



Revista Mexicana de Ciencias Forestales

ISSN: 2007-1132

ciencia.forestal2@inifap.gob.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

Rodríguez Anda, Raúl; Zamora Natera, Juan Francisco; Silva Guzmán, José Antonio;  
Salcedo Pérez, Eduardo; Fuentes Talavera, Francisco Javier

PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MADERA DE TECA DE PLANTACIONES  
COMERCIALES

Revista Mexicana de Ciencias Forestales, vol. 5, núm. 24, julio-agosto, 2014, pp. 12-25  
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias  
Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63439010003>

- 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



ARTÍCULO / ARTICLE

# PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MADERA DE TECA DE PLANTACIONES COMERCIALES

## PROPERTIES OF THE WOOD FROM COMMERCIAL TEAK PLANTATIONS

Raúl Rodríguez Anda<sup>1</sup>, Juan Francisco Zamora Natera<sup>2</sup>, José Antonio Silva Guzmán<sup>1</sup>, Eduardo Salcedo Pérez<sup>1</sup> y Francisco Javier Fuentes Talavera<sup>1</sup>

### RESUMEN

Las propiedades físico-mecánicas de la madera de *Tectona grandis* (teca) procedente de plantaciones comerciales del sureste mexicano fueron analizadas. Se eligieron árboles de 9 y 15 años del estado de Campeche, 21 años de Chiapas y 15 años de Tabasco. Se recolectaron 10 trozas de 3 m de longitud por edad y procedencia. Las propiedades físicas y mecánicas se evaluaron conforme a las normas DIN. La densidad normal fluctuó de 0.55 a 0.66 g cm<sup>-3</sup>. La contracción máxima radial y tangencial fue 2-2.8 % y 4.3-5.1 % (baja), su anisotropía 1.8-2.2 (de buena a alta), sin diferencia estadísticamente significativa ( $P > 0.05$ ) por edad y procedencia. La madera de 15 años de Tabasco fue superior en el módulo de elasticidad a flexión (9 479 N mm<sup>-2</sup>), cizallamiento (11.3 N mm<sup>-2</sup>), dureza Brinell longitudinal (49 N mm<sup>-2</sup>) y lateral (28 N mm<sup>-2</sup>). En tanto que, la de 15 años de Campeche presentó los valores más elevados de resistencia a flexión (108 N mm<sup>-2</sup>) y compresión longitudinal (48 N mm<sup>-2</sup>). La de 21 años de Chiapas exhibió los mejores resultados de módulo de elasticidad a compresión longitudinal (10 920 N mm<sup>-2</sup>) y al trabajo por impacto (41 kJ m<sup>-2</sup>). La de 9 años de Campeche fue la que tuvo los menores registros en todos los ensayos mecánicos.

**Palabras clave:** Cizallamiento, compresión longitudinal, estabilidad dimensional, impacto, normas DIN, *Tectona grandis*. L. f.

### ABSTRACT

The physical-mechanical properties of *Tectona grandis* (teak) timber from commercial plantations of the Mexican Southeast were analyzed. 9 and 15 year old trees of the state of Campeche, 21 year old trees of Chiapas and 15 year old trees of Tabasco were selected. Ten 3 m long logs were collected by age and origin. The physical and mechanical properties were evaluated according to the DIN norms. The normal density fluctuated between 0.55 and 0.66 g cm<sup>-3</sup>. The highest radial and tangential contraction was 2-2.8 % and 4.3-5.1 % (low); the anisotropy was 1.8-2.2 (good to high), without a statistically significant difference ( $P > 0.05$ ) by age or origin. The 15 year old timber of Tabasco had the highest modulus of elasticity at bending (9 479 N mm<sup>-2</sup>), shear strength (11.3 N mm<sup>-2</sup>), and longitudinal (49 N mm<sup>-2</sup>) and lateral (28 N mm<sup>-2</sup>) Brinell hardness. On the other hand, the 15 year old timber of Campeche showed higher values for resistance to bending (108 N mm<sup>-2</sup>) and longitudinal compression (48 N mm<sup>-2</sup>). 21 year old timber of Chiapas exhibited the best results in terms of modulus of elasticity at longitudinal compression (10 920 N mm<sup>-2</sup>) and resistance to impact strength (41 kJ m<sup>-2</sup>). The 9 year old wood of Campeche was the one with the lowest values in all mechanical assays.

**Key words:** Shear strength, longitudinal compression, dimensional stability, impact, DIN norms, *Tectona grandis*. L. f.

Fecha de recepción/ receipt date: 27 de abril de 2014; Fecha de aceptación/ acceptance date: 17 de junio de 2014.

<sup>1</sup> Departamento de Madera, Celulosa y Papel. Universidad de Guadalajara. Correo-e: rrodrigu@dmcyp.cucei.udg.mx

<sup>2</sup> Departamento de Botánica y Zoología. Universidad de Guadalajara.

## INTRODUCCIÓN

*Tectona grandis* L. f. (árbol de teca) se cultiva en regiones tropicales de América Latina, África y Asia, con una extensión aproximada de 5 millones de hectáreas, y está en constante aumento. La mayoría de las plantaciones (77 %) es menor de 20 años, y se estima que el volumen de madera talada de bosques nativos de teca es de 0.5 millones de m<sup>3</sup> y en los cultivados de 1.5 a 2 millones de m<sup>3</sup> (Kollert y Cherubini, 2012), lo que significa un alto volumen en el suministro comercial de troncos con dimensiones pequeñas.

Aunque en México no se cuenta con información estadística oficial relacionada con las plantaciones de teca, actualmente, existe un notable y creciente interés por esta especie, dada su apreciable madera, lo que ha motivado al establecimiento de un número mayor de plantaciones comerciales, de ellas la mayoría está en sus primeros 10 a 15 años de vida, con manejo que incluye mayores labores culturales. Una práctica común dentro de los tratamientos silvícolas es el raleo, cuya finalidad es la de sostener incrementos rápidos de los árboles seleccionados (Galoway *et al.*, 2001). De estos se genera una cantidad considerable de madera en rollo sin grandes beneficios comerciales, ya que su uso en artículos no es amplio, por lo que quedan a la deriva, comparativamente, con la madera procedente de bosques naturales y de plantaciones superiores a 50 años, sus posibles campos de aplicación ligados a sus propiedades tecnológicas.

La madera de teca es de alto valor comercial, debido a sus propiedades físico-mecánicas que la hacen una de las más apropiadas y durables para la construcción, fabricación de muebles, puertas, ventanas; y es considerada la de mejor estabilidad dimensional, por su bajo punto de saturación de la fibra y contracción (Upadhyay *et al.*, 2005; Bhat e Índira, 1997).

El mercado internacional es cada vez más exigente en el cumplimiento de estándares de calidad y propiedades tecnológicas de la madera, sobre todo de aquellas procedentes de plantaciones forestales jóvenes (menores de 21 años), ya que en ellas pueden ser muy variables, en comparación con la madera de bosques naturales o plantaciones con más de 40 años, edad a la que se estima alcanzan su madurez (Richter *et al.*, 2003; Tze, 1999). Por otra parte, no es claro que tanto afecta a las propiedades de la madera un rápido incremento diamétrico (Pérez y Kanninen, 2005). Bhat (1998) registra que las más importantes son las bajas porciones de madera juvenil y de tensión; alta proporción de duramen; densidades mayores a 0.675 g cm<sup>-3</sup>; y resistencias a la flexión superiores a 135 N mm<sup>-2</sup>.

Pérez y Kanninen (2005) evaluaron los efectos de la intensidad de raleos sobre la proporción de duramen, densidad básica y la forma del fuste; consignan que la madera en estadios

## INTRODUCTION

*Tectona grandis* L. f. (the teak tree) is cultivated in tropical regions of Latin America, Africa and Asia over an approximate, continually growing area of 5 million hectares. Most of the plantations (77 %) are under 20 years old, and the volume of harvested timber is estimated to be 0.5 million of m<sup>3</sup> in native teak forests, and 1.5 to 2 million m<sup>3</sup> in cultivated forests (Kollert and Cherubini, 2012), which amounts to a high volume in the commercial supply of logs of small dimensions.

