RIDaNaM
REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Forestales. Ingeniería Forestal

Estudiante
Estela Rosana Verón

Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus elliottii* Engelm. proveniente de material genético mejorado en la provincia de Misiones.

Trabajo integrador final presentado para obtener el título de "Ingeniera Forestal"

Orientadora
Dra. Rosa Ángela Winck
Co-Orientadora
Ing. Ind. Mad. Adelaida Bragañolo

Julio 2024

Eldorado (Misiones, Argentina)

Esta obra está licenciado bajo Licencia Creative Commons (CC) Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

rid.unam.edu.ar

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Trabajo integrador final

Ingeniería Forestal

Título:

Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus elliottii* Engelm. proveniente de material genético mejorado en la provincia de Misiones.

Estudiante:
VERON, Estela Rosana

Orientador
Dra. WINCK, Rosa Ángela

Co-orientador
Ing. Ind. Mad. BRAGAÑOLO, Adelaida

Eldorado Argentina

Julio 2024

PREFACIO

Esta tesis de grado se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Ingeniero Forestal de la Universidad Nacional de Misiones. La misma contiene los resultados obtenidos en los trabajos llevados a cabo en el ámbito de la Facultad de Ciencias Forestales y durante el período comprendido entre el mes de AGOSTO y DICIEMBRE del año 2017, bajo la orientación de Dra. WINCK, Rosa Ángela y co-orientación de BRAGAÑOLO, Adelaida.

…….

VERÓN, Estela Rosana

Ha sido defendida y aprobada el ……/……/……, mereciendo la calificación de …… (……).

Siendo los evaluadores:

Nombre: _____

Firma: _____

Nombre: _____

Firma: _____

Nombre: _____

Firma: _____

Autora VERÓN, Estela Rosana: Estudiante de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones. Bertoni N° 124, Eldorado, Misiones, Argentina. C.P. 3380. *Email:estelarveron20@gmail.com*

Orientador WINCK, Rosa Ángela: Dra. Docente de la Cátedra de Tecnología de la Madera. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones. Docente de la Maestría en Ciencia y Tecnología de los Materiales Fibrosos (MAMFI) de la FCEQyN y FCF. Bertoni Nº 124, Eldorado, Misiones, Argentina. C.P. 3380. Investigadora en el área Tecnología de la Madera en INTA-Estación Experimental Agropecuaria Montecarlo. Av. El Libertador N° 2472, Montecarlo, Misiones, Argentina. C.P. 3384. *Email:*rosaangelaw@hotmail.com

Co-orientador BRAGAÑOLO, Adelaida: Docente de la Cátedra de Propiedades Físicas y Mecánica de la Madera. Jefe de Trabajos Prácticos Regular Semiexclusivo de la Cátedra de Tecnología de la Madera Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones. Bertoni N° 124, Eldorado, Misiones, Argentina. C.P. 3380. *Email:* adelaida.braganolo@fcf.unam.edu.ar

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN 6
SUMMARY 7
1. INTRODUCCIÓN 8
2. HIPOTESIS 13
3. OBJETIVOS 13
3.1. Objetivo general 13
3.2. Objetivos específicos 13
4. MATERIALES Y METODOS 14
4.1. Selección del material vegetal 14
4.2. Ensayo de las propiedades físicas 16
4.2.1. Peso específico aparente 17
4.2.2. Peso específico aparente estacionado 17
4.2.3. Peso específico aparente anhidro 17
4.2.4. Peso específico aparente saturado 18
4.2.5. Peso específico aparente básico 18
4.2.6. Contenido de humedad 19
4.2.7. Contracción e hinchamiento 19
4.3. Ensayo de las propiedades mecánicas 21
4.3.1. Resistencia a la flexión estática 21
4.3.2. Módulo de rotura a la flexión estática 22
4.3.3. Módulo de elasticidad a la flexión estática 22
4.3.4. Compresión paralela a las fibras 22
4.3.5. Módulo de rotura a la compresión 23
4.3.6. Módulo de elasticidad a la compresión 23
4.4. Análisis estadístico de los datos 24
4.4.1. Análisis de Varianza (ANOVA) 24
4.4.2. Modelos Lineales Generalizados Mixtos 24
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 26
5.1. Prueba de Normalidad 26
5.2. Propiedades físicas 27
5.2.1. Peso específico aparente 27
5.2.2. Contenido de humedad y punto de saturación de fibras 28
5.2.3. Contracción e hinchamiento de la madera 29
5.2.3.1. Contracción lineal (estado estacionado al anhidro) 29
5.2.3.2. Contracción total (estado saturado al anhidro) 31
5.3. Propiedades mecánicas 36

5.3.1. Flexión estática 36
5.3.2. Compresión paralela a las fibras 38
6. CONCLUSION 40
7. AGRADECIMIENTOS 42
8. BIBLIOGRAFÍA 43
9. ANEXOS 47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de la prueba de normalidad Shapiro Wilks (W*), el tamaño de la muestra (n), el valor medio, el desvío estándar (DS) y el estadístico de prueba (p-valor) para cada variable estudiada. 26

Tabla 2. Pesos específicos aparentes a distintos contenidos de humedad por tratamiento..... 27

Tabla 3. Pesos específicos aparentes según el ranking de crecimiento. 28

Tabla 4.Valores del contenido de humedad (CH) y punto de saturación de fibras (PSF) según el ranking de crecimiento. 29

Tabla 5. Comparación de los valores de PEAB, contracciones e hinchamientos para el género *Pinus* según bibliografía. 32

Tabla 6. Valores medios de coeficientes de retractabilidad y anisotropía por tratamiento. 34

Tabla 7.Valores medios de los coeficientes de retractabilidad y anisotropía según el ranking de crecimiento..... 35

Tabla 8. Comparación de valores de Flexión estática y Compresión paralela a las fibras para el género *Pinus* según bibliografía..... 37

Tabla 9.Valores medios del módulo de rotura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) a la flexión estática según el ranking de crecimiento. 38

Tabla 10.Valores medios del módulo de rotura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) a la compresión paralela a las fibras según el ranking de crecimiento. 40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.Tableado de la troza basal (a) y preparación de probetas para ensayos mecánicos (b). 15

Figura 2. Esquema orientativo de obtención de las probetas para las diferentes propiedades. ... 16

Figura 3. Balanza de precisión (a) y Calibre electrónico (b). 17

Figura 4. Estufa eléctrica con las probetas. 18

Figura 5. Probetas para ensayos de contracción e hinchamiento. 20

Figura 6. Máquina universal de ensayos con una probeta sometida a flexión estática. 21

Figura 7. Máquina universal de ensayo con una probeta sometida a la compresión paralela a las fibras. 23

Figura 8. Comparación de medias del contenido de humedad (CH), y el punto de saturación de fibras (PSF) por tratamiento..... 28

Figura 9. Comparación de medias de contracción en el sentido axial, radial, tangencial y volumétrica por tratamiento. 30

Figura 10. Comparación de medias para la contracción e hinchamiento axial, radial y tangencial según el ranking de crecimiento por tratamiento. 31

Figura 11. Comparación de medias de contracción total axial, radial, tangencial y volumétrica por tratamiento. 33

Figura 12. Comparación de medias para la contracción e hinchamiento total axial, radial y tangencial según el ranking de crecimiento por tratamiento 34

Figura 13. Comparación de medias del módulo de rotura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) a la flexión estática por tratamiento..... 36

Figura 14. Comparación de medias del módulo de rotura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) a la compresión paralela a las fibras por tratamiento. 39

RESUMEN

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 taeda* L. y el *Pinus elliottii* Engelm. los más cultivados. En el marco del proyecto llevado a cabo por el INTA para el mejoramiento genético forestal, el objetivo de este trabajo fue determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera de una de las especies, el *Pinus elliottii* proveniente de un "Huerto Semillero Clonal (tratamiento 1)" y de un "Ensayo de Progenies (tratamiento 2)", ambos ubicados en la provincia de Misiones. Dentro de cada tratamiento se hizo una clasificación según el ranking de crecimiento superior (R1) e inferior (R2). Se tomó una troza basal de 0,60 m de longitud de 23 árboles entre 14 y 16 años de edad, se cortaron tablas que fueron estacionadas bajo cubierta para su acondicionamiento, luego se marcaron 6 probetas por árbol para cada una de las propiedades estudiadas. Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de tecnología de la madera de la Facultad de Ciencias Forestales bajo los requerimientos de las normas IRAM. Se encontraron diferencias significativas en las propiedades físicas y mecánicas entre los materiales de "Huerto Semillero Clonal" y "Ensayo de Progenies". Las propiedades físicas evaluadas presentaron valores medios de peso específico aparente básico con diferencias significativas entre tratamientos, siendo las muestras del T2 de mayor densidad. Los valores de contracciones volumétricas (del estado estacionado al anhidro) para el T1 y T2 fueron de 5,99% y 7,74% respectivamente. Los valores de módulos de rotura y de elasticidad a la flexión estática y compresión paralelas a las fibras fueron superiores para el T2, siendo estos valores de 1.059 kg/cm^2 y 122.512 kg/cm^2 y 478 kg/cm^2 y 28993 kg/cm^2, respectivamente. Se determinó que el T2 presentó superioridad para todas las variables analizadas, esto probablemente se deba al manejo más adecuado respecto al distanciamiento entre plantas 3 x 3 m, respecto a 6 x 6 m que tenía el Huerto semillero Clonal. Los mejores valores para las propiedades evaluadas presentaron los materiales provenientes del ranking superior (R1) para los dos tratamientos (T1, T2).

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

SUMMARY

The forested area for Misiones is 396.486 ha, where the Pinus genus represents 80,15% of the forested area, being *Pinus taeda* L. and *Pinus elliottii* Engelm. the most cultivated. As part of the project carried out by INTA for forest genetic improvement, the objective of this work was to determine the physical and mechanical properties of wood of one of the species, the *Pinus elliottii* from a "Clonal Seed Orchard (treatment 1)" and a "Progeny Trial (treatment 2)", both located in the province of Misiones. Within each treatment, a classification was made according to the ranking of superior (R1) and inferior (R2) growth. A basal log 0.60 m long was taken from 23 trees between 14 and 16 years of age, boards were cut and parked under cover for conditioning, then 6 specimens per tree were marked for each of the properties studied. The tests were carried out in the wood technology laboratory of the Faculty of Forestry Sciences under the requirements of the IRAM standards. Significant differences were found in the physical and mechanical properties between the "Clonal Seed Orchard" and "Progeny Test" materials. The physical properties evaluated presented average values of basic apparent specific weight with significant differences between treatments, with the samples from T2 having the highest density. The volumetric contraction values (from stationary to anhydrous state) for T1 and T2 were 5.99% and 7.74% respectively. The values of modulus of rupture and elasticity to static bending and compression parallel to the fibers were higher for T2, these values being 1,059 kg/cm^2 and 122,512 kg/cm^2 and 478 kg/cm^2 and 28993 kg/cm^2, respectively. It was determined that T2 presented superiority for all the variables analyzed, this is probably due to the more appropriate management regarding the distance between plants 3 x 3 m, compared to 6 x 6 m that the Clonal Seed Garden had. The best values for the evaluated properties presented the materials from the top ranking (R1) for the two treatments (T1, T2).

Keywords: Wood quality, forest genetic improvement, Clonal Seed Orchard, Progeny Test.

1. INTRODUCCIÓN

Argentina cuenta con 1.269.292 hectáreas de bosques cultivados, predominando las forestaciones de pinos (*Pinus* sp.), eucaliptos (*Eucalyptus* sp.), sauces (*Salix* sp.) y álamos (*Populus* sp.), de las cuales el 84 % se concentra en la Mesopotamia (provincias de Misiones, Corrientes y Entre Ríos) y el delta del río Paraná. La superficie forestada para Misiones es de 396.486 ha, donde el género *Pinus* representa el 80,15 % de la superficie forestada, el *Eucalyptus* un 9,67 % del total, las nativas representan el 4,96 % y las especies varias el 4,92 % (MAGyP, 2024).

Dentro del género *Pinus*, las especies que más se cultivan son el *Pinus elliottii* Engelm. Y el *Pinus taeda* L. con valores de crecimiento entre 16-30 $m^3ha^{-1}año^{-1}$ y 21-40 $m^3ha^{-1}año^{-1}$, respectivamente (MAGyP, 2010). El *Pinus elliottii* es originario del sudeste de EE.UU., donde la altura promedio es de unos 30 m y con diámetros de 60-90 cm. En la Mesopotamia Argentina y el Delta del Paraná, alcanzan crecimientos entre 30-40 $m^3ha^{-1}año^{-1}$ (GARTLAND y BOHREN, 2008). Su madera presenta albura de color amarillo y el duramen amarillo ocre. Presenta textura fina y homogénea. Los anillos de crecimiento aparecen bien demarcados, y los radios leñosos poco visibles con lupa. La densidad aparente al 15 % de humedad es de 0,51 gr/cm^3. Se clasifica como madera liviana, blanda a semidura y estable dimensionalmente.

Frente al secado natural se comporta sin mayores problemas, pero es poco resistente al ataque de hongos y muy susceptible al ataque de insectos. Es poco durable en contacto con el suelo, pero se impregna fácilmente en la albura; presenta múltiples usos en la construcción en general, muebles, carpintería, pasta celulósica, postes impregnados, entre otros (MAGyP, 2004).

En nuestro país la mayor parte del consumo nacional de madera corresponde a especies implantadas; el 60% a las coníferas, entre las cuales prevalece el género *Pinus*. Dicho consumo está dirigido, en su mayor parte, a madera aserrada, tableros, muebles y celulosa (MINISTERIO DE HACIENDA, 2016). Esto genera una alta demanda de productos forestales generando la necesidad de impulsar el desarrollo de plantaciones altamente productivas.

Con el mejoramiento genético forestal se logra el manejo de los recursos genéticos que permiten obtener mayor productividad por hectárea, mejor calidad del producto, adaptabilidad de especies, reducción del turno de aprovechamiento y de los costos de establecimiento, cosecha y/o procesos industriales (MARCÓ, 2005). Pero como consecuencia de lograr dichos beneficios los árboles de rápido crecimiento desarrollan mayor proporción de madera juvenil lo que se cree que podría afectar las propiedades físico-mecánicas de la madera (VIDAURRE *et al*., 2023).

Dentro de la cadena forestal, la disponibilidad de material genético superior en calidad y adaptabilidad es uno de los eslabones más importantes y es así que, desde mediados de la década de 1990 los Programas de Mejoramiento Genético de coníferas se potenciaron significativamente no sólo con la ejecución de proyectos específicos del INTA sino también a través de la ejecución de otras fuentes de financiación. Dentro del programa de mejoramiento genético el INTA conforma un Huerto Semillero Clonal (HSC) de *Pinus elliottii* de segunda generación instalado en el Campo Anexo Manuel Belgrano (CAMB) San Antonio, Misiones, buscando garantizar la disponibilidad de material de calidad (GAUCHAT *et al*., 2016); y lograr la producción de madera para la elaboración de determinadas piezas sólidas con un destino industrial específico, con normas de calidad físico-mecánicas y estéticas ajustadas a determinados estándares comerciales. Cabe destacar que los HSC son áreas de producción de semilla, donde los individuos seleccionados son manejados en forma intensiva con el fin de producir semillas con determinada ganancia genética.

