

INFLUENCIA DE TRATAMIENTO HIGROTÉRMICO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE TABLEROS DE MADERA MICROLAMINADA (LVL)

INFLUENCE OF HYGROTHERMAL TREATMENT ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF MICROLAMINATED WOOD PANELS (LVL)

Belsy Benítez Izquierdo^{1*}, Daniel Alvarez Lazo², Juan Francisco Pastor Bustamante³, Belisa Benítez Izquierdo⁴,
Damián Guerra Castellón⁵

¹Delegación Territorial del Turismo Pinar del Río. CP 20100, <https://orcid.org/0009-0004-9903-8590>

²Universidad de Pinar del Río. Facultad de Ciencias Forestales y Agropecuarias. Centro de Estudios Forestales. CP 20100, <https://orcid.org/0000-0001-7627-0152>

³Universidad de Pinar del Río. Facultad de Educación Media. Departamento de Química Servicio. CP 20100, <https://orcid.org/0009-0000-7890-2301>

⁴Universidad de Pinar del Río. Facultad de Ciencias Forestales y Agropecuarias. Departamento de Ciencias Forestales. CP 20100, <https://orcid.org/0009-0005-2327-4199>

⁵Universidad de Pinar del Río. Facultad de Ciencias Forestales y Agropecuarias. Departamento de Ciencias Forestales. CP 20100, <https://orcid.org/0000-0002-4536-4938>

*Autor para la correspondencia (e-mail): belsybenitez5@gmail.com

Recibido para su publicación: 14/05/2025 - Aceptado para su publicación: 18/06/2025

Resumen

El continuo crecimiento del turismo de naturaleza aparejado del deterioro de las instalaciones rústicas que ofrecen el servicio de hospedaje se hizo necesario analizar la influencia de un tratamiento higrotérmico sobre las propiedades físicas de tableros de madera microlaminada. Para la confección de las probetas se extrajo una troza de un metro de altura a partir del DAP de cada individuo de las especies *Gmelina arborea* Roxb., *Acacia mangium* Willd., y *Casuarina equisetifolia* L. Se confeccionaron 10 tableros de pruebas a partir de láminas de 4mm con acetato de polivinilo (PVAc) y presión por 60 min de 3 kg/cm². Se introdujeron las probetas de 2*2*2 cm en cámara con humedad y temperatura controlada en dos tratamientos. El tratamiento T1 fue el que mayor influencia ejerció sobre la contracción volumétrica y la densidad de los tableros, siendo las probetas de *Gmelina arborea* las que presentan mayor inestabilidad higroscópica y dimensional. Concluyendo que se evidencia una marcada influencia de la humedad y la temperatura sobre la densidad y la contracción volumétrica de la madera, lo que constituye fatiga higroscópica y dimensional de la misma.

Palabras claves: Humedad; fatiga higroscópica; densidad; contracción; madera microlaminada (LVL).

Abstract

The continued growth of nature tourism coupled with the deterioration of rural accommodation facilities made it necessary to analyze the influence of hygrothermal treatment on the physical properties of laminated plywood panels. To prepare the test pieces, a one-meter-high log was extracted from the DBH of each individual tree of the species *Gmelina arborea* Roxb., *Acacia mangium* Willd., and *Casuarina equisetifolia* L. Ten test boards were made from 4-mm sheets of polyvinyl acetate (PVAc) and subjected to a pressure of 3 kg/cm² for 60 min. The 2 x 2 x 2 cm test pieces were placed in a chamber with controlled humidity and temperature in two treatments. Treatment T1 had the greatest influence on the volumetric shrinkage and density of the boards, with the *Gmelina arborea* test pieces showing the greatest hygroscopic and dimensional instability. Concluding that there is evidence of a marked influence of humidity and temperature on the density and volumetric contraction of wood, which constitutes hygroscopic and dimensional fatigue of the wood.

Keywords: Humidity; hygroscopic fatigue; density; shrinkage; micro-laminated wood (LVL).

INTRODUCCIÓN

García et al., (2004) citado por Guerra et al., (2025) asegura que el estudio de las propiedades físicas y su variación en la práctica es un problema prácticamente resuelto, sin embargo, el porqué de su comportamiento y las variables que lo fijan tiene mucho campo por delante, especialmente en un tema tan trascendental para la utilización

de la madera como son las relaciones agua-madera o más ampliamente relaciones fluidos-maderas, así como la energía superficial de las maderas, tan determinante en el acabado y encolado de las maderas.

Una propuesta que comienza a ganar relevancia es la fabricación de productos estructurales con madera. Son múltiples las alternativas y gama de productos que se pueden obtener de una troza de madera. A partir de ella se fabrica, además de madera laminada encolada, madera microlaminada, conocida como LVL (Laminated Veneer Lumber) (Rahayu et al., 2015).

La madera tiene sus limitaciones al ser perecedera en el tiempo, pudiendo ser dañada e incluso destruida por diversos agentes tanto abióticos (fuego, humedad, fotodegradación) como bióticos (hongos, insectos xilófagos).

