

CARACTERIZACIÓN DE ESPECIES MADERABLES (ROBLE, TECA Y CHANUL) ANTES Y DESPUÉS DE DIFERENTES CONDICIONES DE TRATAMIENTO TÉRMICO

Braian Buitrago^{1,4*}, *Iván López*^{2,4}, *Orlando Ayala*^{3,4}

1: Ingeniero de materiales, instructor semilleros de investigación y materiales Sena

2: Ingeniero forestal, instructor del programa procesos productivos de la madera Sena

3: Ingeniero industrial, jefe de laboratorio de ensayos para mobiliario Sena

4: Grupo de investigación en materiales Maternob, Sena Centro tecnológico del mobiliario.
Itagüí, Colombia

* Contacto: matinvest@misena.edu.co

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es investigar el efecto del tratamiento térmico en propiedades de hinchamiento, dureza, apariencia física, comportamiento a la flexión y cambios morfológicos en tres especies maderables denominadas **Roble** (Tabebuía Rosea), **Teca** (Tectona Grandis) and **Chanul** (Humiriastrum procerum). Las muestras fueron expuestas a diferentes niveles de temperatura entre los que se encuentran 130°C, 150°C, 180°C y 210°C por tiempos de 2, 4 y 8h. Los valores de hinchamiento y absorción de humedad de las probetas de control así como las probetas tratadas térmicamente fueron evaluados después de inmersión en agua a 2 y 24 horas. La calidad superficial y el aspecto físico de la madera fueron comparados entre las piezas tratadas y aquellas que sirvieron de referencia, y de esta manera encontraron algunas diferencias en cambio de coloración, porosidad y forma. La dureza de las especies fue determinada acorde al método de dureza de la bola Janka en los tres planos de corte. Basados en la literatura, se pretendió demostrar que la estabilidad dimensional de las tres especies maderables propuestas sería mejorada con el tratamiento térmico. A través de análisis macroscópico mediante estereoscopía fueron determinados algunas características de la pared celular de la madera, sus distorsiones y modificaciones en relación a la variación de las distintas condiciones de tratamiento térmico. La resistencia a la flexión fue analizada para determinar propiedades mecánicas de las maderas tales como el esfuerzo en el límite proporcional (ELP), módulo de elasticidad en Flexión (MOE), módulo de ruptura (MOR), y correlacionar esto con las diferentes condiciones de tratamiento térmico.

Palabras clave: *Tratamiento térmico, Madera, Estabilidad dimensional, Lignina*

ABSTRACT

The aim of this work is to investigate the effect of heat treatment on swelling properties, hardness, physical appearance, morphological changes and flexure behavior of three timber species called **Oak** (Tabebuia rosea), **Teak** (Tectona Grandis) and **Chanul** (Humiriastrum procerum). Samples were exposed to different temperature levels of 130°C, 150°C, 180°C and 210°C for periods of 2, 4 and 8 hours. The swelling values and moisture absorption of the control specimens and the thermally treated samples were evaluated after water immersion at 2 and 24 hours. The surface quality and appearance of the wood pieces were compared between the treated samples and those that served as reference, and thus some differences in color change, porosity

and shape were found. The species hardness was determined according to the Janka ball hardness method in the three sectional planes. Based on literature, the present study intended to demonstrate that the dimensional stability of the three proposed timber species would be improved by heat treatment. Macroscopic analysis through stereoscopy was used to determine certain characteristics of the wood cell wall, and possible distortions and modifications related to the heat treatment conditions. Flexural strength was analyzed to determine mechanical properties in wood such as the stress in the proportional limit (ELP), flexural modulus of elasticity (MOE), modulus of rupture (MOR), and to further correlate these with the different heat treatment conditions.