Although no official statistical information about teak plantations is available in Mexico, there is today a noticeable, growing interest in this species due to its precious wood, and therefore a larger number of commercial plantations have been established, most of which are in their first 10 to 15 years of life and involve considerable management. A common practice within the silvicultural treatments utilized in them is thinning, which allows a rapid growth of the selected trees (Galoway *et al.*, 2001). From these, a considerable amount of roundwood is generated that has no further commercial benefits, as it is not widely used in commodities, and therefore, compared to the timber obtained from natural forests or from plantations of over 50 years of age, the potential fields of application related to its technological properties remain adrift.

Teak wood has a high commercial value due to its physical-mechanical properties, which render it one of the most appropriate and durable woods for construction and for the manufacture of furniture, doors and windows, and it is considered to be the timber with best dimensional stability due to the low saturation point of its fibers and to its low contraction rate (Upadhyay *et al.*, 2005; Bhat and Índira, 1997).

The international market is ever more demanding as to compliance with the standards of quality and technological properties of timber, especially of that obtained from young forest plantations (under 21 years of age), since these properties can be very variable, compared with those of wood from natural forests or plantations of over 40 years of age, when they are estimated to reach their maturity (Richter *et al.*, 2003; Tze, 1999). On the other hand, the extent to which a rapid increase in diameter affects the properties of wood is unclear (Pérez and Kanninen, 2005). According to Bhat (1998), the main properties are the small portions of juvenile wood and its low level of tension, a large proportion of heartwood, densities above 0.675 g cm<sup>-3</sup>, and resistance to bending above 135 N mm<sup>-2</sup>.

Pérez and Kanninen (2005) evaluated the effects of the intensity of thinnings on the proportion of heartwood, basic density and stem shape; according to them, wood in its youthful stages of growth did not show a clear relationship between the density and other properties and the thinning regimes utilized in plantations located in the humid tropical side of Costa Rica. They

jóvenes de crecimiento no presentaron una clara relación entre la densidad y propiedades de la madera, con los regímenes de raleos en plantaciones ubicadas en el lado tropical húmedo de Costa Rica. También observaron alta variabilidad en algunas, considerándose como normal en las primeras etapas de crecimiento bajo condiciones similares. Moya y Pérez (2008) analizaron el efecto de las características físicas y químicas del suelo sobre las propiedades de la madera de 7 y 15 años de 23 plantaciones de Costa Rica; y determinaron que existe una correlación ( $r < 0.65$ ) de las propiedades edáficas con la contracción normal tangencial y radial, pero no tienen influencia sobre la densidad de la madera y el porcentaje de duramen formado.

Kokutse *et al.* (2004) afirman que la calidad de sitio donde se desarrolla la planta juega un papel importante en la formación de duramen, en el módulo de elasticidad y contenido de humedad de la madera. Bhat y Priya (2004) indican que las variaciones de las propiedades mecánicas de una madera de rápido o lento crecimiento pueden deberse a la procedencia, y sugieren que la región geográfica influye en el grosor de la pared celular y las propiedades físico-mecánicas. Thulasidas y Bhat (2012) señalan que las plantaciones agroforestales con irrigación y tratamientos de fertilización tienen menor calidad de la madera que la de bosques naturales o plantaciones típicas, con manejo forestal convencional. Por otra parte, Bhat *et al.* (2005) registran que la madera de lugares húmedos es de color pálido y con baja cantidad de extraíbles, lo que pudiera repercutir en una menor resistencia al ataque de hongos.

Ante las diversas y divergentes propuestas sobre los factores que inciden en las propiedades de la madera de teca, resulta fundamental su conocimiento en material procedente de plantaciones mexicanas y sustentar su potencial de aprovechamiento comercial, a partir de que se trata de plantaciones jóvenes que requieren raleos y que estos generen utilidad económica. El objetivo del presente trabajo fue determinar la influencia de la edad y procedencia en las propiedades físico-mecánicas de la madera de teca de plantaciones comerciales de Campeche, Tabasco y Chiapas.

## MATERIALES Y MÉTODO

### Recolección del material biológico

El material de 9 y 15 años de edad se recolectó en el estado de Campeche, el de 21 años en Chiapas y uno más de 15 años en Tabasco. En el Cuadro 1 se resumen algunas de las características de los sitios de muestreo. De cada una de las edades se recolectaron 10 árboles con longitudes de trozas de 3 m a partir del tocón, las cuales fueron divididas en tres secciones. Se formuló un esquema de corte (radial) para su aserrío, con la finalidad de que los tabloncillos estuvieran lo mejor orientados en sus planos radial y tangencial (Figura 1).

also observed in some a high variability, which is considered to be normal in the first stages of growth under similar conditions. Moya and Pérez (2008) analyzed the effect of the physical and chemical characteristics of the soil on the properties of 7 and 15 year-old wood of 23 plantations in Costa Rica, and they determined the existence of a correlation ( $r < 0.65$ ) between the edaphic properties and the normal tangential and radial contraction; however, these exert no influence on the density of wood or on the rate of heartwood formation.

Kokutse *et al.* (2004) state that the quality of the site in which the plant develops has an important influence on heartwood formation, as well as on the modulus of elasticity and humidity content of wood. Bhat and Priya (2004) point out that the variations of the mechanical properties of a wood with a rapid or slow growth may be related to its origin, and they suggest that the geographical region influences the thickness of the cell wall and the physical-mechanical properties. Thulasidas and Bhat (2012) state that agroforest plantations with irrigation and fertilization yield a lower quality wood than natural forests or typical plantations with conventional forest management. On the other hand, according to Bhat *et al.* (2005), the wood of humid places has a pale color and a low amount of extractables, which may result in a lower resistance to fungal attack.

Since there are various, divergent opinions regarding the factors that affect the properties of teak wood, it is essential to know the properties of the timber from Mexican plantations, as well as to sustain their potential of commercial exploitation, since these plantations are young and require thinning in order to generate economic benefits. The objective of this work was to determine the influence of the age and origin on the physical-mechanical properties of teak wood in commercial plantations of Campeche, Tabasco and Chiapas states.

## MATERIALS AND METHODS

### Biological material collection

The 9 and 15 year old material was collected in the state of Campeche; the 21 year old material, in Chiapas, and a different 15 year old material, in Tabasco. Table 1 summarizes some of the characteristics of the sampling sites. Logs with a length of three meters from the stump from ten trees of each age were collected and divided into three sections. A (radial) cutting scheme was formulated for sawing, so as to achieve the best orientation of the planks in terms of their radial and tangential planes (Figure 1).

The planks thus obtained (1 m long, 3" thick and with variable width) were partially dried in the open air under a roof, and immediately after, in a conventional Hildebrand HD 78 K wood kiln, until they reached 10 % humidity. At the end of the drying

Cuadro 1. Características de los sitios de muestreo.  
Table 1. Characteristics of the sampling sites.

Sitio de muestreo (estado)	Clima	Precipitación media anual (mm)	Temperatura media anual (°C)	Edad del arbolado (años)	Diámetro a la altura de pecho (cm)	Altura del arbolado (m)
Campeche	Cálido subhúmedo	1 300-1 500	24-28	9	20	15
				15	32	17
Chiapas	Cálido húmedo	2 000-2 500	26	21	33	25
Tabasco	Cálido subhúmedo	1 500-2 000	26-28	15	27	14

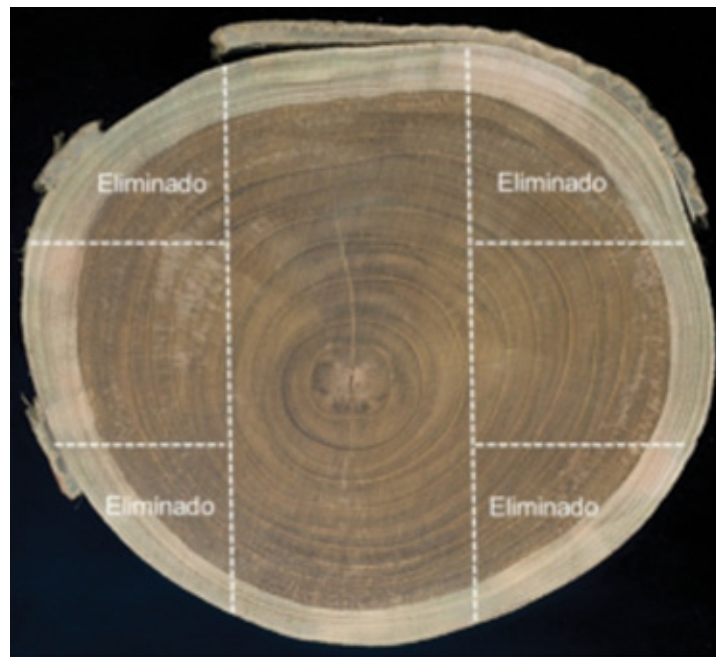


Figura 1. Ilustración del aserrío de las trozas recolectadas.  
Figure 1. Illustration of the sawing of the collected logs.