Dentro de las propiedades determinantes de la madera, influyente en el comportamiento mecánico de ella, se encuentra la higroscopicidad, no es más que la capacidad que tiene la madera por su estructura porosa de adsorber o ceder agua en función de las condiciones del medio en las que se desarrolla (Alvarez et al., 2020). La madera crea estabilidad directa con la humedad relativa ambiente por lo que es capaz de adsorber y contener en sí la misma humedad que se presente (Valdes et al., 2022; Pupo et al., 2023; y Guerra et al., 2025).

Uno de los principales agentes del deterioro de la madera es la interacción humedad-temperatura-intensidad de luz directamente sobre esta, término conocido como intemperismo. Por lo que se plantea como objetivo de la investigación analizar la influencia de tratamientos higroscópicos sobre la estabilidad higroscópica y dimensional de tableros de madera microlaminada. Particularizando en la variación del comportamiento en maderas de diferentes densidades, puesto que Guerra et al., (2025) define que la densidad y la durabilidad de la madera guardan cierta relación de proporcionalidad, donde la variación de temperaturas y humedad aceleran el proceso de deterioro.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para esta investigación se seleccionaron las especies *Gmelina arborea* Roxb., *Acacia mangium* Willd., y *Casuarina equisetifolia* L., las cuales están presentes en áreas pertenecientes al sector del turismo en la provincia de Pinar del Río. Se describe el punto de equilibrio higroscópico o contenido de humedad de equilibrio la contracción volumétrica y la densidad, lo que determina la permanencia de la madera en su propósito final.

Para la selección de los individuos se siguió el método propuesto por Guerra et al., (2025) donde determina las propiedades físicas y mecánicas de *Quercus sagranea* Nutt. Se emplea el muestreo aleatorio simple a partir de la utilización de 20 árboles, teniendo como variable de interés el diámetro a 1.30 m de altura; según la metodología propuesta por Álvarez et al., (2020); Pupo et al., (2023) y Guerra et al., (2025); quienes emplean la siguiente ecuación:

$$n = \frac{t_{\alpha}^2 s_x^2}{E^2} \quad (1)$$

$$E = (LE * \bar{X}) \quad (2)$$

Donde: n = número de muestras; t^2 = Estadístico t de student al cuadrado; LE = límite del error de muestreo admitido.

Fueron significativos para la representación de la muestra 10 individuos de cada especie homogéneos en morfología, de esta manera también se limita la presencia de madera juvenil con el fin de minimizar las deformaciones de la madera en el proceso de secado de las mismas.

El estudio de los individuos *Casuarina equisetifolia* L. se realizó en Cayo Levisa, perteneciente al municipio La Palma y Cayo Jutías, del municipio Minas de Matahambre; las especies *Gmelina arborea* y *Acacia mangium* Wild en áreas pertenecientes al Rancho San Vicente, hotel los Jazmines y campismo popular Dos Hermanas, ubicados en el municipio de Viñales, municipios enclavados en la provincia Pinar del Río.

