



CERNE

ISSN: 0104-7760

cerne@dcf.ufla.br

Universidade Federal de Lavras

Brasil

Tenorio, Carolina; Moya, Roger; Camacho, Diego
Propiedades físico-mecánicas de tableros terciados construidos con especies tropicales de
plantaciones para uso estructural
CERNE, vol. 18, núm. 2, abril-junio, 2012, pp. 317-325
Universidade Federal de Lavras
Lavras, Brasil

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74423522017>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE TABLEROS TERCIADOS CON ESPECIES TROPICALES DE PLANTACIONES PARA USO ESTRUCTURAL

Carolina Tenorio¹, Roger Moya², Diego Camacho³

(recibido: 1 de julio de 2010; acepto: 31 de enero de 2012)

RESUMEN: En Costa Rica, el concreto, el acero y los plásticos son los materiales más utilizados para construcción. Mientras que por otro lado la utilización de madera de plantaciones forestales se ha incrementado en los últimos años. Ante tal situación en el presente estudio, fueron determinadas las propiedades físicas y mecánicas de tableros terciados manufacturados con chapas de *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Acacia mangium* provenientes de plantaciones forestales para usos estructurales. Se analizaron tres tableros (plywood) de cada una de las especies, se realizó una caracterización general y se midieron sus principales propiedades físicas y mecánicas. Los resultados mostraron que los tableros producidos con árboles de *T. grandis* en general presentan propiedades físicas y de resistencia superiores a las de *G. arborea* y *A. mangium*. De acuerdo con las normas del Voluntary Products Standard PS 1-95 y PS 1-09 de los Estados Unidos, es posible producir tableros estructurales de grado 3 con *G. arborea*, y grado 2 estructural con *T. grandis* y *A. mangium*, los cuales pueden ser usados en la fabricación de elementos estructurales.

Palabras-clave: Madera de plantación, resistencia, productos terciados, compuestos de madera.

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PLYWOOD PANELS MANUFACTURED WITH TROPICAL PLANTATION SPECIES FOR STRUCTURAL USE

ABSTRACT: Concrete, steel and plastics are the materials used for construction in Costa Rica. Meanwhile, wood from plantation are being introduced in the market. The present study aims to characterize and measured some physical and mechanical properties of plywood panels manufactured with veneers of *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* and *Acacia mangium* coming from forest plantations for structural use. It was produced three plywood boards of each species and general characterization of them was done, and physical and mechanical properties were determined. The results shown that panels manufactured with *T. grandis* wood presented physical and mechanical properties higher than *G. arborea* and *A. mangium*. In accordance with standards of Voluntary Products Standard PS 1-95 and PS 1-09 of the United States, structural plywood of *G. arborea* can be grouped in grade 3, and plywood manufactured with *T. grandis* and *A. mangium* wood in grade 2. All species can be used in the manufacture of structural elements.

Key words: Wood plantation, wood resistance, veneers product, secondary products of wood.

1 INTRODUCCIÓN

En Costa Rica, materiales de construcción derivados de metal, cemento o fibro-cemento se han posicionado en áreas dominadas anteriormente por la madera, esto como consecuencia directa de la creciente demanda de la misma a nivel mundial y por la incapacidad de los productores de suplir este material de construcción (TUK, 2010). Una solución a dicho problema es el desarrollo de tecnologías enfocadas en procesos de producción caracterizados por la reducción de las pérdidas de material y la creación de nuevos materiales compuestos de uso intensivo a base de madera (SHUKLA; PASCAL, 2008).

Este tipo de compuestos poseen varias ventajas al ser comparados con la madera sólida, como lo son una mayor estabilidad dimensional, uniformidad, mayor resistencia mecánica, menores costos de procesamiento, disponibilidad de largas dimensiones y atractivas presentaciones (KAMALA et al., 1999; WONG et al., 1996). Las propiedades físicas y mecánicas de estos productos dependen de las relaciones existentes entre la materia prima, por ejemplo de las propiedades de la madera de las especies utilizadas, del proceso de manufactura y del uso final que se le vaya a dar al producto (LAM, 2001). Se prevé que los productos de madera contrachapada en el futuro van a jugar un papel

¹Ingeniera Forestal, Licenciada en Ingeniería forestal – Escuela de Ingeniería Forestal – Instituto Tecnológico de Costa Rica – Apartado 159-7050 – San José, Costa Rica – ctenorio@itcr.ac.cr

²Ingeniero en Maderas, Doctor en Ciencias Forestales – Escuela de Ingeniería Forestal – Instituto Tecnológico de Costa Rica – Apartado 159-7050 – San José, Costa Rica – rmoya@itcr.ac.cr

³Ingeniero Forestal, Master en Administración – Escuela de Ingeniería Forestal – Instituto Tecnológico de Costa Rica – Apartado 159-7050 – San José, Costa Rica – dicamacho@itcr.ac.cr

importante en la elaboración de materiales estructurales debido a la baja disponibilidad de madera sólida, ya que al ser productos a base de madera son biológicamente mejor valorados en relación a los metales y al concreto (OZARSKA, 1999).