Los HSC se constituyen a partir de propágulos vegetativos (injertos, estacas, cultivo de tejidos, etc.) y los huertos de progenies o plántulas derivan de plántulas de individuos selectos que se siembran para tal fin (MARTINEZ et al., 2005). La ganancia genética es superior en un huerto semillero clonal comparado al del huerto de progenies; ya que a partir de la selección de los mejores individuos que demostraron superioridad en cierto carácter evaluado en el ensayo de progenie se realiza raleo genético convirtiéndose en huerto de progenie, o se multiplican vía injerto y se implantan en HSC que tiene materiales de otras procedencias y están a la espera para iniciar la producción de semilla de alta calidad genética (MESÉN, 1994).

Considerando que los individuos de un huerto son árboles seleccionados con ciertas características fenotípicas como rectitud de fuste, volumen (MARCÓ, 2005), el producto final obtenido a partir de un origen de huerto semillero pretende ser mejor comparadas con otro proveniente de una plantación comercial, con un grado de mejora menor. En este sentido el *P. elliottii* cobra importancia por su capacidad de hibridación con otras especies de pino (GENES, 2017), donde se busca además mejores resultados en cuanto a velocidad de crecimiento, calidad del fuste y de los rollizos y propiedades internas de la madera (MARTINEZ *et al*., 2005).

Al ser *Pinus elliottii* 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 las caracterización físico-mecánica de la madera de dicha especie. 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, porque es fácil de medir y tiene buena correlación con otras propiedades del material. (LOPEZ, 2009, SARANPÄÄ, 2003).

Al analizar las propiedades físicas y mecánicas de la madera se pueden observar diferencias entre árboles de la misma especie y también dentro del mismo árbol. A través del estudio de las propiedades tecnológicas se puede predecir el comportamiento de la madera frente a un determinado uso. La densidad de la madera es la propiedad más importante y es utilizada para la clasificación de la misma, y puede variar desde muy livianas hasta muy pesadas (CORONEL, 1994). Debido a la gran variación existente en las propiedades de la madera, para poder clasificarlas y obtener valores comparativos entre investigaciones, los ensayos deben seguir normas técnicas (CORONEL, 1994). Estas normas son: ASTM (*American Society for Testing Materials*) (Sociedad Americana de ensayos de materiales), IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales), DIN (*Deutsch Industrie Norm*), (Instituto para normas Alemanas), AFNOR (*Association Française de Normalization*), (Asociación Francesa de Normalización), BSI (*Britsh Standards Institution*), (Instituto Británico de estandarización), COPANT (Comité Panamericano de Normas Técnicas), ISO (*Internacionales Standards Organization*) (Organización Internacional de Estandarización); utilizadas para ensayos físicos y mecánicos de la madera (SUIRESZ y BERGER, 2009).

Existen varios estudios donde se han determinado valores para algunas propiedades de la madera de *Pinus elliottii*, GONZALES *et al.* (1992) determinaron las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus elliottii* entre 13 y 18 años de edad, reforestado en la provincia de Misiones y encontraron valores de densidad estacionada, anhidra y básica de 0,54 gr/cm^3, 0,50 gr/cm^3 y 0,44 gr/cm^3, respectivamente, contracción total tangencial, radial y volumétrica de 5,48%, 4,05%, 9,92% respectivamente, coeficiente de anisotropía de 1,35, módulo de rotura y de elasticidad a la flexión estática de 920 kg/cm^2 y 52.417 kg/cm^2, respectivamente. Otro estudio realizado en el municipio brasileño Quedas do Iguaçu del estado de Paraná; obtuvieron un valor para el peso específico aparente básico de 0,41 gr/cm^3 para la madera de *Pinus elliottii* de 13 años de edad; contracción radial, tangencial y volumétrica de 3,9%, 5,8% y 9,8% respectivamente. El módulo de rotura y módulo de elasticidad para la flexión obtenidos fueron de 555 kg/cm^2 y 73.266 kg/cm^2 (SANTINI *et al.*,2000).

SUIREZS *et al.*,(2006) estudiaron las propiedades de la madera *de Pinus elliottii* de 13, 16 y 18 años de edad cultivados en la provincia de Misiones, Argentina y obtuvieron los siguientes resultados, peso específico aparente estacionado 0,36 gr/cm^3, 0,48 gr/cm^3 y 0,56 gr/cm^3, respectivamente, módulo de rotura a la flexión estática, 695 kg/cm^2, 1.018 kg/cm^2, 1.051 kg/cm^2,

módulo de elasticidad a la flexión estática: 45.637 kg/cm^2, 62.167 kg/cm^2, 95.035 kg/cm^2 y módulo de rotura a la compresión paralela a las fibras: 289 kg/cm^2, 322 kg/cm^2, 423 kg/cm^2.

También MOYA *et al.* (2013) estudiaron las propiedades físicas y mecánicas de una muestra compuesta por madera de *Pinus elliottii* (90 %) y *Pinus taeda* (10 %) de 15 años, que fueron raleados a los 5, 7 y 10 años, obtuvieron valores medios de MOE y MOR para la flexión estática, y, densidad estacionada de 52.250 kg/cm^2, 477 kg/cm^2 y 0,40 gr/cm^3; y un valor de MOR a la compresión de 277 kg/cm^2.

Por otro lado, RAMOS *et al.* (2015) determinaron para tablas aserradas de *Pinus elliottii* de 19 años de edad, valores medios de densidad estacionada, MOE y MOR a la flexión estática de 0,474 gr/cm^3, 64.864 kg/cm^2 y 331 kg/cm^2, respectivamente. Mientras que, GENES (2017) para madera proveniente de un ensayo de progenies de medio-hermanos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Eng., de 16 años de edad, de la Provincia de Corrientes, determinó valores medios de densidad básica, MOE y MOR a la flexión estática de 0,47 gr/cm^3, 92.749 kg/cm^2 y 900 kg/cm^2, respectivamente. Así también, SACKSER *et al.*, (2018) informaron un valor medio de densidad básica de 0,456 gr/cm^3 para el grupo de anillos de 16 a 18 años para madera de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Eng.

Considerando el estudio de otras especies de similar comportamiento podemos encontrar que WINCK (2013) evaluó la influencia a diferentes intensidades de raleo sobre las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus taeda* de 20 años de edad, y obtuvo valores medios de: densidad básica entre 0,38 gr/cm^3 y 0,42 gr/cm^3, contracciones tangenciales, radiales y axiales de 6,18%, 3,33% y 0,44%, respectivamente, con una contracción volumétrica de 9,95%; hinchamientos tangenciales, radiales y axiales de 6,59%, 3,46% y 0,44% respectivamente, con un hinchamiento volumétrico de 10,50%; la anisotropía media fue de 1,93 y el PSF de 23,77%. Los valores medios obtenidos para el MOE a la flexión fueron entre 79.487 kg/cm^2 y 101.441 kg/cm^2 y el MOR entre 705 kg/cm^2 y 813 kg/cm^2. Para MOE a la compresión paralela a las fibras obtuvo valores medios entre 15.102 kg/cm^2 y 18.528 kg/cm^2 y valores entre 356 kg/cm^2 y 438 kg/cm^2 para el MOR.

PEREYRA *et al.* (2007) registraron valores de peso específico aparente estacionado, anhidro, básico, saturado y contenido de humedad de 0,514 gr/cm^3; 0,478 gr/cm^3; 0,421 gr/cm^3; 1,006 gr/cm^3; 13,4%, respectivamente para la madera de *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, entre 9 y 14 años de edad, cultivado en la zona norte de la provincia de Misiones; así también obtuvieron valores de módulo de elasticidad, y módulo de rotura a la compresión paralela de las fibras de 13.438 kg/cm^2 y 270 kg/cm^2, y para la flexión el módulo de elasticidad y de rotura correspondientes fueron de 91.694 kg/cm^2 y 704 kg/cm^2. Reportaron además

valores de contracción total, hinchamiento total, coeficiente de contracción y punto de saturación de fibras, en la dirección tangencial de 5,41%, 5,72%, 0,21% y 25,79% respectivamente; para la dirección radial 4,24% y 4,44%, la retracción total de 0,19 % y el PSF de 22,55%; para la dirección axial 0,589% y 0,59%, la retracción total de 0,03%, y el PSF de 23,80%.

WINCK (2023) evaluó la calidad estructural de la madera de pino híbrido F_1 *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de 11 años de edad por métodos destructivos y no destructivos y determinó valores de densidad básica, anhidra, estacionada y saturada, a la altura de 1,30 m, de 0,357 gr/cm^3, 0,404 gr/cm^3, 0,446 gr/cm^3 y 1.015 gr/cm^3 respectivamente. Los módulos de elasticidad y de rotura a la flexión estática obtenido fue de 92.814 kg/cm^2 y 382 kg/cm^2 respectivamente. Los valores para contracciones del estado estacionado al anhidro fueron de 0,88 %, 1,18 %, 2,49 % y 4,49 %, en el sentido axial, radial, tangencial y volumétrica, respectivamente. También analizó los valores de contracciones del estado saturado al anhidro obteniendo valores promedio (contracción total o máxima) de 1,54 %, 2,72 %, 5,40 % y 9,57 %, en el sentido axial, radial, tangencial y volumétrica, respectivamente. El coeficiente de anisotropía, de retracción radial y tangencial encontrados fueron de 2,3, 0,08 y 0,17, respectivamente.

WEBER *et al.,* (2005) y BARTH *et al.,* (2012) determinaron para *Pinus taeda* de 15 y 16 años valores de densidad básica que oscilan entre 0,34 gr/cm^3 y 0,43 gr/cm^3.

El conocimiento de las propiedades físicas y mecánicas de la madera permite definir el uso más adecuado (CORONEL, 1994). También se debe tener en cuenta la variabilidad en las características de la madera debido a factores como el manejo y el sitio o región de procedencia para otorgarle el uso final que más optimice la materia prima, para ello resulta indispensable el estudio de las propiedades de la madera.

A partir de los resultados obtenidos en este trabajo, se generará información importante que permitirá caracterizar física y mecánicamente la madera de *Pinus elliotti* Engelm. proveniente de un Huerto Semillero Clonal y de un Ensayo de Progenies y comparar la calidad de madera de ambos materiales. Al mismo tiempo se generará información acerca de los mejores individuos (según ranking de crecimiento) para considerarlos, en un avance futuro dentro de un programa de mejoramiento, no solo por selección fenotípica, sino también por calidad de madera.

2. HIPOTESIS

a) Los valores de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus elliottii* proveniente del Huerto Semillero Clonal de San Antonio y del Ensayo de Progenies de Lipsia; son diferentes debido al grado de mejora genética de los materiales y al distanciamiento inicial de plantación.

b) No existen diferencias entre las propiedades físicas y mecánicas de los materiales provenientes del ranking de crecimiento superior o R1 y del ranking de crecimiento inferior o R2 dentro de cada tratamiento.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Caracterizar física y mecánicamente la madera de la troza basal de *Pinus elliottii* proveniente de un Huerto Semillero Clonal de San Antonio y de un Ensayo de Progenies de Lipsia.

3.2. Objetivos específicos

a) Determinar los pesos específicos aparentes básico, estacionado, anhidro y saturado de las muestras obtenidas de los distintos materiales genéticos.

b) Determinar el contenido de humedad de la madera obtenida de la primera troza.

c) Determinar la contracción e hinchamiento en el sentido longitudinal, radial y tangencial de las muestras obtenidas.

d) Determinar la anisotropía, el punto de saturación de fibras y coeficiente de retracción radial y tangencial promedio para la troza basal de 0,60 m.

e) Determinar los módulos de rotura y de elasticidad a la flexión estática de la madera de la primera troza.

f) Determinar los módulos de rotura y de elasticidad a la compresión paralela a las fibras de la madera de la primera troza.

g) Comparar los valores de propiedades físicas y mecánicas de los materiales provenientes del Huerto Semillero Clonal y del Ensayo de Progenies.

h) Comparar los valores de propiedades físicas y mecánicas por ranking de crecimiento dentro del Huerto Semillero Clonal y del Ensayo de Progenies.

4. MATERIALES Y METODOS

Este trabajo se realizó en el marco del 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)" Código UNAM: A09. Resolución CD Nº 351/15. Código SCTyP II31.

4.1. Selección del material vegetal

Los árboles utilizados corresponden a material genéticamente mejorado de *Pinus elliottii* proveniente de un Huerto Semillero Clonal (HSC) ubicado en la localidad de San Antonio, Misiones y de un Ensayo de Progenies (EP) instalado en un campo de la propiedad de la empresa LIPSIA S.A en Puerto Esperanza, Misiones.

Existen 3 conformaciones de huertos semilleros de *Pinus elliottii* situadas en INTA San Antonio. Las cuales se constituyeron mediante la clonación vía injertos de los 3 mejores individuos de las 50 familias genéticamente superiores en volumen y rectitud de fuste. Los árboles clonados proceden de 16 ensayos de progenies, en los que se probaron 329 familias de polinización abierta provenientes en su mayoría de la zona de origen más algunas procedencias sudafricanas y selecciones locales. El Huerto Semillero Clonal abarca una superficie de 10 ha, fue implantado a un distanciamiento de 6 x 6 metros y en una disposición de tres bolillos. Se instalaron en forma escalonada entre los años 1998 y 2001. La producción de semillas se inició en el año 2004.

El material genético correspondiente al Ensayo de Progenies de *Pinus elliottii* de LIPSIA (también denominado S216), proceden de EE. UU de los estados de Mississippi y Florida, en las que se evaluaron 92 familias de polinización abierta. El diseño de plantación fue el de bloques completos con tratamientos distribuidos aleatoriamente y parcelas de 6 árbol en línea. Posee una superficie de 3 hectáreas y fue implantada en el año 1990 a un distanciamiento de 3 x 3 metros. A partir de la evaluación genética se obtuvo un ranking genético para los caracteres volumen, rectitud de fuste y ramas.

El material para el estudio fue proporcionado por el INTA-EEA Montecarlo. En el año 2014 se apearon 23 árboles en total. Para uniformizar la edad de los materiales, las muestras fueron tomadas entre los anillos 14 a 16.

Se consideraron 2 tratamientos (T1): Huerto Semillero Clonal de *Pinus elliottii* con 15 ejemplares de 16 años, localizado en el Campo de INTA en San Antonio y (T2): Ensayo de Progenies de *Pinus elliottii* con 8 árboles de 24 años, ubicado en la propiedad de Lipsia, ambos en

la provincia de Misiones. Dentro de cada tratamiento se consideraron 2 posiciones del ranking genético de crecimiento: superior (R1) e inferior (R2) (**Anexo 1**).

Luego del apeo de los individuos, de cada uno de ellos se extrajo una troza basal de 0,60 m, esta fue cortada en tablas de 28 mm de espesor (**Figura 1**a), mediante el sistema de "corte paralelo", con un equipo denominado "tableadora". Se identificaron y se dejaron estacionar por un período de 4 meses bajo cubierta para su acondicionamiento. Posteriormente de estas piezas se cortaron las probetas para realizar los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas.

Para contracción e hinchamiento se consideró la orientaron de los anillos de crecimiento en cada pieza, de modo que se obtuvieron probetas de corte radial, tangencial y longitudinal.

Para los ensayos de peso específico las probetas fueron cortadas de los mismos listones utilizados para contracción e hinchamiento. Se obtuvieron un total de 828 probetas con 6 repeticiones por troza para cada ensayo mecánico (**Figura 1**b). En la **Figura 2** se presenta un esquema orientativo de obtención de las probetas para las diferentes propiedades, siempre respetando los anillos entre 14-16 y seleccionando las muestras en las diferentes orientaciones de la troza en su sección transversal (norte, sur, este y oeste) de manera que las muestras obtenidas sean representativas del árbol.

