

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

Estudiante
Matías Gustavo Morel

Efecto de la densidad inicial de plantación sobre la dureza Janka y la flexión estática de la madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden cultivada al norte de la provincia de Misiones, Argentina

Trabajo integrador final presentado para obtener el título de “Ingeniero Forestal”

Orientadora
Dra. Sara Regina Barth
Co-Orientadora
Ing. Ind. Madera. Adelaida Bragaño

Septiembre 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/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

TRABAJO INTEGRADOR FINAL

Ingeniería Forestal

Título

Efecto de la densidad inicial de plantación sobre la dureza Janka y la flexión estática de la madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden cultivada al norte de la provincia de Misiones, Argentina

Estudiante

Morel Matias Gustavo

Orientador

Dra. BARTH, Sara Regina

Co-orientador

Ing. Ind. Madera. BRAGAÑOLO, Adelaida

Eldorado

Argentina

Septiembre de 2024

PREFACIO

Este Trabajo Integrador Final 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 durante el período comprendido entre el mes de Junio del año 2022 y el mes de Agosto del año 2024, bajo la orientación de BARTH, Sara Regina y co-orientación de BRAGAÑOLO, Adelaida.

.....
ALUMNO Matías Gustavo Morel

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

Siendo los evaluadores:

Nombre: _____

Firma: _____

Nombre: _____

Firma: _____

Nombre: _____

Firma: _____

Autor: MOREL, Matías Gustavo. Estudiante de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones. Bertoni N° 124, Eldorado, Misiones, Argentina. C.P. 3380. *Email:* matiasmor119@gmail.com

Orientador: BARTH, Sara Regina. Profesora Adjunta Cátedra Bioestadística, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones. Bertoni N° 124, Eldorado, Misiones, Argentina. C.P. 3380. *Email:* sara.barth@fcf.unam.edu.ar

Co-orientador: BRAGAÑOLO, Adelaida. Profesora Adjunto de las Cátedras Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera -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	7
SUMMARY	8
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Planteo general del problema.....	9
1.2. Marco teórico o conceptual.....	9
1.3. Objetivo general.....	11
1.4. Objetivos específicos.....	11
2. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
3.1. Dureza Janka.....	15
3.2. Flexión estática.....	17
3.2.1. Módulo de rotura.....	17
3.2.2. Módulo de elasticidad	18
3.3. Correlaciones entre variables bajo estudio.....	20
3.4. Mediciones de MOE dinámico en árboles en pie y su relación con MOE estático proveniente de métodos destructivos.....	23
4. CONCLUSIÓN	23
5. AGRADECIMIENTOS	24
6. BIBLIOGRAFÍA.....	24
7. ANEXO	29

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Densidades iniciales por bloques de <i>E. grandis</i> implantado en el norte de la provincia de Misiones.	12
Tabla 2. Correlación de Pearson entre propiedades físico-mecánicas de madera de <i>Eucalyptus grandis</i> del ensayo bajo estudio.	21

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de acceso al lote.....	12
Figura 2. Valores promedio de dureza Janka para las trozas 1 y 2. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P>0,05$).....	15
Figura 3. Efecto de los tratamientos sobre los valores promedio de dureza Janka en la sección axial de la troza 1 (kg cm^{-2}). Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P>0,05$).....	16
Figura 4. Efecto de los tratamientos sobre los valores promedio de dureza Janka en la sección tangencial de la troza 1 (kg cm^{-2}). Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P>0,05$).	17
Figura 5. Efecto de los tratamientos sobre los valores promedio de dureza Janka en la sección radial de la troza 1 (kg cm^{-2}). Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P>0,05$).....	17
Figura 6. Valores promedios de MOR para las trozas 1 y 2. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P>0,05$).....	18
Figura 7. Efecto de los tratamientos sobre el valor medio de MOR en la troza 1. Sin diferencia estadística significativa. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P>0,05$).....	18
Figura 8. Valores promedio de MOE para las trozas 1 y 2. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P>0,05$).....	19
Figura 9. Efecto de los tratamientos sobre el valor promedio de MOE en la troza 1. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P>0,05$).	19
Figura 10. Efecto de los tratamientos sobre los valores promedios de MOE en la troza 2. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P>0,05$).....	20
Figura 11. Comparativo entre valores de densidad básica (DB), densidad saturada (DS), densidad anhidra (D_0) y densidad estacionada (DE).	22
Figura 12. Comportamiento de MOEd (árboles en pie) versus MOEe (máquina universal). MOE (kg cm^{-2}).....	22
Figura 13. Gráfico modelo de regresión para estimación de MOEe a partir de la medición de MOEd en árboles en pie.	23

RESUMEN

La densidad de plantación influye en el crecimiento de las plantas, lo que repercute en la calidad del producto final. En vista a ello, es importante poder predecir en forma temprana las propiedades de la madera utilizando métodos no destructivos. En este trabajo se estudió el efecto de la densidad inicial de plantación sobre la flexión estática y la dureza Janka de la madera de *Eucalyptus grandis* cultivado en el norte de la provincia de Misiones. También se estudió la correlación entre el módulo de elasticidad estático (MOEe) y el módulo de elasticidad dinámico (MOEd) empleando el equipo *Tree Sonic* (Fakopp®). El diseño estadístico se corresponde con bloques completos al azar (DBCA), se trabajó con 3 bloques y 4 niveles de densidad, siendo estos de 2500, 1250, 625 y 312 plantas por hectárea. Para el ensayo de dureza Janka se utilizó una adaptación de la norma ASTM 143/52, y para flexión estática, IRAM 9542. Los resultados mostraron que no hubo diferencias significativas en la dureza Janka entre las trozas 1 y 2, tampoco en la sección axial, radial y tangencial. En cuanto a la flexión estática, no se encontraron diferencias en módulo de rotura (MOR) entre las trozas 1 y 2, pero sí en el módulo de elasticidad (MOE). Además, los tratamientos no modificaron significativamente el MOE de la troza 1. El coeficiente de determinación R^2 igual a 0,98, denota una fuerte relación lineal entre MOEd y MOEe. El MOEe puede ser estimado a partir de MOEd mediante la ecuación: $MOEe = MOEd * 0,5446$. Se concluye que la densidad inicial de plantación no tuvo influencias sobre las propiedades mecánicas de la madera de *E. grandis* implantada en Misiones, Argentina.

Palabras claves: espaciamiento, propiedades mecánicas, predicción de calidad de madera, manejo forestal, silvicultura.

SUMMARY

The planting density influences plant growth, affecting the final product's quality. Therefore, it is important to predict the wood properties early using non-destructive methods. This study examined the effect of initial planting density on the static bending and Janka hardness of *Eucalyptus grandis* wood grown in northern Misiones Province. It also studied the correlation between the static modulus of elasticity (MOE_e) and the dynamic modulus of elasticity (MOE_d) using the Tree Sonic (Fakopp®) equipment. The statistical design corresponds to randomized complete blocks (RCB), with 3 blocks and 4 density levels: 2500, 1250, 625, and 312 plants per hectare. For the Janka hardness test, an adaptation of the ASTM 143/52 standard was used, and for static bending, IRAM 9542. The results showed no significant differences in Janka hardness between logs 1 and 2, nor in the axial, radial, and tangential sections. Regarding static bending, no differences were found in the modulus of rupture (MOR) between logs 1 and 2, but there were differences in the modulus of elasticity (MOE). Moreover, the treatments did not significantly modify the MOE of log 1. The coefficient of determination R^2 equal to 0.98 denotes a strong linear relationship between MOE_d and MOE_e. MOE_e can be estimated from MOE_d using the equation: $MOE_e = MOE_d * 0.5446$. It is concluded that the initial planting density did not influence the mechanical properties of *E. grandis* wood planted in Misiones, Argentina.

