



Elaboración y caracterización de pisos de ingeniería elaborados con maderas de diferentes densidades

Elaboration and characterization of engineered floors made with woods of different densities

Omar Isaí Barrera Cruz¹, Raúl Rodríguez Anda^{*2}, José Antonio Silva Guzmán² y Francisco Javier Fuentes Talavera²

¹ Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Maestría en Ciencia de Productos Forestales. Zapopan, Jalisco, México.

² Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Departamento de Madera, Celulosa y Papel. Zapopan, Jalisco, México.

* Autor de correspondencia.
raul.randa@academicos.udg.mx

RESUMEN

Una opción para incrementar el valor de las maderas de baja densidad puede ser el combinarlas con especies de densidades más altas. A los productos que combinan madera de diferentes propiedades se les conoce como productos de ingeniería. El presente trabajo tuvo como objetivo diseñar, producir y evaluar, a través de sus propiedades físico-mecánicas, un piso de ingeniería de 16 mm de espesor. Este producto se conformó de tres capas, utilizando palma de coco (*Cocos nucifera*) o melina (*Gmelina arborea*) como sustrato y encino rojo (*Quercus castanea*) como refuerzo. Se ensayaron tres tipos de adhesivos: urea formaldehído, henkel loctite y soya furfural. Con los dos sustratos utilizados, se obtuvo una densidad normal promedio de 0.53 g cm⁻³ a un contenido de humedad promedio de 9%. La resistencia a la flexión fluctuó entre 12 MPa y 62 MPa y el módulo de elasticidad entre 1346 MPa y 10 660 MPa. La combinación de encino-melina-encino con urea formaldehído fue la que presentó los mejores resultados. La dureza Brinell exhibió valores de 30 N mm⁻² a 48 N mm⁻² y la combinación encino-palma-encino con loctite fue la que arrojó el mayor valor. La resistencia al cortante de la línea de encolado fue de 0.11 MPa a 3.46 MPa. Las combinaciones encino-palma-encino soya furfural, encino-palma-encino urea formaldehído, así como encino-melina-encino urea formaldehído no presentaron diferencias estadísticas significativas en la resistencia de la línea adhesiva. Los pisos con urea formaldehído y con soya furfural fueron susceptibles a la delaminación al contacto directo con el agua y ante cambios de humedad relativa en el ambiente de 35% y 55%.

PALABRAS CLAVE: adhesivo verde, *Cocos nucifera*, delaminación, *Gmelina arborea*, propiedades físico-mecánicas, *Quercus castanea*.

ABSTRACT

A possible option to increase the value of low-density woods may be to combine species with different densities. The manufacture of boards involving joining and mixing wood with different properties is known as an engineering product. The present work aimed to design, produce, and evaluate a 16 mm-thick three-layer engineered floor using coconut palm (*Cocos nucifera*) or melina (*Gmelina arborea*) as substrate and reinforced with red oak (*Quercus castanea*) using three types of adhesives: urea formaldehyde, henkel loctite and soy furfural. The results, with both wood substrates, showed an average specific weight of 0.53 g cm⁻³ and an average moisture content of 9%. The flexural strength ranged from 12 MPa to 62 MPa and from 1346 MPa to 10 660 MPa in modulus of elasticity, the combination of oak-melina-oak with urea formaldehyde being the one that presented the best results. Brinell hardness exhibits strengths from 30 N mm⁻² to 48 N mm⁻² with the oak-palm-oak combination with loctite achieving the highest value. The shear resistance of the gluing line ranged from 0.11 MPa to 3.46 MPa, with the oak-palm-oak with soya furfural, oak-palm-oak with urea formaldehyde, as well as oak-melina-oak urea formaldehyde combinations showing no statistical differences. In delamination, floors with urea formaldehyde and furfural soy are susceptible to delamination by direct contact with water and while being subjected to dry changes in relative humidity in the environment of 35% and 55%.

KEYWORDS: green adhesive, *Cocos nucifera*, delamination, *Gmelina arborea*, physical-mechanical properties, *Quercus castanea*.

INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de innovaciones de productos a base de madera, se han desarrollado los llamados productos de ingeniería, consistentes en diversas combinaciones de materiales, elaborados mediante capas delgadas de madera sólida. Tenorio et al. (2011) evaluaron un producto elaborado con diversas capas de madera del melina (*Gmelina arborea* Roxb) contrapuestas y en arreglo paralelo, y obtuvieron propiedades físico-mecánicas comparables a las de la madera sólida con una densidad básica de 0.60. Por otra parte, los trabajos actuales de investigación en productos de ingeniería van de la mano con la tecnología de resinas y adhesivos bajos en emisión de compuestos orgánicos volátiles (Fang et al., 2012), ya que ambos campos se enfocan en el estudio de los materiales a unir, así como en optimizar las condiciones del proceso de formulación de adhesivos, aplicación y curado. También se concentran en mejorar propiedades específicas, como la resistencia a la humedad, entre otras.

Para el caso de pisos, la Asociación Nacional de Pisos de Madera [National Wood Floors Association, NWFA] (2011) establece que pueden estar conformados por dos, tres, cinco, siete o nueve capas. Los más comunes son los de tres y cinco. Un aspecto importante por considerar es que un piso de ingeniería permite utilizar maderas y materiales base madera con diferentes propiedades (Pino-Palma, 2017), con lo cual se aprovechan eficientemente los recursos maderables sin comprometer el desempeño. Así, por ejemplo, en el ámbito comercial se pueden encontrar pisos de ingeniería manufacturados con tablero de fibras de densidad media (MDF; Bouffard y Blanchet, 2009), tablero contrachapado (triplay; Haro, 2015), tablero de fibra orientada (OSB) (Barbuta et al., 2012) y madera sólida (*decks*) (Fang et al., 2012; Berti et al., 2017). Dado que el MDF, el OSB y la madera contrachapa (*triplay*) solo actúan como sustrato en la conformación de un piso de ingeniería, una innovación interesante es sustituirlos por maderas de baja densidad, lo cual impulsa su versatilidad hacia nuevos campos de aplicación, que incluso pueden presentar mejor desempeño en comparación con los tradicionales. En este

contexto y ante la importancia de reconocer la factibilidad técnica de un producto de ingeniería, este estudio se enfoca en el potencial de combinar madera de especies no tradicionales, en arreglo ortogonal. La madera de melina (*Gmelina arborea*) y la de la parte central de la sección transversal de la palma de coco (*Cocos nucifera*) son consideradas de baja densidad y poco utilizadas. Sin embargo, la combinación de estas con madera de encino rojo (*Quercus castanea*) puede resultar en un compuesto innovador y brindar la oportunidad de aprovechar las tres especies en conjunto. Por otra parte, la utilización de una formulación adhesiva a base de proteína de soya aislada, mezclada con un agente químico de origen natural desarrollada por Hernández (2015), permitiría obtener un diseño aún más interesante en la innovación de productos forestales. Por lo anterior, se buscó determinar las mejores combinaciones de las tres especies mencionadas y tres adhesivos en pisos de ingeniería, tomando en cuenta las propiedades físico-mecánicas del producto compuesto: contenido de humedad (CH), densidad normal, módulo de resistencia y módulo de elasticidad a la flexión (MOR, MOE, respectivamente), dureza Brinell, tensión paralela y delaminación.