Figura 1.Tableado de la troza basal (a) y preparación de probetas para ensayos mecánicos (b). (Fuente: Foto 5a proporcionada por Jorge Vicentini de la EEA-INTA Montecarlo, Foto 5b: elaboración propia).

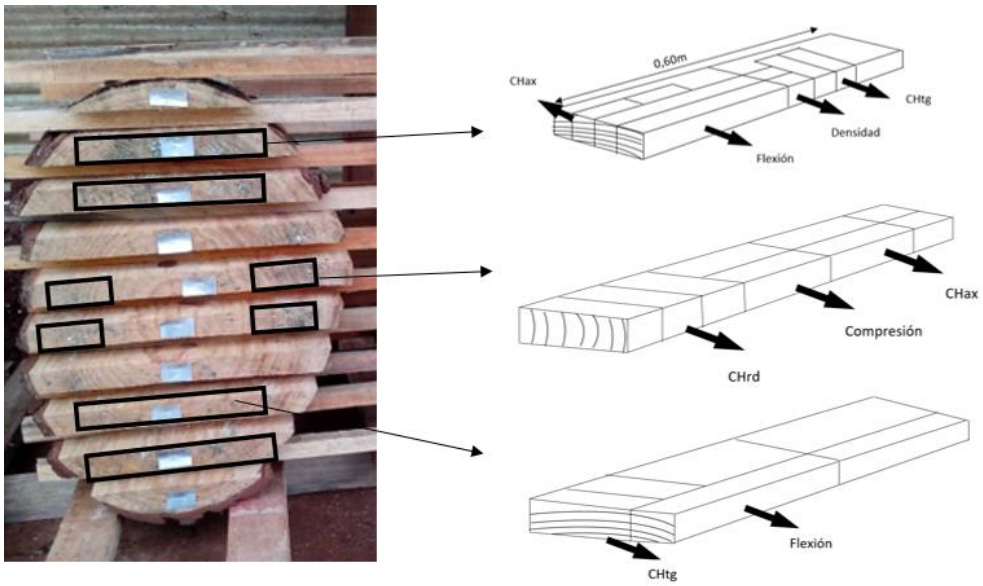


Figura 2. Esquema orientativo de obtención de las probetas para las diferentes propiedades. (Probetas para contracción e hinchamiento axial, radial y tangencial: CHax, CHrd, CHtg)

Los ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus elliottii* se llevaron a cabo en el laboratorio de Tecnología de la Madera, perteneciente a la Facultad de Ciencias Forestales.

4.2. Ensayo de las propiedades físicas

En este trabajo se estudiaron el peso específico estacionado, anhidro, saturado y básico; la humedad de la madera y la contracción e hinchamiento de la madera (**Anexo 2**).

La determinación del peso específico de la madera se realizó según las especificaciones de la norma IRAM 9544 (1973). Se estudiaron 138 probetas de 20mm x 20mm x 20mm con 6 repeticiones para cada árbol.

Se realizaron dos mediciones:

- La medición del peso (a un determinado contenido de humedad), que se efectuó con una balanza marca Ours, sensible al 0,01g (**Figura 3a**).

- La medición del volumen, que se realizó mediante calibre digital de 0,01 mm de precisión; se tomaron las dimensiones del ancho, espesor y largo de cada probeta (**Figura 3b**).

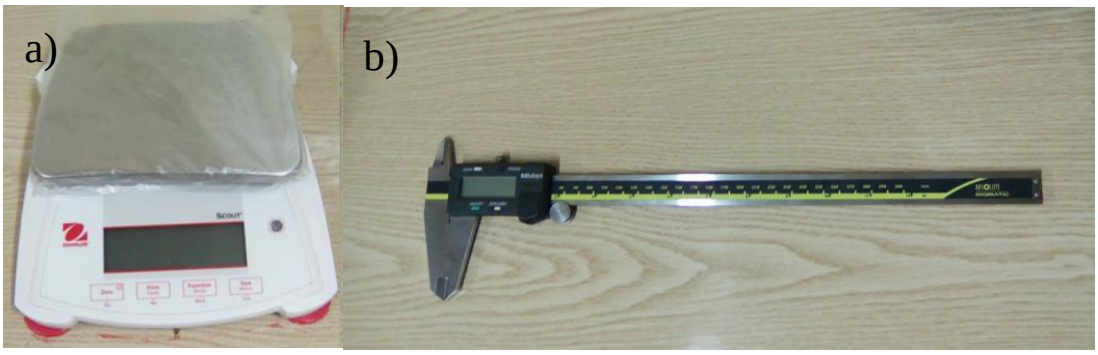


Figura 3. Balanza de precisión (a) y Calibre electrónico (b). (Fuente: Foto de elaboración propia).

4.2.1. Peso específico aparente

La fórmula general para el cálculo del peso específico aparente está dada por la ecuación (1):

$$PEA=Peso/Volumen(gr/cm^3) \quad (1)$$

Se determinaron los pesos específicos aparentes estacionado, anhidro, saturado y básico; expresado según las ecuaciones (2), (3), (4) y (5).

4.2.2. Peso específico aparente estacionado

Para calcular el peso específico aparente estacionado se midió el peso y el volumen de las probetas en las mismas condiciones de humedad, utilizándose la siguiente fórmula:

$$PEAE = \frac{Pe}{Ve} \quad (2)$$

Siendo PEAE es el peso específico aparente estacionado, en gr/cm^3; Pe el peso de la muestra estacionado, en gr.; Ve el volumen de la muestra estacionado, en cm^3.

4.2.3. Peso específico aparente anhidro

Para determinar el peso específico aparente anhidro se midió el peso y el volumen de las probetas al 0% de humedad, el cual se obtuvo llevando las probetas a estufa a una temperatura de102 ± 3ºC hasta peso constante (**Figura 4**). Para el cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$PEAA = \frac{Po}{Vo} \quad (3)$$

Siendo PEAA es el peso específico aparente anhidro, en gr/cm^3; Po el peso de la muestra seca, en gr.; Vo el volumen de la muestra seca, en cm^3.

Figura 4. Estufa eléctrica con las probetas. (Fuente: Foto de elaboración propia).

4.2.4. Peso específico aparente saturado

El peso específico aparente saturado fue calculado a partir del peso y el volumen en condiciones de saturación de humedad, esto se logró sumergiendo las probetas en agua durante 7 días, hasta que las probetas alcanzaron peso constante. Para el cálculo se empleó la siguiente fórmula:

$$PEAS = \frac{Ps}{Vs} \tag{4}$$

Siendo el PEAS es el peso específico saturado, en gr/ cm^3; Ps el peso de la muestra saturada, en gr.; Vs el volumen de la muestra saturado, en cm^3.

4.2.5. Peso específico aparente básico

Se obtuvo con la relación del peso anhidro o seco de la probeta sobre el volumen saturado, determinados previamente. Para el cálculo se empleó la siguiente fórmula:

$$PEAB = \frac{Po}{Vs} \tag{5}$$

Siendo PEAB es el peso específico aparente básico, gr/ cm^3; Po el peso de la muestra seca, en gr.; Vs el volumen de la muestra saturado, en cm^3.

4.2.6. Contenido de humedad

La norma IRAM N° 9532 (1973) establece los distintos métodos para determinar el contenido de humedad de la madera. Para este estudio se utilizó el Método secado en estufa o por pesadas.

Luego de determinar el peso específico de la madera en probetas de 20 mm de sección, se realizó el cálculo del contenido de humedad de la muestra según la ecuación (6).

$$CH = \frac{(Ph - Po)}{Po} * 100 \qquad (6)$$

Donde CH es el contenido de humedad en %; Ph el peso húmedo en gr.; Po el peso Anhidro o seco en gr.

El peso húmedo fue medido en condiciones estacionada, y el peso seco fue obtenido luego de llevar las probetas a estufa de secado a 103º C ± 2º C hasta lograr un peso constante.

4.2.7. Contracción e hinchamiento

Para el cálculo de la contracción e hinchamiento de la muestra se seleccionaron 6 repeticiones de cada probeta con dimensiones de 2 cm x 2 cm de sección y 5 cm de longitud considerando los 3 sentidos de corte: radial, tangencial y axial; según lo indica la Norma IRAM N° 9543 (1966). Primeramente, se identificó cada probeta según el tipo de corte y lado (A y B). A continuación, se tomó el peso de cada probeta y el peso de 4 clavos para cada probeta. Se colocaron 2 clavos en cada lado de la probeta, luego se midió la distancia entre clavos de cada lado.

Una vez tomados todos estos datos se llevaron las probetas a la estufa a 102 ± 3 ºC hasta alcanzar peso constante. Se retiró de la estufa y se dejó enfriar, en una bolsa de polietileno. Luego se tomó el peso de la probeta descontado el peso de los clavos, se registró también la distancia entre clavos. En la **Figura 5** se puede observar las probetas para los ensayos con los clavos colocados en lado A y B según orientación de los anillos.

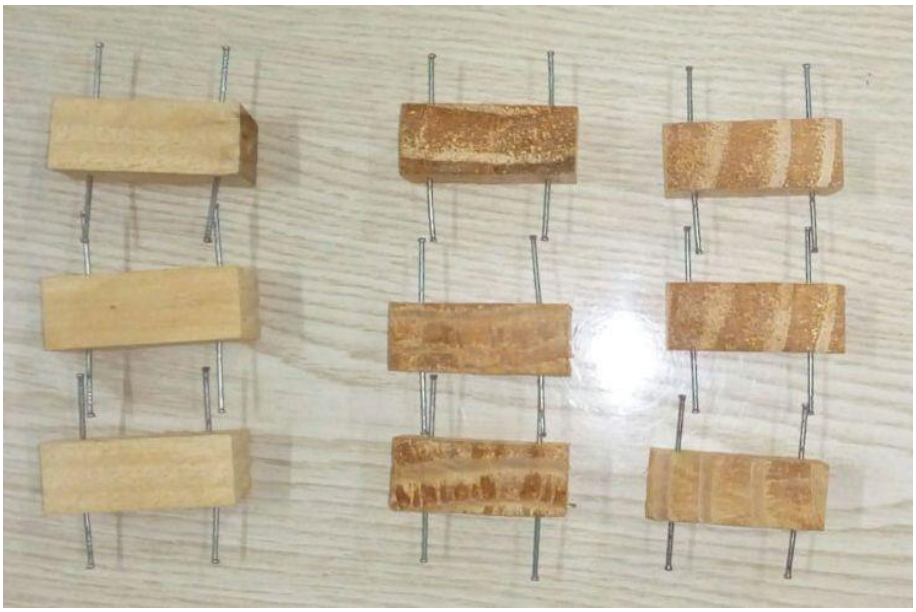


Figura 5. Probetas para ensayos de contracción e hinchamiento. (Fuente: Mariano Palacio).

El cálculo del porcentaje de contracción e hinchamiento del estado estacionado al anhidro se realizó según lo expresado en las ecuaciones (7) y (8) respectivamente:

$$C = \frac{(Le - Lo)}{Le} * 100 \tag{7}$$

$$H = \frac{(Le - Lo)}{Lo} * 100 \tag{8}$$

Siendo H el hinchamiento en %, C la contracción en %, Le la longitud en estado estacionado, en cm, Lo la longitud anhidra en cm.

Para el cálculo de la contracción e hinchamiento total, se llevaron las probetas en agua hasta lograr su saturación, considerado 7 días según lo establecido en la norma IRAM N° 9543 (1966). Una vez saturadas, se las retiró del agua y se registró nuevamente el peso de las probetas sin los clavos, y se medió la distancia entre clavos.

El cálculo del porcentaje de contracción e hinchamiento total desde el estado seco al saturado y viceversa, se determinó según las ecuaciones (9) y (10), respectivamente.
Contracción total:

$$CT = \frac{(Ls - Lo)}{Ls} * 100 \tag{9}$$

Hinchamiento total:

$$HT = \frac{(Ls - Lo)}{Lo} * 100 \quad (10)$$

Siendo Ct la contracción total en %, Ht el hinchamiento total en %, Ls es la longitud saturada en cm, Lo es la longitud anhidra en cm.

4.3. Ensayo de las propiedades mecánicas

Para determinar las propiedades mecánicas se utilizó una máquina universal electromecánica de ensayos cuya capacidad de carga es de 300 KN, y un calibre electrónico con precisión de 0,01 mm. Este equipo permitió obtener los valores de cargas y deformaciones para el cálculo de las tensiones en el límite proporcional elástico, el módulo de elasticidad y de rotura a la flexión estática y compresión paralela a las fibras (**Figura 6**).

4.3.1. Resistencia a la flexión estática

Las probetas para el ensayo son de 2 cm de sección y 36 cm de longitud, la distancia entre apoyos de 30 cm, la velocidad de aplicación de carga fue de 5 mm/minuto; según lo establece la norma IRAM 9542 (1965). Se trabajó con un total de 138 probetas, con 6 repeticiones para cada troza (**Anexo 3**).

En la **figura 6** se puede observar una probeta sometida a un ensayo de flexión estática.

Figura 6. Máquina universal de ensayos con una probeta sometida a flexión estática. (Fuente: Foto de elaboración propia).

4.3.2. Módulo de rotura a la flexión estática

El cálculo del módulo de rotura (MOR) se determinó mediante la ecuación (11):

$$MOR = \frac{3PL}{2bh^2} \tag{11}$$

Siendo MOR el módulo de rotura, en kg/cm^2; P la carga de rotura, en kg; L la longitud entre apoyos, en cm; b la base de la probeta, en cm; h la altura de la probeta, en cm.

4.3.3. Módulo de elasticidad a la flexión estática

Para el cálculo del módulo de elasticidad (MOE), se registraron los valores de la carga y la deformación en el límite proporcional y se obtuvo la curva de elasticidad para cada probeta ensayada, y en función a dichos valores, se determinó el módulo de elasticidad, a través de la ecuación (12):

$$MOE = \frac{P^{\prime}L3}{4bh3f^{\prime}} \tag{12}$$

Siendo MOE el módulo de elasticidad, en kg/cm^2; P’ la carga en el límite proporcional elástico, en kg; L la longitud entre apoyos, en cm; b la base de la probeta, en cm; h la altura de la probeta, en cm; f’ la deformación en el límite proporcional elástico, en cm.

4.3.4. Compresión paralela a las fibras

Para el ensayo de compresión se emplearon probetas de 2 cm de sección y 6 cm de longitud, con un contenido de humedad del 12 %. La velocidad de avance del cabezal de la máquina universal fue de 0,6 mm/min; según lo establecido por la norma IRAM 9541 (1965). El software que cuenta la máquina registra las deformaciones que se fueron produciendo con las distintas cargas. Con estos datos se realizó el diagrama carga-deformación y se obtuvo la carga y la deformación en el límite de proporcional elástico. En la **Figura 7** se puede observar una probeta sometida a un ensayo de compresión paralela a las fibras.

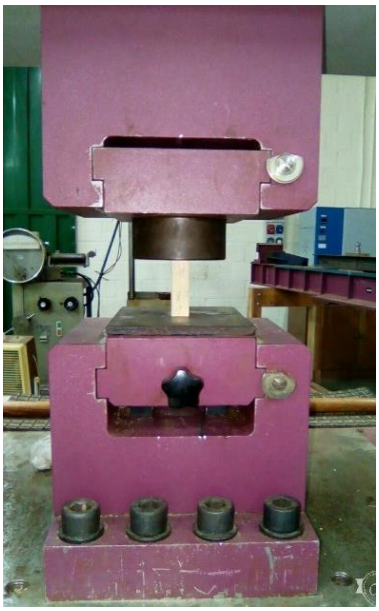


Figura 7. Máquina universal de ensayo con una probeta sometida a la compresión paralela a las fibras. (Fuente: Foto de elaboración propia).