Keywords: spacing, mechanical properties, wood quality prediction, forest management, silviculture.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteo general del problema.

En Argentina las plantaciones están representadas principalmente por especies de coníferas, seguidas en importancia por las latifoliadas del género *Eucalyptus*, destacándose en este grupo *Eucalyptus grandis* (KEIL *et al.*, 2022). Existen antecedentes de que el espaciamiento entre plantas afecta al crecimiento de las mismas, lo cual influiría en la calidad del producto buscado, que generalmente es evaluado por las dimensiones o producción de las mismas sin tener en cuenta propiedades mecánicas (TREVISAN *et al.*, 2007). Con el fin de obtener más información al respecto se estudió el efecto de la densidad inicial de plantación sobre la flexión estática y la dureza Janka de la madera de *E. grandis* cultivado en la zona. Por otra parte, resulta de interés para productores forestales poder predecir las propiedades de la madera tanto de árboles en pie como de productos elaborados de una manera rápida y confiable mediante métodos no destructivos. Por tal motivo se estudió la correlación entre el MOEe y MOEd.

1.2. Marco teórico o conceptual

E. grandis es una especie originaria del este australiano, principalmente de los estados de Queensland y New South Gales (FRANCIS *et al.*, 2000). Las primeras plantaciones en la Mesopotamia Argentina tienen registro en 1946 en propiedades de la empresa Celulosa Argentina S.A., con material genético proveniente principalmente de Brasil y Australia (CARPINETI, 1995).

En cuanto al crecimiento, en su lugar de origen alcanza una altura de 43 a 55 m y un diámetro a la altura del pecho (Dap) de 122 a 183 cm (FRANCIS *et al.*, 2000). Mientras que en sitios catalogados como de alta productividad en el Nordeste de Corrientes, se puede esperar 40 a 55 m³ ha⁻¹ año⁻¹ y una altura superior a los 36 m a los 12 años de edad (PAHR *et al.*, 2000). Según APARICIO *et al.* (2005), su tasa de crecimiento puede llegar a 60 m³ ha⁻¹ año⁻¹ siempre que se garantice que las condiciones de sitio y la silvicultura sean las adecuadas (preparación del terreno, control de malezas y fertilización), sin embargo, si esto no se cumple el crecimiento no prospera de los 15 m³ ha⁻¹ año⁻¹.

La densidad inicial de plantación afecta a los costos de plantación y de cosecha, como también a la rentabilidad, productividad del sitio, labores de mantenimiento y aprovechamiento (GUERRA BUGUEÑO *et al.*, 2014). Lo cual es un factor de fácil manejo para el productor forestal. Por cuestiones de manejo posterior a la plantación y costos asociados, existe una tendencia hacia las plantaciones con bajas densidades similares a las del turno de cosecha, donde los distanciamientos de 4 m x 4 m son los más apropiados para el uso múltiple de la madera como ser el aserrado, triturable y pulpable (GARCÍA *et al.*, 2021). De acuerdo con lo expuesto por CRECHI

et al. (2003) en un ensayo realizado en Misiones, se observó que la densidad inicial de plantación afectó al crecimiento de *E. grandis* de tal forma que a medida que disminuye la densidad de plantación se incrementa el diámetro medio aritmético, mientras que a mayor densidad aumenta el área basal total y el volumen total por hectárea. A la misma conclusión arribó DALLA TEA (1995) respecto al diámetro y al área basal para la misma especie en Entre Ríos.

Atendiendo a las propiedades físicas al 15% de humedad de la madera de *E. grandis* presenta un peso específico de $0,560 \text{ g cm}^{-3}$. En lo que a propiedades mecánicas respecta, evidencia un módulo de elasticidad de $111607 \text{ kg cm}^{-2}$ y un módulo de rotura de 506 kg cm^{-2} (SUIREZS *et al.*, 2013). Según SÁNCHEZ ACOSTA (1990) el valor de dureza Janka es de 450 kg cm^{-2} en el sentido transversal, 290 kg cm^{-2} en sentido tangencial y 285 kg cm^{-2} en sentido radial.

CUETO *et al.* (2013), en su ensayo con tres tratamientos de raleos; 272 árboles ha^{-1} remanentes, 352 árboles ha^{-1} al final del turno y 1280 árboles ha^{-1} (sin raleo), no encontró influencia significativa sobre el módulo de elasticidad (MOE) y el módulo de rotura (MOR) en *E. grandis* evaluado a los 19 años. BENÍN *et al.* (2017), estudiando en *Eucalyptus benthamii* a los 6 años de edad, coincide en que el espaciamiento inicial no influyó en el MOE y MOR para flexión estática, pero sí afectó a la dureza sin una tendencia clara, tanto en sentido axial y radial, manteniéndose inalterado el sentido tangencial. HASELEIN *et al.* (2002) pudieron observar que, a mayor espaciamiento y fertilización, hubo un incremento en el MOE y MOR, evaluando el efecto de la densidad inicial de plantación y la fertilización sobre la flexión estática de la madera húmeda y al 12% de humedad de un clon de *Eucalyptus saligna* de 10 años de edad. BARTH (2016) halló como resultado en *Grevillea robusta* que, a mayor densidad de plantación existe un aumento en el MOE y MOR como así también un aumento en la dureza Janka en sus tres sentidos, axial, radial, tangencial. WINCK (2013), en su estudio del efecto del raleo sobre las propiedades mecánicas de la madera de *Pinus taeda* de 20 años de edad, halló que una intensidad de raleo del 87,5 % produjo una disminución en los valores de MOE y MOR, en comparación con los demás tratamientos del 0%, 50% y 75% donde los valores fueron similares.

Siendo importante para los gestores forestales poder predecir la calidad de la madera según el manejo silvícola a implementar, surge el interés del empleo de métodos no destructivos que permitan obtener información tanto de árboles en pie como en trozas y producto elaborado. Se ha dedicado un esfuerzo significativo al desarrollo de tecnologías robustas de evaluación a través de métodos no destructivos. De esta manera, es posible predecir propiedades intrínsecas de la madera en árboles individuales y evaluar la calidad de la madera en rodales y bosques. El uso de estas tecnologías no solo conduce a una mayor rentabilidad para la industria forestal, sino que también puede ayudar a los gestores forestales a tomar decisiones sabias de manejo y a apuntar a la obtención de madera de alta calidad desde el principio. Una de las características evaluables en

árboles en pie es el MOE dinámico (MOEd), se realiza a partir de datos obtenidos con instrumentos acústicos que permiten estimar la rigidez de los árboles en pie (MATHESON *et al.*, 2008; FARRELL *et al.*, 2012). El procedimiento consiste en establecer correlaciones entre la velocidad de la onda de impacto y las variables medidas sobre árboles en pie, en trozas y en madera aserrada (DICKSON *et al.*, 2003; VALENCIA, 2008). La bibliografía menciona numerosos antecedentes de la aplicación de la metodología, por ejemplo, para evaluar la calidad estructural de la madera de *Eucalyptus nitens* (FARRELL *et al.*, 2012) y *E. grandis*. MASTRANDREA *et al.* (2016) presentaron correlaciones entre el módulo de elasticidad dinámico por vibraciones longitudinales y módulo estático por métodos destructivos. FATHI *et al.* (2020) mencionan como ventaja del empleo de métodos no destructivos de evaluación de madera a la rapidez y la confiabilidad para la determinación de características de la madera sin modificarlas.

La hipótesis plantea que la densidad inicial de plantación incide sobre la resistencia a la flexión estática y la dureza Janka de la madera de *E. grandis* implantada en el noroeste de Misiones, Argentina.

1.3. Objetivo general

Evaluar la influencia de la densidad inicial de plantación sobre las propiedades mecánicas de la madera de *E. grandis* implantada en Misiones, Argentina.