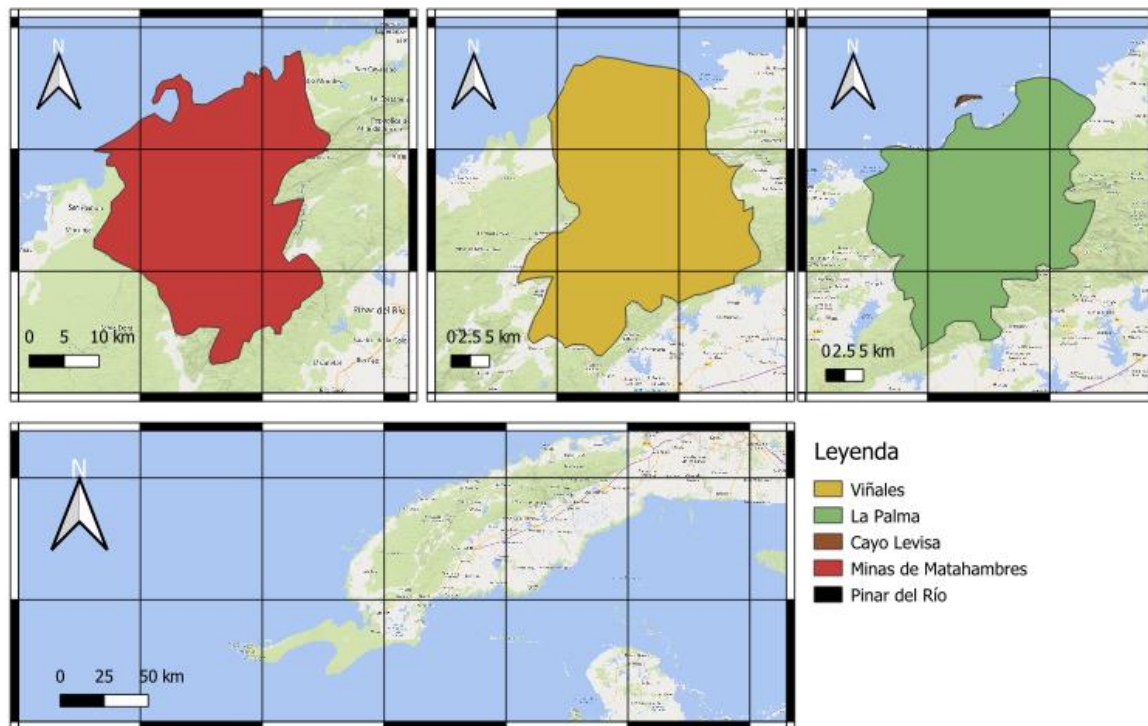


Figura 1. Mapa de Pinar del Río, municipios con presencia de las especies en cuestión de estudio patrimonio del MINTUR-Pinar del Río. Fuente: Elaboración propia.

Figure 1. Map of Pinar del Río, municipalities with the species in question, as part of the MINTUR-Pinar del Río heritage study. Source: Elaborated by authors.

Conformación de la madera microlaminada (LVL)

Se llevaron las trozas a una sierra sin fin de transformación secundaria de la madera, con la cual se graduó a 4 mm para la obtención de las láminas.

Se aplica presión en prensa hidráulica de 3 kg/cm² por 60 min a las láminas obtenidas, con cola del tipo PVAc (acetato de polivinilo) en las capas interiores coincidiendo con la metodología empleada por Rahayu et al., (2015). Con las láminas extraídas se obtuvo probetas de 2x2x5 cm para el caso de la determinación de la fatiga higroscópica y dimensional de la madera, bajo la norma NC-43-37-87.

Tratamiento higrotérmico

Es necesario someter los paneles a procesos higrotérmicos que permitan la interacción de la madera con humedad y temperatura constante, lo cual constituye la vía de adsorción de humedad de la madera a partir de las isothermas de sorción. Se tomaron las condiciones de temperatura y humedad que con mayor relatividad se presenta en el país, para ello se tomó una experimentación de temperatura de 35 °C y 80% Humedad relativa (T1); 35 °C y 35 % Humedad relativa (T2).

Se mantuvo las muestras hasta que las pesadas fueran constantes con pesadas diarias. Este proceso se realizó en cámara con condiciones de regular humedad y temperatura superior a los 0 °C y menor de 105 °C.

Determinación de las propiedades físicas

Para la determinación de las magnitudes de las propiedades físicas estudiadas se utilizan las siguientes expresiones matemáticas según la metodología desarrollada por Guerra *et al.*, (2025)

Humedad en la madera

Se emplea el cálculo matemático sobre la base de la determinación del peso de la probeta en su estado inicial de corta y el estado final de secado. Ecuación que se muestra a continuación:

$$Ch = \frac{ph-ps}{ps} \quad (3)$$

Donde, Ch significa Contenido de humedad, ph: peso húmedo, ps: peso seco, unidad de medidas es gramos (g).

Contracción volumétrica total

$$\beta_v = \frac{V_s - V_o}{V_s} * 100 \quad (4)$$

Donde: B- contracción volumétrica total; %; V_s- volumen saturado, cm³; V_o- volumen en estado anhidro, cm³

Densidad Verde (DENS_v)

$$DENS_v = \frac{P_v}{V_v} \quad (5)$$

Donde: DENS₁₂- Densidad verde, g*cm⁻³; P_v- peso de la madera verde, g; V₁₂- Volumen de la madera verde, cm³.

Análisis estadístico

Se hicieron comparaciones múltiples, análisis de correlación lineal y regresión lineal con el método un paso adelante con el fin de determinar la incidencia del tratamiento higrotérmico sobre las propiedades físicas descritas. Con un nivel de significación de p≤0.05, con el software SPSS IBM ver. 22 para Windows.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Análisis de la fatiga higroscópica y dimensional de la madera microlaminada (LVL)

La fatiga higroscópica en un mayor porcentaje queda explicada por la variación de humedad existente en la relación humedad relativa-temperatura ambiente, si se observa detenidamente el comportamiento del punto de saturación de la fibra junto al punto de equilibrio higroscópico. Los constantes cambios en el ambiente generan variaciones en el estado de la madera y este a su vez en las dimensiones de la misma, siendo el sentido axial y tangencial los que presentan mayor variación por la exposición de la fibra y no así en la sección longitudinal.

Teniendo en cuenta el planteamiento anterior la fatiga higroscópica en la madera es directamente proporcional a la fatiga dimensional, manifestándose esta en las propiedades físicas más determinantes de la madera: densidad, hinchamiento y contracción. La contracción aparece en la madera una vez que hay pérdida de dimensiones por un proceso de desorción de humedad, tanto de forma natural como artificial, si pasa el proceso contrario, entonces se estaría en presencia de hinchamiento.