OBJETIVOS

Fabricar y evaluar pisos de ingeniería compuestos por madera de dos especies de baja densidad como sustrato y de una de alta densidad como refuerzo en las caras exteriores, usando tres distintos adhesivos para cada combinación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Madera de palma de coco (*Cocos nucifera*)

Se eligieron 24 tablones de palma de coco de la parte media del diámetro de la palmera, aserrada del primer tercio de la altura del fuste total; las medidas de las tablas fueron: 39 mm × 140 mm × 1002 mm (espesor, ancho y largo respectivamente). El contenido de humedad inicial en condición verde fue de 105%; se procedió a reducir el



contenido de humedad de la madera mediante un secador técnico convencional (HILDEBRAND GmbH Typ: HD78 K) hasta 12%, que es un nivel pertinente para la manufactura de pisos de ingeniería, de acuerdo con la ANSI/HPVA EF 2019 (Hardwood Plywood & Veneer Association [HPVA], 2009).

Madera de melina (*Gmelina arborea*)

De la empresa Homo Log – Foresta, de la ciudad de Tepic, Nayarit, México, se recolectó (en donación) madera de melina proveniente de plantaciones del mismo estado: 20 tabloncillos de 55 mm × 170 mm × 1260 mm (espesor, ancho y longitud, respectivamente), clasificada como de 2ª selección, secada por la misma empresa bajo el método técnico convencional a 11% de contenido de humedad.

Madera de encino colorado (*Quercus castanea*)

La madera de encino fue recolectada en la ciudad de Guadalajara, Jalisco, México, de la empresa FICAMEX; 26 tabloncillos de 50 mm × 270 mm × 1220 mm (espesor, ancho y largo, respectivamente) de madera seca por alto vacío a contenido de humedad de 11% en promedio. Todas las piezas utilizadas estaban libres de defectos con el fin de obtener las chapas aserradas, que fueron utilizadas en el revestimiento tanto de la cara frontal como de la posterior del piso de ingeniería.

Caracterización físicomecánica de las maderas

Se determinaron las propiedades de las maderas de las tres especies: módulo de ruptura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) en flexión, con base en las indicaciones de la norma DIN 52 362-1 (Instituto Alemán de Normalización [DIN, por sus siglas en alemán] 1994c). Se utilizó una máquina universal CADIS 2015 con una celda carga de 50 kN de capacidad (CADIS Prüftechnik GmbH Typ: 81876-50 kN), que grafica de forma digital la fuerza contra la deformación. Así mismo se determinó la dureza Brinell tanto en las caras transversal como laterales (radial y tangencial), con base en las especificaciones de la norma DIN EN 1534 (DIN, 2000). Este ensayo se realizó en una máquina universal Karl Frank (Karl Frank GmbH Typ:

81105-50kN). La densidad (en adelante, la mención de *densidad* sin algún adjetivo se referirá a *densidad normal*) y el contenido de humedad (CH) fueron determinados en los mismos especímenes de prueba de los ensayos a flexión y dureza, siguiendo las especificaciones de la norma DIN 52 351 (DIN, 1994a) y DIN 52 361 (DIN, 1994b), respectivamente.

Para el análisis estadístico, se utilizó el paquete Statgraphics Centurion XV ver. 15.2.06 (Statpoint Technologies, 2007). Se realizaron análisis de varianza unifactorial y pruebas de rangos múltiples (LSD) para establecer las diferencias estadísticamente significativas a 95% de confiabilidad.

Adhesivos

Los adhesivos empleados en la manufactura del piso de ingeniería fueron urea-formaldehído (UF), donada por tableros EMMAN S. A. Otro adhesivo fue uno comercial a base de policloropropeno denominado Loctite 5029-F (LC) y fabricado por la empresa HENKEL. El tercer adhesivo fue una formulación desarrollada por Hernández (2015), con base en proteína de soya desnaturalizada y entrecruzada con furfural (SF). La viscosidad y sólidos totales como parámetros físicos de control de los 3 adhesivos se muestran en la tabla 1.

Preparación de sustrato y chapas del piso de ingeniería

Las maderas de palma de coco y melina fueron utilizadas para la sección de sustrato del piso de ingeniería, por lo que fue necesario aserrarlas en tablillas de 12 mm × 60 mm × 450 mm (espesor, ancho, longitud), perfectamente escuadradas y cepilladas. Se procedió también a maquinarse los cantos para ensamblar las piezas, tipo machihembrado con la finalidad de proporcionar una mayor fortaleza al generarse un área de contacto más amplia. De la madera de encino, se obtuvieron chapas aserradas de un espesor de 3 mm y 2 mm, las cuales fueron utilizadas en las caras frontal y posterior del piso de ingeniería respectivamente, como se ilustra en el esquema de la figura 1.

TABLA 1. Viscosidad y sólidos totales de los adhesivos usados en la fabricación de los pisos de ingeniería en estudio.

Adhesivo	Viscosidad (Cp)	Sólidos totales (%)
Soya furfural (SF)	237	10
Urea formaldehído (UF)	206	61
Henkel Loctite 5029-F (LC)	205*	19

*Viscosidad TAPPI T 666: OM 91 (Technical Association of the Pulp and Paper Industry [TAPPI], 1991), sólidos totales ASTM D1490-OI (ASTM, 2018).

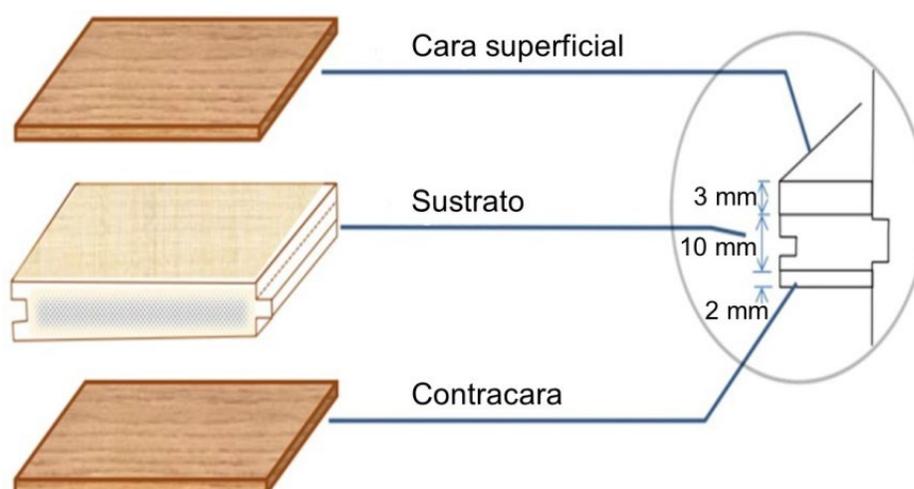


FIGURA 1. Detalle del ranurado de las piezas del sustrato (palma de coco y/o melina) y chapas aserradas de encino de los pisos fabricados para este estudio.