1.4. Objetivos específicos

Determinar la influencia de la densidad inicial de plantación sobre la dureza Janka de la madera de *E. grandis* según dirección transversal, tangencial y radial.

Determinar la influencia de la densidad inicial de plantación sobre el módulo de rotura a la flexión estática de la madera de *E. grandis*.

Determinar la influencia de la densidad inicial de plantación sobre el módulo de elasticidad a la flexión estática de la madera de *E. grandis*.

Determinar la correlación entre valores de módulo de elasticidad estático (MOEe) y módulo de elasticidad dinámico (MOEd) a fin de permitir la determinación de la calidad de maderas a partir de mediciones realizadas en árboles en pie.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El material a estudiar deriva de árboles de un ensayo de diferentes densidades iniciales de plantación de *E. grandis* que se encuentra instalado en la propiedad de la empresa Plantar S.A.

(Figura 1), Puerto Esperanza, Departamento de Iguazú, Provincia de Misiones, Argentina, siendo sus coordenadas 26°02'24.2"S 54°36'31.6"O. El clima es subtropical con régimen isohigro con precipitaciones de hasta 2000 mm anuales y temperatura media de 21 °C (LIGIER *et al.*, 1990), (SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL, 2008). El suelo pertenece al gran grupo de los Kandudultes que se caracteriza por ser rojos, profundos, y arcillosos (LIGIER *et al.*, 1990).

La plantación fue establecida en el año 2011, el material genético utilizado fue semilla comercial de INTA Concordia. El diseño estadístico se corresponde con bloques completos al azar (DBCA), se trabajó con 3 bloques y 4 niveles de densidad, siendo estos de 2500, 1250, 625 y 312 plantas por hectárea (Tabla 1). La superficie de cada parcela es de 1248 m², 1152 m², 2304 m² y 4224 m², respectivamente.

Tabla 1. Densidades iniciales por bloques de *E. grandis* implantado en el norte de la provincia de Misiones.

Bloques	Densidades iniciales			
BI	1250 (4x2)	312 (4x8)	2500 (2x2)	625 (4x4)
BII	2500 (2x2)	312 (4x8)	625 (4x4)	1250 (4x2)
BIII	312 (4x8)	2500 (2x2)	1250 (4x2)	625 (4x4)

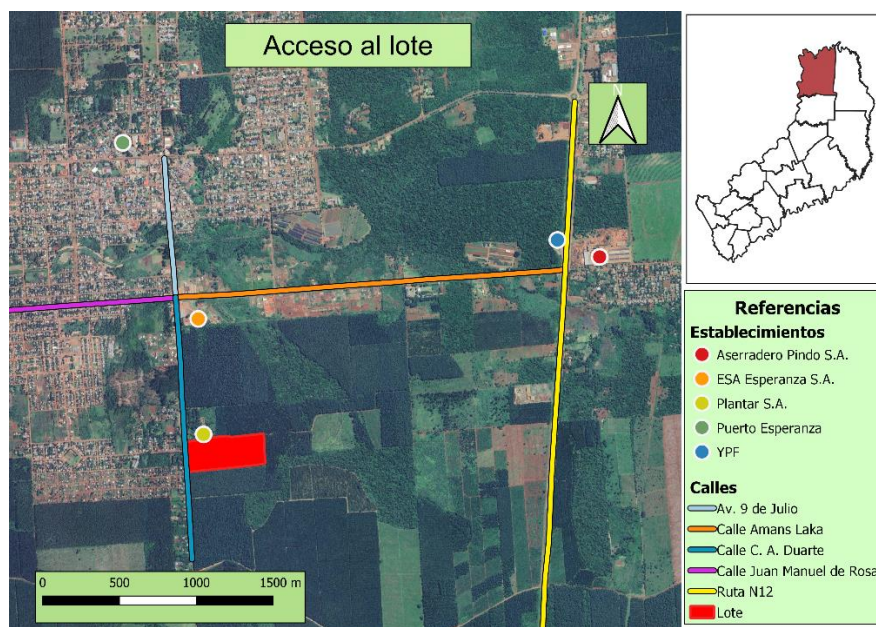


Figura 1. Mapa de acceso al lote.

Se seleccionaron 6 árboles por tratamiento (24 en total), considerandos al azar dos ejemplares por estrato (KÖHLN *et al.*, 2006): dominante, codominante y dominado. A su vez, se aserraron dos trozas, denominándose troza 1 a la que está próxima a la base y troza 2 a la que está por encima de ella, realizándose el apeo a la edad de 11 años. Las trozas fueron aserradas en 48 listones y posteriormente secados para obtener las probetas con un contenido de humedad del 12%. El material de ensayo fue elaborado bajo normas IRAM (Instituto Argentino de Racionalización

de Materiales), donde para dureza Janka se utilizó una adaptación de la norma ASTM 143/52 (1972) y en flexión estática IRAM 9542 (1973). Dentro de los tratamientos, por cada árbol se considerarán 4 repeticiones. Los análisis estadísticos fueron realizados con el software InfoStat (DI RIENZO *et al.*, 2015). Para la determinación de diferencias significativas entre tratamientos se trabajó con modelos lineales generalizados y mixtos considerando como efectos fijos al tratamiento y la posición de la probeta y como efecto aleatorio al árbol. Para la realización de las comparaciones múltiples de medias y contrastes se utilizó el procedimiento DGC (DI RIENZO, *et al.*, 2002). A fin de determinar la relación existente entre las variables bajo estudio se aplicó un test de correlación de Pearson. Todos los análisis fueron realizados con un nivel de significación del 5 %.

Las propiedades mecánicas se determinaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ciencias Forestales, UNaM. Para tal fin se utilizó una Máquina Electromecánica Universal de Ensayos, Modelo 10407030 de origen italiana, de la marca DIDACTA®, con capacidad de 300 kN y sensibilidad de 300 N (ver anexo 3).

Para determinar el MOE (Ecuación 1) y MOR (Ecuación 2) en flexión estática, la norma IRAM 9542 (1973) establece; probetas con dimensiones de 20 mm x 20 mm x 340 mm, con el grano paralelo al eje longitudinal de la misma, y un material libre de defectos. La velocidad de avance será de 5 mm min⁻¹. Cabe aclarar que el MOEe de la segunda troza no fue ensayado debido a las rajaduras que presentaron las muestras que se pudieron obtener de esta porción del árbol para el tratamiento de 625 plantas por hectárea y por lo tanto no se representa en Figura 10.

A continuación, para determinar el MOE y MOR se calcula con:

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

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

Siendo:

MOR = módulo de rotura, en kg cm⁻²

P = Carga de rotura, en kg

b = Base, en cm.

L = Longitud entre apoyos, en cm

h = Altura, en cm

MOE = Módulo de elasticidad, en kg cm⁻²

P' = Carga en el límite proporcional elástico, en kg.

f' = Deformación en el límite proporcional elástico, en cm.

Para el ensayo de dureza Janka se emplearon probetas cúbicas de 5 cm por lado, cuya dimensión proviene de una adaptación de la norma ASTM 143/52 (1972), conformado por dos caras tangenciales, dos radiales y dos transversales. El ensayo consiste en introducir una semiesfera de acero de 11,28 mm de diámetro, mediante la máquina universal de ensayos a una velocidad de carga de 6 mm min⁻¹ (ver anexo 1).

