

Artículo de Investigación

Higroexpansión, higrocontracción y sus relaciones de anisotropía de ocho maderas mexicanas

Hygroexpansion, hygrocontraction and their anisotropy relationships of eight Mexican wood

Javier Ramón Sotomayor-Castellanos^{1*}, Israel Macedo-Alquicira¹ y Ernesto Mendoza-González¹

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, México.

*Correspondencia: madera999@yahoo.com (Javier Ramón Sotomayor Castellanos)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v16i1.869>

Recibido: 09 de octubre de 2021; Aceptado: 15 de diciembre de 2021

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

El objetivo de la investigación fue determinar los coeficientes de higroexpansión, de higrocontracción y sus relaciones de anisotropía de ocho maderas mexicanas: *Cupressus lindleyi*, *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Tabebuia donnell-smithii*, *Fraxinus uhdei*, *Fagus mexicana*, *Dalbergia palo-escrito* y *Guazuma ulmifolia*. Se realizaron pruebas de higroscopía con un procedimiento de humidificación y secado de probetas de pequeñas dimensiones. Las magnitudes de las higroexpansiones e higrocontracciones son similares a las de otras especies mexicanas reportadas en la literatura. Los coeficientes denotan un carácter anisotrópico en las direcciones radial y tangencial. La densidad de la madera es un buen predictor de los coeficientes. Sin embargo, las correlaciones de las relaciones de anisotropía son diferentes a las reportadas en trabajos anteriores.

Palabras clave: coeficiente de higroexpansión, coeficiente de higrocontracción, pruebas de higroscopía, correlaciones estadísticas.

Abstract

The objective of the research was to determine the coefficients of hygroexpansion, hygrocontraction and their anisotropy relationships of eight Mexican woods: *Cupressus lindleyi*, *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Tabebuia donnell-smithii*, *Fraxinus uhdei*, *Fagus mexicana*, *Dalbergia palo-escrito* and *Guazuma ulmifolia*. Hygroscopic tests were carried out with a humidification and drying procedure of small specimens. The magnitudes of hygroexpansions and hygrocontractions are similar to those of other Mexican species reported in the literature. The coefficients denote anisotropic character in the radial and tangential directions. The density of the wood is a good predictor of the coefficients. However, the correlations of the anisotropy relations are different from those reported in previous works.

Keywords: coefficient of hygroexpansion, coefficient of hygrocontraction, hygroscopic tests, statistical correlations.

1. Introducción

El conocimiento de las características higroscópicas de la madera encuentra aplicación en el diseño arquitectural (Abdelmohsen et al., 2019; Grönquist et al., 2019), en el cálculo ingenieril (Borgström, 2016; Jacob et al., 2018; Haag et al., 2020), en las tecnologías de reconstitución y modificación de la madera (Sargent, 2019; Yao et al., 2019) y en los procesos de secado y preservación de este material (Tamarit y Fuentes, 2003; Borja et al., 2010; Dickson y Dawson, 2020). En este mismo sentido, la comprensión de la interacción de la humedad del medio ambiente con las características físico-mecánicas de la madera es imprescindible para apreciar su calidad como material de ingeniería (Hering et al., 2012; Engelund et al., 2013), en el desarrollo de nuevos productos (LeDuigou et al., 2019; El-Dabaa y Abdelmoshen, 2019) y para generar información en ciencias, tecnología e ingeniería de la madera (Carmeliet et al., 2018; Wang et al., 2019; Sotayo et al., 2020).

Las características higroscópicas de una madera también son de utilidad para determinar su calidad, mediante la comparación de sus magnitudes con otras especies. Una madera es de mejor calidad si se encoje o expande en menor proporción y sobre todo si su relación de anisotropía es mínima (Romagnoli et al., 2014; Hassankhani et al., 2015; Ištók et al., 2016; Machuca et al., 2017; Huda et al., 2018; Abdelmohsen et al., 2019).

Los métodos más usados para determinar los parámetros higroscópicos son: 1. Inmersión en agua (Dubey et al., 2011; Fu et al., 2019) y/o solventes químicos (O'Leary y Hodges, 2001; Pereira et al., 2020); 2. Exposición secuencial a la humedad relativa (García et al., 2005; Derome et al., 2011; Jankowska et al., 2017); 3. Modelado numérico (Derome et al., 2018; Grönquist et al., 2019; Abdelmohsen et al., 2019); 4. Impregnación con aceites (Rowell, 2007; Ávila y Herrera, 2012); 5. Uso de imágenes digitales (Badel et al., 2006; Hansmann et al., 2012; Nopens et al., 2019); y 6. Uso de microscopía electrónica (Almeida et al., 2014; Derome et al., 2013). Otras estrategias de investigación son, por una parte, la implementación de protocolos ad hoc (Sargent, 2019) y por otra, las investigaciones que se adecúan a protocolos normativos como los propuestos por la Organización Internacional de Normalización (ISO, 2016a; ISO, 2016b; ISO, 2017a; ISO, 2017b) y la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM, 2013; ASTM, 2014).

La información sobre la variación dimensional de maderas endémicas de México está recopilada en Torelli y Gorišek (1995a), Torelli y Gorišek (1995b), Tamarit y Fuentes (2003), Tamarit y López (2007), Silva et al. (2010), Sotomayor y Ramírez (2013) y Bárcenas (2020). Algunas características de las especies en estudio están reportadas en investigaciones anteriores. Con todo, los resultados de la presente investigación son originales e inéditos.

El objetivo de la investigación fue determinar los coeficientes de higroexpansión, de higrocontracción y sus relaciones de higroscopía de las especies: *Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Endl., *Cedrela odorata* L., *Swietenia macrophylla* King, *Tabebuia donnell-smithii* Rose, *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh, *Fagus mexicana* Martínez, *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez y *Guazuma ulmifolia* Lam.

El estudio de las características higroscópicas de estas ocho maderas es de interés tecnológico y comercial porque ellas ejemplifican un amplio intervalo de valores en su densidad, representan diferentes estructuras anatómicas y ofrecen un amplio potencial para la elaboración de nuevos productos con valor agregado (Tamarit y López 2007, Silva et al., 2010 y Bárcenas, 2020).

2. Materiales y métodos

El material experimental proviene del banco de maderas que forma parte del programa de caracterización física y mecánica de especies mexicanas del Laboratorio de Mecánica de la Madera, de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. La madera se almacenó en una cámara de acondicionamiento (temperatura = 20 °C ± 1 °C; humedad relativa = 65 % ± 5 %) hasta que su peso fue constante. Para cada una de las especies, se recortaron 18 probetas con dimensiones de 0,02 m × 0,02 m × 0,06 m en las direcciones radial (R), tangencial (T) y longitudinal (L), respectivamente.

Las pruebas de higroscopía consistieron en las siguientes etapas: 1. Medición del peso y las dimensiones de las probetas en estado de humedad inicial de la madera; 2. Hidratación de las probetas en un baño de agua con temperatura de 20° C durante 72 horas; 3. Medición del peso y las dimensiones de las probetas en estado saturado después del tratamiento de hidratado; 4. Secado de las probetas en un horno con temperatura de 103 °C durante 48 horas; 5. Medición del peso y las dimensiones de las probetas en estado anhidro después del tratamiento de secado. La Tabla 1 presenta las ecuaciones empleadas y los símbolos utilizados para calcular los parámetros estudiados.

Tabla 1. Parámetros, ecuaciones y símbolos utilizados.