El comportamiento de la contracción, en este caso volumétrica, queda condicionada al igual que la humedad por la sección en que se encuentre ubicada la probeta; es válido mencionar nuevamente que en la medula y hasta los primeros 5 o 10 anillos dependiendo de la especie se encuentra madera juvenil, la cual modifica en toda estructura el comportamiento tanto físico como mecánico de la madera. Presenta fibras cortas, tensiones de cohesión de anillos, tracción longitudinal y un alto porcentaje de humedad donde se transporta toda sustancia de alimentación y mineral que necesita la planta para su desarrollo (Vignote et al., 2016).

La contracción volumétrica presentó el menor valor *C. equisetifolia* y el mayor la *G. arborea*. Hay que destacar la influencia de la temperatura y contenido de humedad relativa en el comportamiento de dicha propiedad, manifestando lo antes expuesto, donde a menor humedad relativa menor sorción de humedad, por tanto, a la hora de una desorción la variación de humedad sería poca y la pérdida de dimensiones igual. Se pone de manifiesto la presencia de fatiga dimensional. Autores como Rescalvo et al., (2022), lo plantean de manera similar, solo que en función de dimensiones y no de la contracción propiamente, por otra parte, Gallego et al., (2020) describe el fenómeno, pero no como fatiga dimensional de la madera, sino como deformación por pérdida de humedad de la madera.

Tabla 1. Comportamiento de la contracción

Table 1. Contraction behavior

Tratamientos		Subconjunto para alfa = 0.05						
		N	1	2	3	4	5	6
Tukey Ba	(T2) <i>C. equisetifolia</i>	10	7.052					
	(T2) <i>A. mangium</i>	10		7.988				
	(T1) <i>C. equisetifolia</i>	10			9.254			
	(T2) <i>G. arborea</i>	10				9.967		
	(T1) <i>A. mangium</i>	10					10.621	
	(T1) <i>G. arborea</i>	10						13.891

El análisis de correlación muestra que el peso de humedad de equilibrio y el peso seco tienen una fuerte relación de proporcionalidad, donde se pone de manifiesto la fatiga higroscópica, en el caso de la contracción presenta una relación marcada con el punto de equilibrio higroscópico, pues es este quien determina mayor o menor valor de contracción en función de la influencia que pueda ejercer sobre la madera y su estructura anatómica las variables humedad-temperatura; poniéndose de manifiesto aquí la fatiga dimensional de la madera. Igual resultado obtuvo Gallego et al., (2020) para *G. arborea* y *A. mangium* con la diferencia de que la primera especie presentó menor valor de contracción que la segunda, por presentar *A. mangium* individuos con poca edad de plantación influyendo negativamente en los valores de contracción.

Valdes et al., (2022) y Guerra et al, (2025) presentaron un valor distinto para el comportamiento de la contracción en otras especies, influenciado también por la heterogeneidad de las especies y la edad de los mismas.

El nivel bajo de contracción presentado por *C. equisetifolia* responde a las características de la fibra y la sección de la madera, teniendo en cuenta lo planteado por Villaseñor & Rutiaga (2016) quienes relacionan la alta cantidad de sustancias extraíbles presentes en la madera de casuarina con las características de la fibra, la densidad de la madera y

la poca penetrabilidad de sustancias impregnantes, lo que convierten la madera del duramen en resistente a los cambios de las condiciones climáticas.

Tabla 2. Correlación de los parámetros de la humedad con la contracción volumétrica.

Table 2. Correlation of humidity parameters with volumetric shrinkage.

		Peso HE (g)	Peso seco (g)	PEH (%)	Contracción (%)
Peso HE (g)	Correlació de Pearson	1	.914**	.157	.205
	Sig. (bilateral)		0	0.374	.071
	N	60	60	60	60
Peso seco (g)	Correlació de Pearson	.914**	1	-.162	-.048
	Sig. (bilateral)	.000		.248	.806
	N	60	60	60	60
PEH (%)	Correlació de Pearson	.157	-.162	1	.902**
	Sig. (bilateral)	0.243	0.248		.000
	N	60	60	60	60
Contracción (%)	Correlació de Pearson	.205	-.048	.902**	1
	Sig. (bilateral)	.071	.806	.000	
	N	60	60	60	60

A partir de los valores de correlación ante mostrado se procede a la realización de una regresión lineal en función de obtener un modelo que estime el comportamiento de la contracción volumétrica. El resumen del modelo de regresión por pasos con variable dependiente contracción y variable predictora incluyendo el valor constante el de peso seco, muestra un coeficiente de regresión del 99.2 % y coeficiente de determinación del 98.5%, donde el peso seco explica el 99% del comportamiento de la contracción volumétrica en cada uno de los individuos.

Tabla 3. Modelo de regresión lineal por pasos.