4.3.5. Módulo de rotura a la compresión

El módulo de rotura (MOR) a la compresión paralela a las fibras se calculó con la siguiente fórmula:

$$MOR = \frac{P}{S} \tag{13}$$

Siendo MOR el módulo de rotura, en kg/cm^2; P la carga de rotura, en kg; S la sección, en cm^2.

4.3.6. Módulo de elasticidad a la compresión

Para determinar el módulo de elasticidad (MOE) a la compresión paralela a las fibras, se empleó la curva de elasticidad determinada para cada probeta ensayada, para las cuales se determinaron las cargas y deformaciones en el límite proporcional elástico.

El valor de MOE se calculó mediante la ecuación (14):

$$MOE = \frac{(P' * L)}{(S * f')} \tag{14}$$

Siendo MOE el módulo de elasticidad, en kg/cm^2; P' la carga en el límite proporcional elástico, en kg; L la longitud de la probeta, en cm; S la sección de la probeta, en cm^2; f' la deformación, en el límite proporcional elástico, en cm.

4.4. Análisis estadístico de los datos

Se realizaron análisis estadísticos para obtener la información necesaria para responder a los objetivos planteados. Por medio del software InfoStat versión 2.020 (DI RIENZO *et al.*, 2020), se identificaron los valores atípicos mediante los gráficos de caja y bigotes en la cual se consideró una desviación estándar de ±3 respecto del valor medio (**Anexo 4**). Se realizó la prueba de normalidad Shapiro Wilks (SHAPIRO y WILK, 1965) a todas las variables bajo estudio para verificar si presentaban una distribución normal de los datos.

4.4.1. Análisis de Varianza (ANOVA)

Las variables que cumplieron con el supuesto de normalidad se aplicaron análisis de varianzas simples. Mientras que las variables que no presentaron una distribución normal se analizaron con Modelos Lineales Generalizados Mixtos (MLGM), luego se determinó los valores promedios de cada variable y se realizaron comparaciones de medias con el test de "DGC" con un α de 0,05 para las variables bajo estudio dentro de cada tratamiento analizado.

Se utilizó un análisis anidado o planes jerárquicos en donde la variable Ranking de crecimiento se encuentra anidado dentro del Huerto Semillero Clonal (T1) y dentro del Ensayo de Progenies (T2), por lo cual se establecieron 2 tratamientos con dos niveles cada uno (R1, R2) para determinar en qué niveles existe mayor o menor variabilidad.

4.4.2. Modelos Lineales Generalizados Mixtos

La investigación en Agricultura y Forestería comúnmente presenta situaciones en las que es difícil utilizar los modelos lineales clásicos de análisis de varianza y regresión, porque al realizar mediciones repetidas en el tiempo en las mismas unidades experimentales, se incumplen los supuestos de independencia, normalidad, homocedasticidad y linealidad requeridos para su utilización. La modelación de datos experimentales en el marco teórico de los modelos lineales y generalizados mixtos brinda la posibilidad de analizar datos con estructuras de dependencia, desbalances y falta de normalidad. La aplicación de estos modelos permite la incorporación de una variable aleatoria como fuente de variación, además que logra incrementar la precisión de las estimaciones (BALZARINI *et al.*, 2004). El **Modelo Lineal Generalizados Mixtos** se aplica a variables que, por su naturaleza, no se ajustan a una distribución normal y sus datos se encuentran correlacionados; así presentan grandes ventajas con respecto a los métodos clásicos, ya que sus procedimientos de estimación reducen los sesgos cuando los datos están incompletos, desbalanceados o ajustan datos dispersos (BANDERA y PÉREZ 2018).

En el modelo se utilizó como criterio de clasificación el “Tratamiento”, para comparar los resultados de los materiales genéticos: T1: Huerto Semillero Clonal y T2: Ensayo de Progenies”. Luego dentro de cada tratamiento se utilizó el Ranking Genético de Crecimiento como variable de clasificación. Se trabajó con un nivel de confianza del 95%. Para emplear el Modelo Lineal Generalizado Mixto la distribución que mejor representaba los datos fue la Inversa Gaussiana.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Prueba de Normalidad

En la **Tabla 1** se expresan los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro Wilks, donde "W*" es el estadístico que indica la normalidad o no de los datos según el valor que toma para cada una de las variables estudiadas, e identificadas las que provienen de una distribución normal. Solamente las variables que poseen un p-valor mayor a 0,05 del estadístico de prueba (W) pertenecen a una distribución normal, con 95% de confianza.

Tabla 1. Resultados de la prueba de normalidad Shapiro Wilks (W*), el tamaño de la muestra (n), el valor medio, el desvío estándar (DS) y el estadístico de prueba (p-valor) para cada variable estudiada.

VARIABLE	n	Media	D.E.	W*	p-valor	Dist. Normal
PEAE(g/cm3)	136	0,53	0,13	0,86	<0,0001	
PEAA(g/cm3)	138	0,5	0,13	0,85	<0,0001	
PEAS(g/cm3)	135	1,06	0,07	0,96	0,0042	
PEAB(g/cm3)	138	0,44	0,11	0,86	<0,0001	
CH (%)	135	14,57	0,96	0,88	<0,0001	
Contracción axial (%)	131	0,38	0,2	0,89	<0,0001	
Contracción radial (%)	136	2,67	0,71	0,94	<0,0001	
Contracción tangencial (%)	134	3,52	0,52	0,98	0,1703	SI
Contracción volumétrica (%)	138	6,58	1,19	0,97	0,1253	SI
Hinchamiento axial (%)	130	0,38	0,2	0,88	<0,0001	
Hinchamiento radial (%)	136	2,75	0,75	0,94	<0,0001	
Hinchamiento tangencial (%)	132	3,67	0,53	0,98	0,3677	SI
Hinchamiento volumétrico (%)	138	6,79	1,27	0,97	0,0944	SI
Contracción axial total (%)	136	0,39	0,32	0,86	<0,0001	
Contracción radial total (%)	137	4,29	1,37	0,92	<0,0001	
Contracción tangencial total (%)	136	6,25	1,01	0,98	0,3376	SI
Contracción volumétrica total (%)	136	10,92	2,16	0,92	<0,0001	
Hinchamiento axial total (%)	135	0,39	0,31	0,87	<0,0001	
Hinchamiento radial total (%)	137	4,5	1,51	0,92	<0,0001	
Hinchamiento tangencial total (%)	136	6,68	1,15	0,98	0,3713	SI
Hinchamiento volumétrico total (%)	136	11,56	2,41	0,92	<0,0001	
Coeficiente de retracción axial	129	0,03	0,01	0,83	<0,0001	
Coeficiente de retracción radial	138	0,19	0,05	0,92	<0,0001	
Coeficiente de retracción tangencial	131	0,25	0,03	0,98	0,1976	SI
Anisotropía de la contracción	128	1,47	0,35	0,91	<0,0001	
Anisotropía del hinchamiento	128	1,5	0,37	0,91	<0,0001	
Punto de saturación de fibras	138	24,3	2,18	0,97	0,1372	SI
MOR a la Compresión paralela a las fibras (kg/cm^2)	136	369,68	114,54	0,95	<0,0001	
MOE a la Compresión paralela a las fibras (Kg/cm^2)	126	23848,16	6684,61	0,96	0,0049	
MOR a la Flexión estática (kg/cm^2)	138	790,02	263,82	0,94	<0,0001	
MOE a la Flexión estática (Kg/cm^2)	138	95372,66	30690,44	0,93	<0,0001	

5.2. Propiedades físicas

5.2.1. Peso específico aparente

En la **Tabla 2** se presenta la comparación de medias de los pesos específicos aparentes a distintos contenidos de humedad para cada tratamiento

Tabla 2. Pesos específicos aparentes a distintos contenidos de humedad por tratamiento.

PESOS ESPECIFICOS APARENTES (gr/cm^3)				
Tratamientos	**Estacionado**	**Anhidro**	**Saturado**	**Básico**
T1	0,45 a	0,42 a	1,02 a	0,37 a
T2	0,68 b	0,65 b	1,13 b	0,56 b

Las medias con una letra en común no son significativamente diferentes (α = 0,05).

Los valores de peso específico aparente estacionado, anhidro, saturado y básico presentaron diferencias significativas entre tratamiento, siendo los valores superiores para el T2 (Ensayo de Progenies).

Analizando los valores determinados para el T1 (Huerto Semillero Clonal) el valor de peso específico aparente estacionado fue superior al encontrado por MOYA *et al.,* (2013) para *Pinus elliottii* de 15 años de edad. Valores similares peso específico aparente estacionado y saturado fueron por hallados por WINCK (2023) para el pino híbrido de 11 años, en cambio los valores de peso específico aparente anhidro y básico obtenidos en este estudio resultaron superiores (ver **Tabla 5**). Los valores obtenidos de peso específico aparente estacionado, anhidro y básico resultaron inferiores a los hallados por GONZALES *et al.,* (1992) para *Pinus elliottii* de 13 y 18 años de edad y por PEREYRA *et al*., (2007) para el pino híbrido entre 9 y 14 años. Así también BARTH et al., (2012) obtuvo un valor de peso específico aparente básico inferior para *Pinus taeda* L. de 15 años de edad.

Para el T2 (Ensayo de Progenies) se observó que los valores del peso específico aparente estacionado, anhidro, saturado y básico fueron superiores al de otros trabajos citados en esta investigación.

El valor más elevado de peso específico para el T2, cuyos valores de PEAE, PEAA y PEAB resultan en un 30 % superior al T1, están asociados 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 y este comportamiento puede ser atribuido a la densidad inicial de plantación del Ensayo de Progenie (3 x 3m) que es menor a la densidad de plantación inicial del Huerto Semillero Clonal (6 x 6 m).

En la **Tabla 3** se presenta la comparación de medias de los pesos específicos aparentes según el ranking de crecimiento para cada tratamiento.

Tabla 3. Pesos específicos aparentes según el ranking de crecimiento.

PESOS ESPECÍFICOS APARENTES (g/cm^3)					
Tratamientos	**Ranking**	**Estacionado**	**Anhidro**	**Saturado**	**Básico**
T1	R1	0,46 a	0,42 a	1,04 a	0,38 a
	R2	0,44 a	0,41 a	1,00 b	0,37 a
T2	R1	0,69 a	0,67 a	1,13 a	0,57 a
	R2	0,67 a	0,64 a	1,13 a	0,55 a

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

No se observa diferencia significativa entre los rankings con excepción del peso específico saturado para el T1. Sin embargo, hay una tendencia de valores superiores de peso específico estacionado, anhidro, saturado y básico para el ranking 1 (R1 o superior) de crecimiento para los dos tratamientos.

5.2.2. Contenido de humedad y punto de saturación de fibras

En la **Figura 8** se comparan las medias del contenido de humedad y del punto de saturación de las fibras analizadas con el test DGC, para cada tratamiento. Dicho test permitió identificar diferencias entre medias para ambos tratamientos.

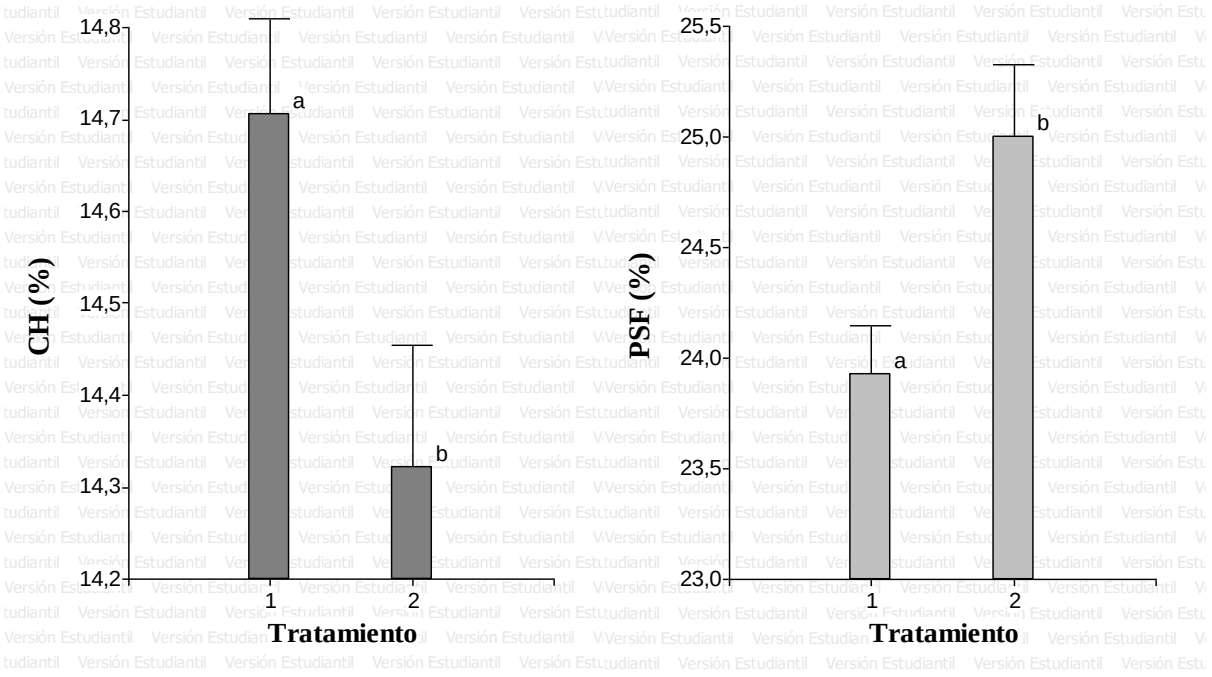


Figura 8. Comparación de medias del contenido de humedad (CH), y el punto de saturación de fibras (PSF) por tratamiento.

El contenido de humedad de las muestras para el T1 arrojó un valor medio de 14,71% y el PSF fue de 23,93%, considerado como valor normal entre las coníferas, que según CORONEL (1994) varía entre 21% y 28%. El PSF fue similar al obtenido por WINCK (2013) para *Pinus taeda* (23,77 %) de 20 años de edad. Para el T2 el contenido de humedad obtenido fue de 14,32% y el PSF fue de 25%, este último valor fue similar al hallado por PEREYRA *et al.*, (2007) para la madera del pino híbrido, entre 9 y 14 años de edad, así también obtuvo valores similares de CH tanto para el T1 como el T2.

Las maderas de menor densidad, (en este caso T1), tienden a alcanzar un mayor contenido de humedad en condiciones estacionadas, es decir, absorben más humedad del ambiente antes de alcanzar su equilibrio. Mientras que, las maderas de mayor densidad, (en este caso T2), tienden a lograr un CH estacionado más bajo y alcanzan su equilibrio con menos humedad del ambiente. El valor más elevado del PSF para T2 está relacionado a una mayor densidad, es decir, paredes celulares más gruesas, lo cual le otorga una mayor capacidad para absorber y perder agua de imbibición o de impregnación de la pared celular (CORONEL, 1994, SCHULGASSER y WITZTUM, 2015).

En la **Tabla 4** se presenta la comparación de medias para el contenido de humedad (CH) y el Punto de saturación de las fibras (PSF) según el ranking de crecimiento para cada tratamiento.

Tabla 4.Valores del contenido de humedad (CH) y punto de saturación de fibras (PSF) según el ranking de crecimiento.