En forma paralela se analizó MOEd de árboles en pie con datos provenientes de medición del tiempo de traslado de una onda de impacto de los árboles en pie que fueran demarcados para su apeo. Para ello se trabajó con el equipo *Tree Sonic* (Fakopp®) (**Anexo 4**). Al mismo tiempo, se tomaron muestras de madera de 5 mm de diámetro y 70 mm de longitud mediante un barreno de Presler para determinar la densidad verde y posteriormente el MOEd. Los tarugos obtenidos fueron debidamente identificados, siendo envueltos en papel aluminio y almacenados en conservadora a fin de evitar pérdidas de humedad, siendo luego estos procesados en laboratorio. Se determinó densidad anhidra (D₀) y densidad verde (DV) en cada uno de los tarugos, empleando para ello las siguientes ecuaciones de trabajo (3) y (4), según la norma americana ASTM D-2395-93 (ASTM, 1997). Por otro lado, se determinó densidad básica (DB), densidad anhidra (D₀), densidad estacionada (DE) y densidad saturada (DS), a partir de probetas de cúbicas de 2 cm de lado obtenidas de listones de un largo equivalente al diámetro de los discos de la troza basa de los individuos apeados (IRAM 9544, 1973). Se empleó para ello las siguientes ecuaciones de trabajo (5), (6) y (7), respectivamente.

$$D_0 = \frac{P_0}{V_0} \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$DV = \frac{P_V}{V_V} \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$DB = \frac{P_0}{V_s} \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$DE = \frac{P_E}{V_E} \quad \text{Ecuación (6)}$$

$$DS = \frac{P_S}{V_s} \quad \text{Ecuación (7)}$$

Dónde: P₀: peso anhidro (g), V₀: volumen anhidro (cm³); P_v: peso en verde (g), V_v: volumen en verde (cm³), V_s: volumen saturado (cm³); P_E: peso estacionado (g); V_E: volumen estacionado (cm³) y P_S: peso saturado (g).

Para medir el tiempo de traslado de cada onda de impacto se introdujeron los terminales del *Tree Sonic* a una profundidad aproximada de 50 mm hacia el interior del árbol, separados por una distancia de 1 metro, medida sobre el eje vertical del individuo. Se aplicaron 3 golpes de

martillo. A partir de estos datos se calculó la velocidad del sonido (VS) (Ecuación 8) (PROTO *et al.*, 2017; WANG, 2013).

$$VS_{TreeSonic} \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{(1000 * \text{distancia conocida (mm)})}{(\text{tiempo Fakopp } (\mu\text{s}) + 2,8)} \quad \text{Ecuación (8)}$$

Donde VS, es la velocidad del sonido, distancia conocida es igual a 1 metro (1000 mm), tiempo Fakopp es el valor medio del tiempo obtenido de las lecturas del *TreeSonic* en μs , y 2,8 es un factor corrección (relación entre tiempo y distancia), específico para cada equipo.

El MOEd fue obtenido a partir de la Ecuación 9.

$$MOE_d \left(\frac{kg}{cm^2} \right) = \left(\frac{DV \left(\frac{kg}{m^3} \right) * VS \left(\frac{m}{s} \right)^2}{1.000.000} \right) * 10.197,2 \quad \text{Ecuación (9)}$$

Donde DV y VS son: Densidad verde (kg m^{-3}) y Velocidad del Sonido (m s^{-1}), respectivamente.

Las variables fueron sometidas a un análisis de variancia, con un nivel de significancia $\alpha < 0,05$ y comparado con un test de análisis de medias (DI RIENZO, *et al.*, 2002) y un test de correlación de Pearson con el programa estadístico Infostat.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Dureza Janka

En la Figura 2 se observa que existe una leve tendencia de mayor dureza en la troza 1 que en la troza 2, sin embargo, dichas diferencias no resultaron estadísticamente significativas.

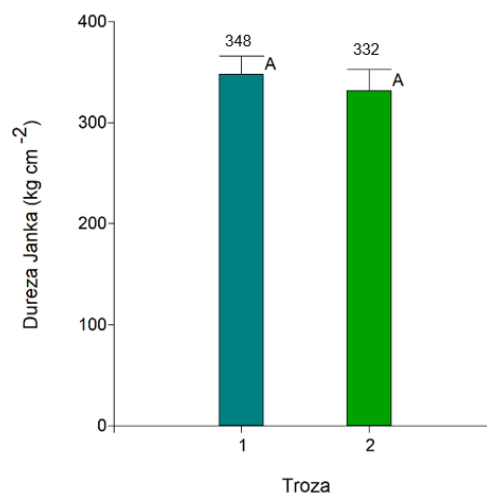


Figura 2. Valores promedio de dureza Janka para las trozas 1 y 2. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P > 0,05$).

En la sección axial se observa una tendencia a aumentar la dureza Janka a medida que aumenta la densidad de plantación. Sin embargo, esta diferencia no fue significativa (Figura 3). La misma tendencia ocurrió en la sección radial y tangencial, donde esta diferencia tampoco fue significativa (Figura 4 y 5). Estos resultados difieren de los obtenidos por BENÍN *et al.* (2017), quienes estudiando *E. benthamii*, hallaron que el espaciamiento inicial afectó a la dureza Janka sin una tendencia clara en el sentido axial y radial. Pero a su vez coinciden en que la dureza Janka no se modificó en el sentido tangencial. Por otra parte, se observó una leve tendencia de mayores valores de dureza a mayor densidad de plantación coincidiendo con el comportamiento obtenido por BARTH (2016), estudiando *G. robusta*, donde para una mayor densidad de plantación existió un aumento en la dureza Janka en sus tres sentidos, axial, radial, tangencial. Respecto a los valores de dureza Janka hallados en este trabajo, difieren levemente de los publicados por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial para *E. grandis* (INTI, 2004), quienes informaron en la sección axial, tangencial y radial 451 kg cm⁻², 291 kg cm⁻² y 285 kg cm⁻², respectivamente.

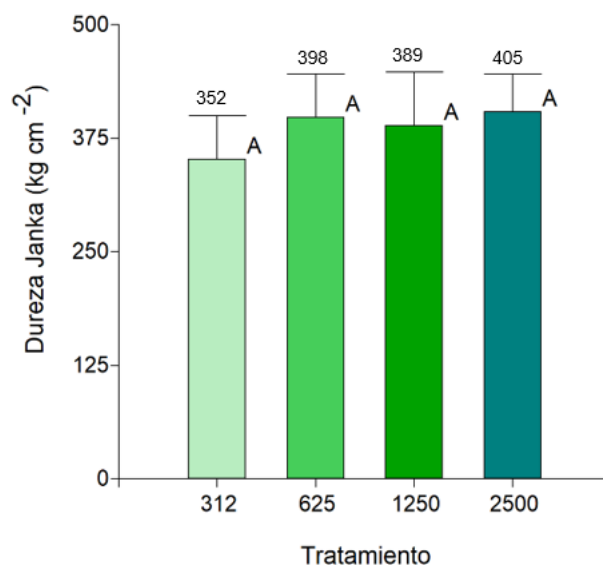


Figura 3. Efecto de los tratamientos sobre los valores promedio de dureza Janka en la sección axial de la troza 1 (kg cm⁻²). Medias con una letra en común no son significativamente diferentes (P>0,05)

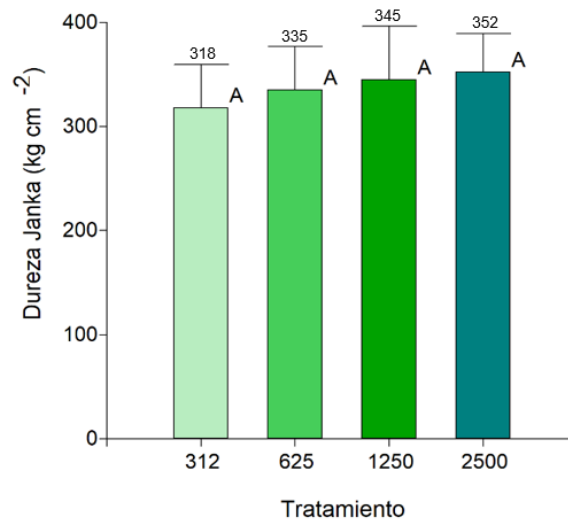


Figura 4. Efecto de los tratamientos sobre los valores promedio de dureza Janka en la sección tangencial de la troza 1 (kg cm^{-2}). Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P>0,05$).

