



Artículo / Article

## Propiedades físico-mecánicas de la madera *Tectona grandis* L. f. de una plantación comercial en el estado de Michoacán

### Physico-mechanical properties of *Tectona grandis* L. f. wood from a commercial plantation in the State of Michoacán

Ricardo Telles Antonio<sup>1</sup>, Juan Abel Nájera Luna<sup>2</sup>, Eduardo Alanís Rodríguez<sup>1</sup>,  
Oscar Alberto Aguirre Calderón<sup>1</sup>, Javier Jiménez Pérez<sup>1</sup>, Martín Gómez Cárdenas<sup>3</sup>  
e Hipólito Jesús Muñoz Flores<sup>3</sup>

#### Resumen

La teca ha sido identificada como la especie potencial más conveniente para establecer plantaciones de madera tropical de alta calidad bajo manejo forestal; por ello, se determinaron las propiedades físico-mecánicas de su madera en una plantación comercial en Nuevo Urecho, Michoacán; y se compararon con otras experiencias en México y del mundo. El material vegetal procedió de seis árboles de *Tectona grandis* seleccionados por sus características dasométricas y representativos de cada sitio de muestreo. Se siguió la metodología de las normas COPANT (1972); de cada fuste se obtuvo una troza de 1 m de longitud a partir de la altura del tocón (0.30 cm) para elaborar los prismas y de estos, las probetas para los ensayos físicos y mecánicos. Los resultados indican que la madera de *T. grandis* tiene una densidad básica de  $0.59 \text{ g cm}^{-3}$ , categorizada como madera pesada y baja contracción volumétrica baja (5.15 %), que la clasifican como madera estable. La compresión paralela registró una resistencia de  $326.1 \text{ kgf cm}^{-2}$  y se clasifica como alta; la compresión perpendicular mostró un esfuerzo de  $33.6 \text{ kgf cm}^{-2}$  que corresponde a una clase baja; en el ensayo de desgarre o clivaje, se observó una RMC de  $44.3 \text{ kgf cm}^{-2}$  o media; la cizalla tuvo una resistencia baja a media de  $63.2 \text{ kgf cm}^{-2}$ , la dureza lateral alcanzó valores promedio de 545 kgf, cuya resistencia la ubica como madera semidura. Algunas propiedades de la madera procedente de las plantaciones en Nuevo Urecho, Michoacán son sensiblemente similares a las de otras procedencias.

**Palabras clave:** Compresión, contracción, densidad, ensayo, madera, usos.

#### Abstract

Teak has been identified as the most convenient species for establishing high quality tropical timber plantations under forest management; therefore, the physical-mechanical properties of the its wood of a commercial plantation in *Nuevo Urecho, Michoacán* were determined and were compared with other experiences in Mexico and other regions of the world. The plant material came from six *Tectona grandis* trees which were selected from their mensuration characteristics and their representativeness of each sampling site. The methodology of COPANT (1972) was followed; a log 1 meter long from the diameter of the stump (0.30 cm) was obtained from which the prisms and the test specimens were taken in order to make the physical and mechanical essays. The results of *T. grandis* wood show that it has a basic density of  $0.59 \text{ g cm}^{-3}$ ; categorized a s heavy wood; low volumetric shrinkage (5.15 %), which classified it as stable wood. The parallel compression, recorded a strength of  $326.1 \text{ kgf cm}^{-2}$  and it is classified high; perpendicular compression showed a stress of  $33.6 \text{ kgf cm}^{-2}$  being classified as low; in the tear or cleavage test it was observed a CMR of  $44.3 \text{ kgf cm}^{-2}$  being classified as mean; the shear showed a low strength value at a mean of  $63.2 \text{ kgf cm}^{-2}$ , the lateral hardness showed average values of 545 kgf, classifying its strength as semi-hard wood. The results showed that some properties of the wood from trees planted in *Nuevo Urecho, Michoacán*, are remarkably similar to those of other provenances.

**Key words:** Compression, contraction, density, assay, timber, uses.

Fecha de recepción/Reception date: 18 de enero de 2017; Fecha de aceptación/Acceptance date: 6 de marzo de 2017.

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León, México. Correo e: [telles.ricardo2015@gmail.com](mailto:telles.ricardo2015@gmail.com)

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico de El Salto, El Salto, Dgo. México.

<sup>3</sup> Campo Experimental Uruapan, Centro de Investigación Regional Pacífico Centro, INIFAP, México.

## Introducción

*Tectona grandis* L. f. es una especie tropical de madera dura, estimada como de alta calidad y de gran valor en el mercado (ITTO, 2013). Es considerada como una de las más valiosas del mundo por su atractivo aspecto, durabilidad natural y estabilidad dimensional; su carácter no corrosivo se debe a que posee aceites naturales, que la hacen resistente a termitas y hongos (Fonseca, 2004). Es usada para la construcción de puentes y muelles (por su excelente resistencia al agua), vagones y durmientes de ferrocarril, carpintería e incluso para la cubierta de barcos (FAO, 2010).

En México, se estima el consumo anual de madera en 12.5 millones de m<sup>3</sup>, mientras que la producción local es de 9.4 millones de m<sup>3</sup>, lo que genera la necesidad de importar el diferencial. Para subsanar este déficit, se han promovido en México las plantaciones forestales comerciales, como la de teca que para 2014 estaba plantada en 25 324 ha (Conafor, 2014).

Los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas se realizan con el objeto de proponer los usos probables y obtener datos necesarios para el cálculo de estructuras elaboradas con dicho material. Dicha información permite el uso correcto de la madera en proporción mínima, y debe garantizar la seguridad en los parámetros de diseño (Hoheisel, 1981).

En varios países se han desarrollado trabajos de investigación tendientes a determinar las propiedades físico-mecánicas de la madera de teca. En Costa Rica, Muñoz y Moreno (2013) las evaluaron en *Tectona grandis* L. f. y *Terminalia amazonia* (J. F. Gmel.) Exell provenientes de plantaciones comerciales; los autores incluyeron la contracción en dirección radial (CR), tangencial (CT) y volumétrica (CV); el coeficiente diferencial CT/CR o índice de distorsiones y alabeos, así como su relación con las propiedades físicas como peso específico básico (PEB), punto de saturación de la fibra (PSF), densidad normal (DN) y contenido de humedad (CH). En Brasil, Blanco *et al.* (2014) caracterizaron las propiedades de madera joven de plantaciones de la primera especie mencionada y las compararon con datos de otros lugares del mundo.

Rodríguez *et al.* (2014) estudiaron la influencia de la edad y la procedencia en las propiedades físico-mecánicas de la madera de teca de plantaciones comerciales de Campeche, Tabasco y Chiapas. Esta información simplifica los procesos de transformación para productos finales. Si se parte del supuesto de que el taxón en cuestión es introducido en México, resulta indispensable conocer su comportamiento físico y mecánico, pues *Tectona grandis* constituye una alternativa promisoría para plantaciones en el estado de Michoacán (Muñoz *et al.*, 2011).

## Introduction

Teak (*Tectona grandis* L. f.) is a tropical hardwood estimated as a high quality timber of great value in the market (ITTO, 2013). It is considered one of the most valuable in the world for its attractive appearance, natural durability and dimensional stability; its non-corrosive character is due to its natural oils, which make it resistant to termites and fungi (Fonseca, 2004). It is used for the construction of bridges and docks (for its excellent resistance to water), railway wagons and sleepers, carpentry and even for boat deck (FAO, 2010).

In Mexico, the annual timber consumption is estimated at 12.5 million m<sup>3</sup>, while local production is 9.4 million m<sup>3</sup>, which generates the need to import the differential from other countries. To compensate this deficit, commercial forest plantations have been promoted in Mexico, such as teak, which by 2014 was planted in 25 324 ha (Conafor, 2014).

The tests of the physical and mechanical properties of the woods are carried out with the purpose of proposing the probable uses and obtaining data necessary for designing and building; with such material. It is necessary that the data obtained allow the proper use of the wood in minimum proportion, and that guarantee safety in the design parameters (Hoheisel, 1981).

Research has been developed in several countries to determine the physico-mechanical properties of teakwood. In Costa Rica, Muñoz and Moreno (2013), assessed some properties of *Tectona grandis* L. f. and *Terminalia amazonia* (J. F. Gmel.) Exell wood, from commercial plantations; they evaluated lineal shrinkage in radial (CR) and tangential (CT) and volumetric (CV) shrinkage; the differential coefficient CT / CR or index of distortions and warps and their relationship to physical properties such as basic specific weight (PEB), fiber saturation point (PSF), normal density (DN) and moisture content (CH). In Brazil, Blanco *et al.* (2014) described the juvenil wood properties from plantations of the first mentioned species and compared them with data obtained from plantation woods of the same taxon in other parts of the world.

Rodríguez *et al.* (2014) studied the influence of age and provenance on the physico-mechanical properties of teakwood from commercial plantations in Campeche, Tabasco and Chiapas, Mexico. This information simplifies the transformation processes for end products of wood. If it is assumed that teak is an exotic species in Mexico, it is important to know its physical and mechanical behavior, since it has been considered a promising alternative for plantations in the state of Michoacán (Muñoz *et al.*, 2011).



El objetivo del presente trabajo fue describir las propiedades físico-mecánicas de la madera de teca de una plantación comercial en Nuevo Urecho, Michoacán y contrastarlas con otras experiencias nacionales y extranjeras.