Por otro lado, debido a la falta de información genética, reproductiva y de manejo, especies nativas y exóticas han adquirido gran importancia en proyectos de reforestación. Especies de rápido crecimiento (con períodos de rotación menores a los 20 años) como *Tectona grandis*, *Acacia mangium* y *Gmelina arborea* (especies exóticas) han mostrado excelentes resultados en plantaciones forestales en Costa Rica (MOYA, 2004; PÉREZ; KANNINEN, 2001; PETIT; MONTAGNINI, 2004). Actualmente se puede encontrar una gran cantidad de referencias sobre estudios para determinar algunas propiedades de la madera *Tectona grandis* y *Gmelina arborea* en Costa Rica (MOYA et al., 2008; MOYA; KANNINEN, 2001; MOYA; TOMAZELLO, 2008).

Sin embargo, pocos son los estudios realizados a nivel mundial para determinar las propiedades de productos estructurales fabricados a base de la madera de estas especies. Por ejemplo, González et al. (2004) describen el desarrollo del sistema de unión de piezas para ser utilizado en vigas laminadas de uso estructural con madera de *G. arborea*, en tanto Sasaki et al. (1993) describen la resistencia de vigas I utilizando madera de *gmelina* en sus componentes flanger. Por otro lado Wong et al. (1996) determinan algunas de las propiedades físicomecánicas en tableros laminados (LVL) fabricados con chapas de *Hevea brasiliensis* y de *A. mangium*.

Ante tal situación el presente estudio tiene como objetivo determinar algunas de las propiedades físicas y mecánicas de tableros de plywood manufacturados con chapas de *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Acacia mangium* provenientes de plantaciones forestales con el propósito de utilizar estos tableros en la fabricación de elementos estructurales.

2 MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Material

Tres tableros de madera contrachapada (plywood) de 2,44 m de largo x 1,22 m de ancho x 12 mm de espesor de *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Acacia mangium* fueron fábricos por la empresa Maderas Cultivadas de Costa Rica S.A (www.maderascultivadas.com). Las chapas para la fabricación de los tableros fueron obtenidas de

árboles de plantaciones de 12 años para *G. arborea*, 11 años para *A. mangium* y 14 años para *T. grandis*. Estas condiciones de plantación permiten extraer trozas con diámetro superior a 25 cm.

2.2 Proceso de fabricación

Se contó con trozas de aproximadamente 25 cm de diámetro y de 2,6 m de largo las cuales fueron desenrolladas en un torno de cuchillas. Las chapas utilizadas fueron secadas a un contenido de humedad entre un 6 y un 8%. En los tableros fueron utilizadas chapas externas de 3 mm de espesor con calidad C y en la parte central de los tableros fueron utilizadas chapas con 1,5 mm de espesor de calidad C y D (Figura 1), de acuerdo con la norma voluntaria PS 1-09 "Structural plywood (with typical trademarks)" de la Asociación Americana de plywood de los Estados Unidos (NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY - NIST, 2010). Se uso resina de Fenol formaldehido (FP) para los tableros de *G. arborea* y resina de Urea formaldehido (UF) para los tableros de *T. grandis* y *A. mangium*. Se utilizó UF en *T. grandis* y *A. mangium* por que se presentaron problemas de abastecimiento en la resina FP, por lo que no se pudo continuar utilizando el mismo tipo de resina. Los dos tipos de resinas eran de dos componentes, la resina misma y un catalizador, en el caso de FP la cantidad de catalizador fue de 5% y en el caso de la UF fue de 5%- Ambas resinas fueron aplicadas sobre una de las caras de las chapas con una taza de esparcimiento de 220 g/m² usando una encoladora de rodillos. Los tableros fueron prensados a una presión de 15 bares y a 140°C por 7 minutos para la resina UF y de 10 minutos para la resina FP. Posteriormente estos fueron acondicionados por 24 horas, y finalmente fueron cortados a las dimensiones finales. El lijado de estos tipos de tableros no es realizado ya que estos están orientados a usos estructurales.

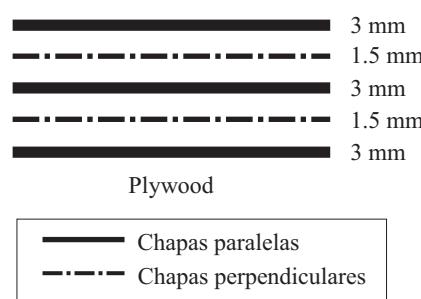


Figura 1 – Distribución de las chapas en los tableros terciados.

Figure 1 – Distribution of the veneers in the plywood panels.

2.3 Caracterización general

Luego de la selección de los tableros a muestrear, se procedió a realizar una caracterización general de los tableros para las tres especies, donde se evaluaron sus dimensiones de largo y ancho. Para ello tres mediciones en el largo y tres mediciones en el ancho fueron realizados en cada uno de los tableros (Figura 2). También se evaluó el espesor del tablero en 12 diferentes partes del tablero (6 mediciones en el largo y 6 mediciones en el ancho). La escuadria del tablero también fue medida, la cual determina el grado en el que las aristas del tablero presentan un ángulo recto. Para este parámetro, el tablero fue medido en sus dos diagonales (Figura 2).

