

Módulo de elasticidad y de rotura a la flexión estática de *Pinus taeda* de dos procedencias

Modulus of rupture and elasticity at static bending of *Pinus taeda* from two provenances

Winck, R. A.^{1,2*}; Palacio, M. A.^{2,3}; Bragañolo, A.^{2,3}; Belaber, E.¹; Gauchat, M. E.^{1,2}; Aquino, D. R.¹; Suirezs, T. M.^{2,3}

¹EEA Montecarlo, INTA, Av. El Libertador 2472. Montecarlo, Misiones, Argentina. Teléfono +54 3751-480512. *winck.rosa@inta.gob.ar

²Facultad de Ciencias Forestales-UNaM. Bertoni N° 124. Eldorado, Misiones, Argentina. Teléfono +54 3751-431526.

³IMAM, UNaM, CONICET, FCF, Laboratorio de Tecnología de la Madera, Bertoni 124, Eldorado N3382GDD, Misiones, Argentina.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the variation of the stiffness and strength properties of wood *Pinus taeda* from Marion and Livingston provenances. Twenty-nine trees were harvested from a Clonal Seed Orchard located at San Antonio, Misiones, Argentina. From basal logs of 60 cm length, standardized samples were taken between rings 14 and 15 to submit them to static bending tests. The values of modulus of elasticity and modulus of rupture were greater for Livingston provenances. The values of the modulus of elasticity were 55657 kg/cm² and 70359 kg/cm²; and of 505 kg/cm² and 589 kg/cm² of modulus of rupture, for *Pinus taeda* Marion and Livingston, respectively

Keywords: Wood technology, clonal seed orchard, wood properties.

Resumen extendido

Dentro de las especies que más se cultivan en la Mesopotamia argentina se encuentra el *Pinus taeda*, por ello, las características tecnológicas de la especie, es considerada relevante. La madera es un material biológico y heterogéneo, por lo tanto, entre árboles de la misma especie existen variaciones en sus propiedades físicas y estructurales, también varía de acuerdo al origen y procedencia. Todas las características anatómicas, físicas y mecánicas dentro del árbol exhiben un rango en sus valores (Schniewind, 1989 y Coronel, 1994). El objetivo de este trabajo fue determinar el módulo de elasticidad y de rotura a la flexión estática de materiales de *Pinus taeda* Marion y *Pinus taeda* Livingston pertenecientes a la primera población de selección del INTA Montecarlo, que fue implantada en Huerto Semillero Clonal (HSC), en la localidad de San Antonio Misiones, Argentina. El HSC de *P. taeda* Marion fue establecido en los años 1993, 1995, 1999 con materiales seleccionados en campos de las empresas Lipsia S.A., Puerto Laharrague S.A. y Gruber Hnos, respectivamente. Mientras que, el huerto de *P. taeda* Livingston fue instalado en el año 1994, con materiales seleccionados en propiedades de las empresas Alejandro Larguía, Lipsia S.A. y Puerto Laharrague S.A. En el año 2014 se apearon 29 árboles: 15 ejemplares de procedencia Marion (de 3 edades) y 14 de Livingston (una única edad) para evaluar sus propiedades de rigidez y resistencia a la flexión estática. Mayores detalles de los árboles apeados se pueden observar en la Tabla 1.

De la parte basal de cada árbol se tomó una tora de 60 cm de largo, que luego fue cortada en tablas de 2,5 cm de espesor y de ancho variable. Las piezas fueron enumeradas y estacionadas bajo cubiertas para su acondicionamiento. Posteriormente, con la finalidad homogeneizar la edad de estudio de los materiales, se tomaron probetas entre los anillos 14 y 15, obteniéndose 8 repeticiones para cada árbol. Las dimensiones de las muestras fueron obtenidas con calibre electrónico, con precisión de 0,01 mm. Los ensayos de flexión estática se realizaron según la Norma IRAM N° 9542, utilizando una máquina universal, con una capacidad de carga de 300 KN, con sus correspondientes accesorios. La velocidad de avance de la carga ejercida fue de 5 mm/min. Los

valores de módulo de elasticidad (MOE) y de rotura (MOR) a la flexión estática se calcularon mediante las ecuaciones (1) y (2).

$$MOE = \frac{P'L^3}{4bh^3f'} \quad (1)$$

$$MOR = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (2)$$

Donde MOE es el módulo de elasticidad (kg/cm²); P' es la carga en el límite proporcional elástico (kg); L es la longitud entre apoyos (cm), b es la base (cm), h la altura (cm); y f' es la deformación en el límite proporcional elástico (cm); MOR es el módulo de rotura (kg/cm²); P la carga de rotura (kg).

Tabla 4: Datos de los árboles apeados del Huerto Semillero Clonal de *Pinus taeda*

N° de Árbol	Procedencia	Edad	dap (cm)	h (m)
1	Marion	21	51,02	25,05
2	Marion	21	45,70	22,10
3	Marion	21	31,03	22,60
4	Marion	21	40,80	23,35
5	Marion	21	36,40	21,40
6	Marion	21	54,20	22,27
7	Marion	21	42,30	24,50
8	Marion	19	37,50	24,17
9	Marion	19	39,60	26,80
10	Marion	19	43,50	28,00
11	Marion	19	37,00	23,10
12	Marion	15	39,00	18,20
13	Marion	15	39,50	20,45
14	Marion	15	37,30	20,00
15	Marion	15	38,00	19,60
16	Livingston	20	43,00	21,32
17	Livingston	20	42,00	25,30
18	Livingston	20	37,50	22,90
19	Livingston	20	31,80	23,20
20	Livingston	20	34,20	24,20
21	Livingston	20	45,80	25,10
22	Livingston	20	30,50	24,50
23	Livingston	20	39,00	23,80
24	Livingston	20	34,00	22,00
25	Livingston	20	35,30	23,90
26	Livingston	20	39,10	24,60
27	Livingston	20	40,00	23,25
28	Livingston	20	35,00	21,00
29	Livingston	20	30,00	20,74

Paralelamente a los ensayos mecánicos se determinó el contenido de humedad de las muestras, según la Norma IRAM N° 9532.