## Materiales y Métodos

### Área de estudio

El material vegetal procedió de seis árboles de *Tectona grandis* seleccionados con base en sus características dasométricas, y representativos de sitios de muestreo permanente de una plantación forestal comercial ubicada en el paraje El Mirador, municipio Nuevo Urecho, Michoacán (centro occidente de México). Forma parte del Eje Neovolcánico Transversal, en el que están integrados los cerros El Tipítaro, de Las Gallinas, de Agua Fría y de Las Cuevas (Inafed, 2010).

Sus coordenadas geográficas son 19°11'39.6" N y 101°51'53.3" O, y una altitud promedio de 617 m. Los principales suelos corresponden a Vertisol (38.32 %), Luvisol (32.24 %), Leptosol (26.08 %), Phaeozem (2.84 %), Fluvisol (0.28 %) y Regosol (0.03 %). La fórmula climática es Awo(w), que describe un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (91.16 %), semiseco muy cálido (6.93 %) y cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (1.14 %), semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (0.51 %) y semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (0.26 %); temperatura de 20 a 28 °C y de precipitación anual de 700 a 1 100 mm (Inegi, 2009).

Los ensayos físicos y mecánicos se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de la Madera del Instituto Tecnológico de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. Las pruebas mecánicas se hicieron en una máquina Universal de ensayos mecánicos, marca INSTRON® con capacidad de 60 toneladas.

### Selección de los árboles muestra

Para la recolecta del material se siguieron las recomendaciones de la Norma COPANT 458 (Comisión Panamericana de Normas Técnicas) referida a la selección y colección de muestras destinadas al estudio de las propiedades físicas y mecánicas de la madera. A cada árbol seleccionado se le midieron sus dimensiones dasométricas (Cuadro 1).

The aim of this work was to describe the physico-mechanical properties of the teak wood from a commercial plantation in *Nuevo Urecho, Michoacán* and to compare them with other national and foreign experiences.

## Materials and Methods

### Study area

The plant material came from six *Tectona grandis* trees selected on the basis of their dasometric characteristics and representative of permanent sampling sites of the commercial forest plantation located in *El Mirador, Nuevo Urecho* municipality, *Michoacán* (western central Mexico). It is part of the Transverse Neovolcanic Axis, in which the *El Tipítaro, Las Gallinas, Agua Fría* and *Cuevas* hills are included (Inafed, 2010).

Its geographical coordinates are 19°11'39.6" N and 101°51'53.3" W, and an average altitude of 617 m. The main soils are Vertisol (38.32 %), Luvisol (32.24 %), Leptosol (26.08 %), Phaeozem (2.84 %), Fluvisol (0.28 %) and Regosol (0.03 %). The climatic formula is Awo (w), which describes a subhumid warm climate with summer rains, with lower humidity (91.16 %), very warm and warm semi-dry (6.93 %), warm subhumid with summer rains, sub-humid with summer rains, with medium humidity (0.51 %) and sub-humid with summer rains, with higher humidity (0.26 %); temperature range 20-28 °C and annual precipitation from 700 to 1 100 mm (Inegi, 2009).

Physical and mechanical tests were carried out at the *Laboratorio de Tecnología de la Madera del Instituto Tecnológico de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango* (Wood Technology Laboratory of *El Salto Technological Institute, Pueblo Nuevo, Durango*). The mechanical tests were made in an INSTRON® universal machine of mechanical tests, with a 60 tons capacity.

### Selection of sample trees

For the collection of the material, the recommendations of COPANT 458 standard (Pan American Technical Standards Commission) were followed, and it refers to the selection and collection of samples for the study of the physical and mechanical properties of wood. Dasometric dimensions were measured for each selected tree (Table 1).



Cuadro 1. Características dasométricas de los árboles seleccionados para los ensayos físicos y mecánicos.

Sitio Número	Diámetro normal (cm)	Altura total (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Edad (años)
1	18.0	14.0	0.1776	
2	16.0	14.2	0.1385	
3	15.1	17.6	0.1261	
4	15.4	12.7	0.1229	11
5	13.0	10.4	0.0860	
6	12.3	9.1	0.0606	
Promedio	14.9	13.0	0.1186	

Table 1. Mensuration characteristics of trees selected for physical and mechanical testing.

Site Number	Normal diameter (cm)	Total height (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Age (years)
1	18.0	14.0	0.1776	
2	16.0	14.2	0.1385	
3	15.1	17.6	0.1261	
4	15.4	12.7	0.1229	11
5	13.0	10.4	0.0860	
6	12.3	9.1	0.0606	
Average	14.9	13.0	0.1186	

De cada fuste se cortó una troza de 1 m de longitud a partir la altura del tocón (0.30 cm) para elaborar los prismas, y de estos, las probetas necesarias para los ensayos físicos y mecánicos. Cada troza se dividió en cuadrantes (N, S, E, O) para que las piezas tuvieran bien definidos los planos radial y tangencial, de acuerdo a las recomendaciones de Quiñones (1974). Cada vigueta consistió de un prisma de 7 x 7 cm de sección transversal por 100 cm de longitud, las cuales se enumeraron por el número del árbol y la troza correspondiente. La elaboración final de las probetas se realizó de acuerdo a lo indicado en las normas COPANT (Copant, 1972).

### Preparación de las probetas

El trabajo se llevó a cabo en la Unidad de Tecnología de la Madera del Instituto Tecnológico de El Salto. El material en estado verde, se apiló bajo techo y se acondicionó hasta alcanzar 48.0 % de contenido de humedad a continuación, se elaboraron las probetas definitivas, 12 de 2 cm de lado para determinar la densidad de la madera y 12 más, de 5.08 x 5.08 x 10.16 cm, para las contracciones de la misma.

A log of 1 meter long was cut from the stem of each tree, starting at the stump height (0.30 cm), and then prisms were made, from which the specimens needed for the physical and mechanical tests were obtained. Each log was divided into quadrants (N, S, E, W) so that the specimens had well defined the radial and tangential planes according to the recommendations of Quiñones (1974). Each joist consisted of a 7 x 7 cm prism of cross section per 100 cm in length, which were enumerated by the number of the tree and the corresponding log. The final preparation of the specimens was performed according to the COPANT standards (Copant, 1972).

### Preparation of test specimens

The test specimens were prepared in the *Unidad de Tecnología de la Madera del Instituto Tecnológico de El Salto*. (Wood Technology Unit of the *El Salto* Technological Institute). The green material for the tests was stacked indoors and conditioned until reaching 48.0 % moisture content, condition at which the final test specimens were made, 12 of 2 cm of side to determine wood density and twelve more of 5.08 x 5.08 x 10.16 cm, for shrinkage tests.



## Determinación de propiedades físicas

Para el diseño y ejecución de los ensayos físicos, se siguió la metodología sugerida por las normas: COPANT 459 (Acondicionamiento de las maderas destinadas a ensayos físicos y mecánicos); 460 (Método de determinación del contenido de humedad en maderas); 461 (Cálculo del peso específico en maderas); y 462 (Determinación de las contracciones en maderas) (Copant, 1972).

### Contenido de humedad

La norma COPANT 460 precisa el método para la determinación del contenido de humedad de la madera mediante la fórmula siguiente:

$$CH = \frac{P_h - P_o}{P_o} * 100 \quad (1)$$

Donde:

CH = Contenido de humedad (%)  
 $P_h$  = Peso de la madera húmeda (g)  
 $P_o$  = Peso anhidro (secado en estufa) de la madera (g)

### Contracción de la madera

Inmediatamente después elaborar las probetas destinadas a los ensayos de contracción, se marcaron dos puntos de medición en la cara tangencial y radial para tomar las lecturas en el mismo punto; se pesaron en una báscula digital Ohaus EP2102C para la obtención del peso inicial y se midieron las dimensiones de las probetas en estado verde.

Enseguida, se les depositó en una estufa de secado Yamato DNE910 con una temperatura inicial de 85 °C, la cual fue incrementándose hasta llegar a los 105 °C durante los cinco días en que se monitoreó la pérdida de humedad, hasta alcanzar peso constante, y se hizo una última remediación de sus planos en estado anhidro. Los cálculos se realizaron de acuerdo a la norma COPANT 462 como sigue:

$$\text{Contracción } (\beta) = \frac{D_v - D_o}{D_v} * 100 \quad (2)$$

Donde:

$\beta$  = Contracción radial, tangencial o volumétrica (%)  
 $D_v$  = Dimensión radial, tangencial o verde (cm)  
 $D_o$  = Dimensión radial o tangencial anhidra (cm)



## Determination of physical properties

For the design and execution of the physical tests, the methodology suggested by the standards was followed: COPANT 459 (Conditioning of woods for physical and mechanical tests); 460 (Method of determining moisture content in wood); 461 (Calculation of specific weight in woods) and 462 (Determination of contractions in woods) (Copant, 1972).

### Moisture content

COPANT 460 specifies the method for determining the moisture content of wood using the following formula:

$$CH = \frac{P_h - P_o}{P_o} * 100 \quad (1)$$

Where:

CH = Moisture content (%)  
 $P_h$  = Wet wood weight (g)  
 $P_o$  = Anhydrous wood weight (kiln dried) (g)

### Wood shrinkage

Immediately after elaborating the specimens for the shrinkage tests, two measurement points were marked on the tangential and radial side to take the readings at the same point; they were weighed on the Ohaus EP2102C digital scale to obtain the initial weight and the dimensions of the green test pieces were measured.