Key words: *Heat treatment, Wood, Dimensional stability, Lignin*

1 INTRODUCCIÓN

Como material de ingeniería, la madera cuenta con excelentes propiedades mecánicas que permiten aplicaciones donde hay altos esfuerzos, sin embargo, este material también se usa en aplicaciones no estructurales en las cuales las características físicas como el aislamiento termo acústico, la forma de la veta y apariencia en general, constituyen un gran interés. A pesar de esto, este material de origen natural cuenta con un gran inconveniente que limita su aplicabilidad, el cual tiene relación con la absorción y desorción de humedad desde y hacia sus alrededores respectivamente. Este problema afecta directamente la dimensionalidad de la madera, haciendo que esta tenga un constante movimiento en relación a su contenido de humedad, trayendo consigo problemas de agrietamiento, pandeos, y rupturas internas que posteriormente se verán reflejadas en la calidad del producto terminado. Para contrarrestar este efecto, se han estudiado diversos métodos entre los que se encuentran la modificación química a partir de la incorporación de elementos resinosos, la microemulsión y acetilación, estudios que aunque han disminuido las contracciones y dilataciones en la madera, no han sido del todo efectivos [1-3]. Como otra alternativa, se ha desarrollado en las últimas dos décadas en Europa el método de modificación estructural producido por efecto del tratamiento térmico, el cual convierte la madera en un producto mejorado aumentando su durabilidad [4-5]. Este proceso es llevado a cabo a temperaturas superiores a 100°C y tiempos que oscilan entre 15min y 48 horas dependiendo del tamaño de la muestra, el contenido de humedad y el tipo de especie, yes aplicado paradisminuir el ataque de los microorganismos, disminuir la absorción de humedad y por ende aumentar la estabilidad dimensional de dicho material. En estudios previos se ha determinado que la contracción e hinchamientos volumétricos, dureza y densidad de la madera, disminuyen mientras que la estabilidad dimensional de esta aumenta con el tratamiento térmico [6]. Temperaturas mínimas de tratamiento en tiempos extendidos generalmente no proporcionan las propiedades buscadas a diferencia de aquellos tratamientos en los cuales la madera se somete a temperaturas superiores a 150°C, las cuales generan modificaciones drásticas a nivel estructural, lo cual exhibe variaciones en las propiedades físicas y químicas del material disminuyendo en la mayoría de los casos la resistencia mecánica de este [7-8]. Al aumentar la temperatura de tratamiento, el material se fragiliza y normalmente la resistencia a la flexión tiende a disminuir entre un 10 y un 30%, y esto restringe en gran medida el uso de este material a aplicaciones en las cuales la madera no sea un componente estructural [9]. Stamm y Hansen (1937) [10], Tiemann (1920) [11], descubrieron que al aplicar tratamientos térmicos a la madera, esta disminuye su higroscopicidad. En otros estudios, se determinó que la madera tiende a sufrir una pérdida de peso con el aumento de la temperatura de tratamiento térmico [12].

2 MATERIALES Y MÉTODOS

La madera fue proporcionada por el Sena Centro Tecnológico del Mobiliario y a partir de esta fueron tronzadas las piezas requeridas por cada especie y de ellas fueron cortadas las 90 probetas libres de defectos para un total de 270 muestras, las cuales fueron dimensionadas estrictamente buscando una apropiada orientación de los anillos en el plano radial. El número de probetas de referencia o control fue de 10 por especie. Para realizar las diferentes pruebas se determinaron tres tipos de probetas, las cuales tenían las siguientes dimensiones: para el ensayo de flexión (25x25x410mm), el ensayo de contracción volumétrica y densidad (25x25x100mm), la prueba de dureza Janka en las tres direcciones de corte y la de hinchamiento volumétrico se realizaron a probetas de (50x50x150mm). La dimensión y peso de las muestras fueron calculados con una precisión de 0,01mm y 0,01g respectivamente. Posterior a esto, todas las probetas fueron condicionadas de acuerdo a la norma ASTM D4442-07 [13], y luego fueron seleccionadas 74 muestras de cada especie para ser sometidas a diferentes condiciones de tratamiento térmico. Este proceso fue realizado en un horno Binder serie E de convección natural a temperaturas de operación de 130, 150, 180 y 210°C. Los tiempos de tratamiento térmico fueron de 2, 4 y 8h.