Los tabloncillos obtenidos (1 m de longitud, 3" de espesor y ancho variable) fueron secados, parcialmente, al aire libre bajo techo y enseguida en un secador técnico-convencional *Hildebrand HD 78 K*, hasta contenidos de humedad de 10 %. Al término del proceso de secado se realizó una prueba de "tenedor" para descartar tensiones en la madera, así como una inspección visual. No se observaron defectos: alabeos, colapsos, agrietamientos o rajaduras.

### Especímenes para la determinación de las propiedades físicas

Las propiedades físicas fueron evaluadas de acuerdo a las Normas Alemanas DIN (DIN Normen, 2000). Para los ensayos físicos se tomó una rodaja de 50 mm de espesor a una altura de 1.3 m a partir del tocón (diámetro a la altura de pecho), de cada uno de los árboles seleccionados. La determinación del contenido de

process, a "fork" test was carried out in order to discard tensions in the wood, and the planks were also visually inspected. No defects (warps, collapses, cracks or splits) were observed.

### Specimens for the determination of the physical properties

The physical properties were assessed according to the German DIN norms (DIN Normen, 2000). For the physical assays, a 50 mm thick slice was collected at a height of 1.3 m from the stump (diameter at breast height) was taken from each of the selected trees. The determination of the humidity content was carried out based on the DIN 52 183 standard, and the used dimensions were 20 x 20 x 10 mm. Density was determined according to the DIN 52 182 norm, using a section of 20 x 20 x 20 mm of each of the various mechanical assays. For the dimensional stability, 25 x 25 x 10 mm samples were utilized in accordance with DIN 52 184 norm. This determination was carried out by

humedad se determinó con base en la norma DIN 52 183 y las dimensiones utilizadas fueron de 20 x 20 x 10 mm. El cálculo de la densidad se hizo de acuerdo a lo especificado en la norma DIN 52 182 en una sección de 20 x 20 x 20 mm, en cada uno de los especímenes de ensayos mecánicos. Para la estabilidad dimensional se emplearon muestras de 25 x 25 x 10 mm, acordes a DIN 52 184; y se utilizó una cámara de acondicionamiento ETS (*Electro-techsystem*) modelo 506-A con humedad relativa controlable.

## Propiedades mecánicas

A excepción de la prueba de dureza Brinell, las otras se realizaron con base en las Normas Alemanas DIN (DIN Normen, 2000). El ensayo de flexión estática se llevó a cabo bajo la norma DIN 52 186, con dimensiones de 20 x 20 x 360 mm. La resistencia a la compresión longitudinal se efectuó siguiendo lo establecido en la DIN 52 185, con medidas de 20 x 20 x 60 mm. El ensayo de trabajo a la ruptura por impacto se evaluó con la norma DIN 52 189, con magnitudes de 20 x 20 x 250 mm; el correspondiente a la resistencia al corte en dirección longitudinal radial de acuerdo a DIN 52 187 y tamaños de 40 x 40 x 40 mm; para el de dureza se aplicó el método Brinell estipulado en la norma europea 1 534, con dimensiones de 40 x 40 x 40 mm. La evaluación mecánica se efectuó en una maquina universal *Karl Frank* modelo 81105, con una capacidad de carga de 50 000 Newtons; (N), y un péndulo de golpe *Karl Frank* modelo 53580, con capacidad de 300 Joules (J). Se ejecutó un análisis de varianza unifactorial, por edad y procedencia, para determinar las posibles diferencias significativas entre medias; así mismo se utilizaron las pruebas de rangos múltiples para establecer cuáles de las medias son significativamente diferentes, se usó el paquete estadístico *Statgraphics Centurion XV* ver. 15.2.06.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Propiedades físicas

Densidad normal. La densidad de las maderas fue influenciada por la edad y el sitio de procedencia ( $P=0.0000$ ). El valor más alto se estimó para la madera de 15 años del estado de Tabasco (Figura 2). No obstante que la madera de Chiapas provenía de plantaciones de 21 años, su densidad resultó similar a la de 15 años de Campeche, cuya madera de 9 años tuvo el menor registro (Figura 2).

Existe una gran variación en lo que respecta a la densidad de la madera de teca. Bhat y Priya, (2004) citan densidades normales de  $0.66 \text{ g cm}^{-3}$  para madera de 65 años de la región oeste de Ghat en la India. Silva *et al.* (2010) informan valores, sin mencionar edad y procedencia, dentro de un intervalo de 0.55 a 0.75, con un promedio de  $0.65 \text{ g cm}^{-3}$ .

using an ETS (*Electro-techsystem*) model 506-A conditioning chamber with relative humidity control.

### Mechanical properties

Except for the Brinell hardness test, the mechanical properties were determined based on the DIN German Norms (DIN Normen, 2000). The static bending assay was performed according to DIN 52 186, using the dimensions of 20 x 20 x 360 mm. The resistance to rupture by impact test was evaluated according to the DIN 52 189 norm, with magnitudes of 20 x 20 x 250 mm. The test for resistance to longitudinal radial cutting was assessed according to the DIN 52 187 norm, with sizes of 40 x 40 x 40 mm. As for the hardness, the Brinell method stipulated by the 1 534 European norm was applied, with the dimensions of 40 x 40 x 40 mm. The mechanical evaluation was carried out using a Karl Frank model 81105 universal machine, with a load capacity of 50 000 Newtons (N) and a Karl Frank model 53580 striking pendulum with a capacity of 300 Joules (J). A unifactorial variance analysis was performed by age and by origin in order to determine the potential significant differences between means. Furthermore, multiple range tests were utilized to establish which of the means are significantly different; the *Statgraphics Centurion XV* ver. 15.206 statistical package was used.

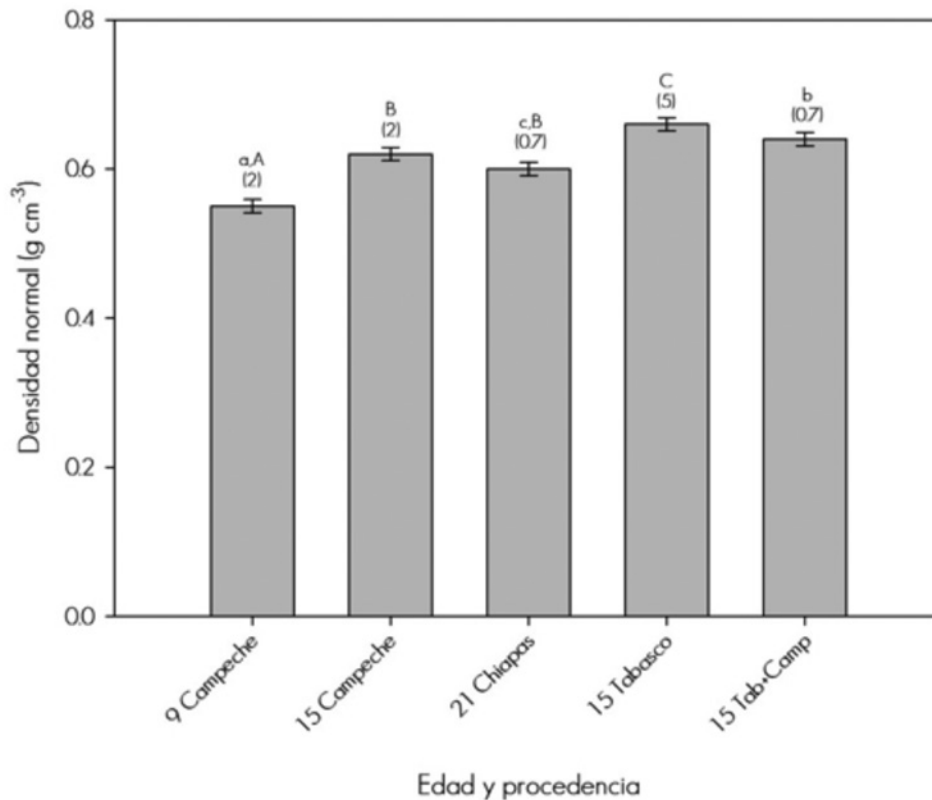
## RESULTS AND DISCUSSION

### Physical properties

Normal density. Wood densities were influenced by age and origin ( $P=0.0000$ ). The highest value was estimated for the 15 year old timber of Tabasco (Figure 2). Although the wood of Chiapas came from 21 year old plantations, its density was similar to that of 15 year of plantations of Campeche, where the 9 year old wood had the lowest density (Figure 2).