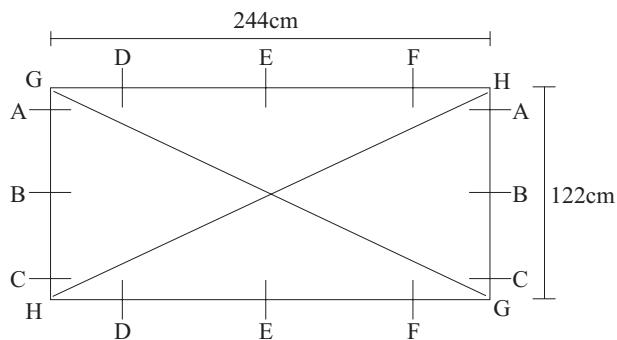


Figura 2 – Puntos de medición longitudinal (puntos A, B y C), transversal (puntos D, E y F) y escuadria (puntos G y H) para la caracterización de los tableros terciados de 244 x 122 cm.

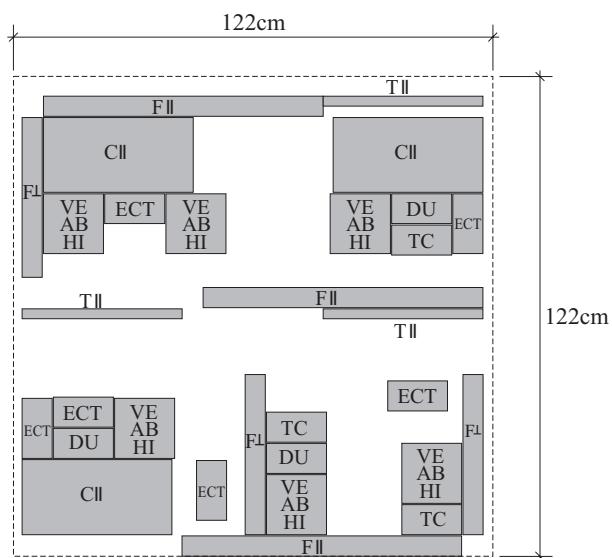
Figure 2 – Longitudinal (points A, B and C), transversal (points D, E and F) measurement points and squaring (points G and H) for the characterization of plywood boards of 244 x 122 cm.

En la evaluación de la calidad de los tableros se tomaron en cuenta la presencia de nudos (número y diámetro de los nudos en cada cara del tablero), la presencia de grietas en las caras, el tipo de acabado que se le dio al tablero (el tablero contrachapado debe de estar libre de ampollas y otros defectos, como que la caras están o no pulidas).

2.4 Método de muestreo

Para las probetas de los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas se consideró la cantidad, dirección del grano y el tamaño de las mismas dentro de los tableros y fueron muestreadas en forma aleatoria. El muestreo se llevó acabo de acuerdo con el estándar EN 326-1 (EN, 1994), esto porque es el sistema que mejor detalla el sistema de muestreo a juicio de los autores. La Figura 3

muestra la distribución de las probetas en una mitad de cada uno de los tableros (122 cm x 122 cm). De modo que para completar el número de probetas requeridas para los ensayos se realizó el mismo corte en la otra mitad de cada tablero. Las probetas con dimensiones de 5 cm x 5 cm no se encuentran señaladas en la Figura 3, ya que estas son cortadas de las partes sobrantes en cada mitad de los tableros.



Leyenda: F// = ensayo de flexión (paralelo), F⊥ = ensayo de flexión (perpendicular), C// = ensayo de compresión (paralelo), T// = ensayo de propiedades de tensión (paralelo), DU = ensayo de dureza, TC = ensayo de tracción de clavos, ECT = ensayo de extracción de clavos y tornillos, VE = ensayo de variación de espesor, AB = ensayo de absorción de agua, HI = ensayo de hinchamiento en espesor.

Figura 3 – Distribución de las probetas en los tableros de 122 x 122 cm.

Figure 3 – Distribution of samples on the 122 x 122 cm boards.

2.5 Determinación de las propiedades físicas y mecánicas

Las propiedades físicas medidas fueron el peso específico al 12% (PE), la densidad (DEN), el contenido de humedad (CH), variación de espesor (VE), la absorción de agua (AB) y el hinchamiento (HI). El PE fue determinado con la norma ASTM D-2395 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM, 2003b), para el CH la norma ASTM D-4442 (ASTM, 2003g) y finalmente para VE, AB e HI fue utilizada la norma ASTM D-1037 (ASTM, 2003a).

En este estudio se realizaron diez tipos de ensayos para determinar las propiedades mecánicas: tensión paralela a la superficie ($T \parallel$), tensión perpendicular a la superficie ($T \perp$), fuerza de compresión paralela a la superficie ($C \parallel$), ensayo de dureza (DU), fuerza de cortante en el plano del tablero (CP), ensayo de flexión paralela y perpendicular a la superficie ($F \parallel$ y $F \perp$ respectivamente), tracción de clavos (TC) y fuerza de extracción de clavos y tornillos (ECT). La norma ASTM D-3500 (ASTM, 2003e) fue usada en $T \parallel$, la norma ASTM D-3501 (ASTM, 2003f) para $C \parallel$, la norma ASTM D-3043 (ASTM, 2003d) para $F \parallel$ y $F \perp$ y finalmente la norma ASTM D-1037 (ASTM, 2003a) para $T \perp$, CP, DU, TC y para ECT.