Manufactura de pisos de ingeniería

Combinaciones de madera y adhesivos

La combinación de especie de sustrato y tipo de adhesivo permitió la manufactura de 6 diferentes pisos de ingeniería (Tabla 2). Por cada combinación se manufacturaron 5 piezas de piso de ingeniería para evaluar sus propiedades físico-mecánicas y definir la calidad de producto generado.

Armado del piso

El procedimiento de armado del piso de ingeniería se llevó a cabo en dos etapas principales que a continuación se describen:

Etapa a) conformación del sustrato

- Aplicación de los adhesivos (UF, LC, SF) mediante una brocha en la ranura de las tablillas de madera de palma de coco o melina, según el caso. Se utilizó una cantidad de 15 g m^{-2} para UF, 12 g m^{-2} para LC y 17 g m^{-2} para SF.
- Ensamble de las tablillas y prensado lateral, con aplicación de presión de 1.6 MPa a temperatura de $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (UF), ambiente (LC) y $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (SF). El tiempo en prensa fue de 5 min con adhesivos UF y SF, y de 30 min con LC; este ensamble permitió un cierre total del sustrato. Para la unión tanto de sustrato como de chapas, se



TABLA 2. Combinaciones para la elaboración de los pisos de ingeniería del presente estudio.

Código/Pieza	Nomenclatura
EPESF	Encino/Palma de coco/Encino Adhesivo: Proteína de Soya-Furfural [10-25%]
EPELC	Encino/Palma de coco/ Encino Adhesivo: Policloropreno - Henkel Loctite 5029-F
EPEUF	Encino/Palma de coco/ Encino Adhesivo: Urea-formaldehído + 2% de endurecedor NH ₄ Cl (Cloruro de amonio) en base seca y 1% de hidróxido de amonio (NH ₄ OH) catalizador
EMESF	Encino /Melina/ Encino Adhesivo: Soya-Furfural [10 -25%]
EMELC	Encino /Melina/ Encino Adhesivo: Policloropreno Henkel Loctite 5029-F
EMEUF	Encino /Melina/ Encino Adhesivo: Urea formaldehído + 2% NH ₄ Cl (Cloruro de amonio) en base seca y 1% de hidróxido de amonio (NH ₄ OH) catalizador

EPE = Encino/palma/encino; EME = Encino/melina/encino; SF= Proteína soya-furfural; LC= Adhesivo Loctite; UF= Urea formaldehído.

utilizó una prensa hidráulica de placas calientes con capacidad de carga de 140 kg cm⁻² de fabricación propia.

- Rectificación del sustrato en cepillo de navajas a un espesor de 10 mm y lijado en secuencia de lijas número 80 y 120.

Etapa b) enchapado de caras (frontal y posterior)

- Aplicación manual de adhesivo correspondiente (UF, LC, SF) en la superficie de sustrato con las siguientes dosificaciones 105 g m⁻², 90 g m⁻², 130 g m⁻², respectivamente. Colocación de la chapa de encino (3 mm) perpendicular a la dirección de la madera del sustrato.
- Prensado a temperatura de 150 °C, ambiente o 150 °C en función del adhesivo (UF, LC, SF, respectivamente) a una presión de 1.5 MPa para UF y SF, y de 0.4 MPa para LC. El tiempo de prensado fue de 5 min para UF y SF y de 30 min para LC.
- Ribeteado del piso de ingeniería a 440 mm × 440 mm y lijado con lijas número 80, 100 y 120.

Estructura microscópica del sustrato con el adhesivo

Para la observación y toma de micrográficas de la interfase adhesiva se utilizó un microscopio electrónico de barrido (FE-SEM) con EDS, marca TESCAN modelo MIRA 3 LMU, de alta resolución (1 nm para alto vacío). El tamaño de los especímenes empleados fue de 10 mm × 10 mm × 5 mm.

Evaluación de propiedades de los pisos de ingeniería

Flexión

La evaluación mecánica del piso de ingeniería también se efectuó en la máquina universal CADIS 2015 con una celda carga de 50 kN de capacidad (CADIS Prüftechnik GmbH Typ: 81876-50 kN). El ensayo consistió en determinar el módulo de ruptura (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE), los cuales se obtuvieron de gráficas y datos numéricos calculados por la misma máquina, y realizados con base en la norma DIN 52 362-1 (DIN, 1994c). Se

utilizaron 15 especímenes de prueba de 16 mm × 50 mm × 450 mm (espesor, ancho y largo) por cada combinación de manufactura especificada en la tabla 2.

Dureza Brinell

Para la determinación de la dureza Brinell se empleó la maquina universal Karl Frank Typ: 81105-50kN, utilizando especímenes de prueba de pisos de ingeniería de 16 mm × 50 mm × 50 mm. La aplicación de la carga fue en la superficie de las chapas de encino. Se utilizó la norma DIN EN 1534 (DIN, 2000).

Tensión paralela

Este ensayo se desarrolló con base en las especificaciones de la norma ASTM 2339-98 (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2004) para determinar la resistencia de la unión de piezas de madera del sustrato y las chapas de las caras frontal y posterior del piso de ingeniería. Los ensayos se llevaron a cabo en una maquina universal Karl Frank Typ: 81105-50Kn, utilizándose 30 especímenes por cada combinación de manufactura, y sus dimensiones fueron de 16 mm × 25 mm × 90 mm (espesor, ancho y largo, respectivamente), con área de corte transversal de 625 mm².

Delaminación

Esta prueba se ejecutó con base en las indicaciones de la norma ANSI/HPVA EF 2009 (HPVA, 2009), la cual consiste en la exposición de especímenes de piso de ingeniería a 4 h en inmersión en agua a temperatura ambiente (25 °C), posteriormente, a un secado en estufa a 52 °C por 19 h. Adicional a la norma, y con el propósito de garantizar la calidad del EWF, finalmente se acondicionó en cámara a 35% y otro a 55% de humedad relativa del aire (HRA) y temperatura de 23 °C por 7 días, que son unos de los valores de humedad primarios mencionados por la misma norma. Estas etapas corresponden a un ciclo de exposición. Los especímenes se ensayan hasta un máximo de tres ciclos, o menos en caso de que se presente la falla. La evaluación de la delaminación de la línea de encolado se realiza visualmente y, donde se observa una separación, se marca y se mide la longitud y la abertura. Un total de 10

especímenes de 50.8 mm × 127 mm (ancho y largo) se utilizaron por cada combinación de manufactura.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización fisicomecánica de las maderas

En la tabla 3 se muestran los resultados promedio de los ensayos fisicomecánicos de la madera de las tres especies.

