



Caracterización de la madera joven de *Tectona grandis* L. f. plantada en Brasil

Characterization of young wood *Tectona grandis* L. f. planted in Brazil

Jeimy Blanco-Flórez¹, Paulo Fernando-Trugilho², José Tarcisio-Lima², Paulo Ricardo Gherardi-Hein²
y José Reinaldo Moreira da Silva²

¹ Programa de Postgrado en Ciencia y Tecnología de la Madera. Departamento de Ciencias Forestales. Universidad Federal de Lavras-MG-Brasil. Estudiante de doctorado. jeicoblanco@hotmail.com

² Programa de Postgrado Ciencia y Tecnología de la Madera. Departamento de Ciencias Forestales. Universidad Federal de Lavras-MG-Brasil

RESUMEN

La teca (*Tectona grandis* L. f.) es considerada una de las maderas más valiosas debido a sus excelentes propiedades físicas y estéticas. En Brasil esta especie está siendo ampliamente plantada dada su adaptación a las condiciones climáticas del país y a su corta edad de rotación (20 a 25 años). Un ciclo rápido de crecimiento es factor determinante en la calidad y aptitud final de la madera considerando que se genera una mayor proporción de madera juvenil, en muchos casos con características inferiores a la madera adulta. En este sentido el objetivo de este trabajo fue determinar algunas propiedades físicas y mecánicas de madera joven de *Tectona grandis* L. f. y compararlas con datos observados en maderas de plantaciones de la especie en otros lugares alrededor del mundo. Fueron determinadas la proporción de albura y duramen, excentricidad de la médula, densidad básica, contracciones dimensionales y propiedades mecánicas. Los resultados mostraron que, aunque se trata de madera joven, las características de la madera de plantaciones de teca en Brasil son semejantes a las maderas de teca adulta provenientes de otros lugares de plantación, fue determinado un alto contenido de duramen, alta estabilidad dimensional y mayor rigidez, comparado con lo encontrado en la literatura para ese nivel de edad, lo cual la hace apta para variedad de usos.

PALABRAS CLAVE: Densidad básica, madera juvenil, plantaciones, propiedades de la madera, rápido crecimiento.

ABSTRACT

Teak (*Tectona grandis* L. f.) is considered one of the most valuable timbers due to its excellent physical and aesthetic properties. In Brazil, this species is widely planted because of its adaptation to the climatic conditions of the country and its short rotation age (20-25 years). Rapid growth is an important factor in the quality and end use suitability of the wood considering that it generates a higher proportion of juvenile wood, often with lower characteristics than mature wood. The aim of this study was to determinate some physical and mechanical properties of juvenile wood of *Tectona grandis* L. f. and compare with data observed in teakwood from plantations in other places around the world. The proportion of sapwood and heartwood, pith eccentricity, basic density, stiffness, strength and dimensional shrinkage were determined. The findings showed that, although it was non-mature wood, the characteristics of Brazil plantations teak wood resemble the mature teak wood from plantations elsewhere. The content of heartwood, dimensional stability and stiffness were higher than those found in the literature for teak wood with similar age range: so brazilian non-mature teak wood from plantations is suitable for a variety of uses.

KEY WORDS: Wood quality, basic density, wood properties, non mature teakwood, wood technology.

INTRODUCCIÓN

La teca (*Tectona grandis* L. f.) es la especie de madera tropical más plantada en el mundo. Se estima que 74% del total de las plantaciones de maderas duras (*hardwoods*) en el mundo son de teca, con aproximadamente una superficie de 5 819 000 ha (FAO, 2009a). Esta especie es cultivada hace más de 150 años en 50 países, dentro y fuera de su área de distribución natural (FAO, 2009b).

La teca ha sido reconocida como una madera de alta calidad debido a sus excelentes propiedades, convirtiéndose en una de las más valiosas del mundo junto al cedro (*Cedrela odorata*) y la caoba (*Swietenia macrophylla*). Sus propiedades, principalmente para el duramen, incluyen: combinación de bajo peso específico con resistencia, durabilidad natural, estabilidad dimensional, facilidad de trabajar con herramientas, resistencia a termitas, hongos, químicos, además de su belleza (Bhat, 1998). La madera de teca presenta alta demanda para usos específicos, como construcción y revestimiento de embarcaciones, fabricación de muebles y objetos lujosos.

Los árboles de teca, nativos del sur de Asia, (India, Myanmar, República Democrática Popular de Laos y Tailandia) se han aclimatado en Java (Indonesia), donde probablemente se introdujeron entre 400 y 600 años atrás. También se ha establecido en toda la zona tropical de Asia, en África tropical (Costa de Marfil, Nigeria, Sierra Leona, la República Unida de Tanzania y Togo) y en América Latina y el Caribe (Costa Rica, Colombia, Ecuador, El Salvador, Panamá, Trinidad y Tobago y Venezuela). La teca se ha introducido también en algunas islas de la región del Pacífico (Papúa Nueva Guinea, Fiji y las Islas Salomón) y en el norte de Australia en forma experimental (Pandey y Brown, 2000).