2.6 Análisis estadístico

La normalidad y la presencia de valores extremos fue verificada para cada propiedad de los tableros, con el procedimiento de PROC UNIVARIATE de SAS®. Luego una descripción estadística general (promedio y coeficiente de variación) se aplicó un análisis de la varianza (ANOVA) para probar las diferencias entre los tableros de *G. arborea*, *T. grandis* y *A. mangium*. La existencia de diferencias significativas entre las medias de cada una de las especies fue verificada mediante la prueba de Tukey ($P < 0,01$).

3 RESULTADOS

3.1 Caracterización del tablero

Fue observado que los tableros de las tres especies presentaban las dimensiones de largo y ancho comunes

para la comercialización (244 cm de largo y, 122 cm en el ancho); en tanto que el espesor de los tableros, varío de 0,35 a 0,57 mm en sentido transversal y de 0,36 a 0,58 mm en sentido longitudinal con respecto de la medida establecida para estos tableros (12 mm de espesor). Para los valores promedio de escuadría, por otro lado, se encontró que los tableros de *T. grandis* y *A. mangium* presentan un valor promedio de 1,00 mm, pero en los *G. arborea* se presentó un valor mucho mayor, de 4 mm (Tabla 1). La escuadría establecida por la norma AS/NZS 2269 (AUSTRALIAN/NEW ZEALAND STANDARD - AS/NZS, 1994) establece que debe ser de 0,2% de la longitud diagonal (278 cm) que significa un valor 5,5 mm. Los valores de escuadría obtenidos en los tableros de las 3 especies cumplen con la norma anterior.

De acuerdo con la norma AS/NZS 2269 (AS/NZS, 1994) los tableros con un espesor de 12,5 mm deben poseer una variación de $\pm 4\%$, lo que significa un valor de 0,50 mm. Al comparar este valor con los valores de variación del espesor de los tableros de las 3 especies (Tabla 1) se tiene que en *A. mangium* no se cumple con esta norma tanto en sentido transversal como en sentido longitudinal (0,57 mm y 0,58 mm respectivamente). Los tableros de *T. grandis* cumplen en sentido longitudinal (0,40 mm), pero no en sentido transversal (0,57 mm) (Tabla 1). Los tableros *G. arborea*, al contrario de las dos especies anteriores, que si cumplen en la variación del espesor en los dos sentidos del tablero (0,35 mm y 0,36 mm). Aunque los tableros de *T. grandis* y *A. mangium* no cumplen con la norma, si consideramos el factor de variación del espesor,

Tabla 1 – Caracterización general y de las propiedades físicas de los tableros laminados de 244 x 122 cm.

Table 1 – General characterization and physical properties of laminated boards of 244 x 122 cm.

Tipo	<i>Tectona grandis</i>	<i>Acacia mangium</i>	<i>Gmelina arborea</i>	ANOVA	
				CME	Valor F
Espesor Transversal (mm)	13,28 (0,57)	12,81 (0,57)	13,11 (0,35)	-	-
Espesor Longitudinal (mm)	13,15 (0,40)	12,78 (0,58)	13,09 (0,36)	-	-
Escuadría (mm)	1,00 (2,60)	1,00 (1,70)	4,00 (5,30)	-	-
Peso Específico	0,59 (0,02) ^A	0,54 (0,03) ^B	0,52 (0,04) ^C	0,00	**
Densidad al 12% (g/cm ³)	0,68 (0,02) ^A	0,62 (0,04) ^B	0,52 (0,04) ^C	0,00	**
Contenido de Humedad (%)	9,86 (0,48) ^A	10,57 (1,13) ^B	12,4 (1,64) ^C	0,00	**
Variación de Espesor (mm)	1,17 (1,01) ^A	1,42 (1,02) ^A	1,26 (0,91) ^A	0,19	NS
Absorción (%)	19,76 (2,62) ^A	19,75 (2,88) ^A	17,79 (2,78) ^B	7,64	**
Hinchamiento (%)	2,22 (0,92) ^A	3,96 (1,27) ^B	2,09 (0,92) ^A	0,02	**

Legenda: los valores indicados entre paréntesis representan la desviación estándar y las letras al lado de este valor indican que los valores son estadísticamente diferentes a un nivel de confianza de 95%, **: altamente significativo a 99%, *: significativo a 95%, CME=cuadrado medio del error y NS: no significativo.

el uso puede ser limitado. No obstante, es importante hacer notar que los tableros analizados no habían sido lijados ya que estos están orientados a la fabricación de elementos estructurales, donde por lo general este tipo de productos no son expuesto y por lo tanto algunos procesos como el lijado no son realizados en los tableros. De forma tal que para lograr una menor variación del espesor del tablero se debe lijar-calibrar los tableros. Así mismo otro factor que puede influir la uniformidad del espesor del tablero es los 15 bares aplicados a todas las especies. Probablemente por tratarse de madera de árboles jóvenes (con presencia de madera juvenil), la presión sea muy alta para este tipo de madera y sobre todo en las especies de baja densidad básica como la *G. arborea*.