Table 1. Parameters, equations and symbols used.

Ecuaciones	Ecs.	Referencias
$CH_{ini} = \left(\frac{P_{ini} - P_{anhidro}}{P_{anhidro}} \right) \times 100$	(1)	Chiniforush et al. (2019)
$Q_0 = \frac{P_{anhidro}}{V_{sat}}$	(2)	Koman y Feher (2015)
$PSF = \left(\frac{V_{sat} - V_{anhidro}}{V_{sat}} \right) \times \left(\frac{100}{0,9 \times Q_0} \right)$	(3)	Fuentes (2000)
$\alpha_i = \left(\frac{i_{sat} - i_{ini}}{i_{sat}} \right) \times \left(\frac{100}{PSF - CH_{ini}} \right)$	(4)	Fuentes (2000)
$\beta_i = \left(\frac{i_{sat} - i_{anhidro}}{i_{anhidro}} \right) \times \left(\frac{100}{PSF} \right)$	(5)	Sotomayor et al. (2020a)
$\alpha_V = \alpha_R + \alpha_T$	(6)	Esta investigación
$\beta_V = \beta_R + \beta_T$	(7)	Esta investigación
Símbolos		Subíndices
CH = Contenido de humedad (%)		anhidro = Estado de humedad anhidro
Q ₀ = Densidad básica (kg m ⁻³)		sat = Estado de humedad saturado
P = Peso (kg)		ini = Estado de humedad inicial
V = Volumen (m ³)		max = Máximo
PSF = Punto de saturación de la fibra (%)		i = Dimensiones en R y/o T
α = Coeficiente de higroexpansión (%/%)		R = Radial
β = Coeficiente de higrocontracción (%/%)		T = Tangencial
		V = Volumétrico

Diseño experimental

La unidad experimental consistió en madera de ocho especies: *C. lindleyi*, *C. odorata*, *S. macrophylla*, *T. donnell-smithii*, *F. uhdei*, *F. mexicana*, *D. palo-escrito* y *G. ulmifolia*. Las variables de respuesta fueron: los coeficientes de higror expansión y de higror contracción radial y tangencial. Se calcularon las relaciones de anisotropía entre las direcciones tangencial y radial de los coeficientes de higror expansión e higror contracción. Para cada muestra y para las relaciones de anisotropía se determinaron su media (μ), su desviación estándar (σ) y su coeficiente de variación ($CV = \sigma / \mu$). Se evaluaron correlaciones lineales ($y = ax \pm b$) y potencia ($y = ax^b$) y se determinaron los coeficientes de determinación (R^2) de las variables de respuesta en función de la densidad básica. Las ponderaciones para calificar la intensidad de las correlaciones fueron los valores del coeficiente de determinación propuestos por Tippner et al. (2016): correlación muy alta: $1 \geq R^2 \geq 0,9$; correlación alta: $0,9 > R^2 \geq 0,7$; correlación media: $0,7 > R^2 \geq 0,4$; correlación baja: $0,4 > R^2 \geq 0,2$; y correlación nula: $R^2 < 0,2$. Por último, los resultados de esta investigación se compararon con datos de la bibliografía adaptados de Torelli y Gorišek (1995a) y (1995b).

3. Resultados y discusión

Contenido de humedad inicial

Para las ocho maderas, los valores promedio del contenido de humedad inicial fluctuaron entre un mínimo de 8,1 % (*D. palo-escrito*) y un máximo de 9,7 % (*F. mexicana*) y su variación entre especies refleja un coeficiente de variación del 6 % (Tabla 2). Al interior de cada especie, el contenido de humedad varió desde 6 % (*F. mexicana*) hasta 17 % (*T. donnell-smithii*) (Tabla 2). El contenido de humedad inicial es calculado con la Ec. (1) a partir de mediciones directas del peso inicial y el peso en estado anhidro.

Densidad básica

Las magnitudes promedio de la densidad básica de la madera para cada una de las especies variaron en el intervalo que va desde 388 kg m⁻³ (*C. lindleyi*) hasta 573 kg m⁻³ (*G. ulmifolia*) (Tabla 2) y muestran un coeficiente de variación entre especies de 12 % (Tabla 2). En comparación con los datos reportados por Torelli y Gorišek (1995a) y (1995b) con un rango que va desde un mínimo de 317 kg m⁻³ (*S. parahibum*) hasta un máximo de 1060 kg m⁻³ (*Q. skinneri*) (Anexo), la amplitud del intervalo de valores de la densidad básica de la presente investigación es menor. Sin embargo, el coeficiente de variación de 22 % es solamente 4 % menor al calculado para los datos bibliográficos mencionados, el cual es de 26 %. La densidad básica es calculada con la Ec. (2) a partir de mediciones directas del peso anhidro y el volumen saturado.

Los coeficientes de variación, que representan la variabilidad al interior de cada especie, van desde un mínimo de 4 % (*F. mexicana*) hasta un máximo de 19 % (*C. odorata*) (Tabla 2). En este mismo sentido, Sotomayor y Ramírez (2013), a partir del análisis de una base de datos de las características

higroscópicas de 134 especies mexicanas, así como De Almeida *et al.* (2017) en su estudio de 15 maderas brasileñas, perciben incompleto el enfoque tradicional de calificar la calidad de una especie o las características de una madera, únicamente en relación con su densidad básica. De aquí resulta la utilidad incorporar sus características higroscópicas para una caracterización integral como material de ingeniería.

Tabla 2. Densidad básica y contenido de humedad inicial.

Table 2. Basic density and initial moisture content.

Especies		q₀ (kg m⁻³)	CH_{ini} (%)
<i>Cupressus lindleyi</i>	μ	388	8,7
	CV	(7)	(7)
<i>Cedrela odorata</i>	μ	439	8,9
	CV	(19)	(9)
<i>Swietenia macrophylla</i>	μ	460	8,7
	CV	(7)	(8)
<i>Tabebuia donnell-smithii</i>	μ	522	8,4
	CV	(5)	(17)
<i>Fraxinus uhdei</i>	μ	528	9,5
	CV	(6)	(14)
<i>Fagus mexicana</i>	μ	515	9,7
	CV	(4)	(6)
<i>Dalbergia palo-escrito</i>	μ	537	8,1
	CV	(13)	(10)
<i>Guazuma ulmifolia</i>	μ	573	9,0
	CV	(7)	(11)

q₀ = Densidad básica; CH_{ini} = Contenido de humedad inicial; μ = Media; CV = Coeficiente de variación en por ciento y entre paréntesis.

Higroexpansiones

La humedad penetra en la madera por la atracción de las moléculas de agua hacia los hidroxilos de sus componentes químicos, principalmente, la celulosa. Como resultado, estos hidroxilos forman una capa mono molecular de agua con fuertes enlaces de hidrógeno. La formación de esta capa hace que se separen las cadenas de moléculas de celulosa en las regiones amorfas y entre los cristalitas de las micro fibrillas, de modo que la madera comienza a expandirse. Bajo el efecto de las fuerzas de atracción secundarias, más moléculas de agua entran en la madera y forman una capa poli molecular. Adicionalmente, otras moléculas pueden entrar por condensación de capilaridad en los huecos de la pared celular. Después de la saturación de las paredes, el agua líquida también entra en las cavidades celulares (Sotomayor *et al.*, 2020b). Por lo tanto, existen dos niveles de masa de agua en la madera: el agua contenida en las paredes celulares y el agua libre que ocupa las cavidades intercelulares. La condición en la cual las paredes están saturadas pero las cavidades están vacías se llama punto de

saturación de la fibra (Berry y Roderick, 2005), en este estado el fenómeno de la variación dimensional ocasionada por la fluctuación del contenido de humedad termina.