There is great variation in the densities of teak wood. Bhat and Priya (2004) cite normal densities of  $0.66 \text{ g cm}^{-3}$  for 65 year old timber of the western region of Ghat, in India. Silva *et al.* (2010) report values ranging between 0.55 and 7.5, with an average of  $0.65 \text{ g cm}^{-3}$ , but do not mention age or origin.

According to Bhat and Priya (2004) and Kokutse *et al.* (2004), the area in which the teak trees grow exerts an influence on the density of the wood due to the physical conditions and chemical properties of the soil; these cause an increase in tree height and diameter, and thus modify the density of wood. Furthermore, the tree density at the plantation, the forest management, fertilizations, irrigation, the rain precipitation, the humidity, the height above sea level and the temperature of the site may also affect the growth and, consequently, the density of the wood. These factors may account for the differences between the teak timber of Tabasco and those of Chiapas and Campeche.



(<sup>1</sup>) Coeficiente de Variación; (<sup>a,b</sup>) Letras diferentes indican diferencia estadística significativa; Minúsculas = edad; Mayúsculas = procedencia.

Densidad normal (g cm<sup>-3</sup>) = Normal density (g cm<sup>-3</sup>); Edad y procedencia = Age and origin.

(<sup>1</sup>) Variation coefficient; (<sup>a,b</sup>) Different letters indicate significant statistical difference; Lower case letters = age; Capital letters = origin.

Figura 2. Densidad normal de la madera de teca de diferentes edades y procedencias.

Figure 2. Normal density of teak wood of different ages and origins.

De acuerdo con Bhat y Priya, (2004) y Kokutse *et al.* (2004), el sitio de crecimiento de los árboles influye en la densidad de la madera de teca, debido a las condiciones físicas y propiedades químicas del suelo que inciden en el incremento en altura y diámetro del árbol, modificando la densidad de la madera. Además, la densidad del arbolado en la plantación, el manejo silvícola, las fertilizaciones, el riego, la precipitación pluvial, la humedad, la altura sobre el nivel del mar y la temperatura del sitio también pudieran incidir en el crecimiento y, en consecuencia, en la densidad de la madera. Los factores antes mencionados explicarían las diferencias entre los materiales de teca de Tabasco y los de Chiapas y Campeche.

Respecto al efecto de la edad de las plantaciones evaluadas, los resultados confirman que existe influencia de este factor sobre la densidad de la madera. Por edad, todas fueron estadísticamente diferentes.

Diversos autores han consignado el efecto de la edad en la densidad de la madera, Kokutse *et al.* (2004) observaron una alta variabilidad, 0.55 a 0.75 g cm<sup>-3</sup>, en edades de 6 a 23 años en material procedente de cinco sitios de crecimiento de Togo,

The results of the study confirm that there is an effect of the age of the evaluated plantations on the density of the wood. When classified by age, they all proved to be statistically different.

Various authors have recorded the effect of age on the density of the wood. Kokutse *et al.* (2004) observed a high variability, between 0.55 and 0.75 g cm<sup>-3</sup>, at ages ranging from 6 to 23 years in timber from five growth sites in Togo with different climate and edaphic conditions. According to this author, the density value is 17 % lower than those recorded for the wood of trees from other places, aged 67 to 70 years. Certain authors point out that the density of the wood shows a tendency to stabilize as the age of the trees increases (Pérez and Kanninen, 2003; Kokutse *et al.*, 2004). Also, Pérez and Kanninen (2003) determined that 10 year old wood cultivated at the edges of plantations of the Guanacaste region in Costa Rica had higher basic densities than the 40 year old plantations.

The results shown in this paper match the intervals registered for woods grown in commercial plantations in other parts of the world.

con condiciones climáticas y edáficas diferentes. De acuerdo con este autor existe un valor de densidad 17 % menor con respecto a las citadas para maderas de árboles entre 67 y 70 años de otros lugares. Algunos investigadores señalan que la densidad de la madera muestra una tendencia a estabilizarse conforme se incrementa la edad (Pérez y Kanninen, 2003; Kokutse *et al.*, 2004). Asimismo, Pérez y Kanninen (2003) determinaron que maderas de 10 años de edad, de la región de Guanacaste Costa Rica, cultivadas en los linderos de plantaciones tuvieron densidades básicas más altas que las plantaciones de 40 años.

Los resultados del presente trabajo corresponden a los intervalos registrados para maderas de plantaciones comerciales de otras partes del mundo.

### Movimiento dimensional

El movimiento dimensional de la madera se evaluó en función de la contracción normal por secado ( $\beta_N$ ), la contracción máxima ( $\beta_{max}$ ) y el hinchamiento diferencial ( $q$ ). En el Cuadro 2 se muestran sus valores tanto por edad-procedencia de las maderas como el promedio poblacional. Las contracciones normal por secado y máxima fueron muy bajas, se ubican en la categoría de muy pequeñas de acuerdo a la clasificación sugerida en la base de datos PROSPECT (1997) del *Oxford Forestry Institute*, lo que coincide con una de las características sobresalientes de la madera de teca, su bajo movimiento dimensional.

El efecto de edad y de procedencia no se evidenció en la dirección tangencial, estadísticamente no existió diferencia significativa ( $p > 0.05$ ), y en la dirección radial las diferencias fueron distintas en cada índice. Numéricamente, la madera de 15-Tabasco mostró los valores más altos; las de 9-Campeche, 15-Campeche y 21-Chiapas tuvieron similar movimiento dimensional.

### Dimensional movement

The dimensional movement of wood was evaluated in terms of the normal contraction by drying ( $\beta_N$ ), the maximum contraction ( $\beta_{max}$ ) and the differential swelling ( $q$ ). Table 2 shows their values by age-origin of the woods and by population average. The normal contraction by drying and the maximum contraction are included in the "very low" category according to the classification suggested in the PROSPECT Database (1997) of the Oxford Forestry Institute; this is consistent with one of the outstanding characteristics of teak wood: its low dimensional movement.

The effect of the age and of the origin was not evidenced in the tangential direction; statistically, there was no significant difference ( $p > 0.05$ ), and the differences in radial direction were different for each index. Numerically, the 15 year old wood of *Tabasco* showed the highest values; the 9 and 15 year old timbers of *Campeche* and the 21 year old timber of *Chiapas* had similar dimensional movement rates.

Based on the rates reported in Table 3, the anisotropies of contraction by drying ( $A-\beta_N$ ), maximum contraction ( $A-\beta_{max}$ ) and differential swelling ( $A-q$ ) were estimated in order to infer the dimensional stability of the woods. According to Silva *et al.* (2010), dimensional stability is a qualitative term that is useful for describing the dimensional movement of the wood exposed to cyclic changes of relative humidity of the air and of temperature. Furthermore, it allows a theoretical insight of potential distortions during drying or in the hygroscopic interval of practical use of the wood (35 % to 85 % relative humidity of the air). The lower the values of the anisotropies, the higher the stability inferred for the wood.



Cuadro 2. Índices de movimiento dimensional de las maderas de teca.  
Table 2. Dimensional movement rates of teak timbers.