Con respecto a la madera de encino, Silva et al. (2010) registraron densidades normales de 0.73 g cm⁻³ a 0.91 g cm⁻³ y valores de MOR y MOE en flexión de 127 MPa y 11 460 MPa, respectivamente; y de dureza Brinell lateral de 32 N mm⁻² a 38 N mm⁻². Por su parte, De la Paz Pérez-Olvera y Dávalos-Sotelo (2008) mencionan resistencia a la flexión de 66.2 MPa, módulos de elasticidad de 11 555 MPa (para madera verde) y densidad básica relativa de 0.68. Sotomayor (2005) exhibe valores de densidad básica relativa de 0.79 y 111.7 MPa y 16 440 MPa en MOR y MOE, respectivamente. La densidad obtenida para la palma de coco, usada como sustrato en este estudio (0.43 g cm⁻³) fue aproximada al valor 0.49 g cm⁻³ señalado por Fathi (2014) para la zona de densidad media. Rodríguez (1989) menciona densidades de 0.41 g cm⁻³, MOR y MOE de 30 MPa y 4050 MPa, así como dureza Brinell lateral de 3.71 N mm⁻². Sulc (1983) obtuvo densidad promedio de 0.45 g cm⁻³, MOR y MOE de 33 MPa y 3633 MPa, respectivamente. Por su parte, Saleh y Maseat (2009) y Rana et al. (2015) obtuvieron valores de 28.4 MPa y 3667 MPa; y 29.93 MPa y 2533 para MOR y MOE. Referente a la madera de melina, Silva et al. (2010) mencionan valores de MOR de 54 MPa a 77 MPa y de 7000 MPa a 10 500 MPa para MOE, dureza Brinell lateral de 13 N mm⁻² a 17 N mm⁻² en densidades de 0.42 g cm⁻³ a 0.64 g cm⁻³. Alipon y Bondad (2011) registraron valores de 44.9 MPa para MOR y 5660 MPa para MOE. Ataguba et al. (2015) observaron densidades de 0.68 g cm⁻³ con valores de MOR de 12.4 MPa y de MOE de 8010 MPa. Por su parte Méndez (2016) registra densidades de 0.47 g cm⁻³, MOR de 59 MPa y MOE de 7000 MPa. Comparativamente, los resultados obtenidos en la presente investigación corresponden en mayor o menor proporción con los registrados por otros investigadores.



TABLA 3. Valores promedio obtenidos para las propiedades físico-mecánicas de las especies estudiadas.

Madera	Flexión (MPa)		Dureza Brinell (N/mm ²)			Densidad (g cm ⁻³)	C.H. (%)
	MOR	MOE	Transv.	Tang.	Radial		
Encino	137.0	14611.0	99.2	58.7	63.7	0.88	11
Palma de coco	34.0	6678.0	15.1	8.4	9.2	0.43	10
Melina	36.0	6771.0	34.6	20.8	19.0	0.43	13

Caracterización físicomecánica de los pisos de ingeniería

Densidad

En la tabla 4 se muestran las densidades de los pisos de ingeniería elaborados con madera de palma de coco y madera de melina. Con ambos sustratos los valores fluctuaron entre 0.49 g cm⁻³ y 0.59 g cm⁻³, siendo el promedio de ambos de 0.53 g cm⁻³.

Para un piso de ingeniería de tres capas en arreglo contrachapado de 15 mm de espesor, la densidad en los 6 tratamientos se vio claramente influenciada por la combinación de dos maderas de diferentes propiedades. Específicamente con 30% de madera de encino colorado (alta densidad), y 70% de madera de palma de coco y melina (baja densidad). La densidad de los pisos de ingeniería que utilizaron madera de palma de coco fue 0.54 g cm⁻³, 40% menor que la densidad de la madera de encino colorado (0.89 g/cm³) y 25% más alto que la madera de palma de coco (0.43). Tenorio et al. (2011) obtuvieron una densidad de 0.52 g cm⁻³ en un producto de ingeniería de 12 mm de espesor con chapas de madera de melina. En este estudio, para los tratamientos que utilizaron madera de melina en el sustrato con los tres distintos encolantes, se obtuvo un promedio de 0.53 g cm⁻³ para un espesor de 15 mm en arreglo contrachapado, dicho valor fue semejante al del producto “Comercial 1 EWF” (0.52 g cm⁻³), sin embargo y a pesar de la semejanza en las densidades de estos dos pisos, al ser menor el espesor del EWF comercial (14 mm) el peso de este último es menor por unidad de superficie que el peso del piso con sustrato de melina. Wang et al. (2003)

afirman que maderas consideradas de bajo valor, utilizadas en forma de laminados (LVL o GLULAM), pueden llegar a formar parte de productos de alta calidad. En los pisos de ingeniería (EWF) sucede algo similar: materiales de baja densidad o resistencia mecánica pueden formar parte de productos con características aceptables.

MOR y MOE en flexión

Los resultados de estas pruebas se presentan en la tabla 5. La combinación de encino/melina/encino con urea formaldehído (EMEUF), así como el sustrato de palma de coco con la formulación de adhesivo de soya (EPESF), fueron los que obtuvieron la mayor resistencia promedio a la flexión: 45 MPa y 62 MPa, respectivamente. A estas dos combinaciones se les denominó *grupo homogéneo “a”*. A pesar del contraste numérico, no existe diferencia estadísticamente significativa ($P > 0.05$) entre ambos. Las resistencias obtenidas de ambas formulaciones no presentan diferencias significativas en comparación con el piso comercial 1 EWF. El segundo grupo homogéneo que corresponde a la letra “b”, cuya elaboración está conformada por la combinación encino/palma/encino con urea formaldehído (EPEUF), obtuvo un módulo de ruptura de 36 MPa. Ante estos resultados, los grupos “a” y “b” cumplen con los requerimientos mínimos de resistencia a la flexión (20 MPa) estipulados por la norma ANSI/HPVA EF 2009 (HPVA, 2009) para pisos de ingeniería. El tratamiento EMEUF presentó un módulo de ruptura 72% mayor que el de la madera sólida de su sustrato; por su parte, la configuración EPESF presentó un módulo de ruptura 32% mayor que el de su sustrato.

TABLA 4. Densidad y contenido de humedad de los productos de ingeniería compuestos por maderas de propiedades diferentes.

<i>Tratamiento (Código)</i>	<i>Densidad (g cm⁻³)</i>	<i>Contenido de Humedad (%)</i>
Encino/P. de Coco/ Encino (EPESF)	0.51	8
Encino/P. de Coco/ Encino (EPELC)	0.54	10
Encino/P. de Coco/ Encino (EPEUF)	0.60	9
Encino/Melina/Encino (EMESF)	0.58	9
Encino/Melina/Encino (EMELC)	0.53	11
Encino/Melina/Encino (EMEUF)	0.49	6
Piso comercial EWF (14 mm)*	0.52	11

* Por sus siglas en inglés Engineered Wood Flooring

TABLA 5. MOR y MOE en flexión de las formulaciones de los pisos de ingeniería estudiados.