El coeficiente de higror expansión radial (Ec. 4) varía desde un mínimo de 0,20 %/% (*C. lindleyi*) hasta un máximo de 0,30 %/% (*D. palo-escrito*) (Tabla 3). Su variabilidad entre especies se explica por un coeficiente de variación de 14 %. Por su parte, el coeficiente de higror expansión tangencial (Ec. 4) fluctúa desde un mínimo de 0,22 %/% (*C. lindleyi*) hasta un máximo de 0,41 %/% (*F. mexicana*) con un coeficiente de variación de 21 %. Estas magnitudes se ubican al interior del intervalo reportado por Torelli y Gorišek (1995) para 43 especies mexicanas. El coeficiente de higror expansión volumétrica, calculado con la Ec. (7) adiciona aritméticamente los resultados de los coeficientes radial y tangencial. Así, el valor mínimo de 0,42 %/% corresponde a *C. lindleyi* y el máximo de 0,68 %/% corresponde a *D. palo-escrito*. Su coeficiente de variabilidad es de 16 %, valor intermedio entre los coeficientes de higror expansión radial y tangencial.

Tabla 3. Higror expansiones, higror contracciones y relaciones de anisotropía.

Table 3. Hygroexpansions, hygrocontractions and anisotropy relationships.

Especie	Higror expansión				Higror contracción			
	α_R (%/%)	α_T (%/%)	α_V (%/%)	α_T/α_R -	β_R (%/%)	β_T (%/%)	β_V (%/%)	β_T/β_R -
<i>Cupressus lindleyi</i>	0,20	0,22	0,42	1,10	0,15	0,15	0,30	1,05
<i>Cedrela odorata</i>	0,21	0,28	0,49	1,34	0,18	0,22	0,39	1,25
<i>Swietenia macrophylla</i>	0,21	0,28	0,50	1,34	0,17	0,22	0,40	1,31
<i>Tabebuia donnell-smithii</i>	0,22	0,31	0,52	1,42	0,20	0,26	0,46	1,27
<i>Fraxinus uhdei</i>	0,25	0,39	0,64	1,53	0,22	0,25	0,47	1,14
<i>Fagus mexicana</i>	0,22	0,41	0,64	1,84	0,18	0,27	0,45	1,50
<i>Dalbergia palo-escrito</i>	0,30	0,38	0,68	1,28	0,16	0,30	0,46	1,85
<i>Guazuma ulmifolia</i>	0,23	0,39	0,61	1,71	0,20	0,31	0,50	1,54
μ	0,23	0,33	0,56	1,44	0,18	0,25	0,43	1,36
CV	(14)	(21)	(16)	(17)	(13)	(20)	(15)	(19)

α = Coeficiente de higror expansión; β = Coeficiente de higror contracción; R = Radial; T = Tangencial; V = Volumétrico; μ = Media; CV = Coeficiente de variación en porciento y entre paréntesis.

Estos resultados son del mismo orden que los reportados en la bibliografía: Haag *et al.* (2020) utiliza la técnica de inmersión en agua y reporta para madera de *Cedrelinga cateniformis* ($Q_0 = 520 \text{ kg m}^{-3}$) un coeficiente de higror expansión radial de 0,15 %/% y tangencial de 0,28 %/%. Utilizando la misma técnica, Sotomayor (2017) reporta para *Gyrocarpus americanus* un coeficiente de higror expansión radial de 0,10 %/% y tangencial de 0,001 %. Por su parte, Sotomayor *et al.* (2020b) con un procedimiento similar al aplicado en esta investigación, reportan coeficientes de higror expansión radiales para *Spathodea campanulata* ($Q_0 = 269 \text{ kg m}^{-3}$) de 0,30 %/%, para *Fraxinus americana* ($Q_0 = 534 \text{ kg m}^{-3}$) de 0,23 %/% y para *Albizia plurijuga* ($Q_0 = 697 \text{ kg m}^{-3}$) de 0,34 %/%.

Las magnitudes de las higror expansiones en la dirección longitudinal de la madera son del orden de 0,1 % (Arzola-Villegas *et al.*, 2019) y su determinación experimental es difícil de lograr (Derome, 2013; Sotomayor, 2016). Usualmente no se reportan resultados de este coeficiente y se considera un factor que no afecta de manera significativa la higror expansión volumétrica (Liu *et al.*, 2020). Como resultado, el nivel de estabilidad dimensional de una especie de madera, se evalúa con las

higroexpansiones lineales (radial y tangencial) y volumétrica (Tiryaki *et al.*; 2016, Fu *et al.*, 2019). Estos parámetros son útiles para caracterizar las propiedades físicas de una especie. Sin embargo, para homogeneizar resultados con respecto a la variación del contenido de humedad, es conveniente determinar los coeficientes de higroexpansión, los cuales ponderan la variación geométrica por el incremento en el contenido de humedad (Torelli y Gorišek, 1995^a; Lesar *et al.*, 2011).

El coeficiente de higroexpansión radial correlaciona con la densidad básica con un coeficiente de determinación bajo (Fig. 1). Por su parte, la misma correlación calculada a partir de los datos de Torelli y Gorišek (1995a) califica como alta. En el mismo sentido, el coeficiente de higroexpansión tangencial indica una correlación alta y mayor que la calculada con datos de la bibliografía, la cual califica como media (Fig. 2).

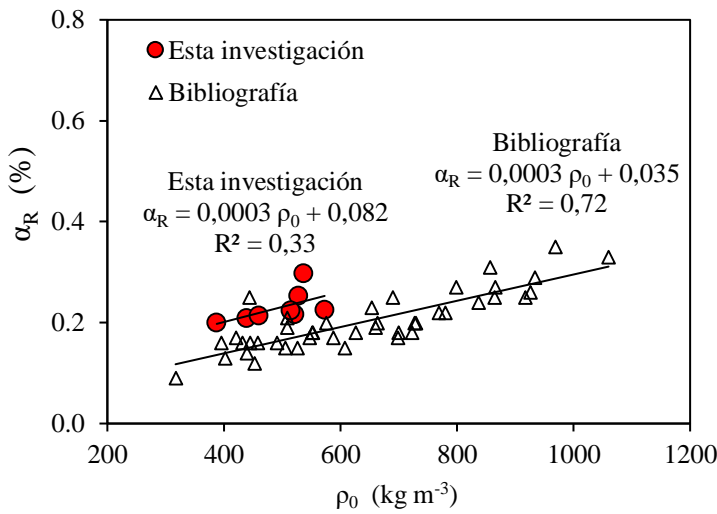


Fig. 1. Correlaciones entre higroexpansión radial y densidad básica.
Fig. 1. Correlations between radial hygroexpansion and basic density.