Al evaluar la calidad de los tableros fue observado que en las tres especies se presentaron problemas con la cantidad y tamaño de nudos, especialmente en *G. arborea* y *A. mangium*, con 48 y 42 nudos por cara respectivamente. Los tableros de *T. grandis* presentaron una menor cantidad, con 32 nudos. El diámetro promedio de los nudos en las caras exteriores fue de 29,9 mm y 35 mm para *A. mangium* y *T. grandis* respectivamente, en contraste con *G. arborea* cuyos nudos midieron 19,9 mm. En la evaluación de grietas para las tres especies se observó que en ambas caras de los tableros estas tenían largos variables entre 20 y 900 mm. En cuanto a otros defectos en las tres especies, fue observado que los tableros estaban libres de ampollas, pero presentaban algunas manchas ocasionadas por los adhesivos que no fueron limpiadas por parte del productor. Así mismo en los tableros de *T. grandis* y *G. arborea* fueron observadas en los cantos algunas delaminaciones de las chapas, las cuales no eran de grandes dimensiones.

La comparación del diámetro de los nudos en la cara de los tableros con la norma voluntaria PS 1-09 "Structural plywood (with typical trademarks)" de la Asociación Americana de plywood de los Estados Unidos (NIST, 2010) indica que en los tableros de las 3 especies el diámetro está establecido dentro del rango de valores que establece la norma para las caras de categoría C (diámetros entre 25,1 y 38,1 mm). Las aberturas o grietas de los tableros de las 3 especies (valores entre 20 y 900 mm) igualmente se encuentran dentro del rango establecido por la mencionada norma para las chapas categoría C, la cual establece que las aberturas no deben exceder los 203 mm.

En términos generales en los tableros de las especies fabricados considerando los anteriores resultados

y la norma PS 1-09 "Structural plywood (with typical trademarks)" (NIST, 2010) para plywood estructural, es catalogado como plywood tipo "C" con adecuada dimensiones de ancho y largo, no obstante, deben darse algunos ajustes en el espesor los tableros de *T. grandis* y *A. mangium* para lograr espesores más uniformes.

3.2 Propiedades físicas

Los promedios obtenidos para las propiedades físicas de los tableros de *T. grandis*, *A. mangium* y *G. arborea* se encuentran detalladas en la Tabla 1, junto con su respectivo análisis de varianza de comparación. Entre las especies, *T. grandis* es la especie con mayor peso específico estadísticamente comprobado, seguida por *A. mangium* y *G. arborea*. Esta misma secuencia se presentó con la densidad de los tableros. Por su parte el contenido de humedad más alto estadísticamente fue el de los tableros de *G. arborea*, seguida por *A. mangium* y finalmente *T. grandis* (Tabla 1). El promedio de variación de espesor obtenido para las tres especies fue de 1.28 mm. La absorción de humedad de los tableros luego de 24 horas fue nuevamente más alta en *T. grandis*, seguida de *A. mangium* y por último *G. arborea*. En el aumento de espesor (hinchamiento) no se observaron diferencias estadísticas entre los tableros de *T. grandis* y *G. arborea*, pero si entre estas y *A. mangium* (Tabla 1).

Al haber sido los tableros fabricados bajo las mismas condiciones, pero con especies de diferentes propiedades físicas y en algunos casos de tipo de adhesivo diferente, es normal observar que existan diferencias significativas en la mayoría de las propiedades físicas (Tabla 1), a excepción de la variación de espesor, la cual se encuentra íntimamente ligada con el proceso de fabricación de los tableros. Shukla y Pascal (2008) señala que en general las propiedades físicas de los tableros laminados son determinadas por el tipo y las condiciones de la especie, en especial el peso específico, y en muy limitados casos por el proceso de fabricación de los tableros. De modo que las diferencias encontradas entre los tableros son determinadas por las características propias de cada especie, y por las estrategias y métodos de manufactura. Un estudio llevado a cabo por Abdul et al. (2010) para estudiar el hinchamiento de tableros de *Betula pubescens* y *Alnus glutinosa*, confirma que el hinchamiento que sufre un tablero está determinado por el contenido de humedad de las chapas y por el tipo de adhesivo utilizado, y que este parámetro no es influenciado por el tamaño y espesor de las chapas que conforman los tableros.

El alto contenido de humedad encontrado en los tableros de *G. arborea* puede ser explicado por el hecho de que esta es una especie de secado lento y específicamente porque es susceptible a la presencia de bolsas de humedad luego del secado (MOYA; MUÑOZ, 2008). En tanto que los bajos porcentajes de absorción e hinchamiento en esta especie pueden ser atribuidos a la utilización de un adhesivo poco compatible con el agua (PF), a diferencia de los tableros de *T. grandis* y *A. mangium* ambas fabricadas con UF, las cuales además presentaron bajos contenidos de humedad, lo cual las hace más susceptibles a la absorción de agua y por consiguiente al hinchamiento.