Edad-procedencia	Contracción (%)				Hinchamiento diferencial (%/%)	
	Normal ( $\beta_N$ )		Máxima ( $\beta_{max}$ )		(q)	
	Radial	Tangencial	Radial	Tangencial	Radial	Tangencial
9-Campeche	0.76 <sup>(18)a</sup>	1.8 <sup>(21)a</sup>	2.3 <sup>(11)a,b</sup>	5.0 <sup>(15)a</sup>	0.13 <sup>(9)a,b</sup>	0.26 <sup>(9)a</sup>
15-Campeche	0.84 <sup>(16)a,b</sup>	1.9 <sup>(23)a</sup>	2.3 <sup>(14)a,b</sup>	4.9 <sup>(19)a</sup>	0.12 <sup>(14)a</sup>	0.24 <sup>(16)a</sup>
21-Chiapas	0.73 <sup>(11)a</sup>	1.8 <sup>(10)a</sup>	2.0 <sup>(14)a</sup>	4.3 <sup>(13)a</sup>	0.11 <sup>(9)a</sup>	0.23 <sup>(16)a</sup>
15-Tabasco	1.00 <sup>(13)b</sup>	1.9 <sup>(16)a</sup>	2.8 <sup>(14)b</sup>	5.1 <sup>(14)a</sup>	0.15 <sup>(11)b</sup>	0.28 <sup>(10)a</sup>
Promedio	0.83 <sup>(18)</sup>	1.9 <sup>(19)</sup>	2.3 <sup>(18)</sup>	4.8 <sup>(18)</sup>	0.12 <sup>(16)</sup>	0.25 <sup>(16)</sup>

<sup>(1)</sup> Coeficiente de Variación; <sup>(a,b)</sup> Letras diferentes indican diferencia estadística significativa.

( ) Variation coefficient; (a,b) Different letters indicate significant statistical difference.



A partir de los índices consignados en el Cuadro 3, se calcularon las anisotropías de la contracción por secado ( $A-\beta_N$ ), contracción máxima ( $A-\beta_{max}$ ) y del hinchamiento diferencial ( $A-q$ ), con el objetivo de inferir sobre la estabilidad dimensional de las maderas. De acuerdo a Silva *et al.* (2010), la estabilidad dimensional es un término cualitativo útil para calificar el movimiento dimensional de la madera expuesta a cambios cíclicos de humedad relativa del aire y temperatura, además permite tener una visión teórica sobre posibles distorsiones durante el secado o en el intervalo higroscópico de uso práctico de la madera (35 % a 85 % humedad relativa del aire). Entre más bajos son los valores de anisotropías, se infiere una mayor estabilidad de la madera.

Aunque estadísticamente no se observó diferencia significativa por edad-procedencia en ninguna de las anisotropías ( $A-\beta_N$ ,  $A-\beta_{max}$ ,  $A-q$ ), sobresale la madera 15-Tabasco con cifras más bajas que la clasifican con una buena estabilidad dimensional; las 9-Campeche, 15-Campeche y 21-Chiapas registraron una regular estabilidad dimensional (Cuadro 3).

El movimiento dimensional está dentro del intervalo consignado por varios autores, tanto con maderas de plantaciones de edades similares como de otras más maduras de diversas procedencias del mundo. Por ejemplo, en plantaciones del Ecuador de 22 años, Crespo *et al.* (2008) citan contracción máxima radial y tangencial de 2.0 y 5.7 %, respectivamente, y  $A-\beta_{max} = 2.9$ ; para maderas de 18 años 2.1 y 5.2 %, y  $A-\beta_{max} = 2.5$ . De plantaciones en Costa Rica con 17 años de edad, Castro y Raigoza (2000) obtuvieron valores de 2.2 y 3.9 %, con  $A-\beta_{max} = 1.8$ ; por su parte, Rivero-Moreno y Moya-Roque (2006) registraron 2.6 y 5.3 % y  $A-\beta_{max} = 2.0$  con maderas de 8 años, en Bolivia.

En comparación con maderas de 50 a 70 años de edad procedentes del este de Timor, Miranda *et al.* (2011) informan una contracción máxima radial y tangencial de 3.5 y 5.2 %, respectivamente con  $A-\beta_{max} = 1.6$ .

Lo anterior muestra que a pesar de tratarse de material procedente de plantaciones de menor edad, el movimiento dimensional fue similar. Las variaciones pudieran deberse al porcentaje y tipo de extractos, ya que estos interfieren los sitios de sorción de humedad de la madera (Posch *et al.*, 2004); así como a la cantidad de radios y vasos, presencia de tilosis y proporción de volumen vacío de los vasos, (Shukla y Kamdem, 2010).

La diferencia fundamental se muestra en la anisotropía de la contracción máxima ( $A-\beta_{max}$ ), y en consecuencia en la evaluación global de la estabilidad dimensional; todas las maderas de este estudio tuvieron una menor estabilidad en comparación con la madera de teca de 50-70 años de Timor.

Although no significant statistical differences were observed by age-origin in any of the anisotropies ( $A-\beta_N$ ,  $A-\beta_{max}$ ,  $A-q$ ), the figures for the 15 year old timber of Tabasco are particularly lower, and therefore it is classified as having good dimensional stability; the 9 and 15 year old timbers of Campeche and the 21 year old timber of Chiapas showed a fair dimensional stability (Table 3).

The dimensional movement is within the interval registered by various authors both for wood from plantations of similar age and for other elder plantations from elsewhere in the world. For example, in 22 year old plantations of Ecuador, Crespo *et al.* (2008) cite a maximum radial and tangential contraction of 2.0 and 5.7 %, respectively, and  $A-\beta_{max} = 2.9$ ; for 18 year old timbers, the values were 2.1 and 5.2 %, and  $A-\beta_{max} = 2.5$ . For 17 year old plantations in Costa Rica, Castro and Raigoza (2000) obtained values of 2.2 and 3.9 %, with  $A-\beta_{max} = 1.8$ , while Rivero-Moreno and Moya-Roque (2006) determined values of 2.6 and 5.3 % and  $A-\beta_{max} = 2.0$  for 8 year old timbers from Bolivia.

Cuadro 3. Anisotropías de la contracción normal ( $A-\beta_N$ ), contracción máxima ( $A-\beta_{max}$ ) y del hinchamiento diferencial ( $A-q$ ).

Table 3. Anisotropies of normal contraction ( $A-\beta_N$ ), maximum contraction ( $A-\beta_{max}$ ) and differential swelling ( $A-q$ ).

Edad-procedencia	Anisotropías		
	( $A-\beta_N$ )	( $A-\beta_{max}$ )	( $A-q$ )
9-Campeche	2.4 <sup>(19)a</sup>	2.2 <sup>(9)a</sup>	2.0 <sup>(11)a</sup>
15-Campeche	2.3 <sup>(25)a</sup>	2.1 <sup>(16)a</sup>	2.2 <sup>(20)a</sup>
21-Chiapas	2.4 <sup>(14)a</sup>	2.2 <sup>(14)a</sup>	2.1 <sup>(12)a</sup>
15-Tabasco	1.9 <sup>(13)a</sup>	1.8 <sup>(10)a</sup>	1.9 <sup>(12)a</sup>
Promedio	2.3 <sup>(21)</sup>	2.1 <sup>(15)</sup>	2.1 <sup>(14)</sup>

<sup>(1)</sup> Coeficiente de Variación; <sup>(a,b)</sup> Letras diferentes indican diferencia estadística significativa.

<sup>(1)</sup> Variation coefficient; <sup>(a,b)</sup> Different letters indicate significant statistical difference.

Compared to the 50 and 70 year old woods from the east of Timor, Miranda *et al.* (2011) reported a maximum radial and tangential contraction of 3.5 and 5.2 % respectively, with  $A-\beta_{max} = 1.6$ .

This shows that, despite the fact that they came from younger plantations, they had a similar dimensional movement. The variations may have been due to the percentage and type of extracts, which interfere with the humidity sorption sites of the wood (Posch *et al.*, 2004), as well as to the amount of radii and vessels, to the presence of tylosis and to the proportion



Propiedades mecánica

Módulo de elasticidad a flexión (MOE). El módulo de elasticidad más alto se observó en las maderas de mayor edad, no hubo diferencia estadística por procedencia entre los 15 y 21 años (Cuadro 4). Sin embargo, la madera de 9 años tuvo un módulo de elasticidad mucho menor. Con base en lo anterior, se establece que existe una influencia más de la edad que de la procedencia sobre el módulo de elasticidad.

Cuadro 4. Resultados de los ensayos mecánicos de madera de teca mexicana.  
Table 4. Results of the mechanical assays of Mexican teak wood.