La teca crece en condiciones climáticas de clima monzónico (tropical húmedo y cálido), caracterizado con una estación seca de 3 a 5 meses y una precipitación anual entre 1300 mm y 2500 mm. La temperatura óptima para el desarrollo de la teca se encuentra entre 16 °C y 40 °C (Weaver, 1993).

En Brasil, la teca fue introducida en la región de Cáceres, estado de Mato Grosso, en la década de 1970 y hoy

cubre un área plantada total de 65 440 ha (ABRAF, 2011). La teca es plantada actualmente en los estados de Mato Grosso, Amazonas y Acre. Las plantaciones de teca, según la ABRAF (2011), presentan un aumento anual de 11%, aproximadamente, debido a las expectativas de retorno financiero resultado del crecimiento de la demanda en el mercado internacional, además de factores como adaptación a las condiciones climáticas del país, disponibilidad de tierras aptas, alta productividad y crecimiento rápido, considerando una edad de rotación de 20 a 25 años. Con la tendencia de aprovechamiento de árboles con dimensiones comerciales en ciclos cada vez más cortos, existe la posibilidad que la madera sea de menor calidad debido a una mayor cantidad de madera juvenil (madera formada en los primeros años de vida del árbol). Con el propósito de definir el uso racional de la madera, se debe conocer mejor su comportamiento, el cual radica en un conocimiento de sus características intrínsecas, que en razón de su naturaleza biológica posee grandes variaciones, especialmente cuando se considera origen, edad y sitio, entre otras.

Considerando la reciente introducción en Brasil de esta especie, son escasos los estudios referentes a las características de la madera proveniente de las plantaciones, por lo tanto es necesario conocer esas propiedades, con el fin de adecuar el uso final a la calidad de esa materia prima.

OBJETIVO

Este trabajo se realizó con el objetivo de determinar algunas propiedades de madera joven de plantaciones de *Tectona grandis* L. f. y compararlas con datos obtenidos en maderas de plantaciones de la misma especie en otros lugares alrededor del mundo, evaluando variables dendrométricas, proporción de duramen y albura, excentricidad de la médula, densidad básica, comportamiento dimensional y propiedades mecánicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo

El material para el desarrollo de este estudio provino de una plantación experimental de *Tectona grandis* L. f. con



13 años de edad, establecida en el municipio de Vazante, región noroeste del estado de Minas Gerais, Brasil (18°01'37"S y 46°51'21"O). La región se encuentra a una altitud de 630 metros y posee una temperatura media de 21 °C a 24 °C y precipitación media anual de 1400 mm, con clima tropical húmedo, caracterizado por presentar inviernos secos y veranos lluviosos (Macedo *et al.*, 2005).

Fueron utilizados nueve árboles seleccionados al azar en la plantación, se registraron las medidas de las varia-

bles dendrométricas consideradas, diámetro a 1,30 m del nivel del suelo (DAP) y altura total (HT), y posteriormente se calculó su volumen, con corteza, sin corteza y el porcentaje de corteza. Enseguida se procedió al muestreo destructivo cortando y seccionando los árboles en trozas de 2,6 m de longitud, que fueron transportadas al laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Madera de la Universidad Federal de Lavras, en Lavras (MG) Brasil, para la obtención de las probetas y determinación de las propiedades de la madera (Fig. 1).