Tratamientos	Ranking	CH (%)	PSF (%)
T1	R1	15,08 a	24,27 a
	R2	14,18 b	23,42 a
T2	R1	14,54 a	25,43 a
	R2	14,10 a	24,57 a

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

Los mayores valores de CH y PSF corresponden al ranking superior para los dos tratamientos, con diferencia significativa para el CH del T1, donde el valor de R1 es 6% mayor a R2.

5.2.3. Contracción e hinchamiento de la madera

5.2.3.1.Contracción lineal (estado estacionado al anhidro)

El comportamiento en cuanto a la pérdida o absorción de agua en la madera varía según la dirección analizada, se puede observar que los valores son mayores en la dirección tangencial,

seguida de la radial. Los valores medios de contracción del estado estacionado al anhidro obtenidos para el T1 fueron de 0,34%, 2,27%, 3,33%, y 5,99% en el sentido axial, radial, tangencial y volumétrica, respectivamente. Los valores de hinchamiento hallados fueron de 0,34%, 2,32%, 3,48%, y 6,16% en el sentido axial, radial, tangencial y volumétrica, respectivamente. Para el T2 los valores medios de contracción fueron de 0,43%, 3,47%, 3,88% y 7,74% en el sentido axial, radial, tangencial y volumétrica, respectivamente. Los valores de hinchamiento hallados fueron de 0,43%, 3,59%, 4,04% y 8,02% en el sentido axial, radial, tangencial y volumétrica, respectivamente. Los valores de contracción obtenidos en ambos tratamientos resultaron superiores a los expresados por WINCK (2023) para el pino híbrido de 11 años, que fueron de 1,18%, 2,49 % y 4,49% para la contracción radial, tangencial y volumétrica, respectivamente.

En la **Figura 9** se comparan las medias para las contracciones del estado estacionado al anhidro, en el sentido axial, radial, tangencial y volumétrica para cada tratamiento.

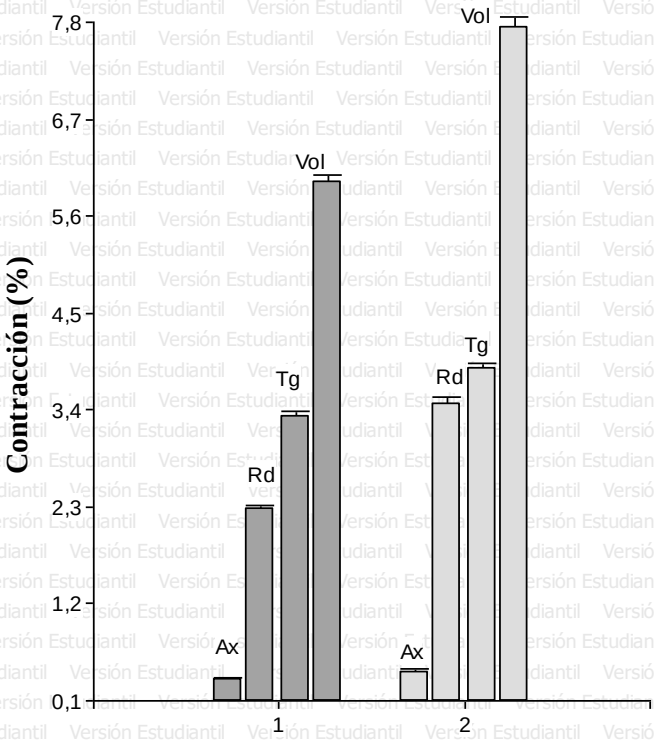


Figura 9. Comparación de medias de contracción en el sentido axial, radial, tangencial y volumétrica por tratamiento. Las barras corresponden al error estándar.

Se pudo detectar diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (p-valor ≤ 0,05). Las muestras provenientes del T2 presentaron mayores valores de contracción e hinchamiento.

En la **Figura 10** se presenta la comparación de medias para la contracción e hinchamiento lineal (estado estacionado al anhidro): axial, radial, tangencial y volumétrica según el ranking de crecimiento para cada tratamiento.

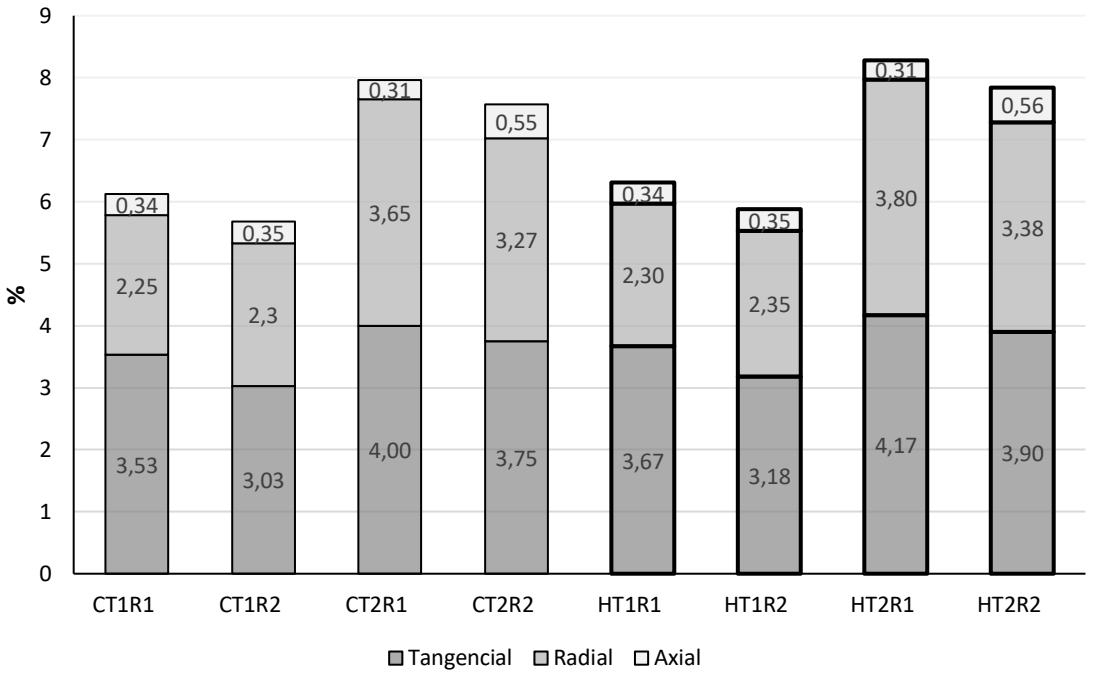


Figura 10. Comparación de medias para la contracción e hinchamiento axial, radial y tangencial según el ranking de crecimiento por tratamiento. (C: contracción, H: hinchamiento, T: tratamiento, R: ranking de crecimiento).

Para el T1 se observó diferencias estadísticas significativas para la contracción tangencial y volumétricas, con valores mayores de 14 % y 5 %, respectivamente, para R1. Para el hinchamiento ese incremento fue similar.

En el T2 se observó diferencias estadísticas significativas en todos los sentidos siendo los valores radial, tangencial y volumétrico mayores para el R1 (10% radial, tangencial y volumétrica 6% mayor que R2). Similar incremento ocurrió para el hinchamiento.

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). Notándose además que, las muestras obtenidas del ranking 1 tanto para T1 como para T2, presentaron una tendencia a alcanzar mayores valores de contracción e hinchamiento volumétrico.

5.2.3.2.Contracción total (estado saturado al anhidro)

Los valores de contracciones total encontrados para T1 fueron de 0,35%, 3,50 %, 5,84% y 9,68% en sentido axial, radial, tangencial y volumétrica, respectivamente. Los valores de hinchamiento obtenidos fueron de 0,35% axial, 3,63% radial, 6,21% tangencial y 10,19% volumétrico. Los valores de contracción para el T1 encontrados en este trabajo resultaron

superiores a los expresados por SANTINI *et al.* (2000), quienes obtuvieron valores de contracción total tangencial de 5,8 %, y volumétrico de 9,8%. GONZALES *et al.*, (1992), reportaron valores medios de contracciones en el sentido radial y volumétrica algo superior a lo determinado en este estudio. En **Tabla 5** se presenta una comparación de los valores de contracciones e hinchamientos hallados en este trabajo y por otros autores para el género *Pinus*.

Tabla 5. Comparación de los valores de PEAB, contracciones e hinchamientos para el género *Pinus* según bibliografía.

Bibliografía		PEAB(g/cm3)	Contracción				Hinchamiento			
			Ax	Rd	Tg	Vol	Ax	Rd	Tg	Vol
VERÓN, 2024	T1	0,37 a	0,35 a	3,50 a	5,84 a	9,68 a	0,35 a	3,63 a	6,21 a	10,19 a
	T2	0,56 b	0,45 a	5,80 b	7,04 b	13,37 b	0,45 a	6,17 b	7,58 b	14,30 b
GONZALES *et al.*, (1992)		0,44	…….	4,05%	5,48%	9,92%	…….	…….	…….	…….
SANTINI *et al.*, (2000)		0,41	…….	3,90%	5,80%	9,80%	…….	…….	…….	…….
WINCK (2013)		0,38- 0,42	0,44%	3,33%	6,18%	9,95%	0,44%	3,46%	6,59%	10,50%
PEREYRA *et al.*, (2007)		0,42	0,59%	4,24%	5,41%	…….	0,59%,	4,44%,	5,724%,	…….
WINCK (2023)		0,36	1,54%	2,72%	5,40%	9,57%	…….	…….	…….	…….

(PEAB: peso específico aparente básico, Ax: axial, Rd: radial, Tg: tangencial, Vol: volumétrico)

WINCK (2013) para *Pinus taeda* de 20 años, obtuvo contracciones tangencial y volumétrico algo superiores, mientras que PEREYRA (2007) y WINCK (2023) para pino híbrido, informaron menores valores de contracción e hinchamiento en los sentidos radial, tangencial y volumétrico.

Los valores de contracciones total encontrados para T2 fueron de 0,45%, 5,80 %, 7,04% y 13.37% en sentido axial, radial, tangencial y volumétrica, respectivamente. Los valores de hinchamiento obtenidos fueron de 0,45% axial, 6,17% radial, 7,58% tangencial y 14,30% volumétrico. Estos valores para el T2 en los sentidos radial, tangencial y volumétrico resultaron superiores a los expresados por los autores citados anteriormente.

En la **Figura 11** se comparan las medias para las contracciones totales del estado saturado al anhidro en el sentido axial, radial, tangencial y volumétrica por tratamiento.

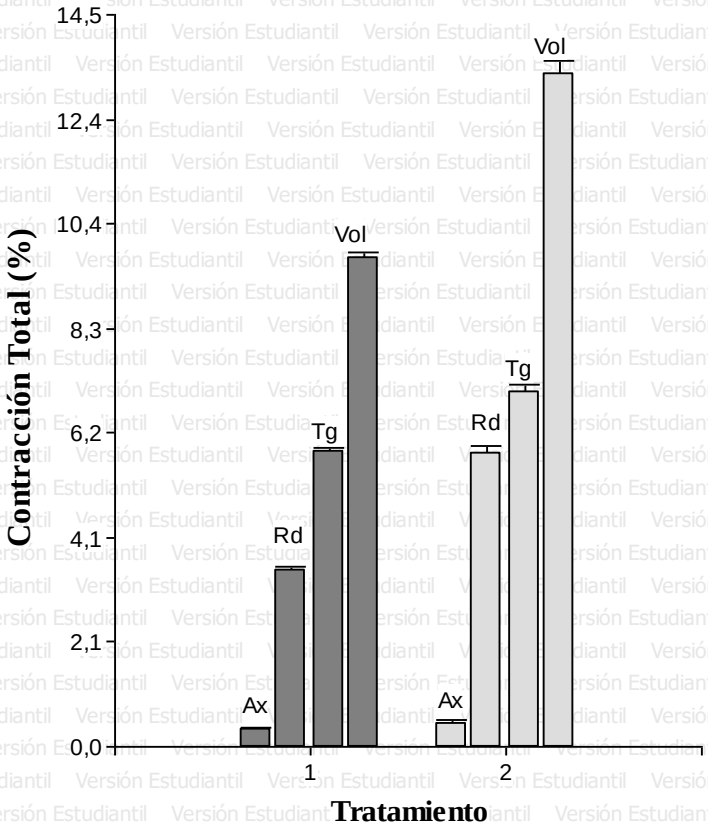


Figura 11. Comparación de medias de contracción total axial, radial, tangencial y volumétrica por tratamiento. Las barras corresponden al error estándar.

Se observaron diferencias significativas en los valores de contracciones e hinchamiento total entre los T1 y T2, en el sentido radial, tangencial y volumétrica, excepto en sentido axial. Se observa además (**Figura 11**) que existe mayor variación de contracciones entre el sentido tangencial y radial del estado saturado al anhidro para el T1, no así en el T2 donde dicha variación fue menor, resultando en un menor valor de anisotropía y por lo tanto será madera más estable dimensionalmente. El mismo comportamiento ocurre para las contracciones lineales.

En general se pudo observar que las contracciones del estado saturado al anhidro duplican a los valores del estado estacionado al anhidro.

En la **Figura 12** se presenta la comparación de medias para la contracción e hinchamiento total axial, radial, tangencial y volumétrica total según el ranking de crecimiento para cada tratamiento.

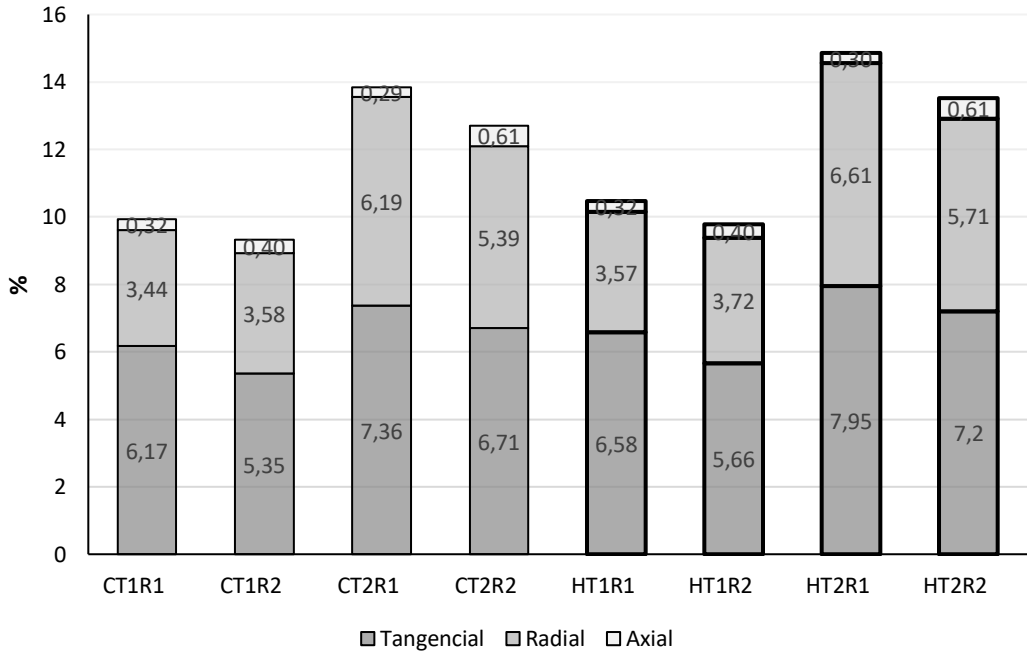


Figura 12. Comparación de medias para la contracción e hinchamiento total axial, radial y tangencial según el ranking de crecimiento por tratamiento. (C: contracción, H: hinchamiento, T: tratamiento, R: ranking de crecimiento)

Para el T1 se observó diferencia significativa entre rankings para la contracción en el sentido tangencial y volumétrica, siendo el incremento de 13% y 5%, respectivamente para R1. Similar comportamiento ocurrió para el hinchamiento en las mismas direcciones.

