



PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE *Pinus elliotii* Engelm. PROVENIENTE DE MATERIAL GENÉTICO MEJORADO EN LA PROVINCIA DE MISIONES

Estela R. VERÓN¹, Rosa A. WINCK^{2,3}, Adelaida BRAGAÑOLO³, María E. GAUCHAT², Ector C. BELABER²

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar el peso específico aparente básico (PEAB), la contracción lineal (CL), y los módulos de rotura y elasticidad (MOR y MOE) a la flexión estática y compresión paralela a las fibras en probetas de *Pinus elliotii* provenientes de dos tratamientos: Huerto Semillero Clonal de 16 años, implantado a un distanciamiento de 6 m x 6 m (T1) y Ensayo de Progenies de 24 años, establecido a una densidad inicial de plantación de 3 m x 3 m (T2). Dentro de cada tratamiento se realizó una clasificación del material genético según el ranking de crecimiento superior (R1) e inferior (R2). De la troza basal de 23 árboles, entre los anillos 14 y 16 (para uniformizar la edad) se tomaron probetas y se determinaron diferentes propiedades. Se encontraron diferencias significativas en las propiedades físicas y mecánicas entre tratamientos; con mayores valores medios de PEAB, CL, MOE y MOR a la flexión estática y a la compresión paralela a las fibras para T2. Se determinó que T2 presentó superioridad para todas las variables analizadas. La madera perteneciente al R1 para los dos tratamientos alcanzó valores más elevados para algunas de las propiedades evaluadas.

Palabras clave: *Calidad de la madera, mejora genética forestal, Huerto Semillero Clonal, Ensayo de Progenies.*

1. INTRODUCCIÓN

La superficie forestada para Misiones es de 396.486 ha, donde el género *Pinus* representa el 80,15 % de la superficie forestada, siendo el *Pinus elliotii* Engelm y el *Pinus taeda* L las especies que más se cultivan (MAGyP, 2024). El mejoramiento genético forestal permite obtener de los materiales una mayor productividad por hectárea, mejor calidad del producto y adaptabilidad de especies (Marcó, 2005); pero como consecuencia de lograr dichos beneficios, los árboles de rápido crecimiento desarrollan mayor proporción de madera juvenil, lo que podría afectar las propiedades físico-mecánicas de la madera (Vidaurre et al., 2023). Algunas de las propiedades que definen la calidad o aptitud de la madera y se relacionan con el tipo de producto a obtener son el módulo de elasticidad (MOE), el módulo de rotura (MOR), las contracciones y la densidad básica, siendo esta última un buen indicador de la calidad del producto final a obtener (Lopez, 2009). Al ser *Pinus elliotii* una de las especies que proveen la mayor parte de la madera aserrada destinada al uso estructural en Argentina (Fank et al., 2016), y cuyo material con que se realizan las plantaciones en la provincia de Misiones y Corrientes se obtiene, en gran parte, de semillas del huerto semillero clonal de San Antonio (Genes, 2017), resulta de gran importancia el avance en el estudio de la caracterización físico-mecánica de la madera de dicha especie. El objetivo de este trabajo fue caracterizar física y mecánicamente la madera de la troza basal de *Pinus elliotii* proveniente de un Huerto Semillero Clonal y de un Ensayo de Progenies.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los árboles utilizados corresponden a *Pinus elliotii* provenientes de dos ensayos: Huerto Semillero Clonal (HSC) de 16 años ubicado en la localidad de San Antonio, Misiones, implantado a un

¹ Facultad de Ciencias Forestales - UNaM., Eldorado, Misiones, Argentina.