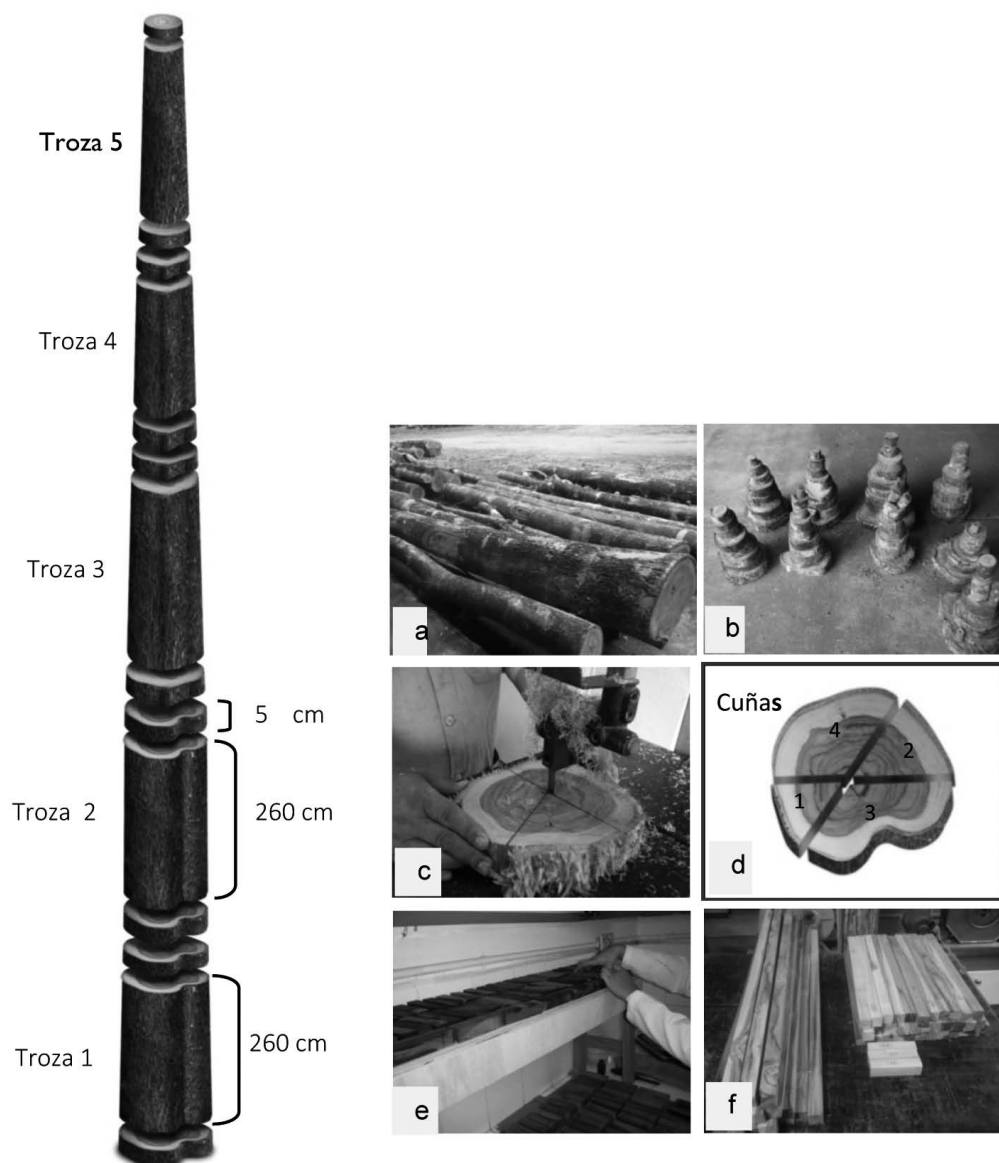


FIGURA 1. Material de estudio: a) trozas de 2,6 m de longitud; b) rodajas de los extremos; c y d) cuñas para densidad básica; e) probetas para contracciones; f) probetas para ensayos mecánicos.

Determinación de la proporción de albura, duramen y excentricidad de la médula

Se cortaron discos de 5 cm de espesor, de cada uno de los extremos de las trozas, que fueron pulidos en lijadora de banda P400 y, posteriormente, se tomaron fotografías digitales con resolución de 10 mega píxeles, las imágenes obtenidas de los discos fueron acopladas y calibradas en software Auto CAD. La determinación de la proporción de duramen y albura se realizó macroscópicamente por diferencia de color sobre la imagen y se determinaron las áreas de corteza, albura y duramen. Posteriormente, mediante la fórmula de Smalian, se obtuvieron los volúmenes de albura y duramen para las trozas 1 y 2.

Para la determinación de la excentricidad de la médula se ubicó el centro geométrico de cada disco y se midió la distancia de la médula al centro del mismo. La excentricidad de la médula fue calculada mediante la ecuación

$$EM = \frac{Lc}{dm} \times 100$$

Donde:

EM = excentricidad de la médula (%)

Lc = distancia entre el centro geométrico y la posición real de la médula (mm)

dm = diámetro medio del disco (mm).

Densidad básica, densidad aparente seca al aire y contracciones

Los discos retirados de los extremos de las trozas fueron transformados en probetas para determinación de la densidad básica utilizando el procedimiento D2395-93 de la norma (ASTM, 1997b). La densidad aparente seca al aire se obtuvo a partir de estabilización a 12% de contenido de humedad de probetas de 2,5 cm x 2,5 cm x 10 cm en cámara climática en condiciones [$T = (20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ y $HR = (60 \pm 5) \%$], determinando el volumen por medición directa de sus tres dimensiones con calibrador digital de resolución de 0,01 mm y determinación de la masa en balanza digital de 0,01 g de sensibilidad. La densidad

ponderada consideró la densidad básica relacionada con el volumen de cada sección.

Para la determinación de las contracciones de la madera, fueron medidas las dimensiones radial, tangencial y longitudinal de probetas de 2,5 cm x 2,5 cm x 10 cm orientadas y libres de defectos, utilizando calibrador digital de resolución de 0,01 mm, en condiciones de saturación, equilibrio (12% de contenido de humedad) y secada al horno, de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma D143-94 (ASTM, 1997a). El coeficiente de anisotropía se definió como la relación entre la contracción lineal tangencial y la contracción lineal radial (CT/CR).