2.1 Hinchamiento volumétrico y absorción de humedad

La determinación del hinchamiento volumétrico se realizó sumergiendo en agua las probetas de cada una de las especies posterior a cada tratamiento térmico y mediante dos tiempos de inmersión diferentes se siguió el procedimiento establecido por la norma ASTM 1037-12 [14].

2.2 Análisis macroscópico

Este se realizó en dos etapas, la primera de ellas contempló un análisis morfológico que fue determinado mediante estereoscopía en un equipo Nikon SMZ 1000, en el cual se realizaron observaciones a 10 y 30 aumentos de las secciones transversales de las tres especies de estudio. La segunda fase se basó en las diferencias en cambio de color de cada una de las especies estudiadas debido al efecto del tratamiento térmico.

2.3 Prueba de Flexión, dureza janka y compresión paralela

Las cargas máximas de tracción, flexión y compresión, así como las demás variables de proceso fueron aplicadas teniendo en cuenta la norma para pequeñas muestras de madera sólida ASTM D143-09 [15].

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se observa el porcentaje de absorción de agua de cada una de las especies maderables y se muestra que conforme aumenta la temperatura de tratamiento térmico disminuye la cantidad de agua absorbida por la madera. También se observa una superioridad notable entre el índice de absorción de humedad de la especie Roble respecto a la Teca y al Chanul, esto debido a las diferentes características de cada una de las especies maderables, tales como porosidad, tamaño de poro, disposición de las fibras, densidad, etc.

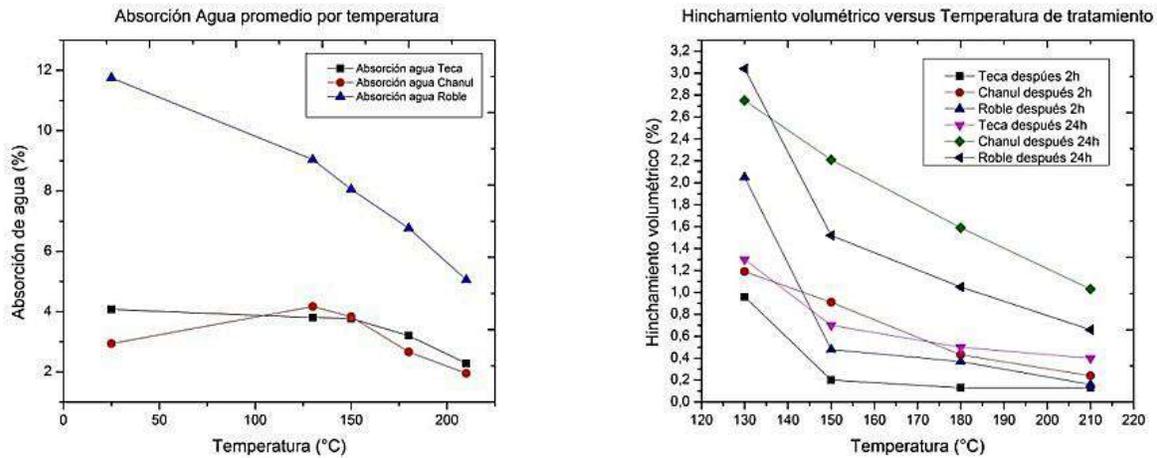


Figura 1. Absorción de humedad e hinchamiento volumétrico de las especies después de 24 horas de inmersión, hinchamiento volumétrico de las probetas después de 2 y 24 horas de inmersión en agua.

También la figura 1 ilustra la relación inversa entre el aumento de temperatura y la disminución en el índice de hinchamiento volumétrico de las probetas, hecho que ratifica la hipótesis de que el tratamiento térmico brinda estabilidad dimensional a la madera, sin embargo se puede ver que la inmersión de 24 horas resultó con valores de hinchamiento superiores a aquellos relacionados con la inmersión de 2h. Como se nota en el estudio, la absorción de humedad y el hinchamiento volumétrico de la madera tuvieron una gran dependencia de la temperatura de tratamiento térmico, sin embargo, se determinó una dependencia mínima respecto al tiempo de tratamiento para cada una de estas características estudiadas. La figura 2 muestra la variación de las propiedades físicas descritas previamente en función del tiempo.