² INTA, EEA Montecarlo, Montecarlo, Misiones, Argentina. Contacto: winck.rosa@inta.gob.ar

³ IMAM, UNaM, FCF, Laboratorio de Tecnología de la Madera, Eldorado, Misiones, Argentina.



distanciamiento de 6 m x 6 m (T1), y de un Ensayo de Progenies (EP) de 24 años, establecido en Puerto Esperanza, Misiones a una densidad inicial de plantación de 3 m x 3 m (T2). En el año 2014 se aparearon 23 árboles en total, 15 del T1 y 8 del T2. Dentro de cada tratamiento se consideraron 2 posiciones del ranking genético de crecimiento: superior (R1) e inferior (R2). De cada árbol se extrajo una troza basal de 0,60 m, esta fue cortada en tablas de 28 mm de espesor. Para uniformizar la edad de los materiales (T1=16 años, T2=24 años), las probetas para los diferentes ensayos fueron tomadas entre los anillos 14 a 16. Para la contracción lineal (CL) se consideró la orientación de los anillos de crecimiento en cada pieza, de modo que se obtuvieron probetas de corte radial, tangencial y longitudinal (IRAM 9543, 1966). De los mismos listones cortados para contracción se obtuvieron las probetas para el ensayo de peso específico aparente básico (PEAB, IRAM 9544, 1973). Para determinar el módulo de elasticidad (MOE) y el módulo de rotura (MOR) a la compresión paralela a las fibras y la flexión estática se siguieron las especificaciones de la Norma IRAM 9541 (1965) y IRAM 9542 (1965), respectivamente. Se obtuvieron un total de 828 probetas con 6 repeticiones por troza para cada ensayo.

Análisis estadísticos

Una vez finalizados los ensayos, por medio del software InfoStat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020), para las variables que cumplieron con el supuesto de normalidad se aplicó el análisis de varianza simple (CL), mientras que las variables que no presentaron distribución normal (PEAB, MOE y MOR a la flexión estática y a la compresión paralela a las fibras) se analizaron con Modelos Lineales Generalizados Mixtos (MLGM). La comparación de medias de las variables de cada tratamiento se realizó con el test "DGC" con un α de 0,05.

Dentro de cada tratamiento, Huerto Semillero Clonal (T1) y Ensayo de Progenies (T2), se establecieron dos niveles, correspondiendo al Ranking 1 (R1) y Ranking 2 (R2) dentro de cada tratamiento, donde la variable Ranking de crecimiento se encuentra anidado dentro T1 y dentro T2.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades Físicas

Los valores medios para el PEAB presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos, siendo para T1 (Huerto Semillero Clonal) de 0,375 gr/cm³ y para T2 (Ensayo de Progenies) de 0,560 gr/cm³. El valor obtenido para T1 resultó inferior al hallado por Gonzales et al. (1992) para *Pinus elliottii* de 13 y 18 años. Los valores medios para el T2 fueron superiores al de otros investigadores (Gonzales et al., 1992; Santini et al., 2000; Winck, 2013).

El valor medio de PEAB fue más elevado para T2 (PEAB = 30 % superior a T1), y está asociado a un mayor contenido de tejido leñoso en la pared celular de estos materiales, por ello según Coronel (1994) la madera ofrecerá una mayor resistencia. Este comportamiento podría ser atribuido a la menor densidad inicial de plantación del EP (3 m x 3 m), en comparación a la del HSC (6 m x 6 m). Winck (2013), para *P. taeda* provenientes de distintas densidades iniciales de plantación (1666, 980, 490 y 245 plantas/hectárea), obtuvo menores valores de densidad, módulo de elasticidad y rotura a la flexión estática y compresión paralela a las fibras para el tratamiento de mayor distanciamiento entre plantas (menor número de ejemplares por hectárea). Por otro lado, las diferencias para el PEAB entre tratamientos podrían deberse a un posible efecto del tipo brote (edad) utilizado en el proceso de injertado de planta en el caso del HSC. Se recomienda investigar el efecto de la yema sobre las propiedades de la madera del pie injertado.

En el Cuadro 1 se presenta la comparación de medias del peso específico aparentes básico según el ranking de crecimiento para cada tratamiento.

No se observó diferencia significativa entre los rankings; sin embargo, hay una leve tendencia de valores superiores de peso específico aparente básico para el ranking de crecimiento superior (R1) en ambos tratamientos.