Propiedades mecánicas

Se realizaron ensayos mecánicos para la determinación de las siguientes propiedades: 1) Módulo de elasticidad (E , MPa) y Esfuerzo máximo (MPa) en compresión paralela a las fibras; 2) Módulo de Elasticidad (MOE, MPa) y Módulo de Ruptura (MOR, MPa) en Flexión estática y 3) Dureza Janka (kN). Las probetas libres de defectos fueron cortadas de las trozas 1 y 2 y acondicionadas durante 60 días a una temperatura de $20 ^\circ\text{C} \pm 3 ^\circ\text{C}$ y una humedad relativa de $65\% \pm 5\%$. Fue utilizada la Máquina Universal de Ensayos DL 30000 MF EMIC, con 294,2 kN de capacidad y celdas de carga de 98,97kN para el ensayo de compresión y de 19,61kN para los ensayos de flexión y dureza. Las velocidades de ensayos fueron las siguientes: para compresión paralela 0,3 mm/min, en flexión estática 1,3 mm/min y distancia entre apoyos 360 mm, y para dureza Janka, velocidad de ensayo de 6 mm/min. En la tabla 1 se describen las condiciones y normas con las que se desarrollaron los ensayos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables dendrométricas

En la tabla 2 se muestran los valores de las variables: diámetro a 1,3 m de altura (DBH), volumen con corteza (V_{cc}), volumen sin corteza (V_{sc}) y porcentaje de corteza de los árboles de teca evaluados.



TABLA 1. Especificaciones de los ensayos mecánicos realizados con madera de teca de árboles de 13 años de edad, plantados en Brasil.

<i>Ensayo</i>	<i>Dimensión probeta (mm)</i>	<i>Repeticiones</i>	<i>Norma</i>
Flexión estática	25 x 25 x 410	169	ASTM D143-93
Compresión paralela	25x 25 X 100	330	ASTM D143-93
Dureza Janka	20 x 20 x60	132	BSI 323/1957 (BSI, 1957)

TABLA 2. Valores medios de las variables dendrométricas de árboles de teca de 13 años de edad, plantados en Brasil.

<i>Característica</i>	<i>Promedio</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>CV (%)</i>
DBH (m)	0,204	0,271	0,172	13,15
Ht (m)	12,49	13,40	9,60	9,33
Vcc (m ³)	0,160	0,277	0,116	28,14
Vsc (m ³)	0,132	0,234	0,089	29,82
Corteza (%)	16,92	23,81	14,79	15,15

DBH= Diámetro a 1,3 m de altura, Ht= Altura total, Vcc= Volumen con corteza, Vsc= Volumen sin corteza, CV%=Coeficiente de variación

Los valores de las variables dendrométricas de este estudio son similares a los encontrados en plantaciones de teca joven en otros sitios plantados con esta especie. Por ejemplo, en estudios desarrollados por Pérez y Kanninen (2003), con teca joven (5 - 12 años) de varios lugares en Costa Rica encontraron que árboles plantados a 3 m x 2 m, tenían un volumen por árbol de 0,15 m³ a 0,20 m³. En una plantación de teca en el estado de Rondônia (Brasil) a los 8 años de edad y una distancia de 3 m x 4 m entre árboles, el volumen medio por árbol fue de 0,21 m³ (Vieira *et al.*, 2008).

En la tabla 2 se observa que el porcentaje de corteza fue de 16,92 % del total del volumen de los árboles de teca. Pérez y Kanninen (2003) encontraron un porcentaje de corteza de 20% para árboles de entre 10 y 15 años de edad, de manera general la tendencia es una disminución de la corteza conforme es mayor la edad de los árboles.

Proporción de albura y duramen y excentricidad de la médula de teca

La proporción media de duramen fue de 51% del volumen sin corteza en las dos primeras trozas de los árboles evaluados. Ese valor se consideró alto para la edad y la proceden-

cia del material, si se compara con madera de teca de plantaciones con edad próxima a 30 años y cuya proporción de duramen se encuentra cercana a 55% (Pérez y Kanninen, 2003). En árboles de teca en Costa Rica, Arce (2001) registró un valor de duramen de 44% para teca de 10 años de edad. Rivero y Moya (2006) determinaron un porcentaje de duramen de 28% para teca de 8 años de edad en Bolivia. Las variaciones en la proporción de duramen determinadas en los diferentes sitios son altamente influenciadas por la edad, ritmo de crecimiento y variaciones climáticas (Bamber y Fukazawa, 1985; Hillis, 1987). Según Pérez y Kanninen (2003), la proporción de duramen aumenta logarítmicamente con la edad como resultado del crecimiento en diámetro. Aspectos silviculturales como definición de la distancia adecuada de plantación pueden resultar en un aumento de la producción de duramen (Kokutse *et al.*, 2004; Arce, 2001; Pérez y Kanninen, 2003). En este caso, el espaciamiento de plantación y condiciones ambientales entre la plantación objeto de este estudio y la publicada para Costa Rica (Arce, 2001) fueron similares, lo cual reflejó una aproximación entre los valores de duramen para la madera producida en los dos sitios.