Un aspecto importante de destacar es que en las propiedades físicas, a excepción de la absorción e hinchamiento, no debería haber variación por el diferente tipo de resinas utilizadas. En *G. arborea*, a pesar que se utilizó diferente fenol-formaldehido las propiedades fueron en general inferiores a las obtenidas en *T. grandis* y *A. mangium*.

3.3 Propiedades mecánicas

Los valores promedio de resistencia en los diferentes ensayos mecánicos para los tableros de las tres especies son presentados en la Tabla 2, con sus respectivas estadísticas del análisis de varianza. Fue encontrado que *A. mangium* y *T. grandis* fueron las especies que obtuvieron los valores de resistencia más altos en los ensayos de compresión paralela, dureza, MOR en flexión perpendicular, tensión paralela y en la resistencia a la extracción de clavos y tornillos. Sin embargo en lo que respecta a los ensayos de tracción de clavos y MOE en tensión paralela fue encontrado que los tableros de *G. arborea* poseen valores de resistencia más altos que *A. mangium* y *T. grandis*.

Aunque se presentaron diferencias altamente significativas en algunos de los ensayos de las propiedades mecánicas realizados en las tres especies, para los ensayos de tensión perpendicular, cortante en el plano y MOE en flexión paralela, no fue posible obtener diferencia estadística entre las tres especies (Tabla 2).

Es importante hacer notar que algunas de las propiedades mecánicas se ven directamente afectadas por las características propias de las especies, en especial por su densidad. De acuerdo con Shukla y Pascal (2008) la densidad de la madera o de los compuestos a base de madera, es no solo una de las más importantes propiedades físicas, sino también es considerada como un indicador de las propiedades mecánicas o de resistencia; de este modo parece ser normal que las especies de mayor densidad (teca y acacia) posean mayores propiedades de resistencia

mecánica, en especial en lo que respecta a la extracción de clavos y tornillos, donde teca, la especie de mayor densidad es la que presenta el valor de resistencia más alto de las tres especies.

Abdul et al. (2010), estudiando las propiedades de tableros construidos con chapas señalan que la resistencia de algunas propiedades del tablero depende de la densidad, de la especie utilizada, del contenido de humedad, de la orientación del grano, del tipo de adhesivo utilizado y del espesor de las chapas. Este estudio confirma que las diferencias ocurridas en algunas propiedades físicas y mecánicas, pueden producirse únicamente por las características propias de las especies y el tipo de adhesivo utilizado, debido a que el proceso de fabricación de los tableros y las condiciones de los ensayos fueron las mismas para todos los tableros.

Los resultados de las propiedades físicas (Tabla 1) y su comparación con la tabla de especies que están presentes en la clasificación de especies de Voluntary Products Standard en su estandar PS 1-95 "Construction and Industrial Plywood de la National Institute of Standards and Technology (NIST, 2010) de los Estados Unidos la *G. arborea* y *A. mangium* puede ser clasificados entre el grupo 1 y 2 de este estándar. El peso específico de la *G. arborea* es de 0.52 y el grupo de especies que componen en grupo 2 es comparable con estas especies, sus valores varían de 0.35 a 0.55. Mientras que la madera de *T. grandis* es comparable con las especies del grupo 1, las cuales presentan valores de peso específico superior a 0,55.

La valorización de las propiedades mecánicas de los tableros y los valores de la madera sólida (Tabla 2) dan como resultados categorías inferiores a los que se obtienen con la valorización de las propiedades físicas. La derivación de los valores de las propiedades mecánicas utilizando el procedimiento establecido en el apartado A3 "Agrupamiento de especies" y la tabla 1A "Clear wood properties assignments" de la norma voluntario PS 1-09 "Structural plywood (with typical trademarks)" de la Asociación Americana de plywood de los Estados Unidos (NIST, 2010) y los valores de resistencia mecánicas de la madera sólida, da como resultado que la *G. arborea* se clasifica en el grupo 3 y los tableros de *T. grandis* y *A. mangium* en el grupo 2 de plywood para uso estructural. En todas las especies el factor que más limitó a no clasificar en una categoría superior fue el valor de módulo de elasticidad en flexión estática. Es importante resaltar que para que estos paneles sean completamente de grado estructural solamente tiene que cambiarse la resina de UF por FP en la *T. grandis* y *A. mangium*.

Tabla 2 – Caracterización de propiedades mecánicas de los tableros laminados de 244 x 122 cm.

Table 2 – Characterization of mechanical properties of laminated boards of 244 x 122 cm.