Cuadro 1. Peso específico aparente básico (PEAB) según el ranking genético de crecimiento.

PEAB (g/cm ³)		
Tratamientos	Ranking	Básico
T1	R1	0,38 a
	R2	0,37 a
T2	R1	0,57 a
	R2	0,55 a

Las medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($\alpha = 0,05$). Las comparaciones por ranking de crecimiento fueron realizadas dentro de cada tratamiento.

Contracción lineal (estado estacionado al anhidro)

En el Gráfico 1 se comparan las medias para las contracciones del estado estacionado al anhidro, en el sentido axial (Ax), radial (Rd), tangencial (Tg) y volumétrica (Vol) para cada tratamiento.

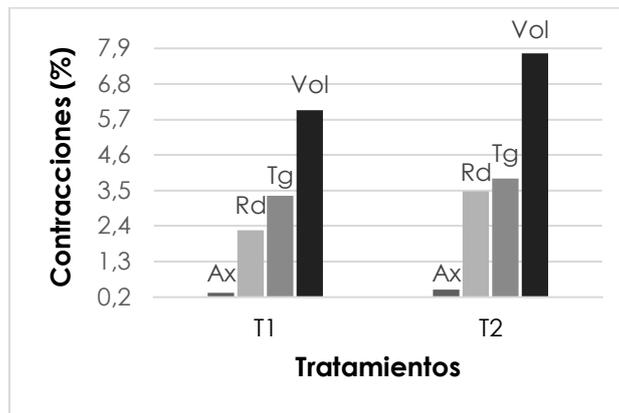


Gráfico 1. Comparación de medias de contracción en el sentido axial (Ax), radial (Rd), tangencial (Tg) y volumétrica (Vol) por tratamiento.

Los valores medios de contracción lineal obtenidos para T1 fueron de 0,34 %, 2,27 %, 3,33 % y 5,99 % y para T2 de 0,43 %, 3,47 %, 3,88 % y 7,74 %, en el sentido Ax, Rd, Tg y Vol, respectivamente. Se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$). Las muestras provenientes de T2 presentaron mayores valores de contracción. Los valores de contracción obtenidos en ambos tratamientos resultaron superiores a los expresados por Winck (2023) para el pino híbrido de 11 años.

En el Gráfico 2 se presenta la comparación de medias para la contracción lineal axial, radial, tangencial y volumétrica según el ranking de crecimiento para cada tratamiento.

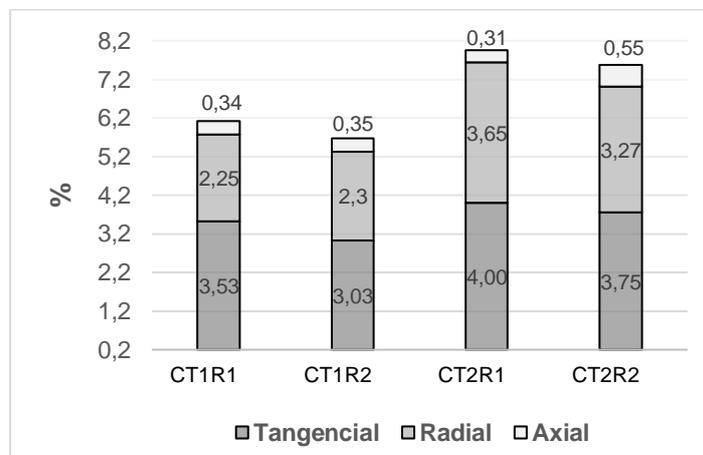


Gráfico 2. Comparación de medias para la contracción axial, radial y tangencial según el ranking de crecimiento por tratamiento. (C: contracción, T: tratamiento, R: ranking de crecimiento).

Para T1 se observó diferencias estadísticas significativas entre rankings para la contracción Tg y Vol.