La excentricidad de la médula (EM) indica el distanciamiento de la médula con relación al centro geométrico del árbol y se utiliza como una referencia para evaluar el efecto resultante de las tensiones de crecimiento del árbol. El valor medio de EM encontrado en este estudio (9%) fue similar a los encontrados por Ramdoski y Ribaski (2010) en otras especies como *Grevillea robusta* (8,3%) y *Corymbia citriodora* (8,5%). Monteiro *et al.* (2010) encontraron, para *Eucalyptus pilularis*, valores de EM de 16,7%, para *E. urophylla* 8,4%; para *E. camaldulensis* 4,3%, y para *E. maculata* 7% en árboles de 32 años de edad. Ferreira *et al.* (2008), evaluando clones de *Eucalyptus* spp. de dos años de edad, encontraron valores más bajos de EM (2,5 a 4,5%).

Akachuku y Abolarin (1989) determinaron valores de excentricidad de la médula entre 13% y 15% en árboles de teca de 18 años. De manera general, valores de excentricidad altos sugieren presencia de madera de tensión (Ferreira *et al.*, 2008; Simpson y Tenwolde, 1999). El valor encontrado de EM en este estudio fue más bajo que el encontrado en la literatura, lo cual permite afirmar que procesamiento de madera joven de esta especie no puede verse significativamente afectada por excentricidad debida a la formación de madera de tensión, lo cual es claramente observado en especies del género *Eucalyptus*. Esta condición se relaciona con diversos factores como la inclinación del terreno y efecto del viento, además de factores genéticos. Trozas con valores de EM superiores a 20% favorecen la aparición de defectos durante el procesamiento mecánico (Grosser, 1980; Akachuku y Abolarin, 1989).

Densidad básica y densidad aparente de la madera de teca

La densidad básica se considera una de las propiedades físicas más importantes de la madera, ya que se relaciona directamente con otras propiedades como la resistencia mecánica y la estabilidad dimensional. El valor promedio encontrado en este estudio fue de 0,54 g/cm³, que según la clasificación de la IAWA (1989) e IBAMA (2012), corresponde a la clasificación de una densidad básica media. La densidad de la teca se clasifica como una madera pesada,

de 0,50 g/cm³ a 0,6 g/cm³ (FPL, 1974). En la tabla 3 se muestran los valores promedio para las densidades básica, ponderada y aparente al 12% de humedad, determinadas para madera de teca. En la tabla 4 se muestra un cuadro comparativo de valores de densidad básica para maderas de teca plantadas de otras procedencias y edades. El valor de densidad básica encontrado en este estudio es similar al valor promedio encontrado en otros estudios para maderas procedentes de plantaciones con la misma edad, resultado esperado considerando que el valor de la densidad básica tiende a aumentar con la edad del árbol, al mismo tiempo que deben considerarse factores como la formación de madera juvenil, que en el caso de la madera joven de teca es un factor que influencia directamente su comportamiento (Bhat *et al.*, 2001).

TABLA 3. Valores medios de duramen, albura y excentricidad de la médula en madera de teca de árboles de 13 años de edad, plantados en Brasil.

Característica	Promedio	Máximo	Mínimo	CV(%)
Albura (%)	48	65	33	23,4
Duramen (%)	51	67	35	22,1
EM (%)	9	15	5	38,6

EM = Excentricidad de la médula, CV = Coeficiente de variación

TABLA 4. Valores medios y coeficiente de variación para las densidades básica, media, ponderada y aparente, obtenidas en madera de teca de árboles de 13 años de edad plantados en Brasil.

Característica	Media	Máximo	Mínimo	CV (%)
Db media (g/cm ³)	0,53	0,57	0,49	4,50
Db ponderada (g/cm ³)	0,54	0,59	0,50	5,25
DA (g/cm ³)	0,54	0,61	0,50	6,16

Db = Densidad básica, DA = Densidad aparente a 12%, CV = Coeficiente de variación.



Contracciones

En la figura 2 se observa comparativamente el aumento de las contracciones desde la condición verde, pasando por la condición de equilibrio (12% de humedad), hasta el completo secado de la madera.

Los valores encontrados corroboran una de las principales propiedades de la madera de teca que es su estabilidad dimensional, si se compara con otras especies, por ejemplo del género *Eucalyptus*, cuyas contracciones volumétricas alcanzan valores muy superiores a 12%. Para madera de teca de 17 años en Costa Rica se obtuvieron valores de contracciones radial de 2,2%, tangencial de 3,9% y volumétrica de 6,2%; y de coeficiente de anisotropía de 1,8 (Castro, 2000). En Timor Oriental, Miranda *et al.* (2011) obtuvieron valores de 3,6%; 5,17% y 7,6% para las contracciones radial, tangencial y volumétrica, respectivamente. Valero *et al.* (2005) encontraron para teca de 20 años, proveniente del estado de Barinas en Venezuela, valores de 2,48% (CR); 3,37% (CT); 6,18% (CV) y 1,45 de coeficiente de anisotropía. Observando estos valores se puede afirmar que los valores obtenidos en este trabajo para las contracciones de madera de teca fueron bajos considerando la edad joven del material.