Una vez obtenidos los datos y realizados los análisis preliminares, como gráficos de caja y bigotes para la identificar datos atípicos y pruebas de normalidad para las variables MOE y MOR mediante el método de Shapiro Wilks (Shapiro y Wilk, 1965), se verificó que los datos no poseen distribución normal, por lo que fueron analizados con modelos lineales generalizados utilizando un nivel de confianza de 95%.

El contenido promedio de humedad de las muestras fue de 14,19% para *P. taeda* Livingston y de 14,51% para *P. taeda* Marion. Los valores de MOE y MOR para *P. taeda* Livingston fueron 21% y 14% superiores a los hallados para *P. taeda* Marion, encontrándose diferencias estadísticas significativas entre procedencias, para un nivel de confianza del 95% (Tabla 2).

Tabla 2: Valores medios para el módulo de elasticidad (MOE) y módulo de rotura (MOR) a la flexión estática para *Pinus taeda* según la procedencia.

Procedencia	MOE (kg/cm ²)	MOR (kg/cm ²)
Marion	55.657,30a	504,67a
Livingston	70.359,60b	589,25b

Las medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($\alpha = 0,05$)

Valores similares a los determinados en este estudio, fueron encontrados por otros autores para la especie *Pinus taeda* sin grados de mejora. Santini, *et al.* (2000), citan valores medios para *P. taeda* de 13 años, que fueron sometidos a raleos a los 8 y 10 años de edad, de 59.561 kg/cm² y 556 kg/cm² para el MOE y MOR, respectivamente. También, otros autores determinaron la resistencia a la flexión de *P. taeda* proveniente de plantaciones forestales de la zona norte de Misiones, con edades próximas a la del material de estudio. Entre ellos, Gonzales *et al.* (1993) obtuvieron valores de MOE y MOR de 67.784 kg/cm² y 776 kg/cm² respectivamente, para *P. taeda* de 13 y 14 años; y Weber (2005), halló valores medios de 89.907 kg/cm² y 613 kg/cm² de MOE y MOR respectivamente a los 16 años de edad. Por otro lado, sin mencionar la edad del material estudiado, Martinuzzi (2010), del grupo CEMA presentó en un informe técnico, indicando valores de referencia para el MOE de 82.956 kg/cm² y de 703 kg/cm² de MOR para *P. taeda*; siendo superior a los determinados en este estudio. Mientras que Fank *et al.* (2016), exhiben resultados contradictorios para *P. taeda* de 30 años de edad, para estas propiedades mecánicas, reportando valores de 74.964 kg/cm² y 313 kg/cm² de MOE y MOR respectivamente, con elevados valores de MOE, sin embargo, con menor resistencia.

Bajo las condiciones de estudio se observó que *Pinus taeda* Livingston presentó una superioridad en las características de su madera, en cuanto a sus valores de módulo de elasticidad y de rotura a la flexión estática comparados con *Pinus taeda* Marion.

Bibliografía

- Coronel, E.O. (1994). Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones. Instituto de Tecnología de la Madera. Serie de publicaciones 9.404. Editorial El Liberal Santiago del Estero, Argentina.
- Fank, P.Y., Stefani, P., Piter, J. (2016). Análisis de la relación entre las propiedades mecánicas en flexión y tracción paralela a las fibras en la madera de pino resinoso cultivado en el nordeste de Argentina. Ponencia presentada en el XV Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Curitiba, PR, Brasil.
- Gonzalez, R.; Pereyra, O.; Suirezs, T. (1993). Propiedades físicas y mecánicas del *Pinus taeda* reforestado en la Provincia de Misiones Argentina. *Yvyrareta*, 4(4): 4-8.
- IRAM N° 9532. (1973). Norma para método de determinación de humedad. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, Argentina. 11p.
- IRAM N° 9542. (1965). Norma para método de ensayo de flexión estática de maderas con peso específico aparente mayor de 0,5 g/cm³. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, Argentina. 6p.
- Martinuzzi, Félix. (2013). Fichas técnicas de maderas pino taeda Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Cámara de Empresarios Madereros y Afines (CEMA), 113(1):57. <http://www.cema.com.ar/wp-content/uploads/PINO-TAEDA.jpg>.
- Santini, E.; Clóvis, R.; Gatti, D. (2000). Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. *Ciências Florestal*, 10(9): 85-93.
- Schniewind, A.P. (1989). Concise encyclopedia of wood and wood-based materials. Pergamon press, pp 248.
- Weber, E.M. (2005). Caracterización física y mecánica de *Pinus taeda* origen Marion en plantaciones de diferentes edades y determinación de usos potenciales, Misiones, Argentina. Tesis de Maestría. UNaM, Eldorado, Misiones, Argentina. 143 pp.