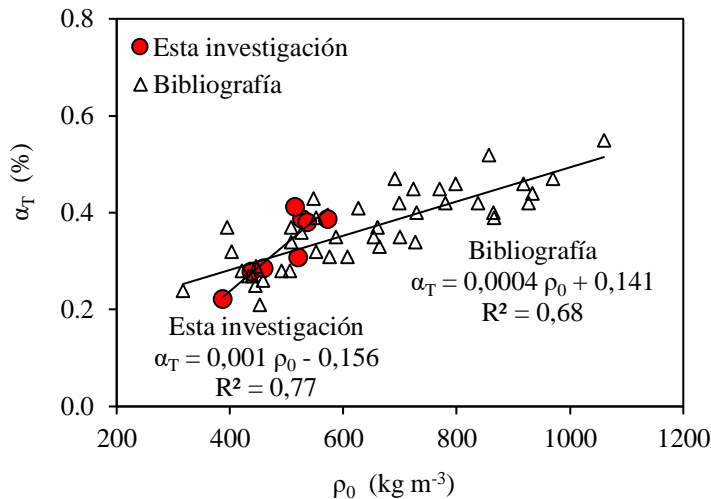


Fig. 2. Correlaciones entre higroexpansión tangencial y densidad básica.
Fig. 2. Correlations between tangential hygroexpansion and basic density.

Estas tendencias son difíciles de comparar con las reportadas en la literatura. Para coeficientes de higoexpansión radial, tangencial y volumétrico, Hernández (2007a) y (2007b) reporta coeficientes de determinación de correlaciones lineales que califican de medio a alto para nueve maderas del Perú, con densidad básica entre 462 kg m^{-3} y 917 kg m^{-3} . Por su parte, Shukla y Kandem (2010) reportan para nueve maderas de Camerún densidades básicas entre 448 kg m^{-3} y 690 kg m^{-3} , correlaciones lineales de tipo $y = a + bx$ y sus coeficientes de determinación (R^2) para las higoexpansiones radial (α_R), tangencial (α_T) y volumétrica (α_V) son las siguientes: $\alpha_R = 0,005 Q_0 + 0,078$ ($R^2 = 0,56$), $\alpha_T = 0,004 Q_0 + 1,720$ ($R^2 = 0,44$) y $\alpha_V = 0,010 Q_0 + 1,800$ ($R^2 = 0,54$) de donde concluyen que no existe correlaciones lineales fuertes entre la densidad básica de la madera y su higoexpansión. En el mismo sentido, De Almeida *et al.* (2017) reportan para 15 maderas brasileñas, con densidades básicas que van desde 650 kg m^{-3} hasta 1000 kg m^{-3} , coeficientes de determinación derivados de correlaciones potencia de la forma $y = ax^b$ entre el coeficiente de higoexpansión volumétrico y la densidad básica de $R^2 = 0,10$.

Higocontracciones

El coeficiente de higocontracción radial varía entre un mínimo de $0,15 \text{ \%/}$ (*C. lindleyi*) y un máximo de $0,22 \text{ \%/}$ (*F. uhdei*) con un coeficiente de variación entre especies de $13 \text{ \%$ (Tabla 3). En el mismo sentido, el coeficiente de higocontracción tangencial fluctuó desde un mínimo de $0,15 \text{ \%/}$ (*C. lindleyi*) hasta un máximo de $0,31 \text{ \%/}$ (*G. ulmifolia*) con un coeficiente de variación entre especies de $20 \text{ \%$.

El coeficiente de higocontracción volumétrica, calculado con la Ec. (6), adiciona aritméticamente los resultados de los coeficientes radial y tangencial. Así, el valor mínimo de $0,30 \text{ \%/}$ corresponde a *C. lindleyi* y el máximo de $0,50 \text{ \%/}$ corresponde a *G. ulmifolia*. Su coeficiente de variabilidad es de $16 \text{ \%$, valor intermedio entre los coeficientes de higoexpansión radial y tangencial.

En la dirección radial, el coeficiente de higocontracción correlaciona con el coeficiente de higoexpansión con un coeficiente de determinación alto $R^2 = 0,73$ ($\beta_R = 1,239 \alpha_R + 0,088$). Para la dirección tangencial, esta correlación es alta $R^2 = 0,76$ ($\beta_T = 0,631 \alpha_T + 0,038$). Como resultado, los coeficientes volumétricos de higoexpansión e higocontracción indican un coeficiente de determinación medio $R^2 = 0,70$ ($\beta_V = 0,616 \alpha_V + 0,085$). Estos resultados son similares a los estimados a partir de datos de Torelli y Gorišek (1995a) y (1995b) cuyas correlaciones y coeficientes de determinación son: $\beta_R = 0,975 \alpha_R - 0,008$, con $R^2 = 0,67$ (medio); $\beta_T = 1,188 \alpha_T - 0,048$ con $R^2 = 0,78$ (alto); y $\beta_V = 1,166 \alpha_V - 0,086$ con $R^2 = 0,79$ (alto). Para los datos calculados a partir de estos autores, la correlación del coeficiente de higocontracción radial en función de la densidad básica de la madera califica como alta. En contraste, los resultados de la presente investigación indican un coeficiente de determinación medio (Fig. 3). Para el caso del coeficiente de higocontracción tangencial, los coeficientes de determinación correspondientes a la presente investigación y a los datos de la bibliografía califican como muy altos (Fig. 4).

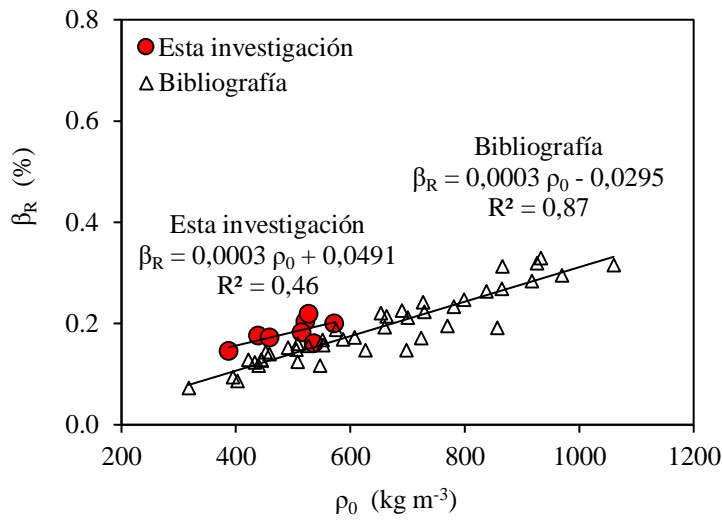


Fig. 3. Correlaciones entre higocontracción radial y densidad básica.
Fig. 3. Correlations between radial hygrocontraction and basic density.

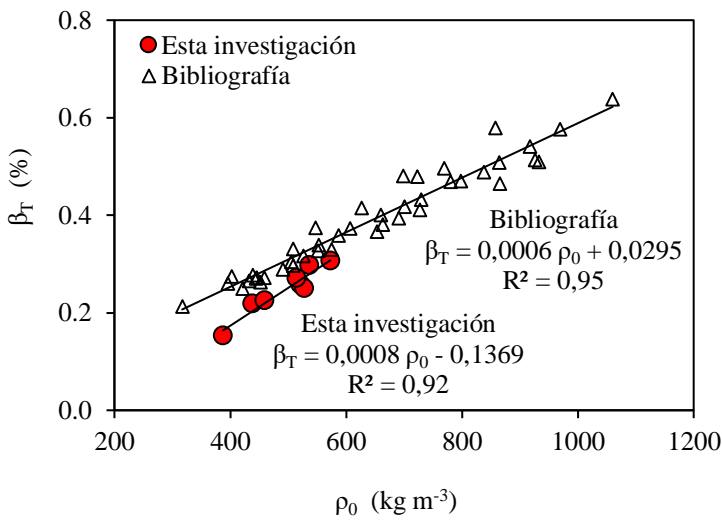


Fig. 4. Correlaciones entre higocontracción tangencial y densidad básica.
Fig. 4. Correlations between tangential hygrocontraction and basic density.

