as a building material. Timber Engineering. Basis of design, material properties, structural components and joints. STEP 1: pp. A4/1-A4/21. The Netherlands.

Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2015). Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por resistencia. Parte 3: Tablas de pino taeda y ellioti (*Pinus taeda* y *elliottii*). IRAM 9662-3. Buenos Aires.

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

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

Instituto Argentino de Normalización y Certificación (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. IRAM 9670. Buenos Aires.

Instituto Nacional de Normalización (2005). Pino radiata, Clasificación visual para uso estructural, especificaciones de los grados de calidad. NCh 1207. Santiago de Chile.

Instituto Nacional de Tecnología Industrial (2016). Reglamento Argentino de Estructuras de Madera. Disposiciones generales y requisitos para el diseño y la construcción de estructuras de madera en edificaciones. CIRSOC 601. Buenos Aires.

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

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

Moya, L.; Cardoso, A.; Cagno, M. y O'Neill, H. (2015). Caracterización estructural de madera aserrada de pinos cultivados en Uruguay. Maderas. Ciencia y tecnología v. 17, n. 3, p. 597-612.

Moya, L.; Domenech, L.; Cardoso, A.; O'Neill, H. y Baño, V. (2017). Proposal of visual strength grading rules for Uruguayan pine timber. Eur. J. Wood Products v. 75, n. 3, p. 1017–1019.

Wagner, M. (2008). Antecedentes que fundamentan la actualización de las propiedades mecánicas admisibles asignadas a la madera aserrada de Pino radiata en Nch 1198 en su redacción of.2006. CI 5224-1 Diseño y construcción en madera, Universidad de Chile.