They were then deposited in a Yamato DNE910 drying kiln with an initial temperature of 85 °C which increased to 105 °C during the five days in which moisture loss was monitored until constant weight was reached, and a final remeasurement of its planes in the oven-dried condition was made. Calculations were performed according to COPANT 462 standard as follows:

$$\text{Shrinkage } (\beta) = \frac{D_v - D_o}{D_v} * 100 \quad (2)$$

Where:

$\beta$  = Radial, tangential or volumetric shrinkage (%)  
 $D_v$  = Radial, tangential or green dimension (cm)  
 $D_o$  = Anhydrous radial or tangential dimension (cm)



### Relación de anisotropía

La relación que se utilizó para su cálculo fue:

$$RAN = \frac{\beta_{tt}}{\beta_{tr}} \quad (3)$$

Donde:

RAN = Relación de anisotropía (adimensional)

$\beta_{tt}$  = Contracción tangencial total (%)

$\beta_{tr}$  = Contracción radial total (%)

### Densidad de la madera

El método para calcular la densidad de la madera se basa en la norma COPANT 461, en la que se sugieren las dimensiones que deben tener las probetas y el instrumental que se utilizará. Para ello, se elaboraron 12 probetas de madera de 2 x 2 x 2 cm; una vez extraídas se midieron con un calibrador (vernier) y se pesaron en una báscula digital Ohaus EP2102C.

Posteriormente, se introdujeron en una estufa de secado Yamato DNE910 a 105 °C, donde se les monitoreó hasta obtener el peso constante; se midieron de nuevo y se pesaron para registrar los pesos y volúmenes anhidros. Se aplicaron las siguientes relaciones:

$$D_b = \frac{P_o}{V_v} \quad (4)$$

Donde:

$D_b$  = Densidad básica (g cm<sup>-3</sup>)

$P_o$  = Peso anhidro (secado en estufa) de la madera (g)

$V_v$  = Volumen verde de la probeta (cm<sup>3</sup>)

$$D_v = \frac{P_v}{V_v} \quad (5)$$

Donde:

$D_v$  = Densidad verde (g cm<sup>-3</sup>)

$P_v$  = Peso verde de la madera (g)

$V_v$  = Volumen verde de la probeta (cm<sup>3</sup>)

$$D_o = \frac{P_o}{V_o} \quad (6)$$

Donde:

$D_o$  = Densidad seca (g cm<sup>-3</sup>)

$P_o$  = Peso anhidro (secado en estufa) de la madera (g)

$V_o$  = Volumen anhidro de la probeta (cm<sup>3</sup>)

### Anisotropy ratio

The ratio used for its calculation was:

$$RAN = \frac{\beta_{tt}}{\beta_{tr}} \quad (3)$$

Where:

RAN = Anisotropy ratio (dimensionless)

$\beta_{tt}$  = Total tangential shrinkage (%)

$\beta_{tr}$  = Total radial shrinkage (%)

### Wood density

The method for calculating wood density is based on the COPANT 461 standard, which suggests the dimensions that the specimens must have and the instruments to be used. For this, 12 wood samples of 2 x 2 x 2 cm were made; once removed, they were measured with a vernier and weighed on an Ohaus EP2102C digital scale.

The samples were immediately placed a Yamato DNE910 drying kiln at 105 °C where they were monitored until constant weight was obtained; afterwards, they were measured again and weighed to record anhydrous weights and volumes and thus apply the following relations:

$$D_b = \frac{P_o}{V_v} \quad (4)$$

Where:

$D_b$  = Basic density (g cm<sup>-3</sup>)

$P_o$  = Oven-dry (kiln dried) weight of wood (g)

$V_v$  = Green (or fully saturated) volume of test specimen (cm<sup>3</sup>)

$$D_v = \frac{P_v}{V_v} \quad (5)$$

Where:

$D_v$  = Green density (g cm<sup>-3</sup>)

$P_v$  = Green (or fully saturated) weight of wood (g)

$V_v$  = Green (or fully saturated) volume of the test specimen (cm<sup>3</sup>)



## Determinación de las propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de la madera están relacionadas con su comportamiento ante la acción de fuerzas externas o internas (Echenique y Robles, 1993). Para llevar a cabo los ensayos mecánicos, se siguió la metodología recomendada en las normas: COPANT 459 (Acondicionamiento de las maderas destinadas a ensayos físicos y mecánicos); se prepararon seis diferentes tipos de probetas para los ensayos de compresión paralela (COPANT 464, método de determinación de la compresión axial o paralela a la fibra) y perpendicular (COPANT 466, método de determinación de la compresión perpendicular a la fibra), tensión perpendicular (COPANT 743, método de ensayo de tracción perpendicular a la fibra), clivaje o desgarre (COPANT 741, método de determinación de la resistencia al clivaje o desgarre), cizalla o cortante (COPANT 463, método de determinación del cizallamiento paralelo a la fibra) y dureza (COPANT 465, método de determinación de la dureza).

### Compresión paralela a la fibra

Para el ensayo de compresión paralela a la fibra se utilizaron seis probetas de 20.32 x 5.08 x 5.08 cm. La aplicación de carga fue a razón de 0.6 mm min<sup>-1</sup>. Los datos obtenidos permitieron determinar los esfuerzos al límite proporcional (ELP<sub>c</sub>) y a la carga máxima (ECM<sub>c</sub>), además del módulo de elasticidad (MOE<sub>c</sub>):

#### Esfuerzo al límite proporcional (ELP<sub>c</sub>)

$$ELP_c = \frac{P_2}{a*b} \quad (7)$$

Donde:

ELP<sub>c</sub> = Esfuerzo al límite proporcional (kgf cm<sup>2</sup>)  
 P<sub>2</sub> = Carga en el límite de proporcionalidad (kgf)  
 a = Ancho de la probeta (cm)  
 b = Grosor de la probeta (cm)

#### Esfuerzo a la carga máxima (ECM<sub>c</sub>)

$$ECM_c = \frac{P_m}{a*b} \quad (8)$$

Donde:

ECM<sub>c</sub> = Esfuerzo a la carga máxima (kgf cm<sup>-2</sup>)  
 P<sub>m</sub> = Carga máxima (kgf)  
 a = Ancho de la probeta (cm)  
 b = Grosor de la probeta (cm)

$$D_0 = \frac{P_0}{V_0} \quad (6)$$

Where:

D<sub>0</sub> = Oven-dry density (g cm<sup>-3</sup>)  
 P<sub>0</sub> = Oven-dry (kiln dried) weight of wood (g)  
 V<sub>0</sub> = Oven-dry (kiln dried) volume of the test specimen (cm<sup>3</sup>)

## Determination of mechanical properties

The mechanical properties of the wood are related to its behavior to the action of external or internal forces (Echenique and Robles, 1993). In order to carry out the mechanical tests, the methodology recommended in the standards was followed: COPANT 459 (Conditioning of wood for physical and mechanical tests); six different types of test specimens were prepared for parallel compression tests (COPANT 464, axial or parallel to fiber compression method) and perpendicular (COPANT 466, method of determining compression perpendicular to the fiber), perpendicular tension (COPANT 743, test method of traction perpendicular to the fiber), cleavage or tearing (COPANT 741, method of determining the resistance to cleavage or tearing), shearing or cracking (COPANT 463, determination method of parallel shear to fiber) and hardness (COPANT 465, method of determination of hardness).

### Compression parallel to the fiber

For the compression test parallel to the fiber, six 20.32 x 5.08 x 5.08 cm test pieces were used. The load application was at the rate of 0.6 mm min<sup>-1</sup>. The obtained data allowed to determine the Efforts to the Proportional Limit (ELP<sub>c</sub>) and to the Maximum Load (ECM<sub>c</sub>) and the Elasticity Module (MOE<sub>c</sub>):

#### Stress at the Proportional Limit (ELP<sub>c</sub>)

$$ELP_c = \frac{P_2}{a*b} \quad (7)$$

Where:

ELP<sub>c</sub> = Stress at the Proportional Limit (kgf cm<sup>2</sup>)  
 P<sub>2</sub> = Load in the proportional limit (kgf)  
 a = Width of the test specimen (cm)  
 b = Thickness of the test specimen (cm)

#### Stress to Maximum Load (ECM<sub>c</sub>)



### Módulo de elasticidad (MOE<sub>c</sub>)

$$MOE_c = \frac{P2 * L}{d * a * b} \quad (9)$$

Donde:

MOE<sub>c</sub> = Módulo de elasticidad (kgf cm<sup>-2</sup>)  
 P2 = Carga en el límite de proporcionalidad (kgf)  
 L = Distancia entre las abrazaderas del deflectómetro (cm)  
 d = Deformación sufrida por la probeta en el límite de proporcionalidad (cm)

### Compresión perpendicular a la fibra

El ensayo de compresión perpendicular a la fibra se realizó en seis probetas de 15.24 x 5.08 x 5.08 cm. La velocidad del ensayo fue de 0.3 mm min<sup>-1</sup>. El cálculo correspondiente es el esfuerzo al límite de proporcionalidad:

### Esfuerzo al límite proporcional (ELP)

$$ELP = \frac{P2}{S} \quad (10)$$

Donde:

ELP = Esfuerzo al límite proporcional (kgf cm<sup>-2</sup>)  
 P2 = Carga al límite proporcional (kgf)  
 S = Superficie impresa sobre la probeta por la pieza de presión (cm<sup>2</sup>)

### Tensión perpendicular a la fibra

El método de ensayo de tensión perpendicular a la fibra se llevó a cabo con 12 probetas de 5.08 x 5.08 x 6.35 cm. La mitad se elaboraron de tal forma que la superficie de rotura fuera un plano tangencial a los anillos de crecimiento y la otra mitad en un plano radial. La velocidad de aplicación de la carga del ensayo fue de 2.5 mm min<sup>-1</sup>. Con la carga soportada por la probeta se calculó el esfuerzo máximo a tensión perpendicular. Posteriormente, una sección de la superficie de rotura se destinó para calcular el contenido de humedad:

### Esfuerzo máximo a la tensión perpendicular a la fibra (EMT)

$$EMT = \frac{Pm}{A} \quad (11)$$

Donde:

EMT = Esfuerzo máximo a la tensión perpendicular a la fibra (kgf cm<sup>-2</sup>)  
 Pm = Carga máxima soportada por la probeta (kgf)  
 A = Área de la sección mínima (cm<sup>2</sup>)

$$ECM_c = \frac{P_m}{a * b} \quad (8)$$

Where:

ECM<sub>c</sub> = Stress to the maximum load (kgf cm<sup>-2</sup>)  
 P<sub>m</sub> = Maximum load (kgf)  
 a = Width of the test specimen (cm)  
 b = Thickness of the test specimen (cm)

### Modulus of Elasticity (MOE<sub>c</sub>).

$$MOE_c = \frac{P2 * L}{d * a * b} \quad (9)$$

Where:

MOE<sub>c</sub> = Modulus of Elasticity (kgf cm<sup>-2</sup>)  
 P2 = Load at the proportional limit (kgf)  
 L = Distance between the clamps of the deflectometer (cm)  
 d = Deformation of the test specimen at the proportional limit (cm)

### Compression perpendicular to the fiber

The test of compression perpendicular to the fiber was made in six 15.24 x 5.08 x 5.08 cm test specimens. The speed of the essay was 0.3 mm min<sup>-1</sup>. The corresponding calculation is the stress to the proporcionality limit:

### Stress at the Proportional Limit (ELP)

$$ELP = \frac{P2}{S} \quad (10)$$

Where

ELP = Stress at the Proportional Limit (kgf cm<sup>-2</sup>)  
 P2 = Load at the proportional limit (kgf)  
 S = Pressed surface over the test specimen by the pressure specimen (cm<sup>2</sup>)

### Tension perpendicular to the fiber

The test method of tension perpendicular to the fiber was carried out with 12 5.08 x 5.08 x 6.35 cm test specimens. Half of them were made in such a way that the rupture surface was on tangential plane to the growth rings and the other half on a radial plane. The speed of load application of the test was 2.5 mm min<sup>-1</sup>. The maximum stress in tension perpendicular to grain was calculated with the maximum load supported by the stest specimen. Subsequently, a section of the breaking surface was used to calculate the moisture content:



## Dureza Janka

El ensayo de dureza se hizo en seis probetas de prismas rectos, cuyas dimensiones fueron 5.08 x 5.08 x 5.08 cm. Cada probeta se trabajó en uno de los planos radial, tangencial y trasversal. El ensayo consistió en introducir una semiesfera de 1 cm<sup>2</sup> en cada una de las caras, con una velocidad de aplicación de carga de 6 mm min<sup>-1</sup>, que se mantuvo constante durante el ensayo, hasta conseguir la penetración total de la semiesfera, momento en que se detuvo la prensa y se retiró la probeta. Los valores de la penetración se expresan directamente en kilogramos fuerza.

## Cizalla o cortante paralelo a la fibra

Para el ensayo de cortante se utilizaron 12 probetas de 6.35 x 5.08 x 5.08 cm recortadas en una de sus caras. La mitad de ellas se preparó de manera que el plano de falla fuera tangente a los anillos de crecimiento y que la otra mitad de dicho plano, fuera radial; es decir, perpendicular a la tangente de los anillos de crecimiento. Las medidas de las probetas se comprobaron en el momento del ensayo, con la precisión requerida de acuerdo con su propósito.

La probeta se colocó en el dispositivo del cortante de manera que la cara de 5.08 x 6.35 cm quedara paralela a la pieza móvil, y se ajustó al accesorio para asegurar que la carga aplicada sobre ella produjera un esfuerzo paralelo lo más cercano al cortante. La velocidad fue de 0.6 mm min<sup>-1</sup> y solo se registró la carga máxima:

## Esfuerzo máximo de cortante ( $EM_v$ )

$$EMT_v = \frac{P_m}{S} \quad (12)$$

Donde:

$EMT_v$  = Esfuerzo máximo de cortante (kgf cm<sup>-2</sup>)  
 $P_m$  = Carga máxima soportada por la probeta (kgf)  
 $S$  = Superficie del plano en que se produce el cortante (cm<sup>2</sup>)

## Desgarre o clivaje

Se elaboraron 12 probetas de 9.53 x 5.08 x 5.08 cm. La mitad se probaron de tal forma que la superficie de rajado fuera en un plano tangencial a los anillos de crecimiento, y la otra mitad en un plano radial. La velocidad de aplicación de carga fue de 2.5 mm min<sup>-1</sup> ± 0.6 mm min<sup>-1</sup>, y se continuó el ensayo hasta que se produjo la rajadura de la probeta:

## Maximum stress in tension perpendicular to grain ( $EMT$ )

$$EMT = \frac{P_m}{A} \quad (11)$$

Where:

$EMT$  = Maximum stress in tension perpendicular to grain (kgf cm<sup>-2</sup>)  
 $P_m$  = Maximum load supported by the test specimen (kgf)  
 $A$  = Minimal section area (cm<sup>2</sup>)

## Janka Hardness

The hardness test was performed on 6 straight prism test specimens whose dimensions were 5.08 x 5.08 x 5.08 cm. Each specimen was tested in one of the radial, tangential and transverse planes. The test consisted in introducing a hemisphere of 1 cm<sup>2</sup> on each side, with a load application rate of 6 mm min<sup>-1</sup>, keeping it constant during the test until the total penetration of the hemisphere was reached, at which point the press stops and the test piece is removed. The penetration values are expressed directly in force kilograms.

## Shear parallel to the fiber

The test specimens for the shear test were 12, 6.35 x 5.08 x 5.08 cm, cut into one of their faces. Half of them were prepared so that the plane of failure would be tangential to the growth rings and that the other half were, radial, that is, perpendicular to the tangent of the growth rings. The dimensions of the test specimens were verified at the time of the test, with the precision required according to their purpose.

The test specimen was placed in the shear device so that the 5.08 x 6.35 cm face would be parallel to the moving part and fitted to the attachment to ensure that the load applied on it produced a parallel stress closest to the shear. The speed was 0.6 mm min<sup>-1</sup> and only the maximum load was recorded:

## Maximum stress in shear parallel to grain ( $EM_v$ )

$$EMT_v = \frac{P_m}{S} \quad (12)$$

Where:

$EMT_v$  = Maximum stress in shear parallel to grain (kgf cm<sup>-2</sup>)  
 $P_m$  = Maximum load borne by the test specimen (kgf)  
 $S$  = Surface of the shearing face (cm<sup>2</sup>)



Resistencia máxima de clavaje (RMC)

$$RMC = \frac{Pm}{a} \tag{13}$$

Donde:

- RMC = Resistencia máxima de clavaje (kgf cm<sup>-1</sup>)
- Pm = Carga máxima soportada por la probeta (kgf)
- a = Ancho del plano de rajado de la probeta (cm)

Resultados y Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos para las propiedades físicas y mecánicas, y a la clasificación propuesta por FPL (1974), Aróstegui (1980), Bárcenas (1985), IAWA (1989), Fuentes *et al.* (2002) y Sotomayor y Ramírez (2013), la madera de *T. grandis* procedente de la plantación forestal comercial de Nuevo Urecho, Michoacán tiene las características que se describen a continuación.

Propiedades físicas

La madera de *T. grandis* presenta una densidad básica de 0.59 g cm<sup>-3</sup>, se cataloga como pesada. Respecto a las propiedades relacionadas con cambios dimensionales, los valores obtenidos para las contracciones volumétrica, tangencial y radial la clasifican como estable en sus dimensiones, con una contracción volumétrica total muy baja (5.15 %) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Propiedades físicas de la madera de *Tectona grandis* L. f., Nuevo Urecho, Michoacán.

Propiedad física		Contenido de Humedad (CH)				Clasificación
		48.0 %				
		Promedio	Máximo	Mínimo	DE	
Densidad (g cm <sup>-3</sup> )	Básica	0.59	0.62	0.52	0.02	Medianamente pesada (FPL, 1974)
	Verde	0.87	0.98	0.72	0.06	
	Anhidra	0.62	0.66	0.55	0.02	
Contracción total (%)	Radial	1.61	2.56	0.78	0.52	Muy Baja (Fuentes <i>et al.</i> , 2002)
	Tangencial	2.99	7.28	1.74	1.49	Muy Baja (Fuentes <i>et al.</i> , 2002)
	Volumétrica	5.15	10.08	3.61	1.79	Muy baja (Fuentes <i>et al.</i> , 2002)
Relación de Anisotropía (RAN) (adimensional)	RAN	2.02	4.36	0.98	1.03	Medio (Sotomayor y Ramírez, 2013)

DE = Desviación Estándar

Cleavage

Twelve test specimens of 9.53 x 5.08 x 5.08 cm were prepared. Half of them were tested in such a way that the cleaving surface was in a tangential plane to the growth rings and the other half in a radial plane. The speed of testing was 2.5 mm min<sup>-1</sup> ± 0.6 mm min<sup>-1</sup> and the test continued until the crack of the test specimen occurred.