Dado que las regresiones se derivan de mediciones en muestras comunes, realizadas en las mismas condiciones experimentales y con el mismo aparato, el error de las mediciones, introducido en la predicción del parámetro dependiente y la precisión del parámetro medido está incluido en el valor del coeficiente de determinación (Hanhijärvi *et al.*, 2005). Como corolario, los coeficientes de determinación alcanzados muestran homogeneidad y coherencia en los resultados.

Los coeficientes de higror expansión volumétricos son en promedio mayores 23 % respecto a los coeficientes de higror contracción volumétricos (Tabla 3). Los coeficientes de higror expansión y de higror contracción en la dirección radial aumentan a medida que la densidad básica de la madera se incrementa. Este resultado coincide con la información reportada en la bibliografía.

Relaciones de anisotropía

La relación de anisotropía de las higror expansiones (α_T/α_R) varía desde un mínimo de 1,10 (*C. lindleyi*) hasta un máximo de 1,84 (*F. mexicana*) con un coeficiente de variación de 16 % (Tabla 3). Comparativamente, Torelli y Gorišek (1995a) y (1995b) reportan relaciones de anisotropía de 1,9 y un CV de 19 %. A partir de los resultados de estos autores y listados en el anexo, la Figura 5 presenta la correlación entre relación de anisotropía de higror expansión y densidad básica, la cual tiene una pendiente ligeramente negativa. En cambio, la correlación calculada con los resultados de la presente investigación señala una pendiente positiva. Además, el coeficiente de determinación es cinco veces más grande respecto al calculado con datos de Torelli y Gorišek (1995a) y (1995b).

La relación de anisotropía de las higror contracciones (β_T/β_R) varían desde un mínimo de 1,05 (*C. lindleyi*) hasta un máximo de 1,85 (*D. palo-escrito*) con un coeficiente de variación de 19 % (Tabla 3). De acuerdo a la clasificación propuesta por Sotomayor y Ramírez (2013) las relaciones de anisotropía para las higror contracciones son: *C. lindleyi*, *C. odorata*, *S. macrophylla*, *T. donnell-smithii* y *F. uhdei* muy baja; *F. mexicana* y *G. ulmifolia* baja; y *D. palo-escrito* media. De manera similar a la anisotropía de las contracciones, a partir de los resultados de Torelli y Gorišek (1995a) y (1995b) y listados en el anexo, la Figura 6 presenta la correlación entre relación de anisotropía de higror contracción y densidad básica, la cual tiene una pendiente ligeramente negativa. En cambio, la correlación calculada con los resultados de la presente investigación indica una pendiente positiva. En este caso, el coeficiente de determinación es cuatro veces más grande respecto al calculado con datos de Torelli y Gorišek (1995a) y (1995b).

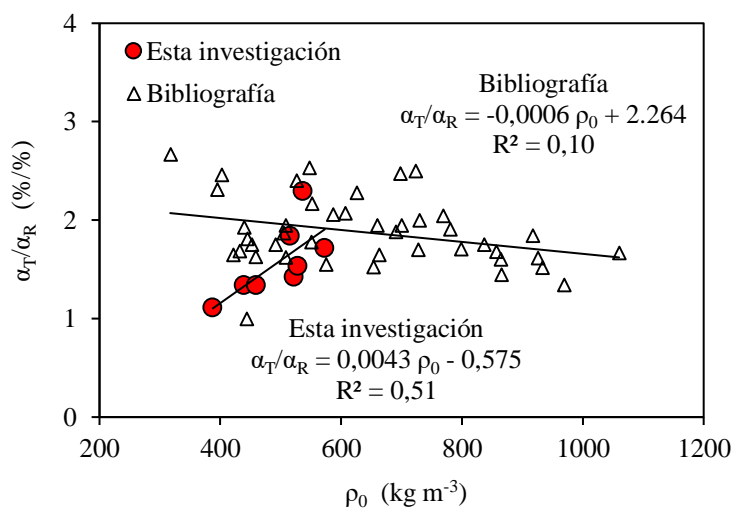


Fig. 5. Correlaciones entre relación de anisotropía de higror expansión y densidad básica.
 Fig. 5. Correlations between hygroexpansion anisotropy relationship and basic density.

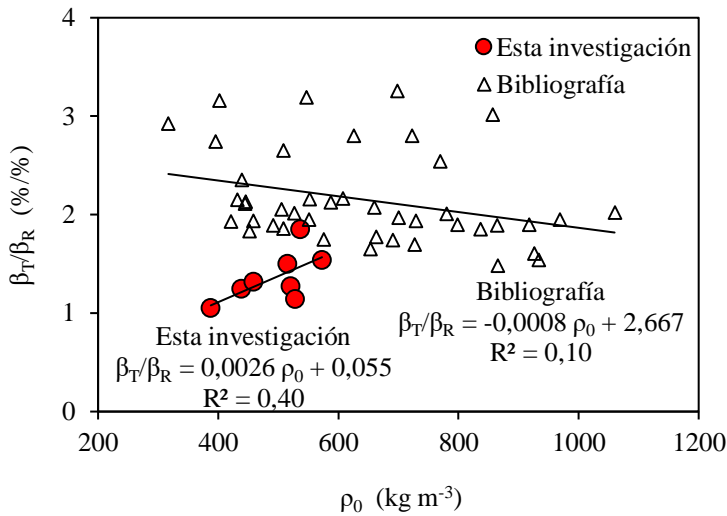


Fig. 6. Correlaciones entre relación de anisotropía de higrócontracción y densidad básica.
 Fig. 6. Correlations between hygrocontraction anisotropy relationship and basic density.

4. Conclusiones

Se determinaron la densidad y las características higroscópicas de ocho maderas mexicanas: *C. lindleyi*, *C. odorata*, *S. macrophylla*, *T. donnell-smithii*, *F. uhdei*, *F. mexicana*, *D. palo-escrito* y *G. ulmifolia*. La densidad de la madera de las ocho maderas estudiadas en la presente investigación, como predictor del carácter anisotrópico de los coeficientes de higrócontracción e higróexpansión, evidencian una correlación media con pendiente positiva.

La magnitud de las características higroscópicas de las especies estudiadas es semejante a las de otras maderas mexicanas reportadas en investigaciones previas. Las magnitudes de las higrócontracciones e higróexpansiones son mayores en la dirección tangencial en comparación con la dirección radial. Lo que implica que el diseño de estructuras y productos de madera debe considerar la diferente modificación en las dimensiones de una pieza de madera cuando está sometida a cambios en su contenido de humedad.

Para fines de cálculo y diseño ingenieril, es recomendable considerar la influencia de la variación de los valores de las características físicas entre especies de madera, el efecto de las dimensiones y de la calidad entre las probetas de pequeñas dimensiones libres de defectos de crecimiento, así como la posible diferencia de los valores correspondientes a elementos estructurales, tales como vigas y columnas con calidad y las dimensiones empleadas en ingeniería de la madera.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés en la publicación de estos resultados.