<i>Tratamiento</i>	<i>Módulo de ruptura (MOR) [MPa]</i>	<i>Módulo de elasticidad (MOE) [MPa]</i>
Piso EPESF	45 ^a	10660 ^a
Piso EPELC	19 ^c	1360 ^c
Piso EPEUF	36 ^b	7631 ^b
Piso EMESF	12 ^c	2130 ^c
Piso EMELC	15 ^c	1346 ^c
Piso EMEUF	62 ^a	10690 ^a
Comercial EWF	41 ^a	5000 ^b

*Letras diferentes representan diferencia estadísticamente significativa (P<0.05).

EPE = Encino-palma-encino; EME = Encino-melina-encino; SF= Soya furfural; LC = Adhesivo loctite; UF= Urea formaldehido; EWF = Engineered Wood Flooring.

Haro (2015) fabricó y estudió pisos de ingeniería utilizando tableros contrachapados de 11 mm de espesor como sustrato y madera de mascarey (*Hieronyma alchorroides*), así como sustrato de tableros de partículas de densidad media

(MDP) y madera de seike (*Cedrelinga catenaeformis*). En ambas combinaciones, las chapas de madera exterior fueron de 2.5 mm de espesor en la cara superior, y chapa de desenrollo de 1.5 mm en la inferior. El ensayo de flexión de este



producto arrojó 15.2 MPa para los pisos con mascarey y contrachapados. La de madera de seike con MDP obtuvo un valor promedio muy bajo de 3.3 MPa. Por su parte Ahumada (2006) evaluó pisos de ingeniería de 8 mm de espesor compuestos de una capa superior de decoración de 0.2 mm y como sustrato tableros de fibras de alta densidad (HDF) de las marcas comerciales más vendidas en Chile. La resistencia a la flexión obtenida por este autor, en promedio, fue de 42 MPa. Los módulos de ruptura obtenidos en el presente trabajo (EPESF [45 MPa] y EMEUF [62 MPa]) son superiores en comparación tanto con los del piso comercial EWF (41 MPa) como con los obtenidos por los demás autores. Barbuta et al. (2012) mencionan que otros de los factores que influyen en las propiedades del EWF son las capas superficiales adicionadas al piso, productos con capas superiores a los 3 mm en las caras superficiales son considerados producto de alta calidad, en ellos actúa mecánicamente el sustrato y consecuentemente disminuye la deformación de las superficies del EWF. Así mismo, Pavlič (2021) hacen hincapié en que tanto las capas superficiales como el sustrato influyen en el rendimiento físico-mecánico del EWF.

En cuanto al módulo de elasticidad (MOE) y conforme al análisis estadístico, existen tres grupos homogéneos ($P < 0.05$). El primero de ellos, y con los valores más elevados, es el conformado por los tratamientos EMEUF y EPESF, el segundo grupo formado por el tratamiento EPEUF, y por último el grupo configurado por los tratamientos EPELC, EMELC y EMESF. Del primer grupo homogéneo “a”, la diferencia entre ambos tratamientos es de 30 MPa. El MOE de los pisos EMEUF y EPESF es aproximadamente 113% mayor que el de los EWF comercial, lo que representa una diferencia sustancial. Pino-Palma (2017) realizó dos tipos de pisos utilizando tableros OSB y contrachapados como sustrato, colocando una chapa de madera densificada de pino (*Pinus radiata*) o una de eucalipto (*Eucalyptus nitens*), en ambos casos de 3.5 mm de espesor, en las caras superficiales y comparando con la aplicación de una chapa de pino sin densificar. El módulo de elasticidad que obtuvo con cubierta sin densificar fue de 10 300 MPa para pino-OSB; 11 600 MPa para pino-

contrachapado, 11 900 MPa para eucalipto-OSB y 16 100 MPa para eucalipto-contrachapado. Los resultados obtenidos en la presente investigación quedan por debajo de los obtenidos por Pino-Palma (2017), excepto en el caso de pino-OSB.

Dureza Brinell

En la tabla 6 se muestra el comparativo de resultados entre los diferentes tratamientos, observándose que la combinación EPELC obtuvo el valor más elevado de dureza Brinell (48 N mm⁻²). Este hecho configura a EPELC como grupo homogéneo “a”, seguido por el resto de los tratamientos que configuran el grupo homogéneo “b”. El análisis estadístico demuestra que sí existen diferencias significativas, a 95% de confiabilidad, en la interacción entre el tipo de sustrato y el adhesivo.

La densidad de la capa de 3 mm de espesor de la chapa de madera de encino influyó en la resistencia a la dureza Brinell en todos los tratamientos, con incrementos entre 22 N mm⁻² y 24 N mm⁻² en promedio, partiendo de la dureza

Tabla 6. Dureza Brinell de la madera maciza de las tres especies estudiadas y de sus combinaciones en la fabricación de los pisos estudiados.

Especie / Tratamiento	Dureza Brinell (N mm ⁻²)
Madera de P. de coco (lateral)	12
Madera de melina (lateral)	14
Madera de encino (lateral)	62
Piso EPESF	39 ^b
Piso EPELC	48 ^a
Piso EPEUF	34 ^b
Piso EMESF	37 ^b
Piso EMELC	30 ^b
Piso EMEUF	33 ^b

*Letras diferentes representan diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$).
EPE = Encino-palma-encino; EME = Encino-melina-encino; SF= Soya furfural; LC = Adhesivo loctite; UF= Urea formaldehído

presentada por la madera de melina y palma de coco respectivamente. La dureza es una propiedad crítica, especialmente en la elaboración de pisos de ingeniería (Fang et al., 2011). A pesar de que los valores obtenidos en este estudio fluctuaron entre los 30 N mm⁻² y 48 N mm⁻² en los diferentes tratamientos, las combinaciones propuestas reúnen los requerimientos mínimos de dureza para pisos de ingeniería de bajo tráfico y poca carga estipulados en la norma ANSI/HPVA EF 2009 (HPVA, 2009). La dureza Brinell de los pisos con cubierta de eucalipto y de pino sin densificar realizados por Pino-Palma (2017) fue, en promedio, 22 N mm⁻² sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre ambos sustratos (OSB y contrachapado). Sin embargo, con cubiertas densificadas el valor promedio de dureza fue mayor (61 N mm⁻²). Continuando la comparación con los resultados de Pino-Palma (2017), todas las combinaciones de sustrato, chapas exteriores y adhesivos de este estudio arrojaron valores de dureza Brinell mayores a los obtenidos por los citados autores en sus combinaciones sin tratamiento de densificación.

Resistencia de la línea de encolado en tensión longitudinal

Los valores de resistencia de la línea encolante (IB) se visualizan en la tabla 7. Para el caso del sustrato de madera de melina existieron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre los adhesivos utilizados. La línea de

TABLA 7. Unión interna (IB) obtenida para cada tratamiento.