Maximum cleavage strength (RMC)

$$RMC = \frac{Pm}{a} \tag{13}$$

Where:

- RMC = Maximum cleavage strength (kgf cm<sup>-1</sup>)
- Pm = Maximum load supported by the test specimen (kgf)
- a = Width of the cleavage plane of the test specimen (cm)

Results and Discussion

According to results obtained in the tests for physical and mechanical properties and the classification proposed by FPL (1974), Aróstegui (1980), Bárcenas (1985), IAWA (1989), Fuentes *et al.* (2002) and Sotomayor and Ramírez (2013), the *T. grandis* wood from the commercial forest plantation of Nuevo Urecho, Michoacán has the following characteristics:

Table 2. Physical properties of *Tectona grandis* L. f wood., Nuevo Urecho, Michoacán.

Physical property		Moisture Content (CH)				Classification
		48.0 %				
		Average	Maximum	Minimal	DE	
Density (g cm <sup>-3</sup> )	Basic	0.59	0.62	0.52	0.02	Moderately heavy (FPL, 1974)
	Green	0.87	0.98	0.72	0.06	
	Anhydrous	0.62	0.66	0.55	0.02	
Total shrinkage (%)	Radial	1.61	2.56	0.78	0.52	Very low (Fuentes <i>et al.</i> , 2002)
	Tangential	2.99	7.28	1.74	1.49	Very low (Fuentes <i>et al.</i> , 2002)
	Volumétrica	5.15	10.08	3.61	1.79	Very low (Fuentes <i>et al.</i> , 2002)
Anisotropy ratio (RAN) (dimensionless)	RAN	2.02	4.36	0.98	1.03	Medium (Sotomayor and Ramírez, 2013)

DE= Standard deviation.

En el Cuadro 3 se muestran los valores de densidad básica para maderas de teca de diferentes procedencias y edades. El resultado de densidad básica en el presente estudio es similar al indicado para la especie procedente de plantaciones de Bolivia de ocho años de edad, con 0.58 g cm<sup>-3</sup> (Rivero y Moya, 2012) y de México en plantaciones de 21 años de edad, con una densidad básica de 0.60 g cm<sup>-3</sup> (Rodríguez *et al.*, 2014).

El efecto que produce la edad del cambium sobre la densidad básica, con base peso anhidro/volumen verde (Po/Vv) de la madera no está claramente establecido para muchos taxa, debido a que interactúa con otros factores como el manejo silvícola, la genética, la especie, la localización geográfica, el sitio y la altitud, entre otros (Zobel y Van Buijtenen, 1989).

La relación de anisotropía (RAN) es un índice para conocer el comportamiento dimensional de la madera durante el secado; por la generación de defectos debido a distorsiones y alabeos, entre mayor sea, se hace más alta la probabilidad de que ocurra una distorsión o deformación en la pieza de madera por el cambio de humedad en un proceso de secado, o cuando la madera esté en servicio (Muñoz y Moreno, 2013). El coeficiente diferencial RAN indicó, que la contracción tangencial es dos veces la contracción radial (Cuadro 2), que coincide con lo registrado por Simpson y Tenwolde (1999). Al comparar la relación de anisotropía de *T. grandis* de otras procedencias (Cuadro 3), en Bolivia Rivero y Moya (2012) registraron contracciones totales de 2.12 % y la clasificaron como moderadamente estable. En plantaciones de Ecuador, presentó 2.96 % y Gutiérrez *et al.* (2008) la consideraron

### Physical properties

The *T. grandis* wood has a basic density of 0.59 g cm<sup>-3</sup>, which classified it as heavy. In regard to the properties related to the dimensional changes, the values obtained for volumetric, tangential and radial shrinkage classify teak as stable in its dimensions, with a very low total volume shrinkage (5.15 %) (Table 2).

Table 3 shows the basic density values for planted teak woods from different origins and ages. The basic density result obtained in the present study is similar to those of other studies of teak wood from eight-year-old Bolivia plantations with 0.58 g cm<sup>-3</sup> (Rivero and Moya, 2012) and from 21-years-old plantations of Mexico with a basic density of 0.60 g cm<sup>-3</sup> (Rodríguez *et al.*, 2014).

The effect of the cambium age on the wood basic density of wood is not clearly established for many species, because it interacts with other factors such as silvicultural management, genetics, the species, geographical location, site and altitude, among others (Zobel and Van Buijtenen, 1989).

The anisotropy ratio (RAN) is an index to know the dimensional behavior of the wood during drying; by the generation of defects due to distortions and warps, the ratio the higher the occurrence probability of a distortion or deformation in the piece of wood due to the change of moisture in a drying process or when the wood is in service (Muñoz and Moreno, 2013). The differential coefficient RAN indicated that the tangential contraction is

como madera inestable; mientras que en Costa Rica, Muñoz y Moreno (2013) la definen de baja deformación, con 1.27 %. En general, la madera de teca de este estudio y de otras procedencias tiene estabilidad dimensional similar.

twice the radial contraction (Table 2), which coincides with that reported by Simpson and Tenwolde (1999). Rivero and Moya (2012) in Bolivia recorded an anisotropy ratio of 2.12 % and classified it as moderately stable. In plantations in Ecuador,

Cuadro 3. Comparación de las propiedades físicas para *Tectona grandis* L. f. en estudios de otras procedencias.

Propiedad física		Ecuador <sup>a</sup>	Bolivia <sup>b</sup>	Costa Rica <sup>c</sup>	Brasil <sup>d</sup>	México <sup>e</sup>		
						Campeche	Tabasco	Chiapas
		22	8	9	13	9	15	21
		años	años	años	años	años	años	años
Contenido de Humedad (C H)		51.53	106.68	-	-	-	-	-
	Básica	-	0.58 Mediana	0.55	0.53 Pesada	0.55	0.66	0.60
Densidad (g cm <sup>-3</sup> )	Verde	0.98	-	0.63	-	-	-	-
	Anhidra	0.52 Mediana	0.54 Mediana	-	0.54	-	-	-
	Radial (%)	2.04	2.57	4.34 Moderada	2.40	0.76	1.00	0.73
	Tangencial (%)	5.66	5.33	5.34 Ligeramente grande	4.21	1.80	1.90	1.80
Contracción total	Volumétrica (%)	8.11 Muy baja	8.01 Muy baja	7.40 Media	6.84	-	-	-
	T/R (%)	2.96 Alta o inestable	2.12 Moderadamente estable	1.27 Baja deformación	-	-	-	-
Relación de Anisotropía		-	-	-	1.82	2.40	1.90	2.40

<sup>a</sup>= Gutiérrez et al., 2008; <sup>b</sup> = Rivero y Moya, 2012; <sup>c</sup> = Muñoz y Moreno, 2013; <sup>d</sup> = Blanco et al., 2014; <sup>e</sup> = Rodríguez et al., 2014.



Table 3. Comparison of physical properties for *Tectona grandis* L. f. in studies from different sources.

Physical property		Ecuador <sup>a</sup>	Bolivia <sup>b</sup>	Costa Rica <sup>c</sup>	Brazil <sup>d</sup>	México <sup>e</sup>		
						Campeche	Tabasco	Chiapas
		22	8	9	13	9	15	21
		years-old	years-old	years-old	years-old	years-old	years-old	years-old
Moisture Content (C H)		51.53	106.68	-	-	-	-	-
	Basic	-	0.58 Medium	0.55	0.53 Heavy	0.55	0.66	0.60
Density (g cm <sup>-3</sup> )	Green	0.98	-	0.63	-	-	-	-
	Oven-dry	0.52	0.54	-	0.54	-	-	-
		Medium	Medium					
	Radial (%)	2.04	2.57	4.34 Moderate	2.40	0.76	1.00	0.73
	Tangential (%)	5.66	5.33	5.34 lightly big	4.21	1.80	1.90	1.80
Total shrinkage	Volumetric (%)	8.11	8.01	7.40 Medium	6.84	-	-	-
	T/R (%)	2.96	2.12	1.27 Low deformation	-	-	-	-
		High or unstable	Moderately stable					
Anisotropy ratio		-	-	-	1.82	2.40	1.90	2.40

<sup>a</sup> = Gutiérrez *et al.*, 2008; <sup>b</sup> = Rivero and Moya, 2012; <sup>c</sup> = Muñoz and Moreno, 2013; <sup>d</sup> = Blanco *et al.*, 2014; <sup>e</sup> = Rodríguez *et al.*, 2014.

El resultado de la relación de anisotropía para la especie mostró un valor de 2.02 (Cuadro 2), que de acuerdo con Sotomayor y Ramírez (2013) se clasifica como medio; Silva *et al.* (2010) refieren que 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 de temperatura. Entre más bajos son los valores de anisotropía, se infiere una mayor estabilidad de la madera. Este valor coincide con los registros para plantaciones de teca en Brasil (Blanco *et al.*, 2014), cuya relación de anisotropía media fue de 1.82 (Cuadro 3); y para los estudios realizados en el sureste de México, Rodríguez *et al.* (2014) mencionan que la clasificación de anisotropía va de media a alta (Cuadro 3).