Las muestras del R1 arrojaron valores de contracción Tg y Vol de 14 % y 5 % mayores al R2, respectivamente. En T2 se observaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) entre rankings de crecimiento para las contracciones lineales. Los valores de contracción para el R1 fueron mayores que en el R2, en 10 % el sentido Rd, en 6 % en el Tg y 6 % en el Vol.

Cabe aclarar que maderas de mayor densidad, debido a que poseen paredes celulares más gruesas, se contraen y se hinchan más en comparación con las maderas de baja densidad (Schulgasser y Witztum, 2015). Además, se observó que las muestras obtenidas del ranking 1 tanto para T1 como para T2, presentaron una tendencia a alcanzar mayores valores de contracción.

Propiedades Mecánicas

Flexión estática

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$) para el MOE y MOR a la flexión estática. Los valores de MOE y MOR obtenidos para T1 fueron de 80.898 kg/cm² y 646 kg/cm², respectivamente. Mientras que, para T2 de 122.512 kg/cm² y 1.059 kg/cm² de MOE y MOR, respectivamente. Respecto a T1, se puede observar que el valor tanto de MOR como de MOE obtenido en este trabajo fue superior al encontrado por Moya et al. (2013) para esta misma especie a los 15 años (477 kg/cm² y 52.250 kg/cm²) y al hallado por Santini et al. (2000) para la madera de *Pinus elliottii* de 13 años (555 kg/cm² y 73.266 kg/cm²). El valor del MOR obtenido en este trabajo resultó menor al reportado por González et al. (1992), (MOR 920 kg/cm²), mientras que, el MOE fue muy superior al reportado por estos autores (52.416 kg/cm²). Para el T2 el valor obtenido del MOR fue similar al hallado por Suirezs et al., (2006), y el valor del MOE resultó superior al de todos los trabajos citados en esta investigación (González et al., 1992, Santini et al., 2000, Moya et al., 2013, Ramos et al., 2015, Genes, 2017).

Compresión paralela a las fibras

Los valores medios hallados de MOR y MOE a la compresión paralela a las fibras para T1 fueron de 310 kg/cm² y 21.275 kg/cm² respectivamente. Para T2 el MOR fue de 478 kg/cm² y el MOE de 28.993 kg/cm². El valor de MOR para T1 y T2, resultó superior al compararlo con el obtenido por Santini et al. (2000). Sin embargo, estos autores obtuvieron un mayor valor de MOE a la compresión paralela a las fibras, que el hallado en este estudio.

Según el ranking de crecimiento, tanto para la flexión estática como para la compresión paralela a las fibras, para ambos tratamientos (T1 y T2), de distintas procedencias, se lograron valores superiores para el material correspondiente al ranking superior (R1), aún con distanciamiento entre plantas muy diferentes entre el Huerto Semillero Clonal y el Ensayo de Progenies.

4. CONCLUSIONES

La madera de *Pinus elliottii* proveniente del Ensayo de Progenies (T2) presentó superioridad en las características de su madera en comparación a la madera de *Pinus elliottii* obtenida del Huerto Semillero Clonal (T1), con mayores valores medios para el peso específico, contracción, resistencia y rigidez a la flexión estática y a la compresión paralela a las fibras; esto podría deberse al distanciamiento inicial de plantación o al sitio de procedencia.

En cuanto al análisis según el ranking de crecimiento de las muestras evaluadas se determinó que, en general, los mejores valores para las propiedades físicas y mecánicas estudiadas presentaron los materiales provenientes del ranking superior (R1) para los dos tratamientos (T1, T2), esto indica que sería factible realizar la selección genética de los mejores materiales genéticos por crecimiento y propiedades de la madera de forma simultánea.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento al Proyecto "Evaluación de propiedades de la madera de árboles mejorados provenientes de un Ensayo de Progenies de pino híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PEE × PCH) y *Pinus elliottii*, y de un Huerto Semillero de *Pinus taeda* y de *Pinus elliottii*.