Tipo	<i>Tectona grandis</i>	<i>Acacia mangium</i>	<i>Gmelina arborea</i>	ANOVA		Propiedades mecánicas de madera sólida◆	
				CME y significancia	<i>Tectona grandis</i>	<i>Acacia mangium</i>	<i>Gmelina arborea</i>
Tensión Paralela							
MOE (MPa)	40,33 (19,87) ^{AB}	31,19 (18,69) ^A	45,38 (32,62) ^B	0,05*	-	89,7 (20,57)	-
Esfuerzo Máximo (MPa)	39,98 (10,99) ^A	41,85 (9,63) ^A	33,46 (23,46) ^B	0,01**	91,20 (2,61)	-	46,10 (8,00)
Tensión Perpendicular	0,88 (0,43) ^A	0,68 (0,27) ^A	0,66 (0,14) ^A	0,09 NS	2,20 (0,57)	3,0 (0,90)	4,7 (0,80)
Esfuerzo Máximo (MPa)							
Compresión Paralela MOE (MPa)	35,70 (7,61) ^A	41,93 (9,39) ^B	23,05 (7,47) ^C	0,01 **	-	42,50 (4,91)	-
Esfuerzo Máximo (MPa)	24,57 (4,89) ^A	23,28 (1,95) ^A	18,77 (4,85) ^B	10,53 **	-	34,0 (11,44)	31,19 (5,46)
Dureza							
Carga Máxima (kg)	326,77 (48,46) ^A	243,59 (40,71) ^B	223,47 (25,49) ^B	1552,05**	490 (11,10)	290 (83,60)	285 (5,19)
Cortante en el plano Estrecho Máximo (MPa)	3,07 (0,91) ^A	3,34 (0,90) ^A	3,68 (0,86) ^A	0,79NS	7,10 (1,08)	9,80 (1,05)	6,18 (1,00)
Cortante en línea cola							
Esfuerzo Máximo (MPa)	0,65 (0,43) ^A	0,53 (0,10) ^A	2,23 (0,53) ^B	0,51**	-	-	-
Flexión Perpendicular MOE (GPa)	1,28 (0,40) ^A	1,99 (0,13) ^B	1,73 (0,66) ^{AB}	-	-	-	-
Modulo de ruptura (MPa)	25,03 (13,78) ^A	21,79 (6,61) ^{AB}	17,68 (6,23) ^B	0,03*	-	-	-
Flexión Paralela							
MOE (GPa)	11,05 (3,45) ^A	11,30 (3,16) ^A	11,21 (3,65) ^A	11,74NS	13,10 (1,12)	12,32 (1,27)	8,14 (1,19)
Modulo de ruptura (MPa)	34,57 (8,51) ^A	37,17 (12,05) ^{AB}	46,59 (15,14) ^B	0,01*	95,10 (8,17)	78,40 (9,97)	49,32 (8,69)
Tracción Clavos Lateral							
Carga Máxima (kg)	75,40 (13,49) ^A	85,23 (13,83) ^{AB}	93,24 (18,13) ^B	233,89**	30,00 (5,90)	31,00 (10,80)	-
Extracción de Tornillos							
Carga Máxima (kg)	187,27 (39,17) ^A	151,69 (17,27) ^B	109,28 (11,03) ^C	0,00**	-	-	-
Extracción de Clavos							
Carga Máxima (kg)	16,70 (4,18) ^A	15,47 (4,60) ^{AB}	14,66 (3,81) ^B	7,14*	-	-	-

Legenda:

MOE = módulo de elasticidad

CME=cuadrado medio del error, los valores indicados entre paréntesis representan la desviación estándar y las letras al lado de este valor indican que los valores son estadísticamente diferentes a un nivel de confianza de 95%

**: altamente significativo a 99%

*: significativo a 95%

NS: no significativo

◆ los valores de madera sólida fueron obtenidos de Moya (2009).

4 CONCLUSIONES

Las propiedades de tableros tipo plywood con chapas obtenidas de árboles de *G. arborea* y *A. mangium* presentan valores similares de peso específico, densidad al 12% de contenido de humedad, contenido de humedad y variación del espesor, pero diferente propiedades de absorción. Pero los tableros producidos con árboles de *T. grandis* en general presentan propiedades físicas y de resistencia superior a las anteriores especies.

Los resultados de las propiedades físicas y su comparación con la tabla de especies que están presentes en la clasificación de especies de Voluntary Products Standard en su estandar PS 1-95 "Construction and Industrial Plywood de la National Institute of Standards and Technology (NIST, 1996) y la derivación de los valores de resistencia mecánica bajo la norma PS 1-09 "Structural plywood (with typical trademarks)" de la Asociación Americana de plywood de los Estados Unidos (NIST, 2010) de los Estados Unidos indican que con las 3 especies de plantaciones forestales creciendo en Costa Rica es posible producir tableros estructurales de grado 3 con la especie *G. arborea*, y grado 2 estructural en las especies de *T. grandis* and *A. mangium*, los cuales pueden ser usados en la fabricación de elementos estructurales, en cuanto las resina utiliza sea de tipo de fenol-formaldehido.

5 AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a La Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) por su apoyo en la realización del proyecto, y a las empresas Ganadera Barza S.A. y Maderas Cultivadas de Costa Rica (MCC) por su soporte en la donación del material y la construcción de los diferentes tableros.

6 REFERENCIAS

ABDUL, H. P. S.; NURUL, M. R.; BHAT, A. H.; JAWAID, M.; NIK, N. A. Development and material of new hybrid plywood from oil palm biomass. **Materials and Design**, Netherlands, v. 31, p. 417-424, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1037-92**: standard test methods for specific gravity of wood and wood-base materials. Philadelphia, 2003a. (Annual Book of ASTM Standards, 04.10).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.