Combinación	Fuerza máxima [N]	Unión interna (IB) [MPa]
EPESF	1653	2.70 ^a
EPELC	209	0.11 ^b
EPEUF	1842	2.26 ^a
EMESF	1189	2.3 ^b
EMELC	438	0.17 ^c
EMEUF	2553	3.46 ^a

*Letras diferentes representan diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$).
EPE = Encino-palma-encino; EME = Encino-melina-encino; SF= Soya furfural; LC = Adhesivo loctite; UF= Urea formaldehído

encolante formada por urea-formaldehído (UF) fue la que mayor resistencia obtuvo, seguida de la soya furfural (SF) y por último el adhesivo loctite (LC). Por otra parte, para el piso con sustrato de palma de coco, los encolantes UF y el SF fueron los mejores y no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre ellos, a 95% de confiabilidad. Al final quedó el encolante loctite (LC) con las menores resistencias. A pesar de no existir diferencias estadísticamente significativas entre la unión interna obtenida con el adhesivo UF y aquella con SF, para el tratamiento EPESF, la falla se presentó en 90% de las fibras del sustrato y para el tratamiento EMEUF, el porcentaje promedio de falla en las fibras fue menor, oscilando entre 44% y 73%. Aunque se presentaron estas diferencias, los porcentajes obtenidos se consideran favorables en cuanto al desgarre se refiere, pues la falla, según la norma ASTM 2339-98 (ASTM, 2004), debe ocurrir en el sustrato o panel y no sobre la línea que forma el adhesivo. El tipo de adhesivo utilizado juega un papel importante en la elaboración del piso, ya que llega a ser una parte integral del compuesto creando una interfase con sus concernientes propiedades específicas (Belleville et al., 2008).

Frihart et al. (2010) hacen hincapié en que las proteínas de soya proporcionan buena adhesión a la madera, sin embargo, estos adhesivos tienen poca resistencia al agua sin reticulación química. Tenorio et al. (2021) realizaron EWF con tableros contrachapados como sustrato, adhiriendo chapas densificadas de *Alnus acuminata*, *Vochysia ferruginea* y *Vochysia guatemalensis* y efectuaron ensayos en la línea de encolado utilizando un adhesivo polimérico EP-950^a. La resistencia de la línea de adhesión fue 6.2 MPa para *A. acuminata*, 3.61 MPa para *V. ferruginea* y 2.93 MPa para *V. guatemalensis*. Moya et al. (2015) encontraron, en nueve maderas tropicales, valores de 2 MPa a 4 MPa utilizando adhesivos PVAc y de 8 MPa a 9 MPa aplicando UF. Comparando los resultados de estos dos últimos trabajos con los obtenidos aquí, se observa que el de EMEUF es similar al de *A. acuminata* de Tenorio et al., (2021) y los de EPESF, EPEUF, EMESF y EMEUF son comparables con los valores de resistencia exhibidos por Moya et al. (2015) con adhesivo PVAc, pero menores a los del encolante UF.



Estructura microscópica del sustrato con el adhesivo

Con la ayuda de tomas microscópicas a diferentes escalas en un microscopio electrónico de barrido (TESCAN modelo MIRA 3 LMU), se observó la línea de pegado para los tres adhesivos, la figura 2 (A, B y C) muestra el detalle del anclaje y reticulación de las resinas termoestables (UF, SF) y la del tipo elastómero (LC). Se observan además pequeñas aberturas y grietas (Fig. 2 B y C) que son atribuidas al proceso de prensado con calor, ya que la vaporización del solvente en el adhesivo promueve la formación de fisuras por la liberación de vapor

de agua del sustrato o de humedad en la capa del adhesivo específicamente. En el caso de la resina UF del tratamiento EPEUF (Fig. 2 A) se aprecia una mejor morfología, es decir, una línea uniforme entre adhesivo y la superficie de la madera, debido a que las células parenquimáticas y los haces fibrovasculares de la palma de coco fueron cubiertos con el adhesivo de forma homogénea. No obstante, Abdul et al. (2011) afirman que la aparición de microgrietas en la línea encolante (Fig. 2 B y C) puede deberse también a la falta de cantidad de adhesivo o incremento del contenido de sólidos en la resina de 250 g m^{-2} a 500 g m^{-2} .