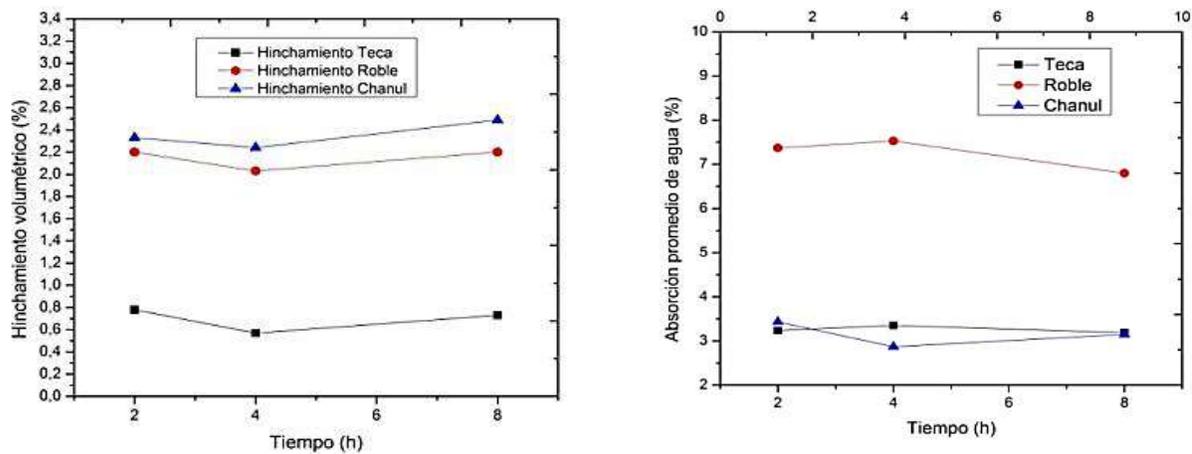


Figura 2. Hinchamiento volumétrico y absorción de agua promedio en función del tiempo de tratamiento térmico.

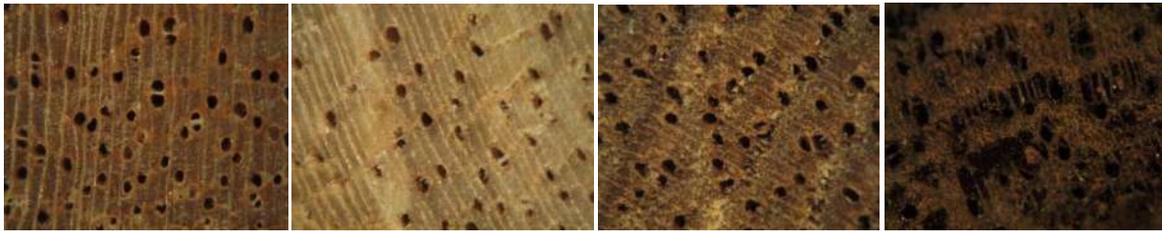


Figura 3. Imágenes de estereoscopía especie Chanul 30X: a) Referencia , b) T2t2, c) T3t2, d) T4t2

La figura 3 ilustra algunas diferencias en forma, tamaño y apariencia de la porosidad en la especie Chanul donde se observa una porosidad difusa uniforme sin agrupamientos y poros abiertos con una geometría no muy definida, no hay parénquima clara alrededor de los poros. Después de transcurrido el tratamiento térmico se observó un deterioro en la forma del poro el cual tendió a cerrarse, hubo un deterioro fuerte en la apariencia la pared celular y un abrupto cambio de rugosidad, además de un cambio de coloración. A diferencia del Chanul y el Roble, en la Teca, se observaron las líneas radiales después de la última temperatura de tratamiento térmico indicando un menor daño generado por el tratamiento térmico. Se pudo a partir de imágenes fotográficas, observar cambios fuertes de tonalidad de los colores naturales de las especies hacia tonos nogal, caramelo, wengue y marrón en las probetas de las tres especies estudiadas. La diferencia de colores y tonos se pueden observar en la figura 4.