Propiedades mecánicas

Valores de Módulo de elasticidad (MOE) y Módulo de rotura (MOR) en flexión estática

El valor medio encontrado para MOE en la teca fue de 13046 MPa, este valor fue superior al encontrado por varios autores, por ejemplo, Bhat y Priya (2004) determinaron un valor de MOE desde 8435 MPa a 13642 MPa para edades de 21 y 65 años, respectivamente. También fue superior al encontrado por Miranda *et al.* (2011) con un valor de 10 684 MPa para madera de 50 a 70 años de edad en Timor Oriental. En teca de 34 años plantada en Panamá, el valor fue de 14 200 MPa (Posch *et al.*, 2004). En relación con el MOR, el valor encontrado fue similar al encontrado por Bhat y Priya (2004) con valores entre 92 MPa y 133 MPa para madera de 21 a 65 años, respectivamente, e inferior al valor determinado por Miranda *et al.* (2011) de 141 MPa para teca de 50 a 70 años y de 105 MPa encontrado por Posch *et al.* (2004) en madera de teca de 34 años en Panamá. De acuerdo con Pérez y Kanninen (2005), varios estudios han demostrado la similitud entre las propiedades mecánicas de la madera joven, de 21 años, y de la de 65 años, lo cual permite un margen para reducir la edad de rotación sin afectar de manera significativa

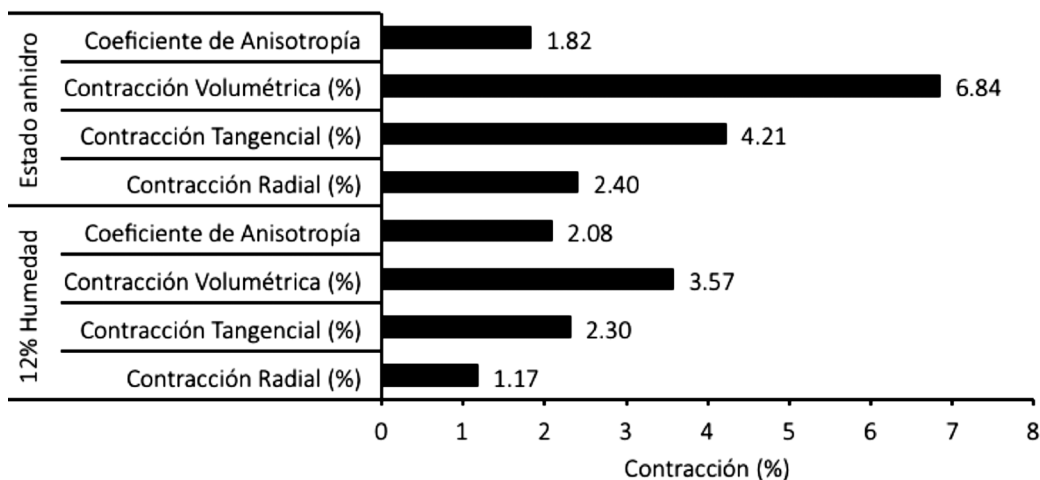


FIGURA 2. Valores medios de las contracciones de la madera de teca a 12% de humedad y en estado anhidro.

TABLA 5. Valores medios para densidad básica de *Tectona grandis* L.f. en estudios de otras procedencias.

Localidad	Densidad básica	Edad	Autor
Costa Rica	0,54 g/cm ³	10	Moya y Arce (2003)
Venezuela	0,55 g/cm ³	20	Valero <i>et al.</i> (2005)
Bolivia	0,50 g/cm ₃	8	Rivero y Moya (2006)
Colombia	0,55 g/cm ³	13	Betancur <i>et al.</i> (2000)
Brasil	0,55 g/cm ³	31	Lima <i>et al.</i> (2009)
Nigeria	0,48g/cm ³	15	Izekeor <i>et al.</i> (2010)
Timor Oriental	0,60 g/cm ³	50 a 80	Miranda <i>et al.</i> (2010)
Indonesia, Tailandia, Myanmar, Togo	0,62 a 0,82 g/cm ³		Baillères y Durand (2000)

la resistencia de la madera. Ese aspecto fue confirmado en este estudio ya que a pesar de que la madera de teca fue joven su resistencia mecánica fue superior a la determinada en estudios de teca de mayor edad.

Valores de esfuerzo máximo en compresión paralela a las fibras y Módulo de Elasticidad en Compresión (E)

El valor medio encontrado en la teca para la resistencia máxima en compresión paralela a las fibras fue de 47 MPa. Este valor fue menor que los encontrados por Miranda *et al.* (2011), en teca de 50 a 70 años en Timor Oriental (50 MPa) y por Posch *et al.* (2004) en madera de 34 años plantada en Panamá con un valor de 50 MPa y más alto que el valor encontrado por Castro (2000), de 34 MPa, en teca de 17 años en Costa Rica. Bhat y Priya (2004), en teca de 21 a 65 años en la India determinaron valores de 45 MPa y 54 MPa, respectivamente. El E en compresión paralela a las fibras fue de 6768 MPa, también se consideró alto y mayor al encontrado por Valero *et al.* (2005) con un valor de 4413 MPa.