5. Referencias

- Abdelmohsen, S., Adriaenssens, S., El-Dabaa, R., Gabriele, S., Olivieri, L., & Teresi, L. (2019). A multi-physics approach for modeling hygroscopic behavior in wood low-tech architectural adaptive systems. *Computer-Aided Design*, 106, 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2018.07.005>
- Almeida, G., Huber, & F., Perré, P. (2014). Free shrinkage of wood determined at the cellular level using an environmental scanning electron microscope. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 16(2), 187-198. <https://bit.ly/3vllkidj>
- American Society for Testing and Materials. (2013). ASTM D4446/D4446M-13. Standard Test Method for Anti-Swelling Effectiveness of Water-Repellent Formulations and Differential Swelling of Untreated Wood When Exposed to Liquid Water Environments West Conshohocken: ASTM. <https://bit.ly/3vluUsv>
- American Society for Testing and Materials. (2014). ASTM D143-14. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- Arzola-Villegas, X., Lakes, R., Plaza, N. Z., & Jakes, J. E. (2019). Wood Moisture-Induced Swelling at the Cellular Scale—Ab Intra. *Forests*, 10, 996. <https://bit.ly/3kj7j5q>
- Ávila, L. E., & Herrera, M. A. (2012). Efecto de los extraíbles en tres propiedades físicas de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* procedente de Michoacán, México. *Bosque*, 33(2), 227-232. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002012000200013>
- Badel, E., Bakour, R., & Perré, P. (2006). Investigation of the relationships between anatomical pattern, density and local swelling of oak wood. *IAWA Journal*, 27(1), 55-71. <https://bit.ly/3LmEj8Y>
- Bárceñas Pazos, G. M. (2020). Banco de información sobre características tecnológicas de maderas mexicanas. México: Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO). <https://bit.ly/3KmWIRx>
- Berry, S. L., & Roderick, M. L. (2005). Plant-water relations and the fibre saturation point. *New Phytologist*, 168, 25-37. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01528.x>
- Borgström, E. (Editor). (2016). Design of timber structures. Structural aspects of timber construction. Volume 1. Stockholm: Swedish Forest Industries Federation.
- Borja de la Rosa, A., Machuca, R., Fuentes Salinas, M., Ayerde Lozada, D., Fuentes López, M., & Quintero Alcantar, A. (2010). Caracterización tecnológica de la madera de *Juniperus flaccida* var. *poblana martínez*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(2), 261-280. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.09.083>
- Carmeliet, J., Chen, M., & Derome, M. (2018). Sorption hysteresis in wood and its coupling to swelling: a new modelling approach. Proceedings of the 7th International Building Physics Conference, IBPC2018. Syracuse: Curran Associates. pp. 343-348. <http://dx.doi.org/10.14305/ibpc.2018.be-9.04>
- Chiniforush, A. A., Akbarnezhad, A., Valipour, H., & Malekmohammadi, S. (2019). Moisture and temperature induced swelling/shrinkage of softwood and hardwood glulam and LVL: An experimental study. *Construction and Building Materials*, 207, 70-83. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.114>
- De Almeida, T., De Almeida, D. H., De Araujo, V. A., Da Silva, S. A. M., Christoforo, A. L., & Lahr, F. A. R. (2017). Density as Estimator of Dimensional Stability Quantities of Brazilian Tropical Woods. *BioResources*, 12(3), 6579-6590. <https://doi.org/10.15376/biores.12.3.6579-6590>

- Derome, D., Griffa, M., Koebel, M., & Carmeliet, J. (2011). Hysteretic swelling of wood at cellular scale probed by phase-contrast X-ray tomography. *Journal of Structural Biology*, 173, 180-190. <https://doi.org/10.1016/j.jsb.2010.08.011>
- Derome, D., Rafsanjani, A., Hering, S., Dressler, M., Patera, A., Lanvermann, C., Sedighi-Gilani, M., Wittel, F. K., Niemz, P., & Carmeliet, J. (2013). The role of water in the behavior of wood. *Journal of Building Physics*, 36(4), 398-421. <https://doi.org/10.1177/1744259112473926>
- Derome, D., Zhang, C., Chen, M., & Carmeliet, J. (2018). Understanding swelling of wood through multiscale modeling. *Proceedings of the 7th International Building Physics Conference, IBPC2018*. Syracuse: USA. pp. 335-360. <http://dx.doi.org/10.14305/ibpc.2018.be-9.06>
- Dickson, A., & Dawson, B. (2020). Using Cell Cross-section Dimensions and Digital Image Correlation to Evaluate Drying Shrinkage and Collapse in Eucalyptus Nitens Wood. *BioResources*, 15(3), 6149-6164. <http://dx.doi.org/10.15376/biores.15.3.6149-6164>
- Dubey, M. K., Pang, S., & Walker, J. (2011). Effect of oil heating age on colour and dimensional stability of heat treated Pinus radiata. *European Journal of Wood and Wood Products*, 69(2), 255-262. <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-010-0431-0>
- El-Dabaa, R., & Abdelmoshen, S. (2019). HMTM: Hygromorphic-Thermobimetal Composites as a Novel Approach to Enhance Passive Actuation of Adaptive Façades. *18th International Conference, CAAD Futures 2019, Proceedings*. Daejeon, Korea: Springer. 567- 577. <https://bit.ly/3EQ7w9P>
- Engelund, E. T., Thygesen, L. G., Svensson, S., & Hill, C. A. S. (2013). A critical discussion of the physics of wood-water interactions. *Wood Science and Technology*, 47(1), 141-161. <https://doi.org/10.1007/s00226-012-0514-7>
- Fu, Z., Zhou, Y., Gao, X., Liu, H., & Zhou, F. (2019). Changes of water related properties in radiata pine wood due to heat treatment. *Construction and Building Materials*, 227, 116692. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116692>
- Fuentes Salinas, M. (2000). Estimación del Punto de Saturación de la Fibra (PSF) de las maderas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 6(1), 79-81. <https://bit.ly/36W4O68>
- García Esteban, L. G., Gril, J., De Palacios, P., & Guindeo Casasús, A. (2005). Reduction of wood hygroscopicity and associated dimensional response by repeated humidity cycles. *Annals of Forest Science*, 62(3)275-284. <http://dx.doi.org/10.1051/forest:2005020>
- Grönquist, P., Wood, D., Hassani, M. M., Wittel, F. K., Menges, A., & Rüggeberg, M. (2019). Analysis of hygroscopic self-shaping wood at large scale for curved mass timber structures. *Science Advances*, 5, eaax 1311. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax1311>
- Haag, V., Koch, G., Melcher, E., & Welling, J. (2020). Characterization of the wood properties of *Cedrelina cateniformis* as substitute for timbers used for window manufacturing and outdoor applications. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 22(1), 23-36. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2020005000103>
- Hanhijärvi, A., Ranta-Maunus, A., & Turk, G. (2005). Potential of strength grading of timber with combined measurement techniques. Report of the Combigrade-project - phase 1. VTT Technical Research Centre of Finland. Espoo: VTT Publications No. 568. <https://bit.ly/3LpGW9M>
- Hansmann, C., Konnerth, J., & Rosner, S. (2012). Digital image analysis of radial shrinkage of fresh spruce (*Picea abies* L.) wood. *Wood Material Science & Engineering*, 6(1-2), 2-6. <https://doi.org/10.1080/17480272.2010.515032>
- Hassankhani, M., Kord, B. & Pourpasha, M. M. (2015). Empirical statistical model for predicting wood properties of *Paulownia fortunei*. Part 1: physical and biometrical properties. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 17(4), 919-930. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48543004020>