Figura 4. Variación de color por efecto de tratamiento térmico para las tres especies de estudio. Inicia de izquierda a derecha en T1t1 y finaliza en T4t3.

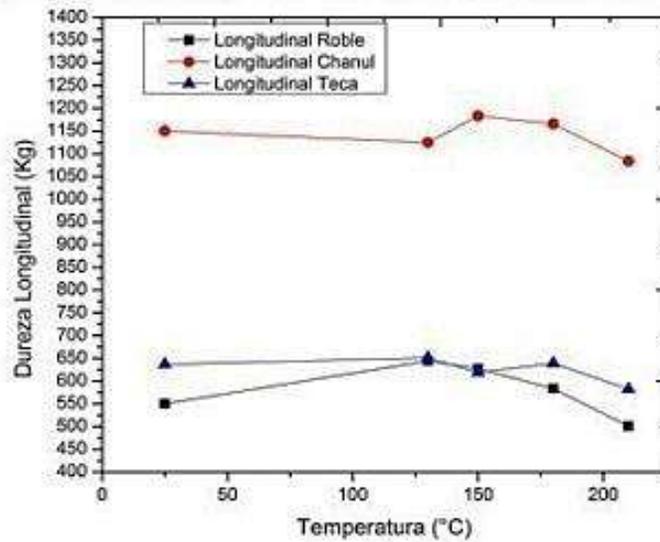
La tabla 1, presenta los valores ELP, MOR, MOE medidos experimentalmente durante la prueba de flexión y los resultados de dureza en tres planos para la especie Chanul.

Tabla 1. Propiedades mecánicas del Chanul

Ref	Prueba de Fléxión			Prueba de dureza Janka			Densidad g/cm ³
	ELP	MOR	MOE	Longitudinal	Radial	Tangencial	
	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	(Kg)	(Kg)	(Kg)	
	877	1420	190395	1150	891	912	0,87
T1	804	1176	156776	1125	869	957	0,88
T2	912	1302	164326	1184	1079	1061	0,86
T3	990	1387	192201	1166	772	909	0,86
T4	552	886	129285	1084	652	642	0,85

La dureza longitudinal del Chanul mostró mayores valores a los encontrados en las otras especies (figura5). La dureza en las tres direcciones de las especies Roble y Teca fueron muy similares aunque se observó una leve superioridad de los valores de dureza longitudinal respecto a los otros dos planos medidos en ambas maderas. La prueba de flexión, como la de dureza, mostró un comportamiento irregular entre 150 y 180°C para la especie Chanul, ya que los valores de resistencia mecánica fueron superiores a los encontrados en los otros tratamientos térmicos. Las demás especies exhibieron detrimento en propiedades con el aumento de la temperatura de tratamiento.

DUREZA LONGITUDINAL VS TEMPERATURA PARA LAS TRES ESPECIES



MOR VS TEMPERATURA PARA LAS TRES ESPECIES

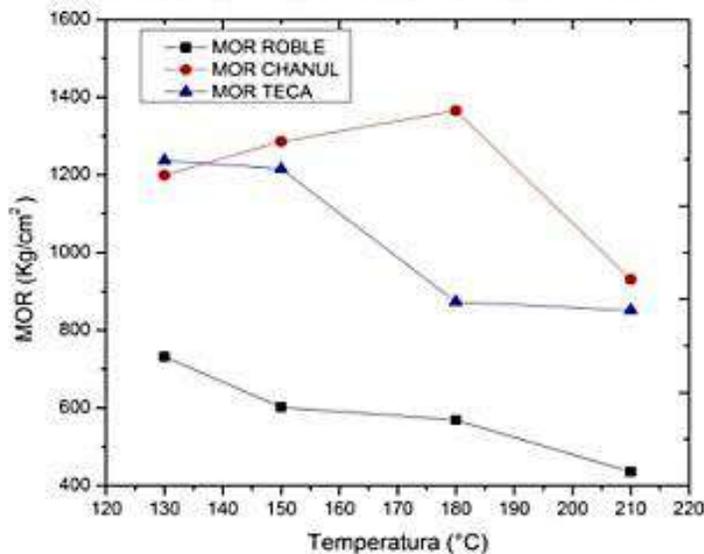


Figura 5. Dureza Janka longitudinal y módulo de ruptura de las 3 especies maderables.