Table 3. Stepwise linear regression model.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.992 ^a	.985	.985	.19149

Existe influencia del peso seco sobre la contracción y no hay posibilidad de que se anule alguno de los cálculos por presentar valores predictivos iguales a 0. Esta tendencia también la obtuvo Cordero et al., (2022) en el análisis de la estructura físico-mecánica de madera laminada, contrachapada y MDF, con el fin de obtener modelos que le permitan estimar el comportamiento de estos materiales por la sorción de humedad.

Modelo obtenido:

$$Cv = 19.950 + Ps(-0.121) \quad (6)$$

Donde: Cv. Contracción volumétrica (%) y Ps. Peso seco.

Comportamiento de la densidad de los tableros (LVL)

La densidad es una propiedad determinante en el uso estructural de las maderas, por lo que su estudio y análisis permite utilizar las diferentes maderas de una forma más óptima. la densidad de la madera guarda una estrecha relación con otras propiedades físicas como son la dureza y la humedad. Teniendo en cuenta la capacidad higroscópica de la madera se analizan por separado las especies en cuanto al tratamiento empleado determinando de esa manera la influencia que ejerce la humedad sobre la densidad de la madera.

En el caso del tratamiento 1 la especie que mayor densidad presentó fue *C. equisetifolia* con un valor de 0.97 g/cm³, considerándose una especie muy pesada según la clasificación propuesta por Vignote et al., 2016, Guerra et al., (2019) y Guerra et al., (2025) para *Quercus sagraeana*. Por otra parte, la especie *G. arborea* y *A. mangium* presentan los menores valores de densidad siendo estos 0.61 g/cm³ y 0.85 g/cm³ respectivamente. El comportamiento de la densidad para las especies coincide con los intervalos obtenidos por Muñoz & Moreno (2013) para *A. mangium*, clasificándola de pesada, Da Silva et al., (2016) para *C. equisetifolia*, así como Sánchez et al., (2022) para *G. arborea*.

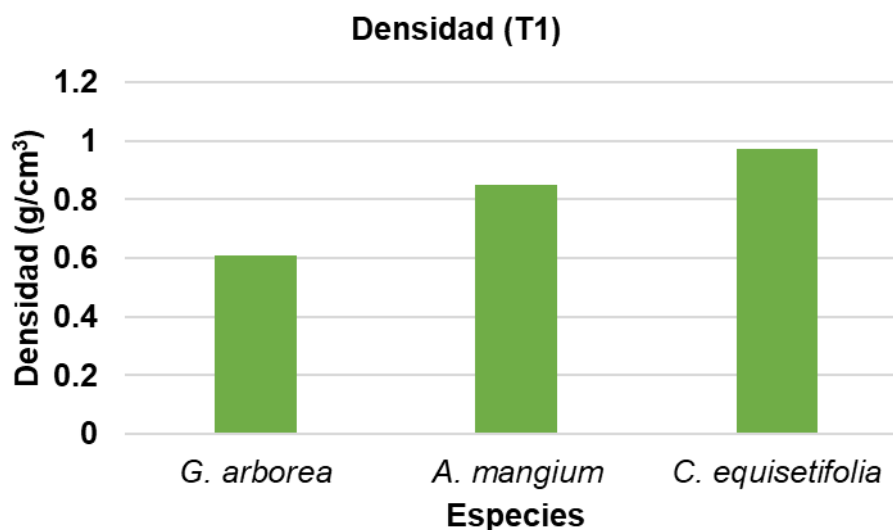


Figura 2. Valores de densidad para el tratamiento T1.
Figure 2. Density values for treatment T1.

Cuando se evalúa la relación existente entre la densidad y el punto de equilibrio higroscópico para el caso de tratamiento T1 se evidencia que la especie *A. mangium* es la que menor humedad adsorbe, siendo 10.71 %, en condiciones de alta humedad relativa y temperatura ambiente, teniendo en cuenta que este tratamiento asume valores de periodo poco lluvioso en la isla. *C. equisetifolia* presenta valor medio de 11.77 % y *G. arborea* 31.07 %. En el caso de la especie *A. mangium*, los valores difieren de los obtenidos por Muñoz & Moreno (2013), esto está relacionado a la edad de los individuos, pues a mayor edad, mayor formación de masa seca, disminuyendo la capacidad de agua higroscópica en la madera, teniendo en cuenta que los autores antes mencionados, declara la especie como de inestable desde el punto de vista dimensional. Lo que define la especie con alto nivel de contracción e hinchamiento en edad de corta comprendida entre los 10 y los 15 años.