Teca del sureste mexicano	Densidad (g cm <sup>-3</sup> )	Flexión (N mm <sup>-2</sup> )		Compresión Longitudinal (N mm <sup>-2</sup> )		Impacto (kJ m <sup>-2</sup> )	Cizalla (N mm <sup>-2</sup> )	Dureza Brinell (N mm <sup>-2</sup> )	
		MOE	MOR	MOE	MOR			Long.	Lateral
9 años Campeche	0.55 <sup>aA</sup> (2)	8425 <sup>aA</sup> (12)	92 <sup>aA</sup> (15)	730 <sup>aA</sup> (22)	35 <sup>aA</sup> (17)	33 <sup>aA</sup> (30)	9.7 <sup>bB</sup> (16)	41 <sup>aA</sup> (15)	20 <sup>aA</sup> (21)
15 años Campeche	0.62 <sup>B</sup> (2)	9286 <sup>B</sup> (11)	108 <sup>B</sup> (12)	10048 <sup>B</sup> (13)	48 <sup>C</sup> (12)	38 <sup>B</sup> (19)	9.6 <sup>B</sup> (8)	43 <sup>A</sup> (13)	24 <sup>B</sup> (19)
15 años Tabasco	0.66 <sup>C</sup> (5)	9479 <sup>B</sup> (15)	107 <sup>B</sup> (14)	10648 <sup>B,C</sup> (18)	43 <sup>B</sup> (16)	37 <sup>A,B</sup> (30)	11.3 <sup>C</sup> (9)	49 <sup>B</sup> (11)	28 <sup>C</sup> (21)
15 años Campeche + Tabasco	0.64 <sup>b</sup> (0.7)	9351 <sup>b</sup> (13)	108 <sup>b</sup> (12)	10245 <sup>b</sup> (15)	46 <sup>c</sup> (15)	38 <sup>b</sup> (21)	10.2 <sup>c</sup> (12)	46 <sup>b</sup> (14)	25 <sup>b</sup> (21)
21 años Chiapas	0.60 <sup>-B</sup> (0.7)	9217 <sup>bB</sup> (15)	97 <sup>A</sup> (14)	10920 <sup>-C</sup> (17)	44 <sup>bB</sup> (15)	41 <sup>-C</sup> (23)	8.5 <sup>aA</sup> (11)	40 <sup>aA</sup> (17)	21 <sup>aA</sup> (22)

<sup>(1)</sup> Coeficiente de Variación; <sup>(a,b)</sup> Letras diferentes indican diferencia estadística significativa. Minúsculas = edad; Mayúsculas = procedencia  
<sup>(1)</sup> Variation coefficient; <sup>(a,b)</sup> Different letters indicate significant statistical difference. Lower case letters = age; Capital letters = origin.

Thulasidas y Bhat (2012) estiman 9 102 N mm<sup>-2</sup> para maderas de 35 años procedentes de Ernakulam, India. El módulo de elasticidad obtenido por dichos autores es menor al de 15 y 21 años del sureste mexicano, cuya relevancia radica en la diferencia de edades entre la madera de teca de la India, con respecto a la mexicana. Por otra parte, Bhat y Priya (2004) evaluaron maderas de 21 años (8436 N mm<sup>-2</sup>) de Konni, India; valor comparativamente igual a la de 9 años de Campeche y muy inferior a su similar de edad de Chiapas.

Existe cierta controversia entre el presente trabajo y otros autores en lo relativo a la influencia de la edad y procedencia sobre el módulo de elasticidad a flexión. Bhat y Priya (2004) señalan que una explicación anatómica pudiera dar esclarecimiento a ciertas diferencias de resultados, sobre todo una alta cantidad de tejido parenquimático y baja proporción de fibras.

of empty volume in the vessels (Shukla and Kamdem, 2010). The main difference is shown in the anisotropy of the maximum contraction ( $A-\beta_{max}$ ) and, therefore, in the global evaluation of the dimensional stability; all the woods in this study had a lower stability than the 50-70 year old teak wood of Timor.



Mechanical properties

Modulus of elasticity to bending (MOE). The highest modulus of elasticity was observed in the oldest woods; there was no statistical difference by origin between the 15 and 21 year old woods (Table 4). However, the 9 year old wood had a much lower modulus of elasticity. Based on this, it may be established that age has a stronger influence on the modulus of elasticity than origin.

Thulasidas and Bhat (2012) cite 9 102 N mm<sup>-2</sup> for 35 year old woods from Ernakulam, India. The modulus of elasticity obtained by these authors is below that of the 15 and 21 year old woods of the Mexican Southeast; the relevance of this figure lies in the age difference between the Indian and the Mexican teak timbers. On the other hand, Bhat and Priya (2004) assessed the MOE of 21 year old woods from Konni, India, as being 8436 N mm<sup>-2</sup>; this value is comparatively equal to that of the 9 year old wood of Campeche, and is far below that of the Chiapas timber of similar age.

En términos de resultados, los módulos de elasticidad a flexión de las maderas de teca del sureste mexicano están dentro del intervalo de valores citados en la literatura de diferentes regiones de la India. Sin embargo, si se considera como referencia los valores obtenidos del módulo de elasticidad de la madera de 9, 15 y 21 años, y conforme a la clasificación de Prospect (1997), esta es considerada como "Muy baja".

Módulo de ruptura a flexión (MOR). Estuvo influenciado por la edad entre los 9 y 15 años de las maderas de Campeche y Tabasco, cuando fue superior, la procedencia determinó su comportamiento como se observa en la madera de 21 años de Chiapas (Cuadro 4).

Un factor por considerar es la precipitación media anual de Chiapas, de 2 000 a 2 500 mm, y la de Campeche de 1 300 a 1 500 mm, ya que este incide en un rápido crecimiento de la madera de 21 años, al tener mayor cantidad de agua disponible; por lo tanto, un gran incremento de anillos anuales de crecimiento, más contenido de tejido parenquimático y menor cantidad de fibras (Bhat y Priya, 2004).

Bhat y Priya (2004) determinan valores de resistencia a la flexión de 92 N mm<sup>-2</sup> para maderas de 21 años, procedentes de Koni, India. Asimismo, Thulasidas y Bhat (2012) registran 110 N mm<sup>-2</sup> para maderas de 35 años del distrito Ernakulam, Kerala, India; zona húmeda con una precipitación media anual de 2 500 a 3 500 mm, lo que repercute en la disminución de la mayoría de las propiedades mecánicas, ya que tienen gran cantidad de tejido parenquimático y menor proporción de fibras, a pesar de la edad de la madera. De los valores citados por Thulasidas y Bhat (2012), comparativamente con la madera mexicana de 15 años, difiere tan solo en 2 N mm<sup>-2</sup> con respecto a la de 35 años de Ernakulam. Respecto a la de 9 y 21 años pueden considerarse como semejantes a las de 21 años procedentes de Koni, India.

De acuerdo a la base de datos Prospect (1997), la madera de teca mexicana de 9, 15 y 21 años por su resistencia a la flexión se clasifica como "Media".

Módulo de elasticidad a compresión paralela. Los resultados evidenciaron una relación lineal con la edad. Por otra parte, la procedencia jugó un papel importante en el módulo de elasticidad; así la madera que procede de Campeche, sin importar la edad, fue menor en comparación con la de Chiapas y Tabasco.

Resistencia a la compresión paralela. Los valores a la compresión longitudinal incrementaron sus resistencias de los 9 a los 15 años; posterior a esta edad, tienden a disminuir en 4 %. En cuanto a la procedencia se observó su importancia en las maderas de 15 años Tabasco y Campeche. A pesar de poseer la misma edad, la de Campeche presentó los resultados más altos, claro indicativo de que la procedencia contribuyó a la

There is a certain controversy between these and other authors regarding the influence of age and origin on the modulus at elasticity at bending. Bhat and Priya (2004) point out that an anatomical explanation may account for certain differences in the results, especially a large amount of parenchymatic tissue and a low proportion of fibers.

In terms of results, the moduli of elasticity to bending of teak timbers of the Mexican Southeast are within the range of the values cited in the literature for various regions of India. However, according to the classification of the Prospect Database (1997), this value is considered to be "very low" compared to those obtained for the modulus of elasticity of the 9, 15 and 21 year old wood.

Modulus of rupture at bending (MOR). This was influenced by the ages of 9 and 15 years of the woods of *Campeche* and *Tabasco*; the behavior of older woods was determined by their origin, as may be observed in the case of the 21 year old wood of *Chiapas* (Table 4).