SUIREZS et al. (2015)", en el cual se enmarcó esta investigación. A los profesionales de INTA, al MSc. Cristian Rotundo y al Ing. Cristian Schoffen, que proporcionaron los materiales para el estudio.

6. LITERATURA CITADA

- 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. El liberal, Santiago del Estero. 187 pp.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- FANK, P.Y.; STEFANI, P.M.; PITER, J.C.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.
- GENES, P.Y. 2017. Parámetros genéticos de propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus elliotii* var. *elliottii* Engelmann (Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales y Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones). 112 p.
- GONZALEZ, R.A.; PEREYRA, O.; SUIRESZ, T. 1992. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus elliotii* reforestado en la provincia de Misiones, Argentina. *Yvyrareta* 3(3):5-19.
- IRAM 9543. 1966. Norma para método de determinación de las contracciones totales, axial, radial y tangencial. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, Argentina. 4p.
- IRAM 9544. 1973. Norma para métodos de determinación de densidad aparente en maderas. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, Argentina. 6p.
- IRAM 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.
- IRAM 9541. 1965. Norma para método de ensayo de compresión axial de maderas con peso específico aparente mayor de 0,5 g/cm³. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, Argentina. 3p.
- LOPEZ, J.A.; GENES, P.Y.; HERNÁNDEZ, M.; MARCO, M.A.; HARRAND, L.; OBERSCHELP, J. 2009. Propiedades físicas, mecánicas y organolépticas de 10 clones de *Eucalyptus grandis* de 1ra generación del programa de mejoramiento genético del INTA. EEA Bella Vista, Corrientes, Argentina. 24 pp.
- MAGyP. 2024. Plantaciones Forestales - Sistemas de Monitoreo, Inventario y Acceso a la Información. Extraído el 16 de febrero del 2024, de: <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/desarrollo-foresto-industrial/inventarios/tablero.php>
- MARCÓ, M. 2005. Conceptos generales del mejoramiento genético forestal y su aplicación a los bosques cultivados de la Argentina. Mejores Árboles para más forestadores. El Programa de Producción de Material de Propagación Mejorado y el Mejoramiento Genético en el Proyecto Forestal de Desarrollo. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, 9-17.
- MOYA, L.; LAGUARDA, M.F.; CAGNO, M.; CARDOSO, A.; GATTO, F.; O'NEILL, H. 2013. Physical and mechanical properties of loblolly and slash pine wood from Uruguayan plantations. *Forest Products Journal*, 63(3-4), 128-137.
- RAMOS, R.; FANK, P.; GÓMEZ, R.; TORRÁN, E.; PITER, J.C. 2015. Propiedades mecánicas y densidad de la madera de *Pinus elliotii* cultivado en la Mesopotamia. Análisis comparativo entre plantaciones cultivadas en Entre Ríos y Misiones. XXX Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia 2016.
- SANTINI, E.J.; HASELEIN, C.R.; GATTO, D.A. 2000. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. *Ciência Florestal*, Santa Maria, RS, v.10, n.1, p.85-93.
- SCHULGASSER, K.; WITZTUM, A. 2015. How the relationship between density and shrinkage of wood depends on its microstructure. *Wood science and technology*, 49, 389-401.
- SUIREZS, T.M.; PEREYRA, O.; ELGERT, R.R.; MAGNAGO, S. 2006. Propiedades de la madera de *Pinus elliotii* Eng. de 13, 16 y 18 años de edad cultivados en la provincia de Misiones Argentina. IV Congreso Iberoamericano de Chile
- VIDAURRE, G.; LOMBARDI, L.R.; OLIVEIRA, J.T.D.S.; ARANTES, M.D.C. 2023. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. *Floresta e Ambiente*, 18, 469-480.
- WINCK, R.A. 2013. Influencia del raleo sobre las características anatómicas y las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus taeda* L. de la región noreste de la Argentina. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Misiones. Posadas, Misiones, Argentina. 87 pp.
- 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 y destructivos. Tesis de doctorado. Universidad Nacional de Misiones. Posadas, Misiones, Argentina. 222 pp.