4 CONCLUSIONES

Uno de los resultados más importantes de la investigación tuvo que ver con la variación en las propiedades físicas y mecánicas de las maderas y específicamente de la especie Chanul en la temperatura de tratamiento 180°C, todo esto atribuido a cambios estructurales generados por la deslignificación térmica, la cual ayudó a consolidar las fibras de celulosa aportando a aquellas especies de mayor porosidad una gran rigidez en la pared celular a causa de compuestos de ligninas y hemicelulosas remanentes. Por otra parte, las pruebas realizadas a temperaturas entre 130 y 150°C no mostraron una gran variación en propiedades físicas y mecánicas del material. A 210°C, aunque no hubo ignición de la madera, se observó una gran disminución de la masa de esta, lo cual está relacionado con pérdida de compuestos grasos y pectinas que sumadas a la pérdida de ligninas, generaron estructuras más débiles y poco aptas para aplicaciones estructurales o de gran demanda mecánica. También se observó que a esa temperatura, la trabajabilidad de la madera Chanul aumentó, sin embargo para las especies Roble y Teca esta disminuyó drásticamente. Por otra parte, el uso de tratamientos térmicos debe emplearse como alternativa en los procesos de pintura y acabado de las piezas maderables, esto debido a que de esta forma el proceso no solo sería más eficiente en tiempo, y costos, sino que contribuiría al mínimo uso de colorantes artificiales de difícil reciclaje y biodegradación.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rowell, R.M, Ibach, E.R, McSweeny, J, Nilsson, T. "Understanding decay resistance, dimensional stability and strength changes in heat treated and acetylated wood". Wood Mater SciEng, 1(2):14–22, 2009.
2. Stamm, A.J, Beachler, R.H. "Decay resistance and dimensional stability of five modified woods". Forest Products Journal, 10:22–6, 1946.
3. Burmester, V.A. "Effect of heat-pressure treatments of semi-drywood on its dimensional stability". Holz RohWerkst, 31:237–43, 1973.
4. Patzelt, M, Stingl, R, Teischinger, A. "Termische modifikation". Lignovision en Band, :101e 49, 1681- 2808, 2002.
5. Alen, R, Kotilainen, R, Zaman A. "Thermochemical behaviour of Norway spruce (Picea abies)". Wood Science and Technology, 36:163 e71, 2002.
6. Yildiz S. "Physical, mechanical, technological and chemical properties of beech and spruce wood treated by heating". PhD dissertation, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey, 2002.
7. SyrjanenT, Oy, K. "Production and classification of heat treated wood in Finland". Review on heat treatments of wood. In: Proceedings of the special seminar held in Antibes, France, 2001.

8. Mitchell, P.H. “Irreversible property changes of small loblolly pine specimens heated in air, nitrogen or oxygen”. *Wood and Fiber Science*, 20(3):320–55, 1988.
9. Jāmsā S, Viitaniemi, P. “Heat treatment of wood better durability without chemicals”. In: Rapp AO., editor. *Review on heat treatments of wood*. Costaction E22. Proceedings of the special seminar, Antibes, France, p. 17–22, 2001.
10. Stamm, A.J, Hansen, L.A. “Minimizing wood shrinkage and swelling: effect of heating in various gases”. *Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals*, 29(7):831–3, 1937.
11. Tiemann H.D. “Effect of different methods of drying on the strength and hygroscopicity of wood”. 3rd ed. Philadelphia, PA: J.P. Lippincott Co.; 1920 *The Kiln Drying of Lumber* [Chapter 11].
12. Fengel D, “On the changes of the wood and its components within the temperature range up to 200°C: thermally and mechanically caused structural changes in Sprucewood”. Vol. 24, no. 11. *HolzRoh-u., Werkstoff*, p. 529–36, 1966.
13. ASTM D4442–07 Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials.
14. ASTM D1037–12 Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials.
15. ASTM D143–09 Standard Test Methods for Small clear specimens of timber.