A factor to be considered is the mean annual precipitation of *Chiapas* -2 000 to 2 500 mm- and that of *Campeche* -1 300 to 1 500 mm-, as this promotes a rapid growth of the 21 year old wood, since there is a larger amount of available water and, therefore, a great increase of yearly growth rings, a higher content of parenchymatic tissue and a smaller amount of fibers (Bhat and Priya, 2004).

Bhat and Priya (2004) determine values of resistance to bending of 92 N mm<sup>-2</sup> for 21 year old woods from Koni, India. Likewise, Thulasidas and Bhat (2012) record 110 N mm<sup>-2</sup> for 35 year old wood from the district of Ernakulam, Kerala, India -a humid area with a mean annual precipitation of 2 500 to 3 500 mm which affects the reduction of most of the mechanical properties of the wood, which has a large amount of parenchymatic tissue and a lower proportion of fibers in spite of its age. The values cited by Thulasidas and Bhat (2012), compared to the Mexican 15 year old wood, differs only by 2 N mm<sup>-2</sup> from that of the 35 year old wood from Ernakulam. As for the 9 and 21 year old woods, they may be considered to be similar to those 21 year old woods from Koni, India.

According to the Prospect Database (1997), 9, 15 and 21 year old Mexican teak wood is considered to have a "medium" resistance to bending.

Modulus of elasticity at parallel compression. The results evidenced a linear relationship to age. On the other hand, origin played an important role in the modulus of elasticity; thus, wood from *Campeche*, regardless of its age, had a lower value than those of *Chiapas* and *Tabasco*.



propiedad mecánica de compresión. Al confrontarlos con los obtenidos por Crespo *et al.* (2008) de madera de 18 años de Balzar ( $39 \text{ N mm}^{-2}$ ) y de 22 años de Quevedo ( $43 \text{ N mm}^{-2}$ ) Ecuador, así como los presentados por Bhat y Priya (2004) de madera de 21 años ( $45 \text{ N mm}^{-2}$ ) de Koni, India, y los de Silva *et al.* (2010) con  $46 \text{ N mm}^{-2}$ ; la madera de Campeche de 15 años superó las resistencias señaladas por los autores antes mencionados, y fue ligeramente menor a los de Miranda *et al.* (2011) con maderas de 50 a 70 años ( $50 \text{ N mm}^{-2}$ ) de Lautem Timor, y a los de Posch *et al.* (2004) con madera de 10 a 34 años ( $50 \text{ N mm}^{-2}$ ) de Panamá.

Trabajo a la ruptura por impacto. La edad de las maderas fue importante en las resistencias al trabajo a la ruptura por impacto (Cuadro 4). Ligado al trabajo por impacto, tipo de porosidad que puede presentar la madera, la anular es la que juega un papel importante (Mombächer, 1993).

La madera de teca, muestra porosidad de anular a semianular (Silva *et al.*, 2010), lo que le permite una mayor absorción de energía al momento de recibir el impacto. Si bien, todas las maderas en el presente estudio muestran el mismo patrón de porosidad, la precipitación pluvial de cada lugar puede incidir en su estructura anatómica, principalmente, en los tamaños de los vasos, ya que a mayor disposición de agua, aumenta la tendencia de incrementar el tamaño de los vasos. En este sentido, la madera de Chiapas estuvo expuesta a una cantidad superior de precipitación (Cuadro 1) y le correspondió el valor más alto de trabajo al impacto.

En comparación con los registros en la literatura, Silva *et al.* (2010) obtuvieron resistencias al impacto en intervalos de 32 a  $49 \text{ kJ m}^{-2}$ , aunque no mencionan edad ni procedencia. Las maderas de teca mexicana se sitúan dentro del intervalo de resistencia indicado previamente. Sin embargo, conforme a la clasificación de Prospect (1997), valores  $\leq 45 \text{ kJ m}^{-2}$  son considerados como bajos; por lo tanto, la teca mexicana está incluida en esa categoría.

Resistencia al cizallamiento. Estuvo influenciada más por la procedencia que por la edad (Cuadro 4). La madera de Tabasco obtuvo los mejores resultados, seguidos por la de Campeche y la de Chiapas. A pesar de la diferencia de edades entre la madera de 9 y 21 años, el comportamiento de la primera es atípico, ya que pese a su baja densidad presentó resistencias superiores a las de 15 y 21 años.

Rivero y Moya (2006) indican valores de  $12 \text{ N mm}^{-2}$  para madera de 8 años de Cochabamba, Bolivia. Crespo *et al.* (2008) exhiben resistencias de  $9 \text{ N mm}^{-2}$  para maderas de 22 años de Quevedo, así como  $11 \text{ N mm}^{-2}$  para las de 18 años de Balzar, ambas localidades de Ecuador. Por su parte, Silva *et al.* (2010) sin mencionar edad y procedencias presentan resistencias de 11 a  $14 \text{ N mm}^{-2}$ . La madera de 15 años de Tabasco se ubica

Resistance to parallel compression. The values of resistance to longitudinal compression increased between 9 and 15 years; after this age, they had a tendency to decrease by 4 %. The importance of the origin was observed in 15 year old woods from Tabasco and Campeche. Despite being the same age, the timber from Campeche had the highest values, which indicates that the origin of the wood contributed to the mechanical property of compression. The 15 year old wood of Campeche had higher values than those obtained by Crespo *et al.* (2008) for 18 year old wood from Balzar ( $39 \text{ N mm}^{-2}$ ) and 22 year old timber from Quevedo ( $43 \text{ N mm}^{-2}$ ) in Ecuador, as well as those registered by Bhat and Priya (2004) for 21 year old wood ( $45 \text{ N mm}^{-2}$ ) from Koni, India, and those estimated by Silva *et al.* (2010), with  $46 \text{ N mm}^{-2}$ , and it had slightly lower values than those obtained by Miranda *et al.* (2011) for 50 to 70 year old woods ( $50 \text{ N mm}^{-2}$ ) from Lautem, Timor and those registered by Posch *et al.* (2004) for 10 to 34 year old timber ( $50 \text{ N mm}^{-2}$ ) from Panama.

Resistance to rupture by impact. The age of the woods played an important role in the resistance to rupture by impact (Table 4). The resistance to impact is related to the types of porosity that may occur in the wood; among these, annular porosity plays a major role (Mombächer, 1993).

Teak wood shows annular to semi-annular porosity (Silva *et al.*, 2010), which allows a better absorption of energy at the time of receiving the impact. Although all the woods included in the present study show the same porosity pattern, the rain precipitation of each place of origin may influence their anatomic structure, particularly the size of the vessels, since the more water availability there is, the higher the tendency to increase the vessel size. In this regard, the wood of Chiapas was exposed to a higher precipitation (Table 1) and had the highest value for resistance to impact.

Compared to the values registered in the literature for resistance, Silva *et al.* (2010) estimated resistances to impact by intervals of 32 to  $49 \text{ kJ m}^{-2}$ , although they do not mention the age or origin. Mexican teak timbers are within this interval of resistance. However, according to the classification of the Prospect Database (1997), values  $\leq 45 \text{ kJ m}^{-2}$  are considered to be low; for this reason, Mexican teak is included in the "low" category.

Resistance to shear strength. This was influenced to a larger extent by the origin than by the age (Table 4). The wood from Tabasco had the best results, followed by those of Campeche and Chiapas. The behavior of the 9 year old wood is atypical for, despite its low density, it has a higher resistance than the 15 and 21 year old woods.

Rivero and Moya (2006) registered values of  $12 \text{ N mm}^{-2}$  for the 22 year old wood of Cochabamba, Bolivia. Crespo *et al.* (2008) exert  $9 \text{ N mm}^{-2}$  resistances for 22 woods from Quevedo,

dentro de los intervalos publicados. Conforme a la clasificación de Prospect (1997), la madera de 9 y 15 años se cataloga como "blanda", y la de 21 años como "Muy blanda".

Dureza Brinell, longitudinal y lateral. Las maderas de Campeche y Chiapas fueron estadísticamente similares, por lo que la procedencia, más que la edad, jugó un rol importante en la dureza de la madera. La de Tabasco tuvo los valores más altos, lo que se explica por su mayor densidad, puesto que existe una alta correlación entre la dureza y densidad de la madera (Forest Products Laboratory, 2010).