- Hering, S., Keunecke, D. & Niemz, P. (2012). Moisture-dependent orthotropic elasticity of beech wood. *Wood Science and Technology*, 46(5), 927-938. <https://doi.org/10.1007/s00226-011-0449-4>
- Hernández, R. E. (2007a). Swelling properties of hardwoods as affected by their extraneous substances, wood density, and interlocked grain. *Wood and Fiber Science*, 39(1), 146-158. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/203>
- Hernández, R. E. (2007b). Effects of extraneous substances, wood density and interlocked grain on fiber saturation point of hardwoods. *Wood Material Science and Engineering*, 2(1), 45-53. <https://doi.org/10.1080/17480270701538425>
- Huda, A.S.M., Koubaa, A., Cloutier, A., Hernández, R., Périnet, P. & Fortin, Y. (2018). Phenotypic and Genotypic Correlations for Wood Properties of Hybrid Poplar Clones of Southern Quebec. *Forests*, 9(3), 140-156. <https://doi.org/10.3390/f9030140>
- International Organization for Standardization. (2016a). ISO 13061-13:2016. Physical and mechanical properties of wood - Test methods for small clear wood specimens - Part 13: Determination of radial and tangential shrinkage. Geneva: International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2016b). ISO 13061-14:2016. Physical and mechanical properties of wood - Test methods for small clear wood specimens - Part 14: Determination of volumetric shrinkage. Geneva: International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2017a). ISO 13061-15:2017. Physical and mechanical properties of wood - Test methods for small clear wood specimens - Part 15: Determination of radial and tangential swelling. Geneva: International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2017b). ISO 13061-16:2017. Physical and mechanical properties of wood - Test methods for small clear wood specimens - Part 16: Determination of volumetric swelling. Geneva: International Organization for Standardization.
- Ištok, I., Sedlar, T., Šefc, B., Sinkovi, T., & Perkovi, T. (2016). Physical Properties of Wood in Poplar Clones 'I-214' and 'S1-8'. *Drvna Industrija*, 67(2), 163-170. <https://bit.ly/399K5wf>
- Jacob, M., Harrington, J., & Robinson, B. (2018). The Structural Use of Timber. Handbook for Eurocode 5: Part 1-1. COFORD, Dublin: Department of Agriculture, Food and the Marine. <https://bit.ly/3vkr82v>
- Jankowska, A., Drożdżek, M., Sarnowski, P., & Horodeński, J. (2017). Effect of Extractives on the Equilibrium Moisture Content and Shrinkage of Selected Tropical Wood Species. *Bioresources*, 12(1), 597-697. <https://doi.org/10.15376/biores.12.1.597-607>
- Koman, S., & Feher, S. (2015). Basic density of hardwoods depending on age and site. *Wood Research*, 60(6), 907-912. <http://www.centrumdp.sk/wr/201506/07.pdf>
- LeDuigou, A., Keryvin, V., Beaugrand, J., Pernes, M., Scarpa, F., & Castro, M. (2019). Humidity responsive actuation of bioinspired hygromorph biocomposites (HBC) for adaptive structures. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 116, 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2018.10.018>
- Lesar, B., Straže, A., & Humar, M., (2011). Sorption Properties of Wood Impregnated with Aqueous Solution of Boric Acid and Montan Wax Emulsion. *Journal of Applied Polymer Science*, 120, 1337-1345. <https://doi.org/10.1002/app.33196>
- Liu, M., Xu, G., Wang, J., Wu, Z., Lv, J., & Xu, W. (2020). Effects of Shellac Treatment on Wood Hygroscopicity, Dimensional Stability and Thermostability. *Coatings*, 10, 881. <https://doi.org/10.3390/coatings10090881>
- Machuca Velasco, R., Borja de la Rosa, A., Corona Ambriz, A., Zaragoza Hernández, I., Arreola Avila, J. G. & Jiménez Machorro, J. (2017). Xilotecnia of the wood of *Acacia schaffneri* from the State of Hidalgo, Mexico. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 19(3), 293-308. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2017005000025>

- Nopens, M., Riegler, M., Hansmann, C., & Krause, A. (2019). Simultaneous change of wood mass and dimension caused by moisture dynamics. *Scientific Reports*, 9, 10309. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46381-8>
- O'Leary, P., & Hodges, P. A. (2001). The relationship between full penetration uptake and swelling of different fluids. *Wood Science and Technology*, 35(3), 217-227. <https://doi.org/10.1007/s002260100096>
- Pereira Acosta, A., Römer Schulz, H. R., Techera Barbosa, K., Spiering Zanol, G., Gallio, E., de Avila Delucis, R., & Gatto, D. A. (2020). Dimensional stability and colour responses of *Pinus elliottii* wood subjected to furfurylation treatments. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 22(3), 303-310. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2020005000305>
- Romagnoli, M., Cavalli, D., & Spina, S. (2014). Wood Quality of Chestnut: Relationship between Ring Width, Specific Gravity, and Physical and Mechanical Properties. *BioResources*, 9(1), 1132-1147. <https://bit.ly/3vR7SZy>
- Rowell, R. M. (2007). Chemical Modification of Wood. In: *Handbook of Engineering Biopolymers. Homopolymers, Blends, and Composites*. Fakirov, S., & Bhattacharyya, D. (Editors). pp: 673-691. <https://bit.ly/38tpkvc>
- Sargent, R. (2019). Evaluating dimensional stability in solid wood: a review of current practice. *Journal of Wood Science*, 65, 36-47. <https://doi.org/10.1186/s10086-019-1817-1>
- Shukla, S. R., & Kandem, D. P. (2010). Dimensional stability of nine tropical hardwoods from Cameroon. *Journal of Tropical Forest Science*, 22(4), 389-396. <https://bit.ly/3LmMbgJ>
- Silva Guzmán, J. A., Fuentes Talavera, F. J., Rodríguez Anda R., Torres Andrade, P. A., Lomelí Ramírez, M. A., Ramos Quirarte, J., Waitkus, C., & Richter, H. G. (2010). Fichas de propiedades tecnológicas y usos de maderas nativas de México e importadas. México: Comisión Nacional Forestal.
- Sotayo, A., Bradley, D.F., Bather, M., Sareh, P., Oudjene, M., El-houjeyri, I., Harte, A., Mehra, S., O'Ceallaigh, C., Haller, P., Namari, S., Makradi, A., Belouettar, S., Bouhala, L., Deneufbourg, F., & Guan, Z. (2020). Review of State of the Art of Dowel Laminated Timber Members and Densified Wood Materials as Sustainable Engineered Wood Products for Construction and Building Applications. *Developments in the Built Environment*, 1, 100004. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2019.100004>
- Sotomayor Castellanos, J. R. (2016). Características higroscópicas de la madera de *Pinus pseudostrobus*. *Investigación e Ingeniería de la Madera*, 12(2), 4-33. <https://bit.ly/3vvFv4t>
- Sotomayor Castellanos, J. R. (2017). Densificado higo-termo-mecánico de madera de *Gyrocarpus americanus*. Pruebas de higroscopía. *Investigación e Ingeniería de la Madera*, 13(2), 4-21. <https://bit.ly/3vik8mR>
- Sotomayor Castellanos, J. R., & Ramírez Pérez, M. (2013). Densidad y características higroscópicas de maderas mexicanas. Base de datos y criterios de clasificación. *Investigación e Ingeniería de la Madera*, 9(3), 3-29. <https://bit.ly/3ERYzNb>
- Sotomayor Castellanos, J. R., Ávila Calderón, L. E. A., & Fuentes Salinas, M. (2020a). Características higroscópicas de las maderas *Spathodea campanulata*, *Fraxinus americana* y *Albizia plurijuga* impregnadas con boro. *Ciencia UNEMI*, 14(35), 10-25. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol14iss35.2021pp10-25p>
- Sotomayor Castellanos, J. R., Tinoco Campos, L. M., & Raya González, D. (2020b). Características higroscópicas de la madera de *Enterolobium cyclocarpum*, *Cupressus lindleyi* y *Cedrela odorata*. *Ciencia Nicolaita*, 79(1), 75-93. <https://doi.org/10.35830/cn.vi79.459>