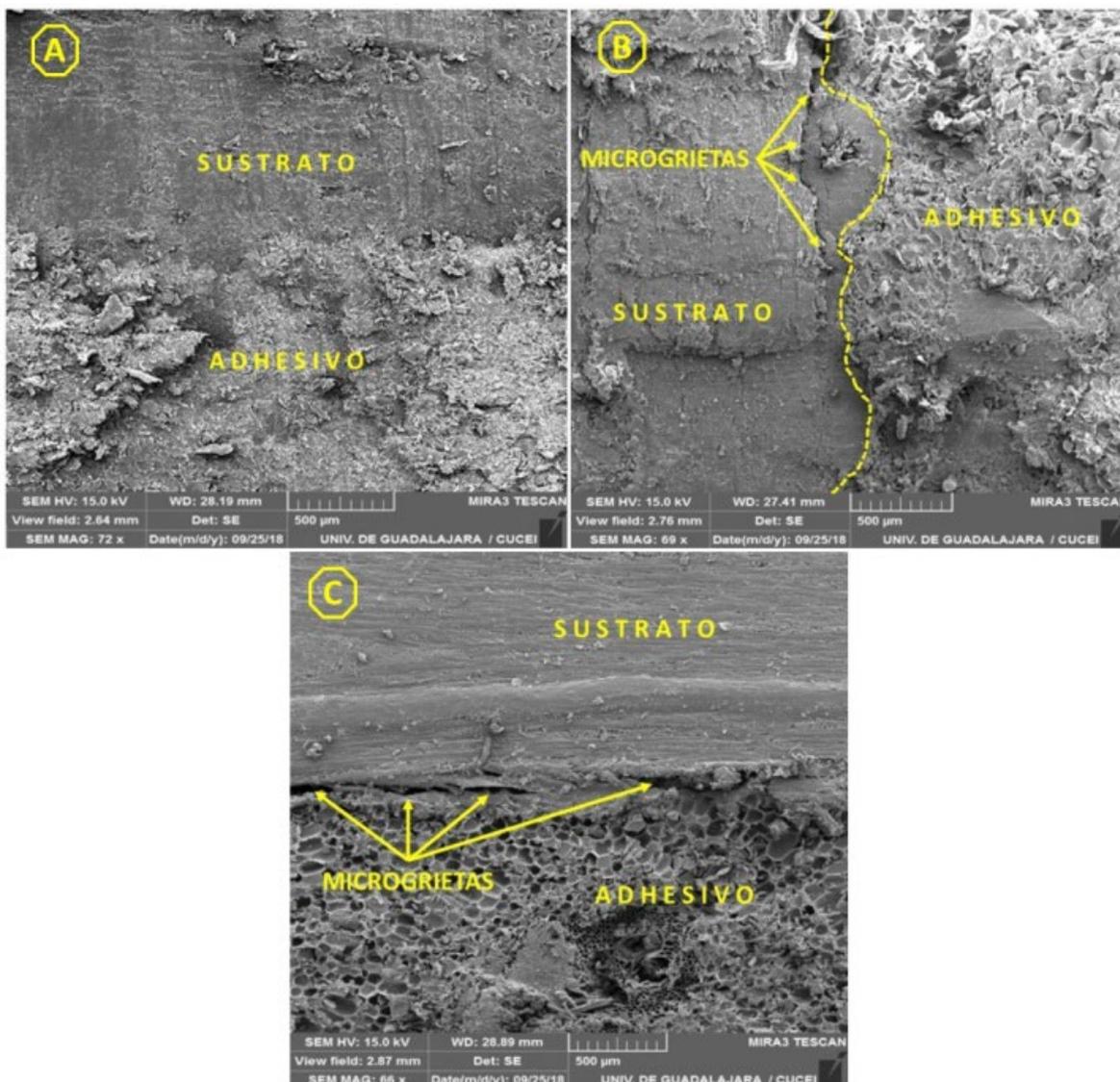


FIGURA 2. Localización de la interfase de los adhesivos. A) Adhesivo UF. B) Adhesivo SF. C) Adhesivo LC.

Delaminación

Durante el proceso del ensayo se observó que, al incrementar el contenido de humedad, tanto por condiciones ambientales como por inmersión, la unión interna mostró una caída drástica, tanto para UF como para SF; ambos encolantes son susceptibles a la delaminación por contacto directo con el agua y por cambios de humedad relativa (Tabla 8).

Tabla 8. Resultados del ensayo de delaminación de los pisos estudiados, de acuerdo con la norma ANSI/HPVA EF 2009 (HPVA, 2009).

Combinaciones	1er ciclo	2o ciclo
EFE UF	Si aprobó 95%	No aprobó
EPE SF	No aprobó	No aprobó
EPE LC	Si aprobó 95%	No aprobó
EME UF	Si aprobó 95%	No aprobó
EME SF	No aprobó	No aprobó
EME LC	Si aprobó 95%	No aprobó

Frihart et al. (2010) mencionan que las proteínas de soya dispersas son globulares y se adhieren a las superficies que contienen principalmente grupos hidrofílicos, mientras que los grupos hidrofóbicos preferentemente están en el interior de la propia proteína. Así mismo mencionan que las estructuras globulares son sensibles a las condiciones como pH, desnaturalizantes añadidos, temperatura y sales. Por otra parte, refieren que la estructura de la proteína es muy dependiente de las interacciones intracadena de la mayoría de los polímeros, esto oculta muchos de los grupos funcionales potencialmente reticulables.

Los adhesivos policloropropeno Loctite 5029-F y UF mostraron resultados favorables en el primer ciclo al no presentar fallas por delaminación, no obstante, al ser sometidos a un segundo ciclo, la falla se presentó en 95% de los especímenes. Sin excepción alguna, en todos los

tratamientos ocurrió falla y delaminación. Un aspecto importante que mencionan Barbuta et al. (2012) es que las delaminaciones son el resultado del alto nivel de distribución de tensiones interlaminares en los bordes libres en EWF.

CONCLUSIONES

Las combinaciones EMEUF (encino-melina-encino con urea formaldehído) y EPESF (encino-palma-encino con soya furfural) cumplieron satisfactoriamente con las propiedades mecánicas establecidas por la norma ANSI/HPVA EF 2009 (HPVA, 2009) para pisos de ingeniería.

El adhesivo urea formaldehído presentó el mejor comportamiento mecánico para ser utilizado en pisos de ingeniería.

Independientemente de la combinación de maderas de propiedades diferentes y el tipo de adhesivo, el comportamiento higroscópico fue malo en todos los pisos de ingeniería manufacturados a escala laboratorio, debido a que sufrieron delaminación.

Las maderas de baja densidad utilizadas como sustrato son adecuadas para la fabricación de pisos de ingeniería.

REFERENCIAS

- Abdul Khalil, H. P. S., Nuzul Fazita, M. R., Jawaid, M., Bhat, A. H., & Abdullah, C. K. (2011). Empty fruit bunches as a reinforcement in laminated bio-composites. *Journal of Composite Materials*, 45(2), 219-236. <https://doi.org/10.1177/0021998310373520>
- Ahumada G., I. M. (2006). *Caracterización técnica de dos pisos laminados existentes en el mercado nacional* [Tesis de licenciatura, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/151551/Caracterizacion-tecnica-de-dos-pisos-laminados-existentes-en-el-mercado-nacional.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alipon, M. A., & Bondad, E. O. (2011). Comparative Strength and Related Properties of Yemane (*Gmelina arborea* Roxb.) Coppice and Planted Stand. *Philippine Journal of Science*, 140(2), 231-238. <https://philjournalsci.dost.gov.ph/home-1/34-vol-140-no-2-december-2011/453-comparative-strength-and-related-properties-of-yemane-gmelina-arborea-roxb-coppice-and-planted-stand>