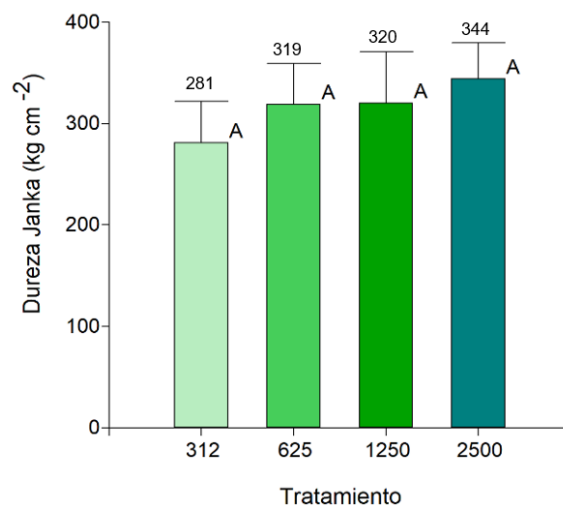


Figura 5. Efecto de los tratamientos sobre los valores promedio de dureza Janka en la sección radial de la troza 1 (kg cm^{-2}). Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P>0,05$).

3.2. Flexión estática

3.2.1. Módulo de rotura

Los resultados de MOR entre trozas son expresados en Figura 6. Se observa que el valor es mayor en la troza 2. Sin embargo, esta diferencia no es significativa.

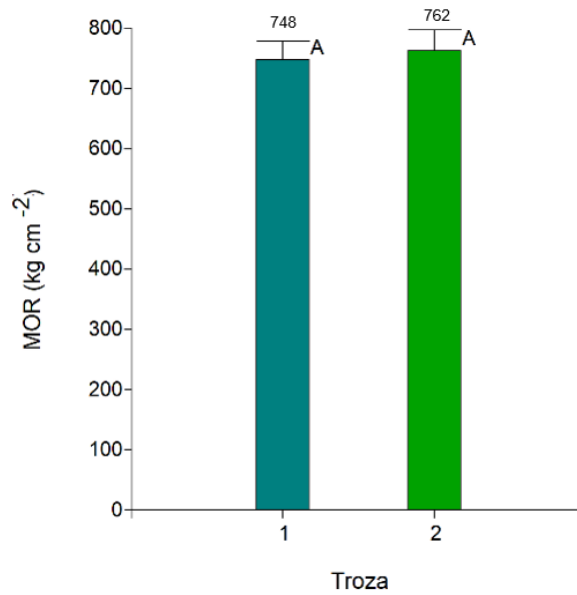


Figura 6. Valores promedios de MOR para las trozas 1 y 2. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P > 0,05$).

Los resultados de MOR para la troza 1 son presentados en Figura 7, en ella no se evidencia una tendencia clara. Esta diferencia entre tratamientos no es significativa.

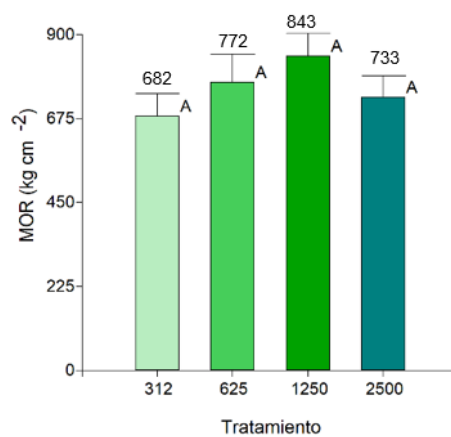


Figura 7. Efecto de los tratamientos sobre el valor medio de MOR en la troza 1. Sin diferencia estadística significativa. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P > 0,05$).

3.2.2. Módulo de elasticidad

Los resultados de MOE entre trozas se expresan en Figura 8. Se observa que la troza 1 presentó mayor MOE respecto a la troza 2, siendo esta diferencia significativa.

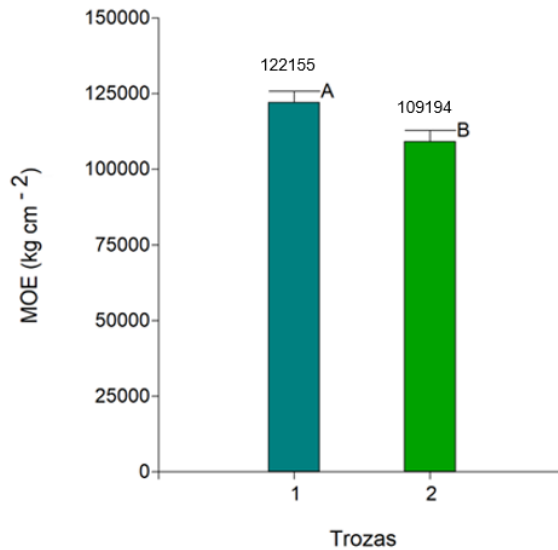


Figura 8. Valores promedio de MOE para las trozas 1 y 2. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P>0,05$).

Los resultados de MOE para la troza 1, no presentaron diferencias significativas para los distintos tratamientos aplicados (Figura 9). Por otra parte, en Figura 10 se presentan los valores promedios de MOE para la troza 2, donde tampoco se observó una diferencia estadística significativa. En este caso en particular no se consideró la densidad de 625 árboles ha⁻¹ ya que, por las dimensiones de la segunda troza y defectos por rajadura de la madera, no se contó con probetas correspondientes a dicho tratamiento.

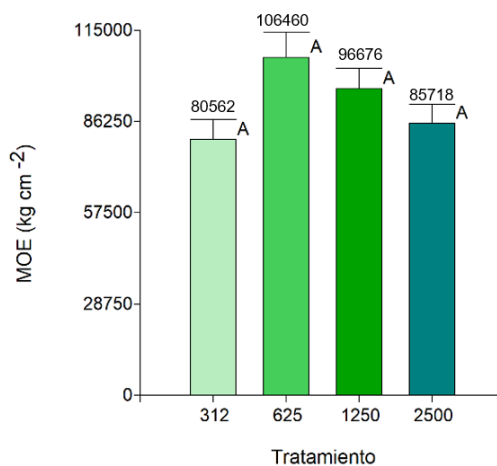


Figura 9. Efecto de los tratamientos sobre el valor promedio de MOE en la troza 1. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P>0,05$).

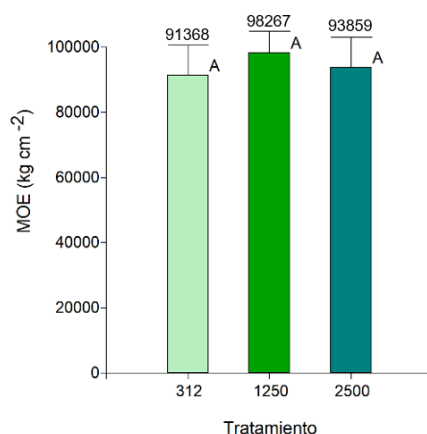


Figura 10. Efecto de los tratamientos sobre los valores promedios de MOE en la troza 2. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P>0,05$).