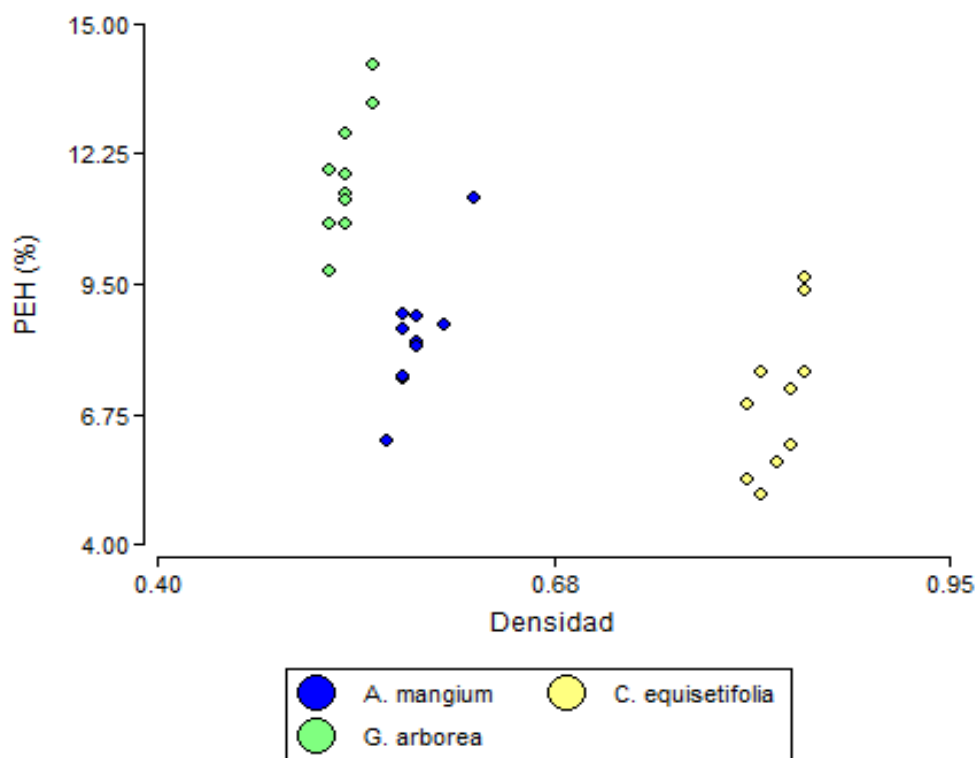


Figura 3. Relación densidad-punto de equilibrio higroscópico tratamiento 1 (T1: 85 % Hr-35 °C).
Figure 3. Density-hygroscopic equilibrium point relationship treatment 1 (T1: 85% Hr-35 oC).

Al igual que en el tratamiento antes explicado, el comportamiento es similar en cuanto al comportamiento de la densidad, siendo la especie *G. arborea* presentando la menor densidad con un valor de 0.53 g/cm³, disminuyendo el valor de densidad con respecto al tratamiento anterior. Las especies *A. mangium* y *C. equisetifolia* muestran valores de 0.58 g/cm³ y 0.83 g/cm³ respectivamente, disminuyendo en ambos casos los valores de densidad con respecto al tratamiento T1.

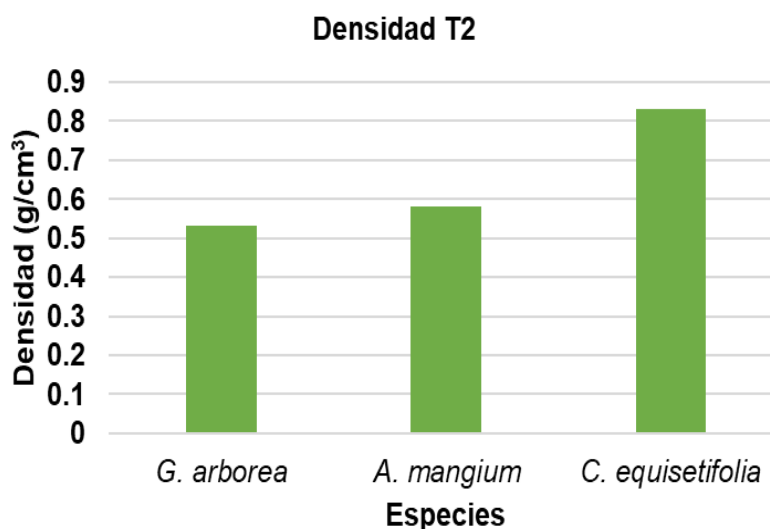


Figura 4. Valores de densidad para el tratamiento 2 (T2: 35 % Hr-35 °C).
Figure 4. Density values for treatment 2 (T2: 35% Hr-35 °C).

La relación densidad-punto de equilibrio higroscópico en el tratamiento T2 difiere del comportamiento T1, debido a que el valor de humedad relativa es menor. El comportamiento entre las especies es similar en ambos tratamientos, siendo *G. arborea* la que presenta menor densidad y mayor punto de equilibrio higroscópico, presentando un valor medio de 11.79 %, *A. mangium* 8.38 % y *C. equisetifolia* 7.07 %, coincidiendo con las relaciones obtenidas por Villaseñor & Rutiaga (2016).