- American Society for Testing and Materials [ASTM] (1998). *ASTM D2339-98 Standard test method for strength properties of adhesives in two-ply wood construction in shear by tension loading*.
- American Society for Testing and Materials [ASTM] (2018). *ASTM D1490-01 Standard test method for nonvolatile content of urea-formaldehyde resin solutions*.
- Ataguba, C. O., Enwelu, C., Aderibigbe, C., & Okiwe, E. O. (2015). A comparative study of some mechanical properties of *Gmelina arborea*, *Parkia biglobosa* and *Prosopis Africana* timber for structural use. *International Journal of Technical Research and Applications*, 3(3), 320-324.
- Barbuta, C., Blanchet, P., Cloutier, A., Yadama, V., & Lowell, E. C. (2012). OSB as substrate for engineered wood flooring. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70, 37-43. <https://doi.org/10.1007/s00107-010-0494-y>
- Belleville, B., Blanchet, P., Cloutier, A., & Deteix, J. (2008). Wood-adhesive interphase characterization and modeling in engineered wood flooring. *Wood and Fiber Science*, 40(4), 484-494. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/584/584>
- Berti, S., Burato, P., Dionisi-Vici, P., & Allegretti, O. (2017). Orange wood for parquet and engineered flooring use. *BioResources*, 13(1), 586-596. <https://doi.org/10.15376/biores.13.1.586-596>
- Bouffard, J., & Blanchet, P. (2009). Use of Fiberboard as Substrate in Floating Engineered Wood Flooring. *Forest Products Journal*, 59(11-12), 6-10. <https://doi.org/10.13073/0015-7473-59.11.6>
- Fang, C., Cloutier, A., Blanchet, P., & Barbuta, C. (2011). *Densified engineered wood flooring for heavy-duty use. Project UL/FPI 252. Value to wood project. Final report 2010-2011*. Université Laval – FP Innovaciones. https://www.researchgate.net/publication/280938277_Densified_Engineered_Wood_Flooring_for_Heavy-Duty_Use
- Fang, C., Blanchet, P., Cloutier, A., & Barbuta, C. (2012). Engineered wood flooring with a densified surface layer for heavy-duty use. *BioResources*, 7(4), 843-854. <https://doi.org/10.15376/biores.7.4.843-854>
- Fathi, L. (2014). *Structural and mechanical properties of the wood from coconut palms, oil palms and date palms* [Tesis de doctorado, Universidad de Hamburgo]. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.102.0.3978&rep=rep1&type=pdf>
- Frihart, C. R., Birkeland, M. J., Allen, A. J., & Wescott, J. M. (2010). *Soy adhesives that can form durable bonds for plywood, laminated wood flooring, and particleboard*. En International Society of Wood Science and Technology (Ed.), *Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe - Timber Committee* (pp. 11-14). SWST - UNECE-TC. https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/pdf2010/fpl_2010_frihart006.pdf
- Hardwood Plywood & Veneer Association [HPVA] (2009). *ANSI/HPVA EF 2009 American National Standard for Engineered Wood Flooring*. https://www.floorreports.com/images/technotes_files/105.pdf
- Haro R, D. J. (2015). *Fabricación de pisos de ingeniería en madera de mascareño (Hyeronima alchorneoides Allem) en la empresa Pismade S.A., Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo* [Tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/3884/1/33T0136%20.pdf>
- Hernández, C. F. (2015). *Formulación de un nuevo adhesivo para madera, piezas laminadas* [Tesis de maestría, Universidad de Guadalajara].
- Instituto Alemán de Normalización [DIN] (1994a). *DIN 52351 Testing of wood fibre boards; determination of the moisture content, the absorption of water and the thickness swell*.
- Instituto Alemán de Normalización [DIN] (1994b). *DIN 52 361 Testing of wood chipboards; determination of dimensions, raw density and moisture content*.
- Instituto Alemán de Normalización [DIN] (1994c). *DIN 52 362-1 Testing of wood chipboards; bending test, determination of bending strength*.
- Instituto Alemán de Normalización [DIN] (2000). *DIN EN 1534 Determination of resistance to indentation (Brinell)*.
- Méndez M., L. D. (2016). *Efectos del termotratamiento sobre las propiedades físicas, químicas y mecánicas en la madera de Tectona grandis y Gmelina arborea proveniente de plantaciones forestales* [Tesis de maestría, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6788/efectos-termotratamiento-sobre-propiedades-fisicas-quimicas-mecanicas-madera-Tectona-grandis-Gmelina-arborea-proveniente-plantaciones-forestales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Moya, R., Rodríguez-Zúñiga, A., & Vega-Baudrit, J. (2015). Effects of Adding Multiwall Carbon Nanotubes on Performance of Polyvinyl Acetate and Urea-Formaldehyde Adhesives in Tropical Timber Species. *Journal of Nanomaterials*, 2015, 895650. <https://doi.org/10.1155/2015/895650>
- National Wood Floors Association [NWFPA] (2011). *Flooring report 2011: Wood flooring*.
- Pavlič, M., Petrič, M., & Žigon, J. (2021). Interactions of coating and wood flooring surface system properties. *Coatings*, 11(1), 91. <https://doi.org/10.3390/coatings11010091>

- De La Paz Pérez-Olvera, C., & Dávalos-Sotelo, R. (2016). Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques*, 14(3), 43-80. <https://doi.org/10.21829/myb.2008.1431206>
- Pino-Palma, D. S. (2017). *Pisos de madera densificada con especies de rápido crecimiento: Pinus radiata y Eucalyptus nitens* [Tesis de maestría, Universidad de Bío-Bío]. http://repositorio.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/2970/1/Pino_Palma_D%C3%A9bora_Soledad.pdf
- Rana, M. A., Das, A., & Ashduzzaman, M. (2015). Physical and mechanical properties of coconut palm (*Cocos nucifera*) stem. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 50(1), 39-46. <https://doi.org/10.3329/bjsir.v50i1.23808>
- Rodríguez A., R. (1989). *Evaluación físico mecánica de la madera de la palma de coco* (*Cocos nucifera* L.) [Tesis de licenciatura, Universidad de Guadalajara]. http://biblioteca.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/776/Rodriguez_Anda_Raul.pdf?sequence=1
- Saleh, A. H., & Maseat, K. (2009). *Physical and mechanical properties of solid cocolumber and its uses*. Forest Research Institute Malaysia. https://www.researchgate.net/publication/215495814_Physical_and_Mechanical_Properties_of_Solid_Coco_Lumber_and_Its_Uses
- Silva G., J., Fuentes T., F., Rodríguez A., R., Torres A., P., Lomelí R., M., Ramos Q., J., Waitkus, C., & Richter, H. (2010). *Fichas de propiedades tecnológicas y usos de maderas nativas de México e importadas*. Universidad de Guadalajara.
- Sotomayor C., J. R. (2005). Características mecánicas y clasificación de la madera de 150 especies mexicanas. *Investigación e Ingeniería de la Madera*, 1(1), 1-24.
- Statpoint Technologies (2007) *Statgraphics Centurion XV*. (versión 15.2.06) [Software]. StatPoint. Inc.
- Sulc V. K. (1983). *Mechanical Properties of Coconut Palm Wood*. Regional Coconut Wood Training Program. RAS781/110. Zamboanga, Philippines.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry [TAPPI] (1991). *TAPPI T 666: OM 91 Viscosity of adhesives using a low-shear rotating apparatus*.
- Tenorio, C., Moya, R., & Muñoz, F. (2011). Comparative study on physical and mechanical properties of laminated veneer lumber and plywood panels made of wood from fast-growing *Gmelina arborea* trees. *Journal of Wood Science*, 57(2), 134-139. <https://doi.org/10.1007/s10086-010-1149-7>
- Tenorio, C., Moya, R., & Navarro-Mora, A. (2021). Flooring characteristics of thermo-mechanical densified wood from three hardwood tropical species in Costa Rica. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 23, 1-12. <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2021000100416>
- Wang, X., Ross, R., Brashaw, B. K., Verhey, S. A., Forsman, J. W., & Erickson, J. E. (2003). *Flexural properties of laminated veneer lumber manufactured from ultrasonically rated red maple veneer: a pilot study*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. <https://doi.org/10.2737/fpl-rn-288>

Manuscrito recibido el 26 de julio de 2022

Aceptado el 06 de marzo de 2023

Publicado el 18 de diciembre de 2023

Este documento se debe citar como:

Barrera Cruz, O. I., Rodríguez Anda, R., Silva Guzmán, J. A., & Fuentes Talavera, F. J. (2023). Elaboración y caracterización de pisos de ingeniería elaborados con maderas de diferentes densidades. *Madera y Bosques*, 29(2), e2922439. <https://doi.org/10.21829/myb.2023.2922439>



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.