Los resultados de MOE y MOR de este ensayo concuerdan con lo expuesto por CUETO *et al.* (2012), estudiando *E. grandis*, y BENÍN *et al.* (2017), estudiando *E. benthamii*, donde el espaciamiento no tuvo influencia significativa sobre el MOE y el MOR. Por otra parte, dichos resultados son diferentes a lo hallado por HASELEIN *et al.* (2002); BARTH (2016) y WINCK (2015), quienes estudiaron *E. saligna*, *G. robusta* y *P. taeda* respectivamente, donde el espaciamiento sí tuvo influencia significativa en el MOE y MOR. Por otro lado, DIAZ BRAVO *et al.* (2012), estudiando las propiedades de la madera de *Eucalyptus nitens* de un rodal de 15 años con distintas densidades al final del turno con tratamientos de raleos, informó que el módulo de elasticidad dinámico presentó diferencias significativas entre tratamientos, pero sin un efecto claro de aumentar o disminuir esta propiedad, con relación a las densidades residuales evaluadas.

3.3. Correlaciones entre variables bajo estudio

La estructura molecular y anatómica del material es la base del comportamiento mecánico de la madera. Esta estructura se halla íntimamente relacionada al manejo silvícola implementado en las plantaciones forestales. Es posible relacionar estadísticamente las distintas propiedades físico-mecánicas de la madera utilizando métodos de análisis numéricos tales como las correlaciones estadísticas (Tabla 2).

Tabla 2. Correlación de Pearson entre propiedades físico-mecánicas de madera de *Eucalyptus grandis* del ensayo bajo estudio.

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
Tratamiento (árboles ha ⁻¹)	Densidad anhidra (g cm ⁻³)	24	-0,35	0,0943
Tratamiento (árboles ha ⁻¹)	Densidad básica (g cm ⁻³)	24	-0,39	0,0563
Densidad anhidra (g cm ⁻³)	Densidad básica (g cm ⁻³)	24	0,97	<u><0,0001</u>
Tratamiento (árboles ha ⁻¹)	Densidad verde (g cm ⁻³)	24	-0,31	0,1471
Densidad anhidra (g cm ⁻³)	Densidad verde (g cm ⁻³)	24	0,76	<u><0,0001</u>
Densidad básica (g cm ⁻³)	Densidad verde (g cm ⁻³)	24	0,79	<u><0,0001</u>
Densidad verde (g cm ⁻³)	MOEd (kg cm ⁻²)	24	0,77	<u><0,0001</u>
Densidad básica (g cm ⁻³)	MOEd (kg cm ⁻²)	24	0,66	<u>0,0004</u>
Tratamiento (árboles ha ⁻¹)	MOEd (kg cm ⁻²)	24	-0,13	0,5487
Densidad anhidra (g cm ⁻³)	MOEd (kg cm ⁻²)	24	0,68	<u>0,0002</u>
Tratamiento (árboles ha ⁻¹)	Vel. Sonido (m s ⁻¹)	24	0,14	0,5226
Densidad anhidra (g cm ⁻³)	Vel. Sonido (m s ⁻¹)	24	0,19	0,3807
Densidad básica (g cm ⁻³)	Vel. Sonido (m s ⁻¹)	24	0,12	0,573
Densidad verde (g cm ⁻³)	Vel. Sonido (m s ⁻¹)	24	0,05	0,8343
MOE d (kg cm ⁻²)	Vel. Sonido (m s ⁻¹)	24	0,68	<u>0,0003</u>

Con el test de correlación de Pearson se observó que la velocidad del sonido, medida en árboles en pie, explica al MOEd (R=0,68). A su vez el MOEd está relacionado a la densidad anhidra, densidad básica y densidad verde, con un valor de R igual a 0,68, 0,66 y 0,77, respectivamente. La densidad verde se relaciona con la densidad básica y densidad anhidra con valores de R iguales a 0,79 y 0,76, respectivamente. Además, la densidad básica se relaciona con la densidad anhidra con un R igual a 0,97. Estos valores de correlación siguen igual tendencia que los obtenidos por BULMAN HARTKOPF *et al.* (2021) para clones de *Eucalyptus*. Los p-valores fueron altamente significativos (< 0,05).

El valor de densidad verde es cercano a 1 g cm⁻³, pudiéndose inferir que es aproximadamente un 50 % mayor al de la densidad anhidra, que relacionan el peso verde de la muestra y el volumen verde y el peso seco de la muestra sobre el volumen seco, respectivamente. En la densidad verde, la madera se halla con un contenido de humedad muy superior al punto de saturación de fibras. No hubo diferencia estadísticamente significativa en las distintas densidades de la madera según tratamiento, ni entre métodos de obtención empleados (Figura 11).

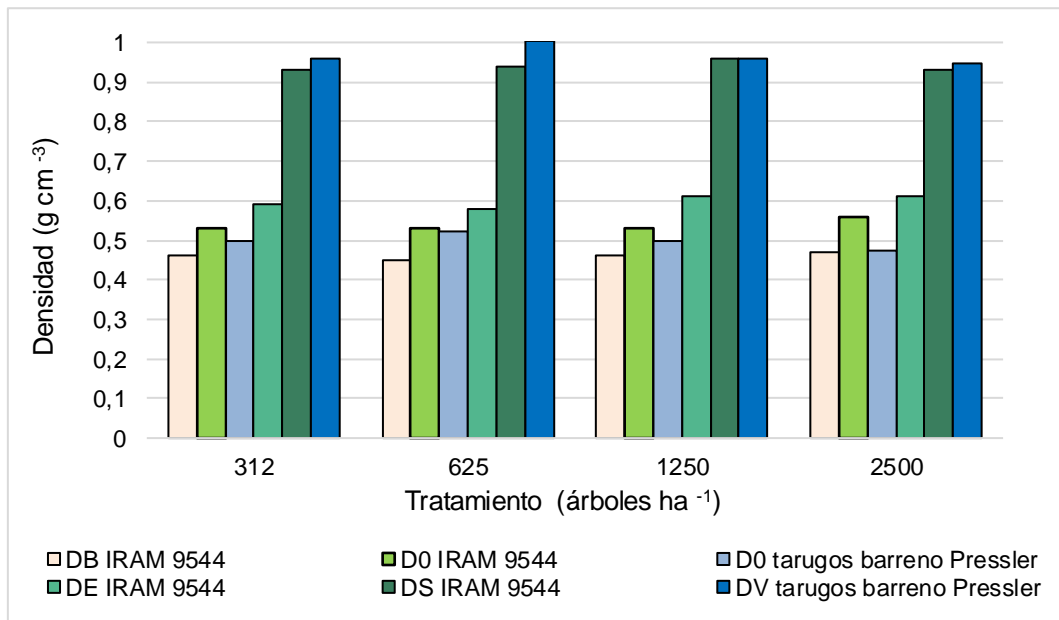


Figura 11. Comparativo entre valores de densidad

Es importante resaltar que en Figura 12, los valores de MOE para árboles en pie (MOEd) denotan la misma tendencia de comportamiento que los de MOE obtenidos con máquina universal (MOEe), siguen un mismo patrón de comportamiento. Si bien el valor de MOE medido en árboles en pie es mayor al obtenido en probetas con máquina universal de ensayos, esto se relaciona más bien a que el primero se evaluó con madera con un contenido de humedad superior al punto de saturación de las fibras. En máquina universal el MOEe se determinó con probetas a una humedad correspondiente a madera estacionada (12%). La importancia de la similitud en el patrón de comportamiento mencionado es analizada en el siguiente apartado al presentar su correspondencia numérica a través de regresión.