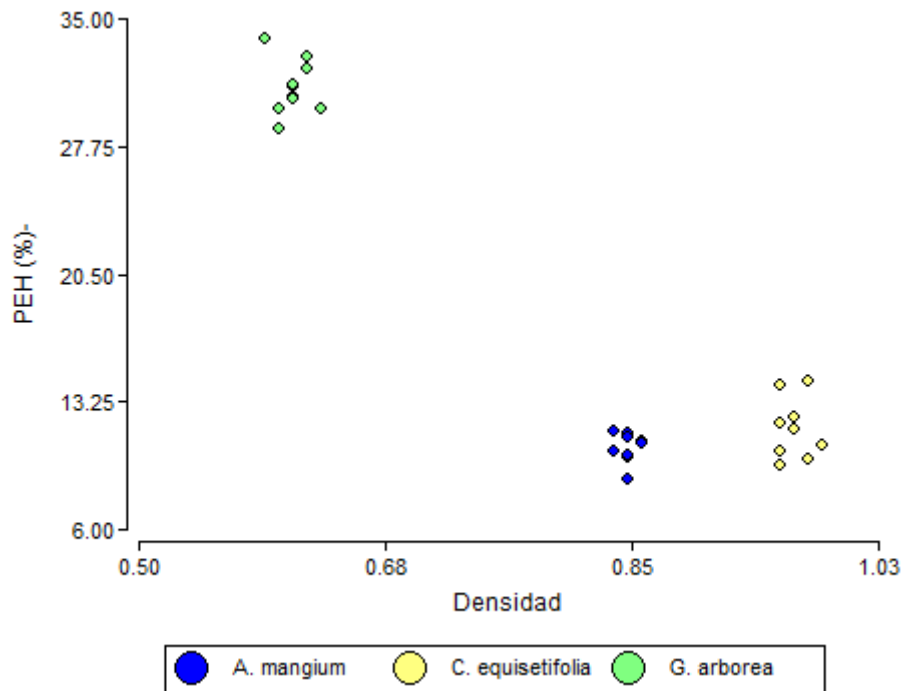


Figura 5. Relación densidad punto de equilibrio higroscópico para T2.
Figure 5. Density-hygroscopic equilibrium point relationship for T2.

La capacidad de sorción de humedad de la madera depende en gran medida del punto de saturación de la fibra, siendo este el que condiciona si los lúmenes celulares son mayores o menores, lo cual indica que si es alto el nivel de adsorción es mayor la presencia de agua higroscópica, agua que se impregna en la pared celular, disminuyendo la presencia de agua libre en la madera. La modificación del agua de impregnación en la madera supone baja estabilidad dimensional en la madera, así como disminución de la resistencia de la misma.

Teniendo en cuenta el análisis de comparación de medias se aprecian diferencias estadísticamente significativas en el comportamiento de la densidad a partir de los diferentes tratamientos empleados. Siendo la especie *G. arborea* en ambos tratamientos la que menor variación presenta en cuanto al comportamiento de la densidad, tampoco presenta diferencias con la especie *A. mangium* en T1. Las especies *C. equisetifolia* (T2) y *A. mangium* (T1), no presentan diferencias y en el caso de *C. equisetifolia* (T1) si difiere con el resto de las especies. Comportamiento similar obtuvo Muñoz & Moreno (2013).

Tabla 4. Comportamiento de la densidad en los tratamientos empleados.

Table 4. Density behavior in the treatments used.

Tratamientos	Subconjunto para alfa = 0.05			
	N	1	2	3
Tukey Ba (T2) <i>G. arborea</i>	10	0.53		
(T2) <i>A. mangium</i>	10	0.58		
(T1) <i>G. arborea</i>	10	0.61		
(T2) <i>C. equisetifolia</i>	10		0.83	
(T1) <i>A. mangium</i>	10		0.85	
(T1) <i>C. equisetifolia</i>	10			0.97

La humedad y la densidad de la madera presentan una relación proporcional donde influye el peso específico básico de la misma, el punto de saturación de la fibra y las características anatómica de cada una de las especies. A medida que la madera es capaz entrar en sorción de humedad, la densidad de la misma aumenta, lo cual indica que en ocasiones hasta el 15 % de la densidad de la madera es agua dispuestas como libre, de impregnación y de constitución, las cuales cumplen con una función diferente dentro la madera.

CONCLUSIONES

La especie que mayor sorción de humedad presento en las condiciones del tratamiento (T1) y (T2) fue *Gmelina arborea*; esta especie obtuvo un punto de equilibrio higroscópico del 31 %. Los tableros presentaron diferencias entre sí en cada una de los parámetros medidos asociados a la humedad. Manifestándose una relación directa entre el contenido de humedad de los tableros sobre el comportamiento de la densidad y la contracción volumétrica.