La dureza longitudinal de las maderas de teca del presente estudio resultaron más bajas que las de Posch *et al.*, (2004) ( $56 \text{ N mm}^{-2}$ ) para madera de 10 a 34 años procedentes de Panamá. Posch *et al.* (2004) consignan para la dureza lateral un valor de  $32 \text{ N mm}^{-2}$  para maderas de 10 a 34 años de Panamá; mientras que, Silva *et al.* (2010) registran un intervalo de 23 a  $39 \text{ N mm}^{-2}$ ; por lo que la madera de teca mexicana de 15 años está por debajo del valor indicado por Posch *et al.* (2004) y dentro del límite inferior descrito por Silva *et al.* (2010).

Las maderas de teca mexicana se clasifican como blandas a muy blandas de acuerdo a Möhrath (citado en Lohmann, 1990), quien establece para esta categoría valores menores de  $49 \text{ N mm}^{-2}$ .

## CONCLUSIONES

La edad y procedencia influenciaron la densidad y las propiedades mecánicas de la madera, sin observarse una tendencia lineal que permita establecer un modelo de interrelación.

En la estabilidad dimensional no incidieron ni la edad ni la procedencia.

El movimiento dimensional fue muy bajo; sin embargo, los valores de anisotropía clasifican la estabilidad dimensional de las maderas de buena a regular.

Las propiedades físicas y mecánicas de la teca mexicana resultaron similares a maderas menores a 35 años procedentes de otras regiones del mundo. 🌿

## REFERENCIAS

- Bhat, K. M. 1998. Properties of fast-grown teakwood: impact on end-user's requirements. *Journal of Tropical Forest Products* 4(1): 1-10.
- Bhat, K. M. and E. P. Indira. 1997. Effect of faster growth on timber quality of teak. Kerala Forest Research Institute. Kerala, India. Research report 132. 60 p.
- Bhat, K. M. and 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.

as well as  $11 \text{ N mm}^{-2}$  for 18 year old wood from Balzar, both in Ecuador. For their part, Silva *et al.* (2010) quote resistances of 11 to  $14 \text{ N mm}^{-2}$  but do not mention age or origin. The resistance of the 15 year old wood of Tabasco is placed within the published intervals. According to Prospect Database (1997), the 9 and 15 year old woods are classified as "soft", and the 21 year old timber, as "very soft".

Longitudinal and lateral Brinell hardness. The woods of Campeche and Chiapas were statistically similar; thus, their origin, rather than their age, played an important role in the hardness of the wood. There is a high correlation between hardness and density; the wood from Tabasco is the densest and therefore the hardest (Forest Products Laboratory, 2010).

The longitudinal hardness of the teak timbers of the present study turned out to be lower than those registered by Posch *et al.* (2004) ( $56 \text{ N mm}^{-2}$ ) for 10 to 34 year old woods from Panama. Posch *et al.* (2004) cite a lateral hardness of  $32 \text{ N mm}^{-2}$  for 10 to 34 year old woods from Panama, while Silva *et al.* (2010) record an interval of 23 to  $39 \text{ N mm}^{-2}$ . Thus, Mexican 15 year old teak is below the values listed by Posch *et al.* (2004) and within the lower limit described by Silva *et al.* (2010).

Mexican teak timbers are classified as soft and very soft according to Möhrath (quoted in Lohmann, 1990), who establishes values below  $49 \text{ N mm}^{-2}$  for this category.

## CONCLUSIONS

The age and origin were shown to influence the density and the mechanical properties of wood, though no linear tendency allowing the establishment of an interrelationship model was observed.

Neither the age nor the origin had any effect on the dimensional stability.

The dimensional movement was very low. However, according to the anisotropic values, the dimensional stability of the timbers is classified as good to fair.

The physical and mechanical properties of Mexican teak proved to be similar to those of timbers below 35 years of age from other regions of the world. 🌿

*End of the English version*



- Bhat, K. M., P. K. Thulasidas, E. J. M. Florence and K. Jayaraman. 2005. Wood durability of home-garden teak against brown-rot and white-rot fungi. *Trees* 19: 654-660.
- Castro, F. y J. Raigosa. 2000. Crecimiento y propiedades físicas de la madera de teca (*Tectona grandis* L. f.) de 17 años en San Joaquín de Abangares, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 24(2): 07-23.
- Crespo G., R., E. Jiménez R., P. Suatunee C., G. Law B. y C. Sánchez F. 2008. Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera de teca (*Tectona grandis* L. f.) de Quevedo y Balzar. *Ciencia y Tecnología* 1: 55-66.
- DIN Normen. 2000. DIN Taschenbuch 31. Normen über Holz. Beuth Verlag GmbH, Berlin, Germany. 597 p.
- Forest Products Laboratory. 2010. Wood handbook—Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison, WI, USA. 508 p.
- Galloway, G., L. Ugalde and W. Vásquez. 2001. Importance of density reductions in tropical plantations: experiences in Central America. *Forest, Trees and Livelihoods* 11: 217-232.
- Kokutse, A. D., H. Baillères, A. Stokes and K. Kokou. 2004. Proportion and quality of heartwood in Togolese teak (*Tectona grandis* L. f.). *Fores. Ecol. Manag.* 189: 37-48.
- Kollert, W. and L. Cherubini. 2012. Teak resources and market assessment 2010 (*Tectona grandis* L. f.). FAO, Rome, Italy. 42 p.
- Lohmann, U. 1990. Holz Handbuch. DRW Verlag Weinbrenner GmbH & Co. Leinfelden-Echterdingen, Stuttgart, Deutschland. 312 p.
- Miranda, I., V. Sousa and H. Pereira. 2011. Wood properties of teak (*Tectona grandis*) from a mature unmanaged stand in East Timor. *Journal of Wood Science* 57(3): 171-178.
- Mombächer, R. 1993. Holzlexikon. Band 2 N-Z. DRW Verlag Weinbrenner GmbH & Co. Leinfelden-Echterdingen, Stuttgart, Deutschland. 604 p.
- Moya, R. and M. Perez. 2008. Effects of physical and chemical soil properties on physical wood characteristics of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science* 20(4): 248-257.
- Pérez C., L. D. and 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, D. and M. Kanninen. 2005. Effect of thinning on stem form and wood characteristics of teak (*Tectona grandis*) in a humid tropical site in Costa Rica. *Silva Fennica* 39(2): 217-225.
- Posch, B., G. Wegener, D. Grosser und L. Wagner. 2004. Physikalische und mechanische Untersuchungen an Teakholz (*Tectona grandis* L. f.) aus Plantagen in Panamá. *Holz als Roh- und Werkstoff* 62: 31-35.
- Prospect. 1997. The wood database. Version 2.1. Oxford Forestry Institut. London, UK. s/p
- Richter, H. G., H. Leithoff and U. Sontag. 2003. Characterisation and extension of juvenile wood in plantation-grown teak (*Tectona grandis* L.) from Ghana. *Proceedings International Teak Conference*, Kerala Forest Research Institute, Peechi, India. pp. 491-499.
- Rivero M., J. y R. Moya R. 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.
- Shukla, S. R. and D. P. Kamdem. 2010. Dimensional stability of nine tropical hardwoods from Cameroon. *Journal of Tropical Forest Science* 22(4): 389-396.
- Silva G., J. A., F. J. Fuentes T., R. Rodríguez A., P. A. Torres A., M. G. Lomeli R., J. Ramos Q. y C. Waitkus, H. G. Richter. 2010. Fichas de propiedades tecnológicas y usos de maderas nativas de México e importadas. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal. México. 207 p.
- Thulasidas, P. K. and K. M. Bhat. 2012. Mechanical properties and Wood structure characteristics of 35-year old home-garden teak from wet and dry localities of Kerala, India in comparison with plantation teak. *Journal Indian Academy Wood Science* 9(1): 23-32.
- Tze, W. T. Y. 1999. Recovery and quality of lumber from mature teak (*Tectona grandis*) planted in Sabah, Malaysia. *Journal of Tropical Forest Products* 5(2): 115-123.
- Upadhyay, A., T. Eid and P. L. Sankhayan. 2005. Construction of site index equations for even aged stands of *Tectona grandis* (teak) from permanent plot data in India. *Fores. Ecol. and Manag.* 212: 14-22.