Dureza Janka

El valor medio de dureza encontrado fue de 4,66 kN. Este valor fue ligeramente inferior a los 5,82 kN encontrados por Castro (2000) para madera de teca de 17 años en Costa Rica. Valero *et al.* (2005) encontraron valores de dureza de 5,9 kN a 6,24 kN en teca de 20 años en

Venezuela. Por su parte Posch *et al.* (2004) determinaron una dureza Brinell de 5,64 kN en teca de 34 años. Es posible sugerir que la dureza de la madera esté afectada por la edad del árbol y consecuentemente por la densidad de la madera considerando que se trata de una madera joven.

CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que, aunque se trata de madera joven, las características de la madera plantada en Brasil se asemejan a las de maderas de teca adulta provenientes de otros lugares de plantación y de origen de la especie. Se observó que la plantación de teca presentó un crecimiento similar al de plantaciones de otras regiones, lo cual se reflejó en la magnitud de los valores de las variables dendrométricas. El valor medio de densidad básica (0,54 g/cm³) se encuentra dentro del intervalo encontrado por otros autores en plantaciones de teca en diversas localidades donde esta especie es cultivada. Se resalta que fue determinada una proporción de duramen superior a la media encontrada en la literatura para madera joven. Al mismo tiempo, la teca presentó una médula excéntrica (9%), valor considerado bajo, ya que su efecto causa baja incidencia de defectos durante su procesamiento mecánico. Las contracciones, consideradas bajas, corroboran la aptitud de esta madera independientemente de la edad del árbol para el tipo de usos que



requieran una alta estabilidad dimensional. Las propiedades mecánicas fueron consideradas similares a valores citados para madera adulta por otros autores, principalmente en cuanto a la rigidez de la madera (MOE en flexión estática) cuyo valor fue alto considerando la edad del material estudiado.

REFERENCIAS

- Akachuku, A.E. y D.A.O. Abolarin. 1989. Variations in pith excentricity and ring width in teak (*Tectona grandis* L. f.). *Trees: Structure and Function* 3(1):111-116.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). 1997a. ASTM D143-94. Standards methods of testing small, clear specimens of timber.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). 1997a. ASTM D2395-93.
- Standard test methods for specific gravity of wood and wood-based materials.
- Arce, V.H. 2001. Relación albura-duramen y características físicas de la madera de teca (*Tectona grandis*) en plantaciones de 10 años con dos diferentes densidades de plantación en Playa Garza Guanacaste, Costa Rica. Tesis pregrado en Ingeniería Forestal. Universidad Nacional. Heredia. Costa Rica. 36 p.
- ABRAF (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas). 2011. Anuário estatístico da ABRAF 2011, ano base 2010. Brasília. Disponible en línea: <http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>. Fecha de acceso: 12/11/2011.
- Baillères, H. y P. Y. Durand. 2000. Non-destructive techniques for wood quality assessment of plantation grown teak. *Bois et Forest dès Tropiques* 54(263):17-20.
- Bamber, R.K y K. Fukazawa. 1985. Sapwood and heartwood: a review. *Forest Products Abstracts* 469(9):567-580.
- Betancur S.C.A., J.F. Herrera B. y L.C. Mejía M. 2000. Estudio de las propiedades físicas y mecánicas, trabajabilidad y secado de la teca (*Tectona grandis* L. f.) de Puerto Libertador (Córdoba). *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía de Medellín* 56(1):913-939.
- Bhat, K.M. 1998. Properties of fast-grown teakwood: impact on end-users requirements. *Journal of Tropical Forest Science* 4(1):1-10.
- Bhat, K.M., P.B. Priya y P. Rugmini. 2001. Characterisation of juvenile wood in teak. *Wood Science and Technology* 34(6):517-532.
- Bhat, K.M. y P.B. Priya. 2004. Influence of provenance variation on wood properties of teak from the western ghat region in India. *IAWA Journal* 25(3):273-282.
- BSI (British Standard Institution). 1957. BS 373 Methods of testing small clear specimens of timber. Londres 32 p.
- Castro, F. 2000. Crecimiento y propiedades físicomecánicas de la madera de teca *Tectona grandis* de 17 años de edad en san Joaquín de Abangares Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 24(2):7-23.
- Ferreira, S.J.T. Lima, P.F. Trugilho y T.C. Monteiro. 2008. Excentricidade da medula em caules de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias. *Cerne* 14(4):335-340.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2009a. Future of teak and the high-grade tropical hardwood sector: planted forests and trees working paper FP/44E. Roma. Disponible en: <http://www.fao.org>. Fecha de acceso: 15/11/2010.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2009b. Situación de los bosques en el mundo. Roma. Disponible en: <http://www.fao.org>. Fecha de acceso: 15/11/2010.
- GROSSER, D. 1980. Defeitos de madeira. Curitiba: Fundação de pesquisa florestais do Paraná-PUPEF. Série Técnica núm. 2. 62 p.
- Hillis, W.S. 1987. Heartwood and tree exudates. Springer series in wood science. Springer-Verlag. Berlín. 268 p.
- IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). 2012. Base de dados das madeiras brasileiras. Disponible en <http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira/pesquisa>. Fecha de acceso: 24/01/2012. 2012.
- IAWA (International Association of Wood Anatomy). 1989. List of microscopic features hardwood identification. *IAWA Bulletin* 10(3):220-359.
- Izekor, D.N., Fuwape, J.A y Oluyeye, A.O. 2010. Effects of density on variations in the mechanical properties of plantation grown *Tectona grandis*. *Archives of Applied Science Research* 2(6):113-120.