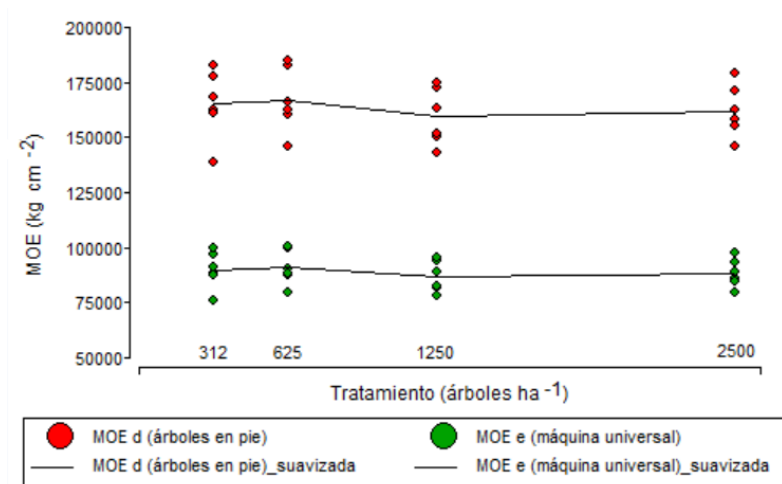


Figura 12. Comportamiento de MOEd (árboles en pie) versus MOEe (máquina universal). MOE (kg cm⁻²).

3.4. Mediciones de MOE dinámico en árboles en pie y su relación con MOE estático proveniente de métodos destructivos

De la observación del resultado presentado en la Figura 13 se desprende que el MOEd medido en árboles en pie puede ser un buen predictor del MOEe medido en probetas o tablas y viceversa. Además, el coeficiente de determinación R^2 igual a 0,98, denota una fuerte relación lineal entre ambas variables. Con anterioridad, conclusiones publicadas por GÖRLACHER (1984) y MACHEK *et al.* (2001), entre otros investigadores, mencionaban cierta proporcionalidad entre ambos valores.

De lo expuesto se desprende que el MOEe puede ser estimado a partir de datos de medición de MOEd en árboles en pie facilitando la toma de decisiones del gerente forestal en cuanto a tratamientos silvícolas a aplicar y/o valor diferencial de la producción maderera obtenida mediante la Ecuación 10.

$$MOE e = MOE d * 0,5446 \quad \text{Ecuación (10)}$$

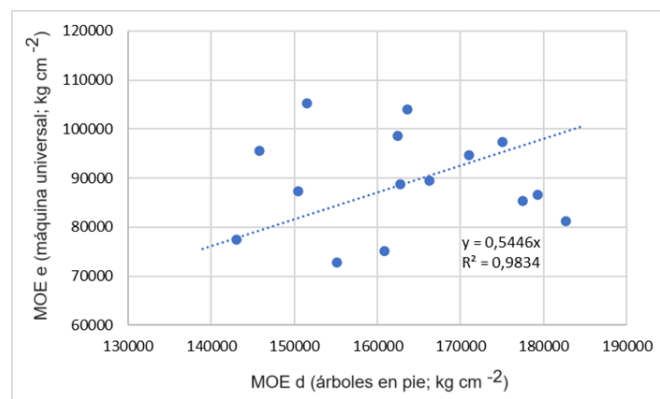


Figura 13. Gráfico modelo de regresión para estimación de MOEe a partir de la medición de MOEd en árboles en pie.

4. CONCLUSIÓN

Se concluye que la densidad inicial de plantación no tuvo influencia sobre la dureza Janka de la madera de *E. grandis* en la dirección transversal, tangencial y radial.

La densidad inicial de plantación no tuvo influencia sobre el módulo de rotura a la flexión estática de la madera de *E. grandis*.

La densidad inicial de plantación no tuvo influencia sobre el módulo de elasticidad a la flexión estática de la madera de *E. grandis*.

Al existir correlación entre valores de MOEe y MOEd, es posible la determinación de la calidad de maderas a partir de la medición del árbol en pie.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración de INTA EEA Montecarlo en la persona del Ing. Aldo Esteban Keller y la Dra. Rosa Ángela Winck, así como de los técnicos Diego Aquino y Otto Knebel. También amerita una mención especial la colaboración de Plantar S. A. y Walter Köhnke, uno de sus propietarios. El trabajo de campo y el aserrado de la madera fue financiado por el proyecto INTA 2019-PE-E1-I016-001: Desarrollo de una silvicultura sostenible de bosques implantados de alta productividad. El aserrado de la madera contó con la colaboración de CTM (Centro Tecnológico de la Madera de Montecarlo). En el ensayo con máquina universal colaboraron, además: Alexis Feldmann y Agustín Primo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- APARICIO, J. L.; Larocca, F.; Dalla Tea, F. 2005. Silvicultura de establecimiento de *Eucalyptus grandis*. IDIA XXI, Revista de Información sobre Investigación y Desarrollo Agropecuario, 8, 66-69.
- ASTM. (1997). ASTM-D2395-93 1997 e1: Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood-Based Materials. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International.
- ASTM. 1972. Standard D 143-52. Standard method of testing small clear specimen of timber. USA.
- BARTH, S. R. 2016. Efectos de la densidad de plantación sobre la biomasa aérea y las propiedades físico-mecánicas de la madera de *Grevillea robusta* A. Cunningham. (Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba). 151 páginas.
- BENIN, C. C.; Watzlawick, L. F.; Hillig, É. 2017. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* sob efeito do espaçamento de plantio. *Ciência Florestal*, 27, 1375-1384. Recuperado de: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/30219/16775>
- BULMAN HARTKOPF, C.; Winck, R. A.; Fassola, H. E.; Aquino, D. R.; Stefani, P. M. 2021. Tiempo de propagación de ondas de impacto para la caracterización de árboles en pie de clones de *Eucalyptus*. Actas de resúmenes V Congreso Nacional de Ciencias Agrarias. San Lorenzo. Paraguay. P. 350-355.

- CARPINETI, L. A.; Dalla Tea, F.; Glade, J. E.; Marco M. A. (Editores). 1995. Manual para Productores de Eucaliptos de la Mesopotamia Argentina. Grupo Forestal EEA Concordia. INTA-SAGPyA. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_para_productores_de_eucaliptos_de_la_mesopotam.pdf
- CRECHI, E. H.; Fernández, R. A.; Fassola, H. E.; Friedl, R. A.; Reboratti, H. J. & Kuzdra, H. J. 2003. Efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento en *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden a la edad de 6 años. Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. 10. 2003/09/25-27, septiembre 2003. Eldorado, Misiones. AR.
- CUETO, G.; O'Neill, H.; Rachid, C.; Ohta, S.; Resquin, F. 2013. Influencia del raleo sobre el módulo de elasticidad y ruptura en *Eucalyptus grandis*. Agrociencia (Uruguay), 17(1):91-97. Recuperado de: <http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v17n1/v17n1a10.pdf>
- DALLA-TEA F. 1995. Efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento de *Eucalyptus grandis* en Entre Ríos, Argentina. Invest Agrar: Sist Recur For 4(1), 57-71.
- DI RIENZO J.A.; Casanoves F.; Balzarini M.G.; Gonzalez L.; Tablada M.; Robledo C.W. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- DI RIENZO, J. A.; Guzman, A. W.; Casanoves, F. 2002. A multiple comparisons method based on the distribution of the root node distance of a binary tree obtained by average linkage of the matrix of Euclidean distances between treatment means. JABES 7(2):129-142.
- DÍAZ BRAVO, S.; Espinosa, M.; Valenzuela, L.; Cancino, J.; Lasserre, J. P. 2012. Efecto del raleo en el crecimiento y algunas propiedades de la madera de *Eucalyptus nitens* en una plantación de 15 años. Maderas. Ciencia y tecnología. 14 (3), 373-388.
- DICKSON, R. L.; Raymond, C. A.; Joe, W.; Wilkinson, C. A. 2003. Segregation of *Eucalyptus dunnii* logs using acoustics. Forest Ecology and Management 179(1-3): 243-251.
- FARRELL, R.; Innes, T. C.; Harwood, C. E. 2012. Sorting *Eucalyptus nitens* plantation logs using acoustic wave velocity. Australian Forestry 75(1) 22-30. Recuperado de: <https://doi.org/10.1080/00049158.2012.10676382>