ASTM D2395-02: standard test methods for specific gravity of wood and wood-base materials. Philadelphia, 2003b. (Annual Book of ASTM Standards, 04.10).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.

ASTM D2559-92: standard test methods for specific gravity of wood and wood-base materials. Philadelphia, 2003c. (Annual Book of ASTM Standards, 15.06).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.

ASTM D3043-92: standard test methods for specific gravity of wood and wood-base materials. Philadelphia, 2003d. (Annual Book of ASTM Standards, 04.10).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.

ASTM D3500-92: standard test methods for specific gravity of wood and wood-base materials. Philadelphia, 2003e. (Annual Book of ASTM Standards, 04.10).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.

ASTM D3501-92: standard test methods for specific gravity of wood and wood-base materials. Philadelphia, 2003f. (Annual Book of ASTM Standards, 04.10).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.

ASTM D4442-92: standard test methods for specific gravity of wood and wood-base materials. Philadelphia, 2003g. (Annual Book of ASTM Standards, 04.10).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.

ASTM D5751-99: standard test methods for specific gravity of wood and wood-base materials. Philadelphia, 2005. (Annual Book of ASTM Standards, 15.06).

AUSTRALIAN/NEW ZEALAND STANDARD. **AS/NZS**

2269: plywood-structural. Sydney, 1994.

GONZÁLEZ, G.; MOYA, R.; MONGE, F.; CORDOBA, R.; COTO, J. Evaluating the strength of finger-joined lumber of *Gmelina arborea* in Costa Rica. **New Forests**, Netherlands, v. 28, n. 2/3, p. 319-323, 2004.

KAMALA, B. S.; KUMAR, P.; RAO, R. V.; SHARMA, S. N. Performance test of laminated veneers lumber (LVL) from rubber wood for different physical and mechanical properties. **Holz als Roh und Werkstoff: European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 57, p. 114-116, 1999.

LAM, F. Modern structural wood products. **Progress in Structural Engineering and Materials**, Madison, v. 3, p. 238-245, 2001.

MOYA, R. **Informe final de proyecto de investigación “Maderas programa de investigación MADERHAS (Maderas de Reforestación Hacia la Sostenibilidad)”**. San José: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2009. 256 p.

MOYA, R. Wood of *Gmelina arborea* in Costa Rica. **New Forest**, Netherlands, v. 28, p. 299-307, 2004.

MOYA, R.; ARAYA, L.; VILCHEZ, B. Variation in the pith parameter of *Gmelina arborea* trees from fast growth plantations in Costa Rica. **Annals of Forest Science**, Paris, v. 65, n. 6, p. 612-621, 2008.

MOYA, R.; KANNINEN, M. Heartwood, sapwood and bark content, and wood dry density of young and mature teak (*Tectona grandis*) trees grown in Costa Rica. **Silva Fennica**, Helsinki, v. 37, p. 45-54, 2003.

MOYA, R.; KANNINEN, M. Stand growth scenarios for *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. **Forest Ecology Management**, Netherlands, v. 210, p. 425-441, 2005.

MOYA, R.; MUÑOZ, F. Wet Pockets in kiln-dried *Gmelina arborea* lumber. **Journal of Tropical Forest Science**, Winchelsea, v. 20, n. 1, p. 48-56, 2008.

MOYA, R.; TOMAZELLO, M. Variation in the wood anatomical structure of *Gmelina arborea* trees at different ecological conditions in Costa Rica. **Revista Biología Tropical**, San José, v. 56, p. 689-704, 2008.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. **Voluntary products standard PS 1-95: construction and industrial plywood**. Maryland, 1988.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. **Voluntary wood products PS 1-09: structural plywood (with typical trademarks)**. Maryland, 2010.

OZARSKA, B. A review of the utilization *Tectona grandis* of hardwoods for LVL. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 33, p. 341-351, 1999.

PÉREZ, D.; KANNINEN, M. Stand growth scenarios for *Bombacopsis quinata* plantations in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, Netherlands, v. 177, p. 427-439, 2001.

PETIT, B.; MONTAGNINI, F. Growth equations and rotation ages of ten native tree species in mixed and pure plantations in the humid neotropics. **Forest Ecology and Management**, Netherlands, v. 199, p. 243-257, 2004.

SASAKI, H.; WAN, Q.; KAWAI, S. Laminated veneer lumber and composite beams produced from tropical hardwood thinning. **Current Japanese Materials Research**, Tokyo, v. 11, p. 55-66, 1993.

SHUKLA, S. R.; PASCAL, D. Properties of laminated veneer lumber (LVL) made with low density hardwood species effect of the pressure duration. **Holz als Roh und Werkstoff: European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 66, p. 119-127, 2008.

TUK, J. **Madera: diseño y construcción**. San José: Colegio de Ingenieros y arquitectos, 2010. 236 p.

WONG, E. D.; RAZALI, A. K.; SHUICHI, K. Properties of rubber wood LVL reinforced with Acacia veneers. **Wood Research**, Bratislava, v. 83, p. 8-16, 1996.