El T2 presentó diferencia estadísticamente significativa entre ranking para la dirección radial y tangencial con valores de 13% y 9 % mayores para R1, respecto al R2. Un comportamiento similar se observó para el hinchamiento en las mismas direcciones.

En la **Tabla 6** se presentan los valores de los coeficientes de retractabilidad y anisotropía para cada tratamiento.

Tabla 6. Valores medios de coeficientes de retractabilidad y anisotropía por tratamiento.

COEFICIENTE DE RETRACTABILIDAD				ANISOTROPIA	
Tratamiento	**Axial**	**Radial**	**Tangencial**	**Contracción**	**Hinchamiento**
T1	0,02 a	0,16 a	0,24 a	1,62 a	1,66 a
T2	0,03 b	0,24 b	0,27 b	1,19 b	1,21 b

Se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos tanto para el coeficiente de retractabilidad y para la anisotropía. Los valores medios de coeficiente de retractabilidad para el T1 fueron de 0,16 y 0,24 en sentido radial y tangencial respectivamente; valores similares a los obtenidos por PEREYRA (2007), para el pino híbrido (de 0,19 radial y 0,21 tangencial). Mientras que WINCK (2023) obtuvo resultados inferiores de coeficientes, los cuales fueron de 0,08 radial

y 0,17 tangencial, esto se debe a la menor edad (pino híbrido de 11 años). Para el T2 los valores medios del coeficiente obtenidos fueron de 0,24 y 0,27 en sentido radial y tangencial respectivamente; siendo estos valores superiores a los hallados por otros autores citados hasta aquí.

Los valores de coeficientes de retracción radial y tangencial son considerados de gran importancia en el dimensionamiento de las piezas, estos valores serán mayores para maderas de elevada densidad (CORONEL, 1994). Son esenciales para comprender cómo la madera se comporta durante el secado y cómo afecta su uso en aplicaciones específicas (WINCK, 2023).

Los valores de anisotropía para la contracción e hinchamiento para el T1 encontrado en este trabajo fueron de 1,62 y 1,66 respectivamente. Estos valores resultaron superiores a los hallados por GONZALES *et al*., (1992), quienes obtuvieron un valor de 1,35 para *Pinus elliottii* de 13 a 18 años de edad. El coeficiente fue menor comparado con los expresados por WINCK (2013) al estudiar al *Pinus taeda* con un valor medio de anisotropía de 1,93. En cambio WINCK, 2023 obtuvo un valor de 2,3 para el pino híbrido, muy superior a los expresados hasta aquí. Los valores de anisotropía para la contracción e hinchamiento para el T2 obtenido fue de 1,19 y 1,21 muy inferiores a los expresados por otros autores citados en este trabajo.

Al ser la anisotropía un indicador de la estabilidad dimensional de la madera, cuanto mayor es la relación entre la dirección tangencial y radial, mayor será el valor de anisotropía, produciendo dificultades (defectos de deformación en las piezas de madera) en el proceso de secado. Los valores de coeficiente de anisotropía encontrado en este trabajo representan un valor considerado dentro del rango 1,2 a 1,5, que es madera muy buena (T2) y dentro del rango 1,6 a 1,9 considerado como comportamiento normal (T1); es decir, que en general la madera del *Pinus elliottii* es una madera muy estable puesta en servicio.

En la **Tabla 7** se presenta la comparación de medias de coeficientes de retractabilidad y anisotropía según el ranking de crecimiento para cada tratamiento.

Tabla 7.Valores medios de los coeficientes de retractabilidad y anisotropía según el ranking de crecimiento.

COEFICIENTE DE RETRACTABILIDAD					ANISOTROPIA	
Tratamientos	**Ranking**	**Axial**	**Radial**	**Tangencial**	**Contracción**	**Hinchamiento**
T1	R1	0,02 a	0,15 a	0,24 a	1,71 a	1,76 a
	R2	0,02 a	0,16 a	0,23 a	1,50 b	1,53 b
T2	R1	0,02 a	0,25 a	0,28 a	1,21 a	1,22 a
	R2	0,04 b	0,23 a	0,27 a	1,18 a	1,20 a

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

Para el T1 no se observaron diferencias significativas entre ranking para el coeficiente de retractabilidad. Para el T2 hubo diferencias significativas en sentido axial donde el valor de R2 es 50% mayor al R1. Para ambos materiales genéticos (T1 y T2), la madera perteneciente al ranking 2, presentó valores de anisotropía compatibles con mayor estabilidad dimensional.

En base a los resultados de las propiedades físicas obtenidas, podemos decir que la madera proveniente del T2 presentan valores mayores de contracción en todos los sentidos, asociado a una mayor cantidad de material leñoso, paredes celulares más gruesas y densidades más elevadas (Coronel, 1994) y menor valor de anisotropía, lo cual indica madera con un mejor comportamiento respecto a la estabilidad dimensional y de trabajabilidad óptima; siendo a su vez madera de calidad tecnológica superior al material genético proveniente del T1, lo que probablemente se deba al manejo realizado en el Ensayo de Progenies (menor distanciamiento entre plantas).

5.3. Propiedades mecánicas

5.3.1. Flexión estática

En la **Figura 13** se presenta la comparación de las medias para de módulo de rotura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) a la flexión estática de *Pinus elliottii* para cada tratamiento.

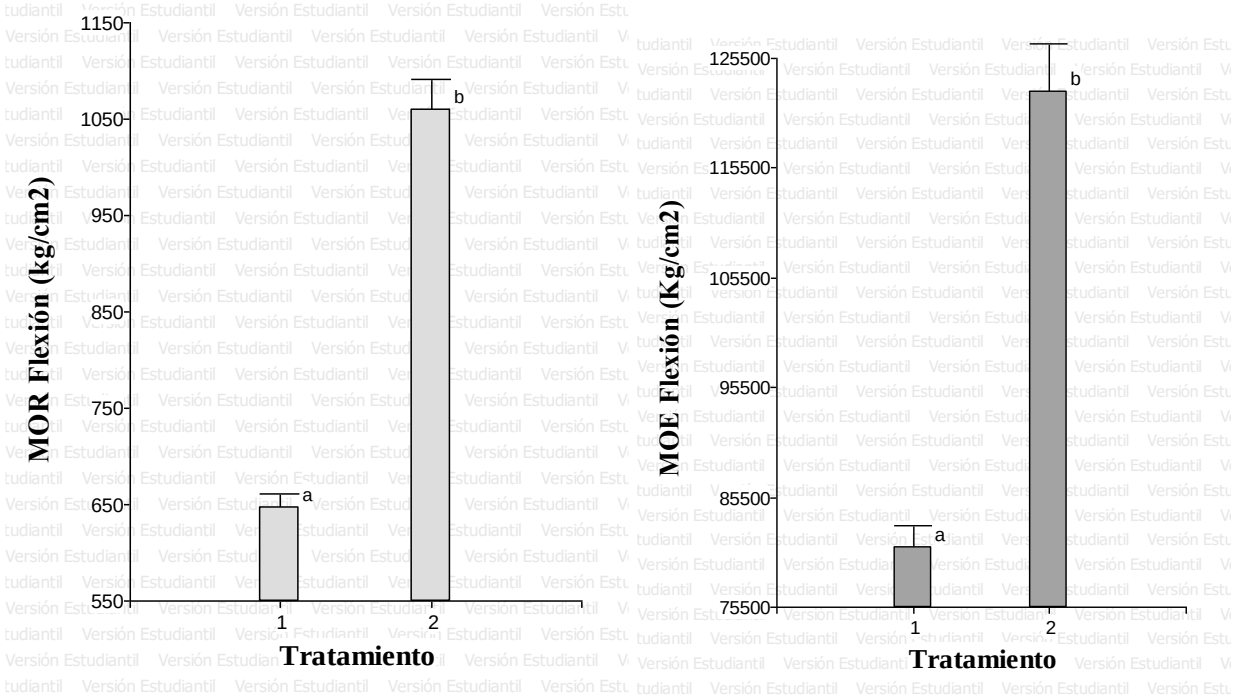


Figura 13. Comparación de medias del módulo de rotura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) a la flexión estática por tratamiento.

Se encontraron diferencias significativas entre los valores de MOR y MOE entre tratamientos. Los valores de MOE y MOR obtenidos para el T1 fueron de 80.898 kg/cm^2 y 646

kg/cm^2, respectivamente. Para el T2 los valores hallados de MOE y MOR fueron de 122.512 kg/cm^2 y 1.059 kg/cm^2, respectivamente, siendo estos valores superiores comparados con el T1.

En la **Tabla 8** se presenta una comparación con los valores de MOE y MOR obtenido en este trabajo y por otros autores para el género *Pinus* para la Flexión estática y compresión paralela a las fibras.

Tabla 8. Comparación de valores de Flexión estática y Compresión paralela a las fibras para el género *Pinus* según bibliografía.

Bibliografía		Flexión estática		Compresión paralela a las fibras	
		MOR (kg/cm^2)	MOE (Kg/cm^2)	MOR (kg/cm^2)	MOE (kg/cm^2)
VERÓN, 2024	T1	646,52a	80.898,25a	310,15a	21.275,77a
	T2	1059,1b	12.2512,2b	478,81b	28.992,95b
GONZALES et al., (1992)		920,68	52.416,88	…….	…….
SANTINI et al., (2000)		555	73266	292	73.531
SUIREZS et al., (2006)		1.018,09	62.167,78	322,32	…….
MOYA et al., (2013)		477,22	52.250,26	277,36	…….
RAMOS et al., (2015)		316,2	71.032,8	…….	…….
GENES (2017)		900,4	92749,2	…….	…….
WINCK (2013)		705,6 - 813,7	79.487 -101.441	356,9 - 438,5	15.102 -18.528
PEREYRA et al., (2007)		704,24	91.693,77	270,71	13.438,51
WINCK (2023)		382	92.813,89	…….	…….

Respecto al T1 se puede ver que el valor tanto de MOR y MOE obtenido en este trabajo fue superior al encontrado por MOYA *et al.,* (2013) para esta misma especie a los 15 años de edad (477 kg/cm^{2}y 52.250 kg/cm^2) y al hallado por SANTINI et al., (2000) para la madera de *Pinus elliottii* de 13 años (555 kg/cm^{2}y 73.266 kg/cm^2). Asimismo, RAMOS *et al.,* (2015) presentaron valores inferiores de MOE y MOR para tablas aserradas de escuadrías comerciales ensayadas a la flexión. El resultado de mayores valores para probetas, respecto al ensayo con tablas enteras resulta razonable, dado que las piezas enteras se encuentran defectos propios de la especie. Mientras que, en las probetas de estos ensayos son libres de defectos.

Comparando con los valores que obtuvieron GONZALES *et al.,* (1992), (MOR 920 kg/cm^2, MOE 52.416 kg/cm^2), el valor del MOR obtenido en este trabajo resultó menor, por el contrario, el MOE fue muy superior. Por otro lado, SUIREZS *et al.,* (2006) para *Pinus elliottii* de 16 años de edad, obtuvieron valores medios de MOR superior (1.018 kg/cm^2) y MOE inferior (62.167 kg/cm^2) al encontrado en esta investigación. Los resultados de PEREYRA *et al.,* (2007), para el pino híbrido F_2 (de segunda generación) de 9 y 14 años de edad, fueron superiores a los presentados en este trabajo; al igual que los hallados por WINCK (2023) para el MOE del pino híbrido F_1 de 11 años.

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 hasta aquí.

En la **Tabla 9** se presenta la comparación de medias para del módulo de rotura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) a la flexión estática según el ranking de crecimiento para cada tratamiento.

Tabla 9.Valores medios del módulo de rotura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) a la flexión estática según el ranking de crecimiento.

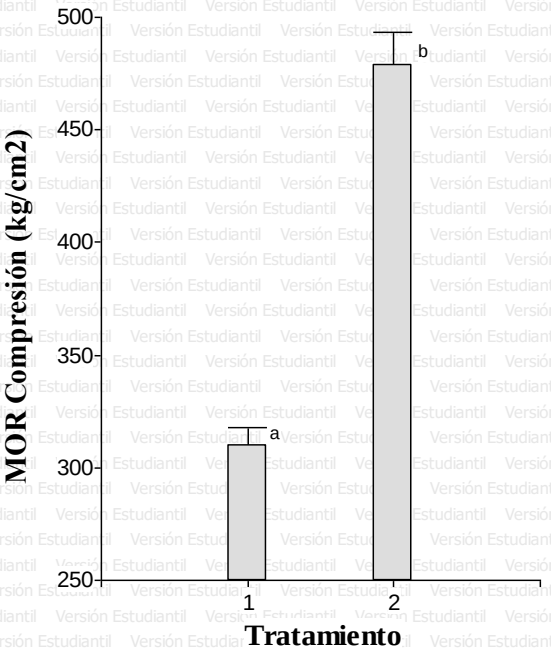
Tratamientos	Ranking	MOR	MOE
T1	R1	629 a	79.658 a
	R2	672 a	82.759 a
T2	R1	1.173 a	141.963 a
	R2	945 b	103.061 b

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

Para el T1, no hubo diferencias estadísticas significativas en el módulo de elasticidad y rotura a la flexión estática según el ranking de crecimiento. Mientras que, para T2 las propiedades mecánicas fueron superiores para las muestras proveniente de materiales del ranking 1 de crecimiento. Estos resultados son alentadores, debido a que con la aplicación de un manejo adecuado al rodal se podría seleccionar por crecimiento sin que las propiedades mecánicas sean negativamente afectadas. Un comportamiento similar fue hallado por WINCK (2023) para pino híbrido F_1 de 11 años, donde no detectó diferencias estadísticas significativas entre las familias del ranking inferior, medio y superior para las variables densidad estacionada, MOE y MOR a la flexión estática, respectivamente. Sin embargo, con una tendencia de mayores valores de MOE para las familias pertenecientes al ranking superior.

5.3.2. Compresión paralela a las fibras

En la **Figura 14** se presenta la comparación de las medias para de módulo de rotura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) a la compresión paralela a las fibras para *Pinus elliottii* de cada tratamiento.



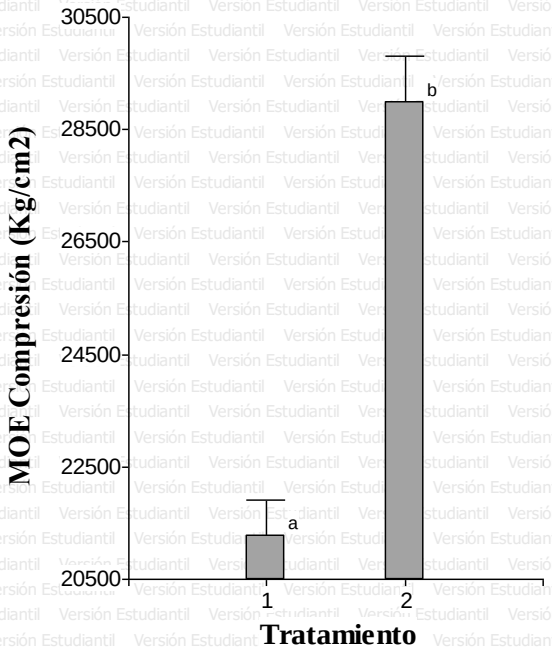


Figura 14. Comparación de medias del módulo de rotura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) a la compresión paralela a las fibras por tratamiento.