- FATHI, H.; Nasir, V.; Kazemirad, S. 2020. Prediction of the mechanical properties of wood using guided wave propagation and machine learning. *Construction and Building Materials* N° 262. Editorial Elsevier. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820328531>
[conbuildmat.2020.120848](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820328531)
- FRANCIS, J.K.; Lowe, C.A. 2000. Bioecología de Árboles Nativos y Exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales; General Technical Report IITF-15, United States Department of Agriculture & United States Forest Service, Rio Piedras, Puerto Rico. Pag 211. Recuperado de: https://data.fs.usda.gov/research/pubs/iitf/Bioecologia_gtr15.pdf#page=223
- GARCIA, M. D. L. A.; Keller, A. E.; Caniza, F. J. 2021. *Espaciamientos para plantar eucaliptos en la Mesopotamia*. (Informe N°25). INTA. Recuperado de: <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/desarrollo-foresto-industrial/silvicultura/archivos2/000000-Espaciamientos%20en%20eucaliptos.pdf>
- GÖRLACHER, R. 1984. Ein neues Messverfahren zur Bestimmung des E-modulus von Holz. *Holz als Roh-und Werkstoff*. (42): 212-222.
- GUERRA BUGUEÑO, E.; Célis Mosqueira, F.; Moreno García, N. 2014. Efecto de la densidad de plantación en la rentabilidad de plantaciones de *Eucalyptus globulus*. *Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*. 20(1), 21-31.
- HASELEIN, C. R.; Berger, R.; Goulart, M.; Sthal, J.; Trevisan, R.; Santini, E. J.; Lopes, M. D. C. 2002. Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da adubação. *Ciência Florestal*, 12:147-152. Recuperado de: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/3TDmHhFrsNt8WwzbZWYRRYL/?format=pdf&lang=pt>
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL. 2004. Pinos. Propiedades mecánicas y físicas. Bajado de: <https://www.inti.gob.ar/areas/serviciosindustriales/servicios-sectoriales/madera-y-muebles/publicaciones>
- IRAM. 1973. IRAM 9542 Método de determinación de la flexión estática.
- IRAM 9544. 1973. Norma para métodos de determinación de densidad aparente en maderas. Instituto Argentino de Racionalización de materiales. 10 pp.

- KEIL, G. D.; Spavento, E. M.; Raffaelli, N. (EDITORES). 2022. Industrialización de la madera. Libros de Cátedra. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
- KÖHLN, M.; Magnussen S. y Marchetti M. 2006. Sampling Methods, Remote Sensing and GIS. Multiresource Forest Inventory. Ed. Springer. Berlin. Heidelberg. Serie Tropical Forestry. Pp. 17-69.
- LIGIER, H. D.; Matteio H. R.; Polo H. L.; Rosso J. R. 1990. Provincia de Misiones. In: Atlas de Suelo de la República Argentina, V. II. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Proyecto PNUD ARG.85/019 INTA. Pp 111-154.
- MACHEK, L.; Militz, H.; Sierra Alvarez, R. 2001. The use of an acoustic technique to assess wood decay in laboratory soil-bed tests. *Wood Science and Technology* 34(6): 467-472.
- MASTRANDREA, C. A.; Dacoregio, H. M.; Sbravati, M.; Lovatell, Q. C. 2016. Utilización de métodos no destructivos por vibración para evaluar el módulo de elasticidad en tablas aserradas de *Eucalyptus grandis*. En XXX Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia.
- MATHESON, A. C.; Gapare, W. J.; Ilic, J.; Wu, H. X. 2008. Inheritance and genetic gain in wood stiffness in radiata pine assessed acoustically in young standing trees. *Silvae Genet*, 57:56–64.
- PAHR, N.; Fernández, R; Lupi, A. 2000. Potencial de productividad de los suelos del nordeste de Corrientes para el *Eucalyptus grandis*. *Yvyrareta* 10: 91-92. Recuperado de: [https://rid.unam.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12219/4123/Pahr%20N 2000 Potencial %20de%20productividad.pdf?sequence=1](https://rid.unam.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12219/4123/Pahr%20N%202000%20Potencial%20de%20productividad.pdf?sequence=1)
- PROTO, A. R; Macri, G.; Bernardini, V.; Russo, D.; Zimbalatti, G. 2017. Acoustic evaluation of wood quality with a nondestructive method in standing trees: A first survey in Italy. *iForest* 10:700-706. Recuperado de: [https://www.academia.edu/33911490/Acoustic evaluation of wood quality with a non destructive method in standing trees a first survey in Italy](https://www.academia.edu/33911490/Acoustic_evaluation_of_wood_quality_with_a_non_destructive_method_in_standing_trees_a_first_survey_in_Italy)
- SÁNCHEZ ACOSTA, M. 1990. Caracterización y utilización de la madera de *Eucalyptus grandis*. V Jornadas Forestales de Entre Ríos. Entre Ríos, Argentina. INTA. 5 p.
- SUIREZS, T. M.; Bobadilla, E. A.; Weber, E. M.; Arenhardt, O. E.; Bernio, J. C.; Marek, M. A.; Bragañolo, A. 2013. Densidades y flexión estática de las maderas de *Eucalyptus*

grandis hill ex maiden y *Ruprechtia laxiflora* impregnadas y sin impregnar, de la Provincia de Misiones. Yvyrareta. 20. 25-31.

TREVISAN, R.; Haselein, C. R.; Santini, E. J.; Schneider, P. R.; Menezes, L. F. D. 2007. Efeito da intensidade de desbaste nas características dendrométricas e tecnológicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. *Ciência Florestal*, 17 (4), 377-387.

VALENCIA, J. 2008. Application of nondestructive evaluation techniques to the prediction of solid-wood suitability of plantation grown *Eucalyptus nitens* logs. M. Sc. Thesis. University of Tasmania, Australia. Recuperado de: <https://eprints.utas.edu.au/22211/>

WANG, X. 2013. Acoustic measurements on trees and logs: A review and analysis. *Wood Science and Technology* 47(5):965-975. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00226-013-0552-9>

WINCK, R. 2013. Influencia del raleo sobre las características anatómicas de la madera y las propiedades físico-mecánicas del *Pinus taeda* L. de la región NE de la Argentina. Tesis de Maestría. Maestría en Ciencias de Madera, Celulosa y Papel. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales – Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Misiones. 103 páginas.

7. ANEXO

Anexo 1. Ensayo de dureza Janka en maquina universal de ensayos.



Anexo 2. Ensayo de flexión estática en maquina universal de ensayos.



Anexo 3. Vista completa de la maquina universal de ensayos.



Anexo 4. Medición del tiempo de traslado de una onda de impacto de los árboles en pie con el equipo *Tree Sonic* (Fakopp®).



**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 **“Efecto de la densidad inicial de plantación sobre la dureza Janka y la flexión estática de la madera de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden cultivada al norte de la provincia de Misiones, Argentina.”** da FE de la autoría y originalidad de la obra mencionada, que fue dirigido por la Dra. BARTH Sara Regina 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 19/09/2024, Acta N° 178706, con el fin de obtener el título de **Ingeniero Forestal**.

Tildar según corresponda

- Tesis de Posgrado
 Doctorado Maestría Trabajo Final Integrador
 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

- 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.

Condiciones 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.
	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).

Dados personales (llenar un cuadro por cada autor)

Apellido y Nombres	Morel, Matias Gustavo
Teléfono/Celular	+54 9 3757 65-3797
Correo electrónico	matiasmorel119@gmail.com

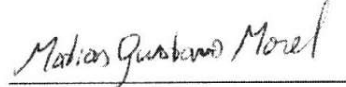
Se firma la presente en la Ciudad de Eldorado, Misiones a los 19 días del mes de septiembre de 2024.



Firma

DNI 38568717

Tipo y N° Documento



Aclaración