Tamarit Urias, J. C. & López Torres, J. L. (2007). Xilotecología de los principales árboles tropicales de México. Puebla: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. <https://bit.ly/3viEfRY>

Tamarit Urias, J. C., & Fuentes Salinas, M. (2003). Parámetros de humedad de 63 maderas latifoliadas mexicanas en función de su densidad básica. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9(2): 155-164. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62913142008>

Tippner, J., Hrivnák, J. & Kloiber, M. (2016). Experimental Evaluation of Mechanical Properties of Softwood using Acoustic Methods. *BioResources*, 11(1), 503-518. <https://doi.org/10.15376/biores.11.1.503-518>

Tiryaki, S., Bardak, S., Aydın, A., & Nemli, G. (2016). Analysis of volumetric swelling and shrinkage of heat treated woods: experimental and artificial neural network modeling approach. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 18(3), 477-492. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2016005000043>

Torelli, N., & Gorišek, Ž. (1995a). Mexican tropical hardwoods. Dimensional stability. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 53, 277-280. <https://doi.org/10.1007/s001070050090>

Torelli, N., & Gorišek, Ž. (1995b). Mexican tropical hardwoods. Stepwise shrinkage and transverse shrinkage anisotropy. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 53, 155-157. <https://doi.org/10.1007/BF02716416>

Wang, X., Sauter, U. H., & Ross, R. J. (Editors). (2019). Proceedings of the 21st International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium. General Technical Report FPL-GTR-272. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 724 p. <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/58690>

Yao, X., Shen, C., & Xu, S. (2019). The effects of coupling/grafting modification of wood fiber on the dimensional stability, mechanical and thermal properties of high density polyethylene/wood fiber composites. *Materials Research Express*, 6(11), 115328. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab4a63>

Anexo. Densidad básica, coeficiente de higróexpansión, coeficiente de higrócontracción y sus relaciones de anisotropía de 43 especies mexicanas adaptados de Torelli y Gorišek (1995a y 1995b).

Especies	ρ_0 (kg m ⁻³)	Higróexpansión			Higrócontracción		
		α_R (%/%)	α_T (%/%)	α_T/α_R -	β_R (%/%)	β_T (%/%)	β_T/β_R -
<i>Alchornea latifolia</i>	402	0,13	0,32	2,5	0,09	0,27	3,2
<i>Ampelocera hottlei</i>	690	0,25	0,47	1,9	0,23	0,39	1,7
<i>Aspidosperma megalocarpum</i>	798	0,27	0,46	1,7	0,25	0,47	1,9
<i>Blepharidium mexicanum</i>	626	0,18	0,41	2,3	0,15	0,42	2,8
<i>Brosimum allicastrum</i>	865	0,27	0,39	1,4	0,31	0,47	1,5
<i>Bursera simaruba</i>	452	0,12	0,21	1,8	0,14	0,26	1,8
<i>Calophyllum brasiliense</i>	575	0,20	0,31	1,6	0,19	0,33	1,8
<i>Cordia alliodora</i>	552	0,18	0,39	2,2	0,16	0,34	2,2
<i>Cymbopetalum penduliflorum</i>	395	0,16	0,37	2,3	0,09	0,26	2,7
<i>Dendropanax arboreus</i>	421	0,17	0,28	1,6	0,13	0,25	1,9
<i>Dialium guianense</i>	917	0,25	0,46	1,8	0,28	0,54	1,9

<i>Dipholis stevensonii</i>	969	0,35	0,47	1,3	0,30	0,58	1,9
<i>Guarea glabra</i>	587	0,17	0,35	2,1	0,17	0,36	2,1
<i>Guatteria anomala</i>	432	0,16	0,27	1,7	0,12	0,27	2,2
<i>Lonchocarpus castilloi</i>	837	0,24	0,42	1,8	0,26	0,49	1,9
<i>Lonchocarpus hondurensis</i>	729	0,20	0,40	2,0	0,22	0,43	1,9
<i>Manilkara zapota</i>	926	0,26	0,42	1,6	0,32	0,51	1,6
<i>Misanteca pekii</i>	653	0,23	0,35	1,5	0,22	0,37	1,7
<i>Nectandra sp.</i>	508	0,21	0,34	1,6	0,16	0,30	1,9
<i>Pachica acuática</i>	526	0,15	0,36	2,4	0,16	0,32	2,0
<i>Pithecellobium arboreum</i>	700	0,18	0,35	1,9	0,21	0,42	2,0
<i>Pithecellobium leucocalix</i>	505	0,15	0,28	1,9	0,15	0,31	2,1
<i>Platymiscium yucatanum</i>	727	0,20	0,34	1,7	0,24	0,41	1,7
<i>Poulsenia armata</i>	445	0,16	0,29	1,8	0,13	0,27	2,1
<i>Pseudobombax ellipticum</i>	444	0,25	0,25	1,0	0,13	0,27	2,1
<i>Pseudolmedia oxyphyllaria</i>	723	0,18	0,45	2,5	0,17	0,48	2,8
<i>Pterocarpus hayesii</i>	508	0,19	0,37	1,9	0,13	0,33	2,7
<i>Quercus anglohondurensis</i>	857	0,31	0,52	1,7	0,19	0,58	3,0
<i>Quercus skinneri</i>	1060	0,33	0,55	1,7	0,32	0,64	2,0
<i>Schizolobium parahibum</i>	317	0,09	0,24	2,7	0,07	0,21	2,9
<i>Sebastiana longicuspis</i>	607	0,15	0,31	2,1	0,17	0,37	2,2
<i>Sickingia salvadorensis</i>	769	0,22	0,45	2,0	0,20	0,50	2,5
<i>Simarouba glauca</i>	439	0,14	0,27	1,9	0,12	0,28	2,4
<i>Spondias mombin</i>	491	0,16	0,28	1,8	0,15	0,29	1,9
<i>Swartzia cubensis</i>	933	0,29	0,44	1,5	0,33	0,51	1,5
<i>Sweetia panamensis</i>	864	0,25	0,40	1,6	0,27	0,51	1,9
<i>Swietenia macrophylla</i>	458	0,16	0,26	1,6	0,14	0,27	1,9
<i>Talauma mexicana</i>	551	0,18	0,32	1,8	0,17	0,33	2,0
<i>Terminalia amazonia</i>	663	0,20	0,33	1,7	0,21	0,38	1,8
<i>Vatairea lundelli</i>	780	0,22	0,42	1,9	0,23	0,47	2,0
<i>Vitex gaumeri</i>	660	0,19	0,37	1,9	0,19	0,40	2,1
<i>Vochysia hondurensis</i>	547	0,17	0,43	2,5	0,12	0,37	3,2
<i>Zuelania guidonia</i>	698	0,17	0,42	2,5	0,15	0,48	3,3

ρ_0 = Densidad básica; α = Coeficiente de higror expansión; β = Coeficiente de higror contracción; R = Radial; T = Tangencial.

2022 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>