### Propiedades mecánicas

Una de las principales funciones de la madera en el tronco y las ramas del árbol vivo es la de soporte mecánico, por lo que

*T. grandis* reached 2.96 % and Gutiérrez *et al.* (2008) considered it an unstable wood, while in Costa Rica, Muñoz and Moreno (2013) define it as a wood of low deformation with 1.27 %. In general, the species of this study and of other origins has similar dimensional stability.

The result of the anisotropy relationship for the wood of species showed a value of 2.02 (Table 2), which according to Sotomayor and Ramírez (2013) is classified as medium; according to Silva *et al.* (2010), dimensional stability is a useful qualitative term to qualify the dimensional movement of the wood exposed to cyclical changes of relative air relative humidity and temperature. The lower the anisotropy values, the greater stability of the wood is inferred. This value coincides with the results obtained for teak wood from plantations evaluated by Blanco *et al.* (2014) in Brazil, obtaining an average anisotropy ratio of 1.82 (Table 3); and for the studies carried

una vez transformada esta materia prima en algún producto, dicha propiedad continúa desempeñando un papel esencial en muchas formas de uso.

La compresión paralela ocurre cuando una fuerza actúa de manera paralela a las fibras y corresponde a la resistencia que opone una columna a una carga aplicada en el mismo sentido de la dirección de la fibra; los resultados del ensayo en la madera de *Tectona grandis* a la edad de 11 años revelaron una resistencia de 326.1 kgf cm<sup>-2</sup>, por lo que se clasifica como alta (Dávalos y Bárcenas, 1998) (Cuadro 4). Dicho valor fue similar al que Rivero y Moya (2012) dieron a conocer, MOR de 4606 kg cm<sup>-2</sup>, e igualmente la clasificaron como alta para una edad de ocho años (Cuadro 5).

in southeastern Mexico, Rodríguez *et al.* (2014) mention that the classification of anisotropy ranges from medium to high (Table 3).

### Mechanical properties

One of the main functions of the wood in the stem and branches of the living tree is that of mechanical support, so once this raw material has been transformed into a product, this property continues to play an essential role in many forms of use.

Compression parallel occurs when a force acts parallel to the fibers and corresponds to the resistance that opposes a column to a load applied in the same direction of the direction of the

Cuadro 4. Propiedades mecánicas de la madera de *Tectona grandis* L. f. en Nuevo Urecho, Michoacán.

Propiedad mecánica	Tipo de resistencia*	Resistencia media	Máxima	Mínima	Desviación Estándar	Contenido de Humedad (%)	Clasificación
Compresión paralela a la fibra	ELP <sub>c</sub> (kgf cm <sup>-2</sup> )	252.7	314.2	175.0	52.9	18.9	Baja (Aróstegui, 1980)
	ECM <sub>c</sub> (kgf cm <sup>-2</sup> )	326.1	368.8	287.7	31.1	18.9	Alta (Dávalos y Bárcenas, 1998)
	MOE <sub>c</sub> x100 (kgf cm <sup>-2</sup> )	182 053	224 040	127 588	32 601	18.9	Muy Alta (Aróstegui, 1980)
Compresión perpendicular a la fibra	ELP (kgf cm <sup>-2</sup> )	33.6	48.9	26.4	7.8	15.8	Bajo (Dávalos y Bárcenas, 1998; Aróstegui, 1980)
Tensión perpendicular	EMT (kgf cm <sup>-2</sup> )	41.2	55.4	26.1	8.3	24.1	Media (Aróstegui, 1980)
Desgarre o clivaje	RMC (kgf cm <sup>-2</sup> )	44.3	90.7	7.8	29.6	28.8	Media (Aróstegui, 1980)
Cizalla o cortante	EMV (kgf cm <sup>-2</sup> )	63.2	112.9	47.2	16.7	26.3	Bajo (Dávalos y Bárcenas, 1998)
							Media (Aróstegui, 1980)
Dureza Janka	Radial	545.2	878.3	348.8	177.5	14.6	Semidura (Dávalos y Bárcenas, 1998)
	Tangencial	545.7	785.5	389.8	133.2	14.6	
	Transversal (kg cm <sup>-2</sup> )	611.1	904.3	468.8	163.4	14.6	

\*ELP<sub>c</sub> = Esfuerzo al Límite Proporcional; ECM<sub>c</sub> = Esfuerzo a la Carga Máxima; MOE<sub>c</sub> = Módulo de Elasticidad; ELP = Esfuerzo en el límite proporcional; EMT = Esfuerzo Máximo de Tensión; RMC = Resistencia máxima de clivaje; EMV = Esfuerzo Máximo de Cortante; DE = Desviación Estándar.

Table 4. Mechanical properties of *Tectona grandis* L. f. wood in Nuevo Urecho, Michoacán.

Mechanical property	Type of resistance *	Medium resistance	Maximum	Minimum	Standard Deviation	Moisture Content (%)	Classification
Compression parallel to the fiber	ELP <sub>c</sub> (kgf cm <sup>-2</sup> )	252.7	314.2	175.0	52.9	18.9	Low (Aróstegui, 1980)
	ECM <sub>c</sub> (kgf cm <sup>-2</sup> )	326.1	368.8	287.7	31.1	18.9	High (Dávalos and Bárcenas, 1998)
	MOE <sub>c</sub> x100 (kgf cm <sup>-2</sup> )	182 053	224 040	127 588	32 601	18.9	Very high (Aróstegui, 1980)
Compression perpendicular to the fiber	ELP (kgf cm <sup>-2</sup> )	33.6	48.9	26.4	7.8	15.8	Low (Dávalos and Bárcenas, 1998; Aróstegui, 1980)
Perpendicular tension	EMT (kgf cm <sup>-2</sup> )	41.2	55.4	26.1	8.3	24.1	Medium (Aróstegui, 1980)
Cleavage	RMC (kgf cm <sup>-2</sup> )	44.3	90.7	7.8	29.6	28.8	Medium (Aróstegui, 1980)
Shear or shear parallel to the fiber	EMV (kgf cm <sup>-2</sup> )	63.2	112.9	47.2	16.7	26.3	Low (Dávalos and Bárcenas, 1998)
							Medium (Aróstegui, 1980)
Janka Hardness	Radial	545.2	878.3	348.8	177.5	14.6	Semihard (Dávalos and Bárcenas, 1998)
	Tangential	545.7	785.5	389.8	133.2	14.6	
	Transversal (kg cm <sup>-2</sup> )	611.1	904.3	468.8	163.4	14.6	

\*ELP<sub>c</sub> = Stress at the Proportional Limit; ECM<sub>c</sub> = Stress to Maximum Load; MOE<sub>c</sub> = Modulus of Elasticity; ELP = Stress at the Proportional Limit; EMT = Maximum stress in tension perpendicular to the fiber; RMC = Maximum cleavage strength; EM<sub>v</sub> = Maximum stress in shear parallel to grain; DE = Standard Deviation.

La compresión perpendicular ocurre cuando la fuerza solicitante actúa en dirección perpendicular a las fibras y corresponde a la resistencia que opone la madera a una carga aplicada en sentido perpendicular a la dirección de las fibras sobre una cara radial de la probeta (Cuadro 4). El esfuerzo de 33.6 kgf cm<sup>-2</sup> derivado del ensayo de compresión perpendicular en la madera de *Tectona grandis*, la clasifica como baja (Dávalos y Bárcenas, 1998; Aróstegui, 1980). Con respecto a los resultados de otras investigaciones de madera de teca, Gutiérrez *et al.* (2008) refieren un valor de ELP de 59.2 kg cm<sup>-2</sup> para plantaciones de 22 años de edad; estas cifras difieren de los de Moya *et al.* (2012) quienes establecieron que el valor de compresión perpendicular del ELP era de 263.0 kg cm<sup>-2</sup> (Cuadro 5).

The results of the test on *Tectona grandis* wood at age 11 revealed showed a maximum compressive stress of 326.1 kgf cm<sup>-2</sup>, which is classified as high (Dávalos and Bárcenas, 1998) (Table 4). This value was similar to that reported by Rivero and Moya (2012), in which MOR was 460.6 kg cm<sup>-2</sup>, and also classified as high for an age of eight years (Table 5).

Compression perpendicular occurs when the force acting in the direction perpendicular to the fibers and corresponds to the resistance that a piece of wood opposes to a load applied perpendicular to the direction of the fibers on a radial face of the specimen (Table 4). The stress at the proportional limit of 33.6 kgf cm<sup>-2</sup> derived from the perpendicular compression test in *Tectona grandis* wood, classifies it as low (Dávalos and Bárcenas, 1998; Aróstegui, 1980). Regarding the results of other studies of teak, Gutiérrez *et al.* (2008) report an ELP

La resistencia de la madera a fuerzas que actúan perpendicularmente a la fibra y que tienden a dividir a un miembro se llama esfuerzo de tensión perpendicular a la fibra. Al respecto, los resultados evidenciaron un comportamiento de EMT de 41.2 kgf cm<sup>-2</sup>, lo que ubica esta propiedad como media según Aróstegui (1980) (Cuadro 4). Esta información es útil para la industria de muebles para calcular el ensamblaje de madera conectada mecánicamente.