- Kokutse, A.D., H. Baillères, A. Stokes y K. Kokou. 2004. Proportion and quality of heartwood in Togolese teak (*Tectona grandis* L. f.). *Forest Ecology and Management* 189(1-3):37-48.
- Macedo, R.L.G. J. Estevez G., N. Venturim y B. Grandi S. 2005. Desenvolvimento inicial de *Tectona grandis* L. f. (teça) em diferentes espaçamentos no município de Paracatu, MG. *Cerne* 11(1):61-69.
- Miranda, I., V. Sousa y H. Pereira. 2011. Wood properties of teak (*Tectona grandis*) from a mature unmanaged stand in East Timor. *Journal of Wood Science* 57(1):171-178.
- Monteiro, T.C., R. Vieira D.S, J.T. Lima, E.E. Pereira B, D. Matosinhos D.C. y M. Teodoro L. 2010. Influência do lenho de tração nas propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus* sp. *Journal of Biotechnology and Biodiversity* 1(1):6-11.
- Moya, R. y V. Arce. 2003. Estudio experimental del efecto del espaciamento sobre las propiedades físicas de peso específico básico y contracciones en plantaciones de teca (*Tectona grandis*) de 10 años. *Revista Forestal Venezolana* 47(1):1-24.
- Pandey, D y C. Brown. 2000. La teca una visión global. *Revista Internacional de Silvicultura e Industrias Forestales* 51(2):3-13.
- Pérez, L.D. y M. Kanninen. 2003. Heartwood, sapwood and bark content, and wood dry density of young and mature teak (*Tectona grandis*) trees grown in Costa Rica. *Silva Fennica* 37(1):45-54.
- Pérez, L.D y M. Kanninen. 2005. Stand growth scenarios for *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 190(2-3):425-441.
- Posch, B., G. Wegener, D. Grosser y L. Wagner. 2004. Physical and mechanical investigations on teakwood (*Tectona grandis* L. f.) from plantations in Panama. *Holz als Roh- und Werkstoff* 62(1):31-35.
- Ramoski, M. y J. Ribaski. 2010. Excentricidade da medula em *Grevilea robusta* e *Corymbia citriodora* cultivados em sistema silvipastoril. EMBRAPA. Comunicado técnico 248. 6 p.
- Rivero, J. y R. Moya. 2006. Propiedades físico-mecánicas de la madera de *Tectona grandis* Linn. F. (teca), proveniente de una plantación de ocho años de edad en Cochabamba, Bolivia. *Kurú Revista Forestal* 3(9):1-14.
- Simpson, W. y A. Tenwolde. 1999. Physical properties and moisture relations of wood. In: Wood handbook: wood as an engineering material. USDA. Madison. p:1-24.
- FPL (Forest Products Laboratory). 1974. Wood handbook: wood as an engineering material. USDA General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 72 p.
- Valero, S.W., E.C. Reyes C. y D.A Garay J. 2005. Estudio de las propiedades físico-mecánicas de la especie *Tectona grandis*, de 20 años de edad, proveniente de las plantaciones de la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Ticoporo, Estado Barinas. *Revista Forestal Venezolana* 49(1):61-73.
- Vieira, A.H., R. Barros R., M de Matos B-G y M. Locatelli. 2008. Desempenho de teca (*Tectona grandis*) em plantio adensado no Estado de Rondônia. EMBRAPA Rondônia. 14 p.
- Weaver, L. 1993. *Tectona grandis* L. f. Teak: SOITF-SM-64. USDA. Nueva Orleans. 18 p.
- Manuscrito recibido el 15 de octubre de 2012.
Aceptado el 2 de octubre de 2013.
- Este documento se debe citar como:
Blanco-Flórez, J., P. Fernando-Trugilho, J. Tarcisio-Lima, P.R. Gherardi-Hein y J.R. Moreira da Silva. 2014. Caracterización de la madera joven de *Tectona grandis* L. f. plantada en Brasil. *Madera y Bosques* 20(1):11-20.