ÉTICA Y CONFLICTO DE INTERESES

Las personas autores del manuscrito en cuestión, declaran que han cumplido totalmente con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la producción del manuscrito; que no hay conflictos de intereses de ningún tipo; que todas las fuentes financieras que se mencionan completa y claramente en la sección de agradecimientos; y que están totalmente de acuerdo con la versión final editada del artículo.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Alvarez Lazo, D., Sebastiao, J. D. D., Buanga Lelo, F. N. N., Silva Fuentes, S., & Esteves Valdes, I. (2020). Análisis de la calidad del aserrado de maderas tropicales en Cabinda, Angola. *Revista Cubana De Ciencias Forestales*, 8(1), 34–53. Recuperado a partir de <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/452>
- Cordero Quintans, B. A., Alvarez Lazo, D., & Estevez Valdez, I. (2022). Análisis del proceso de elaboración de muebles de piezas curvadas de chapas de madera. *Avances*, 24(3), 285-297. <http://avances.pinar.cu/index.php/publicaciones/article/view/704/2007>
- Da Silva, Alvaro Domingues, et al. Relevância da pesquisa sobre Casuarina equisetifolia L. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, 2018, vol. 12, no 2, p. 425-438. <https://doi.org/10.19180/2177-4560.v12n22018p425-438>

- Gallego Molina, A., Suárez Vargas, E., Rescalvo Fernández, F. J., Hinojo Sánchez, B., Ripoll Morales, M. Á., Navarro Reyes, F. B., ... & Portela Barral, M. (2020). LIFE. Madera para el futuro. Una oportunidad para la recuperación de las alamedas de la Vega de Granada y el desarrollo de una construcción local más eco-eficiente. *Alzada*, (120), 44-53. <https://www.riarte.es/bitstream/handle/20.500.12251/1683/ALZADA%20120%20OCTUBRE-20.%20pp.%2044-53.%20LIFE.%20Madera%20para%20el%20futuro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guerra Castellón, Damián, Peñalver Romeo, Alberto, Álvarez Lazo, Daniel, Estévez Valdés, Ignacio, & Gorospe Zetina, Hirvin. (2025). Análisis de propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Quercus sagraeana* Nutt. procedentes de Viñales. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 13(2), Epub 01 de agosto de 2025. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692025000200001&lng=es&tlng=.
- Muñoz-Acosta, Freddy, & Moreno-Perez, Pablo A. (2013). Contracciones y propiedades físicas de *Acacia mangium* Willd., *Tectona grandis* L. f. y *Terminalia amazonia* A. Chev, maderas de plantación en Costa Rica. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 19(2), 287-303. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.06.040>
- Pupo Carballo, I., Álvarez Lazo, D., Esteves Valdes, I., Guerra Castellón, D., & Morejón Rivera, R. (2023). Incremento de los rendimientos de madera aserrada de *Eucalyptus* sp en la unidad de base agroindustrial Los Palacios, Pinar del Río, Cuba. *Revista Cubana De Ciencias Forestales*, 11(3), e802. Recuperado a partir de <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/802>
- Rahayu, I., Denaud, L., Marchal, R. et al. Ten new poplar cultivars provide laminated veneer lumber for structural application. *Annals of Forest Science* 72, 705–715 (2015). <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0422-0>
- Rescalvo Fernández, F. J., Duriot, R., Pot, G., Denaud, L. y Gallego Molina, Antolino. (Mayo, 2022). Mejora de las propiedades a flexión de vigas microlaminadas (LVL) de chopo y abeto Douglas reforzadas con fibra de carbono. En Consejo General de la Arquitectura Técnica de España, CGATE (ed.), CONTART 2022. Convención Internacional de la Arquitectura Técnica. Toledo, España. <http://hdl.handle.net/20.500.12251/3106>
- Sánchez-Machado, J. D., Muñoz, F., Moya, R., & Tenorio, C. (2022). Propiedades físico-mecánicas de madera contra laminada CLT fabricados con *Tectona grandis* y *Gmelina arborea*, procedente de plantaciones forestales en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 19(44), 29-39. <http://dx.doi.org/10.18845/rfmk.v19i44.6099>
- Valdes Reinoso, R. H., Alvarez Lazo, D. A., Fernández Concepción, R. R., Díaz Acosta, A., & Garcia Contino, N. S. (2022). Análisis de las preferencias de madera para la producción de muebles en Pinar del Río y Artemisa, Cuba. *Revista Cubana De Ciencias Forestales*, 10(2), 244–261. <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/755>
- Vignote, S, Martínez-Rojas, I, Pérez-Fernández, S, Rejas, M, Sánchez, J, Martínez, K, & Vignote-Hernández, S. (2016). Strategic planning for community sustainability in model forests: Case study of the Yoro model forest, Honduras. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 18(2), 325-336. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2016005000030>
- Villaseñor Araiza, J. C., & Rutiaga Quiñones, J. G. (2016). La madera de *Casuarina equisetifolia* L., química e índices de calidad de pulpa. *Madera Y Bosques*, 6(1), 29–40. <https://doi.org/10.21829/myb.2000.611340>