El ensayo de desgarre o clavaje indica una RMC de 44.3 kgf cm<sup>-2</sup> que, de acuerdo con Aróstegui (1980), se clasifica como media (Cuadro 4). Es superior a los valores de clavaje citados por Moya et al. (2012), de 5.9 a 6.5 kg cm<sup>-2</sup>, que la califican como baja (Cuadro 5).

Con respecto al ensayo de cizalla de la madera de *Tectona grandis*, la resistencia fue de baja a media de 63.2 kgf cm<sup>-2</sup>, según Dávalos y Bárcenas (1998) y Aróstegui (1980) (Cuadro 4). Esos datos son inferiores a los de Rodríguez et al. (2014) en madera de plantaciones del sureste mexicano (86.7 a 115.2 kgf cm<sup>-2</sup>) y conforme a la clasificación de Prospect (1997), la madera de 9 y 15 años se cataloga como blanda, mientras que la de 21 años, como muy blanda.

El ensayo de dureza registró valores promedio de 545 kgf para los planos laterales (tangencial y radial), que sustenta clasificar la resistencia de la madera estudiada dentro del intervalo de las semiduras; en tanto que, para los extremos (transversal) se observaron valores de 611 kgf, lo cual confirma su clasificación, de acuerdo a Dávalos y Bárcenas (1998) (Cuadro 4). Los valores de dureza señalados son superiores a los calculados por Gutiérrez et al. (2008), en Ecuador; en Bolivia, por Rivero y Moya (2012); y en el sureste mexicano, por Rodríguez et al. (2014); todos ellos coinciden en describir a *Tectona grandis* como una madera de blanda a muy blanda (Cuadro 5).

value of 59.2 kg cm<sup>-2</sup> for plantations of 22 years old; these figures differ from those of Moya et al. (2012) who established that the perpendicular compression value of the PLA was 263.0 kg cm<sup>-2</sup> (Table 5).

The strength of the wood to forces acting perpendicular to the fiber and tending to separate a piece of wood is called stress perpendicular to the fiber. The results of the test in tension perpendicular to the fiber showed maximum tensile stress (EMT) of 41.2 kgf cm<sup>-2</sup> which places this property as average according to Aróstegui (1980) (Table 4). This information is useful to the furniture industry for calculating the mechanically connected wood assembly.

The wood cleavage test indicates a CMR of 44.3 kgf cm<sup>-2</sup> which, according to Aróstegui (1980), is classified as medium (Table 4). This value is much higher than the values of cleavage found by Moya et al. (2012), from 5.9 to 6.5 kg cm<sup>-2</sup> who qualified it as low (Table 5).

With respect to the *Tectona grandis* wood shear test, the maximum stress of 63.2 kgf cm<sup>-2</sup>, which according to Dávalos and Bárcenas (1998) and Aróstegui (1980) (Table 4). This value is lower than those of Rodríguez et al. (2014) in plantations from southeastern Mexico ranging from 86.7 to 115.2 kgf cm<sup>-2</sup> and, according to the Prospect (1997) classification, 9 and 15 year old wood is classified as soft, and that 21 years old, as very soft.

The hardness test recorded average values of 545 kgf for the wood side planes (tangential and radial), which allows to classify the hardness strength of the studied wood within the range of the semi-hard; while for the end-sides (transverse), values of 611 kgf were observed, confirming their classification according to Dávalos and Bárcenas (1998) (Table 4). The indicated hardness values are higher than those from Ecuador calculated by Gutiérrez et al. (2008); in Bolivia by Rivero and Moya (2012)

Cuadro 5. Valores promedio de propiedades mecánicas para madera de *Tectona grandis* L. f. en estudios de diversas procedencias.

Propiedad	Ecuador <sup>a</sup>	Bolivia <sup>b</sup>	*	Brasil <sup>c</sup>	México <sup>d</sup>		
					Campeche	Tabasco	Chiapas
mecánica	22 años	8 años	-	13 años	9 años	15 años	21 años
Flexión estática	MOR (kg cm <sup>-2</sup> )	830.5	963.60	545	938.13	1 091.1	989.12
	MOE x100 (kg cm <sup>-2</sup> )	106 553	105 313.2	116 000	133 032.9	85 911.1	96 658.9
Compresión paralela a la fibra	MOR (kg cm <sup>-2</sup> )	426.2	460.6	373.0	479.3	356.9	438.5
		Bajo	Alta				448.7

Continúa Cuadro 5..



Continúa Cuadro 5..

Propiedad mecánica		Ecuador <sup>a</sup>	Bolivia <sup>b</sup>	*	Brasil <sup>c</sup>	México <sup>d</sup>		
						Campeche	Tabasco	Chiapas
		22	8	-	13	9	15	21
		años	años		años	años	años	años
Compresión perpendicular a la fibra	ELP (kg cm <sup>-2</sup> )	59.2 Bajo	70.9 Mediana	263.0	-	-	-	-
Dureza	Axial (kg)	383.5 Blanda	415.2 Blanda	397.0	475.2	418.1	499.7	407.9
	Perpendicular (kg)	423.5 Moderadamente dura	357.6 Muy blanda	401.0	-	203.9	285.5	214.1
Resistencia al cizallaje	Tangencial (kg cm <sup>-2</sup> )	-	125.1 Alta	-	-	98.9 Blanda	115.2 Blanda	86.7 Muy blanda
	Radial (kg cm <sup>-2</sup> )	-	122.6 Alta	-	-	-	-	-
Clivaje	Tangencial (kg cm <sup>-2</sup> )	-	-	5.9	-	-	-	-
	Radial (kg cm <sup>-2</sup> )	-	-	6.5	-	-	-	-
Extracción de clavos	Axial (kg)	60.0 Alta	58.0 Alta	40.0	-	-	-	-
	Perpendicular (kg)	86.5 Muy Alta	54.0 Alta	36.0	-	-	-	-

MOR = Módulo de ruptura; MOE = Módulo de elasticidad; ELP = Esfuerzo en el límite proporcional.

<sup>a</sup> = Gutiérrez et al., 2008; <sup>b</sup> = Rivero y Moya, 2012; <sup>c</sup> = Blanco et al., 2014; <sup>d</sup> = Rodríguez et al., 2014.

\* = Moya et al., 2012.

Table 5. Average values of the mechanical properties of *Tectona grandis* L. f. wood in several studies from different provenances.

Mechanical property		Ecuador <sup>a</sup>	Bolivia <sup>b</sup>	*	Brazil <sup>c</sup>	México		
						Campeche	Tabasco	Chiapas
		22	8	-	13	9	15	21
		years-old	años		years-old	years-old	years-old	years-old
Static bending	MOR (kg cm <sup>-2</sup> )	830.5 Low	963.60 Medium	545	938-1 356	938.13	1 091.1	989.12
	MOE x100 (kg cm <sup>-2</sup> )	106 553 Medium	105 313.2 Low	116 000	133 032.9	85 911.1	96 658.9 Very low	93 987.2

Continue Table 5..

Continue Table 5..

Mechanical property		Ecuador <sup>a</sup>	Bolivia <sup>b</sup>	*	Brazil <sup>c</sup>	México		
						Campeche	Tabasco	Chiapas
		22	8	-	13	9	15	21
		years-old	años		years-old	years-old	years-old	years-old
Compression parallel to the fiber	MOR	426.2	460.6	373.0	479.3	356.9	438.5	448.7
	(kg cm <sup>-2</sup> )	Low	High					
Compression perpendicular to the fiber	ELP	59.2	70.9	263.0	-	-	-	-
	(kg cm <sup>-2</sup> )	Low	Medium					
Hardness	Axial	383.5	415.2	397.0	475.2	418.1	499.7	407.9
	(kg)	Soft	Soft					
	Perpendicular	423.5	357.6	401.0	-	203.9	285.5	214.1
	(kg)	Moderately hard	Very soft					
Shear strength	Tangential	-	125.1	-	-	98.9	115.2	86.7
	(kg cm <sup>-2</sup> )		High			Soft	Soft	Very soft
	Radial	-	122.6	-	-	-	-	-
	(kg cm <sup>-2</sup> )		High					
Cleavage	Tangential	-	-	5.9	-	-	-	-
	(kg cm <sup>-2</sup> )							
	Radial	-	-	6.5	-	-	-	-
	(kg cm <sup>-2</sup> )							
Nail extraction	Axial	60.0	58.0	40.0	-	-	-	-
	(kg)	High	High					
	Perpendicular	86.5	54.0	36.0	-	-	-	-
	(kg)	Very high	High					

MOR = Modulus of Rupture; MOE = Modulus of Elasticity; ELP = Stress at the Proportional Limit.  
<sup>a</sup> = Gutiérrez *et al.*, 2008; <sup>b</sup> = Rivero and Moya, 2012; <sup>c</sup> = Blanco *et al.*, 2014; <sup>d</sup> = Rodríguez *et al.*, 2014.  
 \* = Moya *et al.*, 2012.

### Conclusiones

La madera de *Tectona grandis* de 11 años de edad procedente de la plantación de Nuevo Urecho, Michoacán presenta un valor promedio de densidad básica de 0.59 g cm<sup>-3</sup>, sin que exista claridad en el efecto que produce la edad sobre esta propiedad a partir de su interacción con otros factores.