Se pudo observar diferencias estadísticamente significativas en los valores medios de la resistencia y rigidez a la compresión paralela a las fibras para el *Pinus elliottii* de ambos tratamientos. Los valores medios hallados de MOR y MOE para *Pinus elliottii* para el T1 fueron de 310 kg/cm^2 y 21.275 kg/cm^2 respectivamente. Para el T2 el MOR fue de 478 kg/cm^2 y el MOE de 28.993 kg/cm^2.

El valor del MOR para T1 y T2, resultó superior al compararlo con el obtenido por SANTINI *et al.*, (2000), no así para el MOE a la compresión paralela a las fibras (73.531 kg/cm^2) (ver **Tabla 8**). De manera similar, los valores de MOR obtenido por MOYA *et al.*, (2013) para *Pinus elliottii* de 15 años y los valores de MOE y MOR presentados por PEREYRA *et al.*, (2007), para el pino híbrido de entre 9 y 14 años, fueron inferiores al obtenido tanto para el T1 como para el T2. SUIREZS *et al.*, (2006) obtuvo un valor similar al T1 de MOR (322 kg/cm^2) para el *Pinus elliottii* de 16 años de edad, pero inferior comparado con el valor del T2.

Se puede observar que el *Pinus elliottii* proveniente del Ensayo de Progenies de Lipsia (T2) presentó mayor resistencia y rigidez a la compresión respecto al *Pinus elliottii* del Huerto Semillero Clonal de San Antonio (T1). Este comportamiento se observó en todas las variables estudiadas por ello se sugiere tomar un mayor número de muestras para el T2, para evitar subestimar los valores de las propiedades del *Pinus elliottii* Lipsia. Cabe mencionar que se evaluaron 8 ejemplares del Ensayo de Progenies de Lipsia, mientras que en el Huerto Semillero Clonal de San Antonio se analizaron 15 árboles.

En la **Tabla 10** se presenta la comparación de medias para del módulo de rotura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) a la compresión paralela a las fibras según el ranking de crecimiento para cada tratamiento.

Tabla 10.Valores medios del módulo de rotura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) a la compresión paralela a las fibras según el ranking de crecimiento.

Tratamientos	Ranking	MOR	MOE
T1	R1	318 a	21.533 a
	R2	298 a	20.878 a
T2	R1	524 a	31.492 a
	R2	434 b	26.721 b

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

Para ambos tratamientos se obtuvieron valores superiores para el material correspondiente al ranking superior de crecimiento (R1). Aunque para el T1 no se observaron diferencias significativas el valor del MOR y MOE para R1 resultó 6% y 3% mayor, respectivamente, respecto de R2. Para el T2 hubo diferencias significativas, siendo el valor del MOR y MOE para R1 17% y 15% mayor, respectivamente, respecto de R2.

Al igual que las propiedades a la flexión estática, para la compresión paralela a las fibras se notó una tendencia de mayores valores para el ranking 1 de crecimiento, aún con distanciamiento entre plantas muy diferentes entre el Huerto Semillero Clonal y el Ensayo de Progenies.

6. CONCLUSION

El estudio de las propiedades físicas y mecánica llevadas a cabo para determinar la calidad de la madera de *Pinus elliottii* Engelm proveniente de un Huerto Semillero Clonal y de un Ensayo de Progenies, permitió concluir que:

El *Pinus elliottii* del Ensayo de Progenies (T2) presentó superioridad en las características de su madera comparados con el *Pinus elliottii* del Huerto Semillero Clonal (T1).

La madera de *Pinus elliottii* Engelm, a los 16 años se encuentra entre los rangos de clasificación de maderas muy livianas a livianas por su peso específico aparente, siendo esta variable junto con el hinchamiento de la madera, similares a otros estudios.

Las contracciones lineales y totales para el Ensayo de Progenies (T2) presentaron similitud en los sentidos radiales y tangenciales lo que permite obtener madera más estable dimensionalmente. El coeficiente de anisotropía permitió clasificar a la madera del *Pinus elliottii*

como una madera muy estable puesta en servicio, con mejor comportamiento para la madera que pertenecía al ranking 2 de crecimiento, tanto para Huerto Semillero Clonal, como para el Ensayo de Progenies.

En cuanto a las propiedades mecánicas, el módulo de rotura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) a la flexión estática fueron superiores a otros valores determinados para la misma especie con un menor grado de mejora.

De los materiales proveniente del Huerto Semillero Clonal (HSC) (T1) y del Ensayo de Progenies (EP) (T2) comparados en este trabajo se determinó que el T2 presentó superioridad para todas las variables analizadas; con mayor peso específico, mayor PSF, mayor contracción e hinchamiento, mayor coeficiente de retracción y menor anisotropía, así como también mayores valores de resistencia y rigidez a la flexión estática y compresión paralela a las fibras, esto probablemente se deba al manejo más adecuado respecto al distanciamiento entre plantas 3 x 3 m, respecto a 6 x 6 m que tenía el Huerto semillero Clonal. Con esta densidad de plantación, aún con un grado de mejora inferior al Huerto Semillero Clonal, permitió la obtención de madera con mayor densidad, módulo de elasticidad y de rotura a la flexión estática, esto pone en evidencia la importancia ya conocida de los distintos factores que alteran las propiedades de la madera.

En cuanto al análisis según el ranking de crecimiento de las muestras evaluadas se determinó que, en general, los mejores valores para las propiedades evaluadas 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.

Teniendo en cuenta que el tamaño de la muestra para el Ensayo de Progenies fue menor al de Huerto Semillero Clonal (HSC), se sugiere aumentar dicho tamaño de muestra para evitar subestimar los valores de las propiedades del *Pinus elliottii* Lipsia.

7. AGRADECIMIENTOS

A los profesionales del INTA Montecarlo, que me proporcionaron los materiales para el estudio, a la Dra. María Elena Gauchat, al M.s. C.s. Ector Belaber, al M.s. C.s. Cristian Rotundo y al Ing. Cristian Schoffen.

A mi directora de tesis, Dra., Ángela Rosa Winck, por permitirme formar parte del proyecto, por guiarme en el desarrollo de mi tesis, por brindarme sus conocimientos, espacio de trabajo, y su ayuda con la metodología de análisis estadístico.

A mi co-directora de tesis, la Ingeniera en Industrias de la Madera Adelaida Bragañolo, por asesorarme durante los ensayos de medición de las probetas, por su valioso aporte y tiempo dedicado durante este proceso.

A Mariano Palacio, por su tiempo y dedicación para preparar las probetas para realizar los ensayos.

A mis padres y hermanos por el aliento y la fuerza para lograr este objetivo de formarme como profesional.

A mi compañero de vida, Roberto Escobar por todo su apoyo a lo largo de todos estos años, por la paciencia y amor incondicional que me han ayudado a alcanzar esta meta.

A mis hijos, Mateo y Sofía que son y serán mi mayor fortaleza y motivo para no rendirme nunca.

A mis amigos y compañeros, por haberme acompañado a lo largo de este trayecto en mi carrera universitaria.

A todos los docentes que me han encaminado, alentado y brindado todo su invaluable conocimiento.

A esta alta casa de estudios la Facultad de Ciencias Forestales, por brindarme la formación y los conocimientos adquiridos.

A Dios por ser mi guía y por darme la bendición de llegar hoy a alcanzar este objetivo tan anhelado.

8. BIBLIOGRAFÍA

BALZARINI, M., MACCHIAVELLI, R., & CASANOVES, F. (2004). Aplicaciones de modelos mixtos en agricultura y forestería. Curso de Capacitacion Centro Agronomico Tropical de Investigación y Enseñanza-CATIE.

BANDERA, F. E., & PÉREZ P. L. (2018). Los modelos lineales generalizados mixtos. Su aplicación en el mejoramiento de plantas. Cultivos tropicales, 39(1), 127-133.

BARTH, S. R., Fassola, H. E., Crechi, E., Keller, A. E., Winck, R. A., Figueredo, E. I., & Knebel, O. E. (2012). Densidad de la madera de *Pinus taeda* L. implantado en la zona Misiones–noreste Corrientes, Argentina, en sentido longitudinal y transversal. 15as Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM-EEA Montecarlo, INTA.

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.

GARTLAND, M.G; BOHREN, A.V. 2008. Dendrología Especial. Árboles forestales de Argentina. Cátedra de Dendrología. Universidad Nacional de Misiones; Editorial Universitaria. 132 pp.

GAUCHAT, M. E.; Belaber, E.; Cappa, E.; Vera, C.; López, A.; Aparicio, A.; Fornes, L.; Mondino, V.; Martinez-Meier, A.; Villalba, P.; Marcucci, S. 2016. Subprograma Pinus y Pseudotsuga. Domesticación y Mejoramiento de Especies Forestales. Extraído el 6 de septiembre de 2017, de:https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss_desarrollo_foresto_industrial/biblioteca_forestal/publicaciones/_archivos//000000_Domesticaci%C3%B3n%20y%20Mejoramiento%20de%20Especies%20Forestales.pdf

GENES, P. Y. (2017). Parámetros genéticos de propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus elliottii* 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 elliottii* reforestado en la provincia de Misiones, Argentina. Yvyrareta 3(3):5-19.

IRAM 9544. Norma para métodos de determinación de densidad aparente en maderas. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, Argentina. 1973. 6p.

IRAM 9532. Norma para método de determinación de humedad. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, Argentina. 1973. 11p.

IRAM 9543. Norma para método de determinación de las contracciones totales, axial, radial y tangencial. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, Argentina. 1966. 4p.

IRAM 9542. 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. 1965. 6p.

IRAM 9541. 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. 1965. 3p.

LOPEZ, J.A.; Genes, P.Y.; Hernandez, 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. 2004.Fichas técnicas de especies nativas e implantadas de Argentina. Extraído el 10 Mayo de 2017, de: http://forestoindustria.magyp.gob.ar/archivos/biblioteca-forestal/fichas-tecnicas-de-especies-nativas-e-implantadas-de-argentina.pdf

MAGyP. 2010. CARACTERÍSTICAS DE LA REGIÓN –Misiones. Extraído el 26 julio, de: http://forestoindustria.magyp.gob.ar/archivos/informacion-por-region/misiones.pdf

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

MARTINEZ, M. A.; Gallo, L. A.; Mondino, V.2005.Estrategia de mejoramiento genético de Pino ponderosa y pino oregón para la Región Patagónica. Extraído el 05 de Octubre de 2017, de:http://anterior.inta.gov.ar/ediciones/idia/forest/IDIA_8.pdf

MARCÓ, M. 2005. Conceptos generales del mejoramiento genético forestal y su aplicación a los bosques cultivados de la Argentina. Mejores Arboles 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.

MESÉN, F. (1994). Introducción al mejoramiento genético forestal. Curso nacional sobre identificación, selección y manejo de rodales semilleros. Baja Verapaz, Guatemala, 29-44.

MINISTERIO DE HACIENDA. 2016. Forestal, papel y muebles - Octubre de 2016. Informes De Cadena De Valor, 14. Extraído el 16 de mayo de 2017, de:https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sspe_cadena_de_valor_forestal_papel_muebles.pdf

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.

PEREYRA, O.; Suirezs, M. T.; Bobadilla, E. A.; Redka, L.; Kahlstorf, H. 2007. Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de la madera del híbrido *Pinus elliottii* x *Pinus caribea* var. *hondurensi*s y su comportamiento en la elaboración de productos remanufacturados. Código ISIF: II – 15, código incentivo: 16/F064.

RAMOS, R.; Fank, P.; Gómez, R.; Torrán, E.; Piter, J. C. 2015. Propiedades mecánicas y densidad de la madera de *Pinus elliottii* cultivado en la Mesopotamia. Análisis comparativo entre plantaciones cultivadas en Entre Ríos y Misiones. XXX Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia 2016.

SACKSER, M. R., Valdés, P. A., Grance, L. A., Bohren, A. V., Aguilera, M. A., Andrade, N. Y., & Grance, J. R. F. (2018). Densidad de la madera de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm de 21 años de edad, a distintas alturas desde la medula a la corteza; estimación del límite madera juvenil–madura.

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.

SHAPIRO, S.; Wilk, M. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). En: PEARSON, E.; Cox, D. (Eds.), Biometrika. (52º ed., pp. 591-611). The Biometrika Office, University College London. London.

SARANPÄÄ, P. (2003). “Wood density and growth”. En Barnett J.R., Jeronimidis G. (Eds), Wood Quality and its Biological Basis. 2003. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK: 87-117.

SUIREZS, T. M; Pereyra, O.; Elgert, R. R.; Magnago, S. 2006. Propiedades de la madera de *Pinus elliotti* Eng. de 13, 16 y 18 años de edad cultivados en la provincia de Misiones Argentina. IV Congreso Iberoamericano de Chile

SUIRESZ, T. M; Berger, G. 2009.Descripción de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Universitaria de Misiones. Posadas, Misiones.56 pp.

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.

WEBER, M. E. 2005. Densidad básica de madera de Pinus taeda L. Marion de diferentes edades, Misiones, Argentina. Revista FLORESTA. v. 35, n. 3. Páginas 487 – 494.

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 F_1 *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* basada en métodos no destructivos y destructivos (Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad Nacional de Misiones).

9. ANEXOS

Anexo 1. Ranking genético de crecimiento dentro de cada tratamiento.

Tratamientos	Posición del Ranking	Crecimiento	N° Árbol	Código	Edad del árbol	Anillos de donde se tomaron las probetas
T1	R1	Superior	6	E001-1	16	14-16
			4	E002-3	16	14-16
			12	E003-1	16	14-16
			9	E004-2	16	14-16
			2	E007-1	16	14-16
			13	E008-1	16	14-16
			5	E009-2	16	14-16
			3	E013-1	16	14-16
			7	E020-1	16	14-16
	R2	Inferior	10	E034-1	16	14-16
			11	E040-3	16	14-16
			15	E042-3	16	14-16
			8	E043-2	16	14-16
			14	E044-3	16	14-16
			1	E045-2	16	14-16
T2	R1	Superior	22	E005-1	24	14-16
			23	E005-2	24	14-16
			21	E010-1	24	14-16
			19	E021-2	24	14-16
	R2	Inferior	16	E031-2	24	14-16
			18	E032-1	24	14-16
			20	E034-3	24	14-16
			17	E035-2	24	14-16

T1: Huerto Semillero Clonal de *Pinus elliottii* y T2: Ensayo de Progenies de *Pinus elliottii*.

Anexo 2. Fotografías de probetas para ensayos físicos.

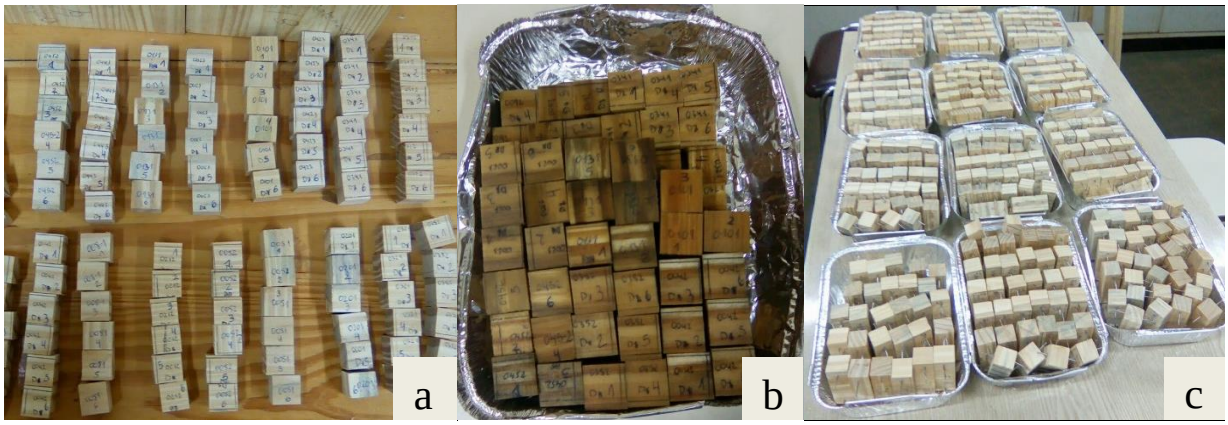


Figura 1. Anexo 2: Ensayos de propiedades físicas, a) preparación de probetas para densidad, b) probetas de densidad luego de la saturación, c) probetas para determinar contracción en los 3 planos de corte (axial, radial y tangencial).

Anexo 3. Fotografías de probetas para ensayos mecánicos.

Figura 1. Anexo 3. Ensayos de propiedades mecánicas, a) Preparación de probetas para ensayos de Flexión estática y Compresión paralela a las fibras, b) Probeta en ensayo de flexión, c) estado de probetas luego del ensayo de flexión.

Anexo 4.Gráficos de cajas y bigotes para las distintas variables estudiadas. Las barras indican el error estándar.

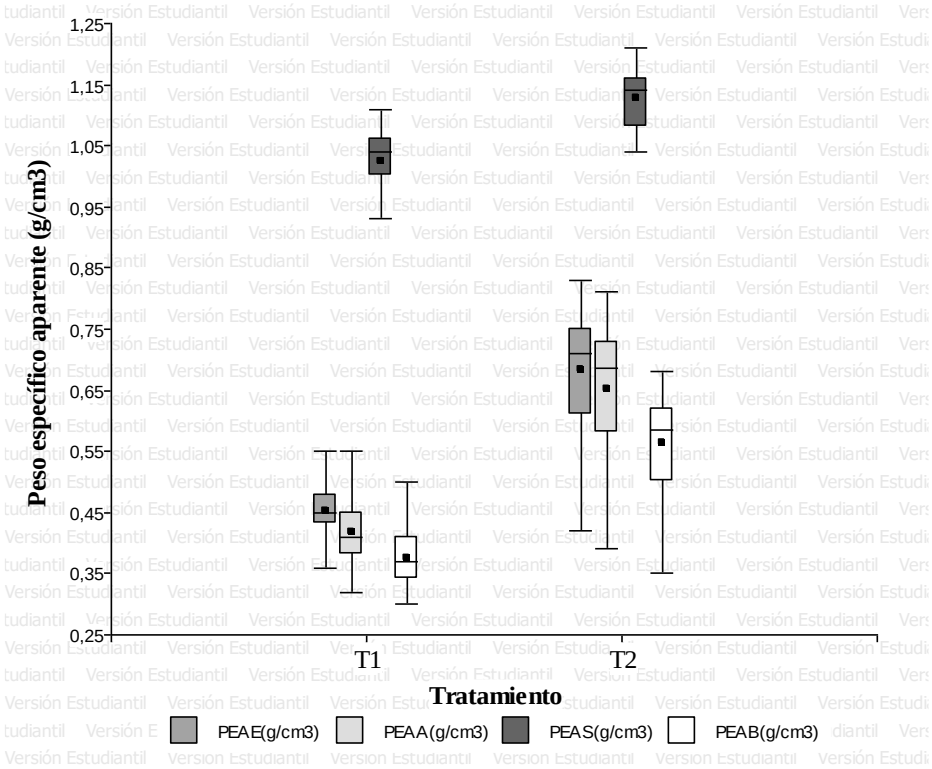


Figura 1. Anexo 4: Gráfico de cajas y bigotes para el peso específico básico (PEAB), anhidro (PEAA), estacionado (PEAE) y satudado (PEAS) por tratamiento. Las barras indican el error estándar.

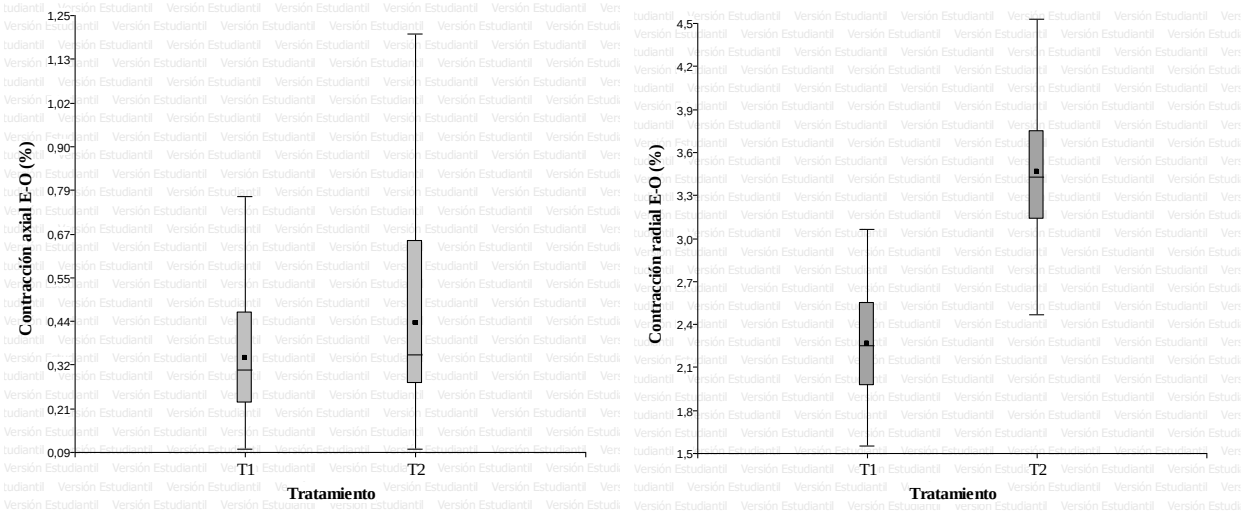


Figura 2 y 3. Anexo 4: Gráfico de cajas y bigotes para la contracción desde el estado estacionado al anhidro (E-O) en los sentidos axial y radial por tratamiento. Las barras indican el error estándar.

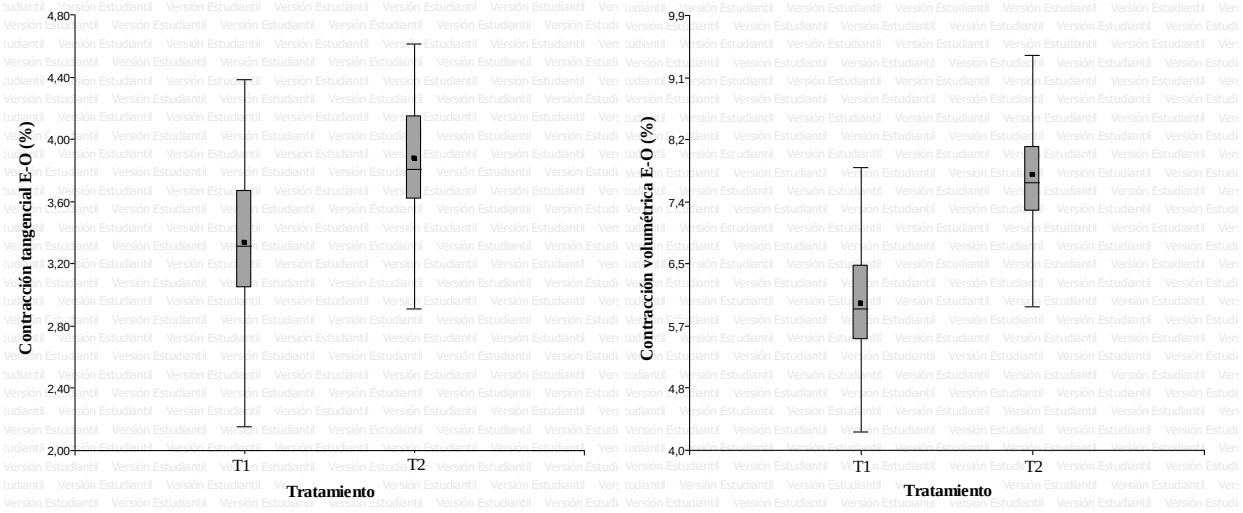


Figura 4 y 5. Anexo 4: Gráfico de cajas y bigotes para la contracción desde el estado estacionado al anhidro (E-O) en la direccion tangencial y el volumétrico por tratamiento. Las barras indican el error estándar.

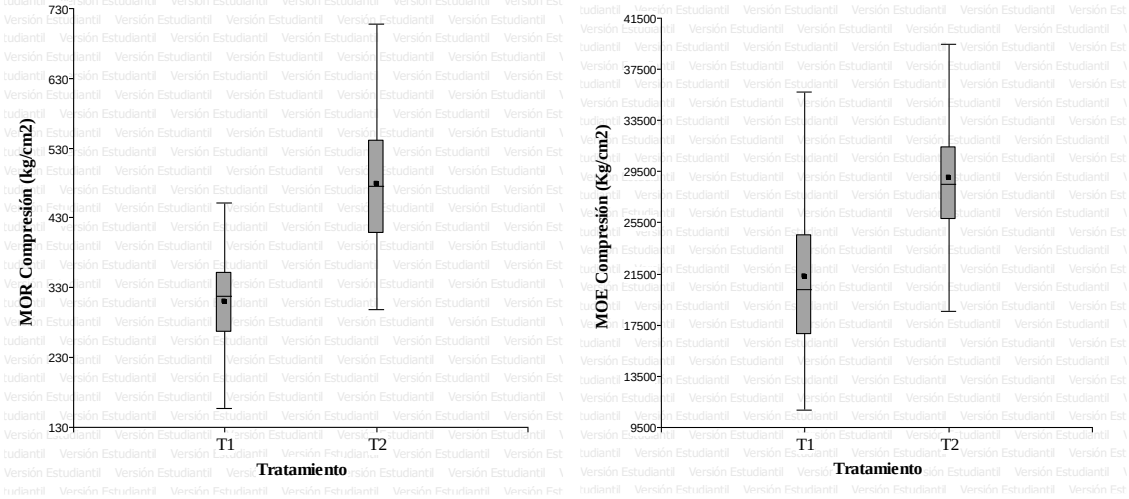


Figura 6 y 7. Anexo 4: Gráfico de cajas y bigotes para el módulo de rotura (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE) para la compresión paralela a las fibras por tratamiento. Las barras indican el error estándar.

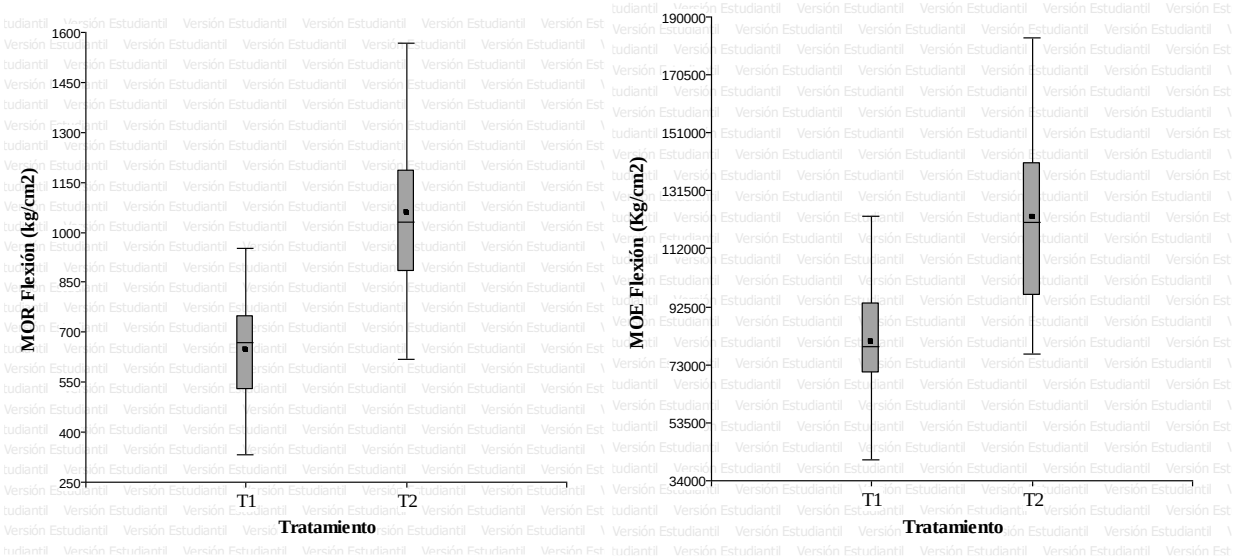


Figura 8 y 9. Anexo 4: Gráfico de cajas y bigotes para módulo de rotura (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE) para la flexión estática por tratamiento. Las barras indican el error estándar.

RIDUNaM

Formulario de autorización de depósito de tesis/trabajo integrador final en la Comunidad Ciencias Agrarias del RIDUNaM (Repositorio Institucional Digital de la UNaM)

Por intermedio de la presente, el abajo firmante, AUTOR del trabajo integrador final (grado) titulado **"Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus elliottii* Engelm. proveniente de material genético mejorado en la provincia de Misiones."** da FE de la autoría y originalidad de la obra mencionada, que fue dirigido por la Dra. WINCK Rosa Ángela y la Ing. Ind. Mad. BRAGAÑOLO Adelaida, presentada y defendida en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Misiones (FCF-UNaM), el 11/07/2024, Acta N° 174838, con el fin de obtener el título de **Ingeniera Forestal.**

Tildar según corresponda
[ ] Tesis de Posgrado
[ ] Doctorado [ ] Maestría [ ] Trabajo Final Integrador
[X] **Tesis de Grado**

Derechos patrimoniales
Como autor, expreso mi conformidad en cuanto a la cesión gratuita de los derechos de reproducción y circulación de esta obra, en forma NO EXCLUSIVA, a la Facultad de Ciencias Forestales-UNaM. Dicha reproducción y circulación se podrá realizar, una o varias veces, en cualquier soporte, para todo el mundo, con fines sociales, educativos y científicos.
En virtud del carácter no exclusivo de esta cesión, el autor podrá reproducir y comunicar libremente la tesis o trabajo final integrador, a través de los medios que estime oportunos.

Condiciones de acceso en línea
[X] Autorizo el depósito de la tesis o trabajo final integrador en forma inmediata
[ ] Autorizo el depósito del documento con embargo por el plazo de _____ meses a partir de la defensa de la misma.

ondiciones de uso de la tesis/TFI
Será puesta a disposición pública bajo las siguientes condiciones de uso:

	(BY) Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).
	(NC) No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
	(SA) Permite trabajos derivados — Siempre que se mantenga la misma licencia.
BY NC SA	**Reconocimiento – NoComercial – CompartirIgual (by-nc-sa):** No se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original.

Referencias
CC (Licencias Creative Commons).
BY (Atribución)
NC (No comercial).
SA (Compartir igual).

RIDaNaM

Dados personales (llenar un cuadro por cada autor)

Apellido y Nombres	Verón, Estela Rosana
Teléfono/Celular	+54 9 3757 43-6997
Correo electrónico	estelarveron20@gmail.com

Se firma la presente en la Ciudad de Eldorado, Misiones a los 11 días del mes de julio de 2024.

Firma	34.477.419 Tipo y N° Documento	Verón Estela Rosana Aclaración