Los resultados muestran que algunas propiedades de la madera se aproximan a las de maderas de teca en estudios de otras procedencias, como la contracción volumétrica total que es muy baja (5.15 %), considerada de estabilidad estable

and to those of the Mexican southeast by Rodríguez *et al.* (2014); all these authors coincide in describing *Tectona grandis* as a soft to very soft wood (Table 5).

### Conclusions

The 11-year-old *Tectona grandis* species from the Nuevo Urecho plantation, Michoacán, had a mean value of 0.59 g cm<sup>-3</sup> of basic density, without any clarity in the effect of age on the basic density from their interaction with other factors.

The results showed that some properties of the wood approach those of teak woods in studies of other sources,

en sus dimensiones. Para la compresión paralela se observa una resistencia de 326.1 kgf cm<sup>-2</sup>, la cual se clasifica como alta.

El ensayo de dureza (545 kgf) permite clasificar su resistencia dentro del intervalo de maderas semiduras.

Los resultados aplican, principalmente, para la zona de Nuevo Urecho, Michoacán y las características de plantación y manejo estudiadas, ya que las propiedades físicas y mecánicas pueden afectarse por las condiciones locales de clima, suelo, manejo y por sus características estructurales.

## Agradecimientos

Los autores desean dejar patente su agradecimiento al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias; Campo Experimental Uruapan por haber brindado apoyo a través de personal técnico y suministro del material de estudio. Al Instituto Tecnológico de El Salto, P.N., Durango por el apoyo de equipamiento.

## Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## Contribución por autor

Ricardo Telles Antonio: planeación y desarrollo de la investigación; análisis, procesamiento y captura de datos de información; redacción y estructura del documento; Juan Abel Nájera Luna: análisis de muestras en laboratorio, procesamiento de datos y revisión del documento; Eduardo Alanís Rodríguez: planeación y desarrollo de la investigación, revisión y estructura del escrito; Oscar Alberto Aguirre Calderón: planeación de la investigación y revisión del manuscrito; Javier Jiménez Pérez: planeación de la investigación y revisión del documento; Martín Gómez Cárdenas: planeación y desarrollo de trabajo en campo, revisión y estructura del documento; Hipólito Jesús Muñoz Flores: planeación y desarrollo de trabajo en campo, revisión y estructura del escrito.

## Referencias

- Aróstegui, V. 1980. Propiedades tecnológicas y uso de la madera de 40 especies del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt. *Revista Forestal del Perú* 10(1-2): 3-82.
- Bárceñas P., G. M. 1985. Recomendaciones para el uso de 80 maderas de acuerdo con su estabilidad dimensional: Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB), Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Madera (LACITEMA). Xalapa, Ver., México. 18 p.
- Blanco F., J., P. F. Trugilho, J. T. Lima, P. R. Gherardi H. y J. R. Moreira da S. 2014. Caracterización de la madera joven de *Tectona grandis* L. f. plantada en Brasil. *Madera y Bosques* 20(1): 11-20.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2014. Principales especies, maderables establecidas en PFC por año para el periodo 2000-2014. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/43/6019Principales%20especies%20maderables%20establecidas%20en%20PFC%20por%20Entidad%20Federativa%20en%202000%20-%202014.pdf> (10 de marzo de 2016).
- Comisión Panamericana de Normas Técnicas (Copant) 1972. Madera-Selección y colección de muestras (458, 459, 461, 462, 555, 464, 466, 742, y 743). Buenos Aires, Argentina. s/p

such as the total volumetric shrinkage that was very low (5.15 %) considered of stable stability in its dimensions. For the parallel compression a resistance of 326.1 kgf cm<sup>-2</sup> was observed, which is classified as high.

The hardness test (545 kgf) allows to classify its resistance within the range of semi-hardwoods.

The former results apply mainly to the area of *Nuevo Urecho, Michoacán* and the previously studied plantation and management conditions since the physical and mechanical properties can be affected by local climate, soil, management and structural characteristics.

## Acknowledgements

The authors would like to express their gratitude to the *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias*, in particular to the *Campo Experimental Uruapan* for their support through its technical personnel and by providing the study materials. Also, to the *Instituto Tecnológico de El Salto, P.N., Durango*, for lending its equipment.

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interests.

## Contribution by author

Ricardo Telles Antonio: planning and research development; analysis, processing and data capture of information; writing and document structure; Juan Abel Nájera Luna: analysis of laboratory samples, data processing and document review; Eduardo Alanís Rodríguez: planning and development of the research, review and structure of the document; Oscar Alberto Aguirre Calderón: study planning and review of the document; Javier Jiménez Pérez: study planning and review of the document; Martín Gómez Cárdenas: planning and development of fieldwork, review and structure of the document; Hipólito Jesús Muñoz Flores: planning and development of field work, review and structure of the document.

*End of the English version*

- Dávalos S., R. y G. M. Bárceñas P. 1998. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición "verde". *Madera y Bosques* 4(1): 65-70.
- Echenique M., R. y V. F. Robles F. 1993. Ciencia y Tecnología de la madera I. Textos Universitarios de la Universidad Veracruzana. Veracruz, Ver., México. 137 p.
- Fonseca G., W. 2004. Manual para productores de teca (*Tectona grandis* L. f) en Costa Rica. Heredia, Costa Rica. 121 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2010. La teca: una visión global. <http://ftp.fao.org/docrep/fao/x4565s/X4565s02.PDF> (10 de marzo de 2016).
- Forest Products Laboratory (FPL). 1974. Wood handbook: wood as an engineering material. USDA General Technical Report FPL-GTR-190. USDA Forest Service. Madison, WI, USA. 508 p.
- Fuentes, F., J. Silva, M. Lomelí, H. Richther y R. Sanjuán. 2002. Comportamiento higroscópico de la madera de *Persea americana* var. *guatemalensis* Mill (Hass). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 8(1): 49-56.

- Gutiérrez R., C., J. Romero E., S. Cunuhay P., L. Blanco G. y S. Fonseca C. 2008. Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera de teca (*Tectona grandis* L. f.) de Quevedo y Balzar. *Revista Ciencia y Tecnología* 1(2): 55-63.
- Hoheisel, H. 1981. Estipulaciones para los ensayos de propiedades físicas y mecánicas de la madera. Universidad Nacional de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Mérida, Venezuela. 51 p.
- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (Inegi). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Nuevo Urecho, Michoacán de Ocampo. Clave geoestadística 16059. [www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/16/16059.pdf](http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/16/16059.pdf) (12 de marzo de 2017).
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (Inafed). 2010. Michoacán de Ocampo. México. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMW16michoacan/index.html> (24 de febrero de 2016).
- International Association of Wood Anatomy (IAWA). 1989. List of microscopic features hardwood identification. *IAWA Bulletin* 10(3): 220-359.
- International Tropical Timber Organization (ITTO). 2013. World Teak Conference. Bangkok, Thailand. [http://www.itto.int/news\\_releases/id-3376](http://www.itto.int/news_releases/id-3376) (10 de marzo de 2016).
- Moya R., R., F. Muñoz A., C. Salas G., A. Berrocal J., L. Leandro Z. y E. Esquivel S. 2012. Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 7(18-19): 1-217.
- Muñoz A., F. y P. A. Moreno P. 2013. Contracciones y propiedades físicas de *Acacia mangium* Willd., *Tectona grandis* L. f. y *Terminalia amazonia* A. Chev, maderas de plantación en Costa Rica. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19(2): 287-304.
- Muñoz F., H. J., J. T. Sáenz R. y A. Rueda S. 2011. Especies promisorias de clima tropical para plantaciones forestales comerciales en Michoacán. Libro Técnico Núm. 11. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Mich., México. 202 p.
- Prospect. 1997. The wood database. Version 2.1. Oxford Forestry Institute. London, UK. n/p.
- Quiñones J., O. 1974. Características físicas y mecánicas de la madera de cinco especies mexicanas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Bol. Téc. Núm. 42. México, D. F., México. 19 p.
- Rivero M., J. y R. Moya R. 2012. Propiedades físico-mecánicas de la madera de *Tectona grandis* Linn. F. (teca), proveniente de una plantación de ocho años de edad en Cochabamba, Bolivia. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 3(9): 50-63.
- Rodríguez A., R., J. F. Zamora N., J. A. Silva G., E. Salcedo P. y F. J. Fuentes T. 2014. Propiedades físico-mecánicas de madera de teca de plantaciones comerciales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(24): 12-25.
- Silva G., J. A., F. J. Fuentes T., R. Rodríguez A., Torres, A. P. A., M. G. Lomelí R., J. Ramos Q., C. Waitkus y H. Richter G. 2010. Fichas de propiedades tecnológicas y usos de maderas nativas de México e importadas. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal. México. 207 p.
- Simpson, W. and A. Tenwolde. 1999. Physical properties and moisture relations of wood. In USDA Forest Products Staff (eds.). *Wood handbook: wood as an engineering material*. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. General Technical Report FPL-GTR-113. Madison, WI, USA. Vol. 3. pp. 3-23.
- Sotomayor C., J. R. y M. Ramírez P. 2013. Densidad y características higroscópicas de maderas mexicanas. Base de datos y criterios de clasificación. *Investigación e Ingeniería de la Madera* 9(3): 3-29.
- Zobel, B. and P. Van Buijtenen J. 1989. *Wood variation, its causes and control*. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 363 p.

