



ARTÍCULO / ARTICLE

# PROPIEDADES DE LA MADERA Y RELACIÓN DEL ESTADO NUTRIMENTAL CON EL CRECIMIENTO EN TECA

## PROPERTIES OF WOOD AND THE RELATIONSHIP BETWEEN NUTRITIONAL STATUS AND GROWTH IN TEAK PLANTATIONS

Alina Luisa Ypushima-Pinedo<sup>1</sup>, Eduardo Salcedo Pérez<sup>1</sup>, Ricardo Manríquez González<sup>1</sup>, José Antonio Silva Guzmán<sup>1</sup>, Juan Francisco Zamora Nátera<sup>2</sup> y Efrén Hernández Álvarez<sup>3</sup>

### RESUMEN

En México existe cada vez mayor interés en producir madera de calidad a partir de *Tectona grandis*, cuyo rendimiento sea capaz de satisfacer la demanda del mercado internacional, lo que es sumamente relevante ya que la teca tiene gran valor económico y su comercialización puede derivar en la obtención de importantes ganancias; sin embargo aún no se cuenta con suficiente información para lograrlo. En el presente estudio se evaluaron los caracteres anatómicos de densidad básica, de resistencia al ataque de hongos y de las condiciones edafoclimáticas en dos plantaciones de nueve años en los estados de Veracruz (húmedo) y Nayarit (seco). Hubo diferencias significativas según la procedencia de la planta respecto al diámetro total de fibra y de lumen, al grosor de la pared de las fibras, al diámetro total, a la longitud de los vasos y al porcentaje de duramen; por otro lado, no existieron en cuanto a la longitud de fibras, el ancho y largo de los radios y la densidad básica. La resistencia al efecto de los hongos por parte del duramen está en función del tipo de hongo y no de la plantación de origen. El Ca y el K foliar se relacionaron con la altura y el DAP, respectivamente; así como el Ca del suelo, pH y la CIC (capacidad de intercambio catiónico) con la altura. La proporción de duramen y el DAP fueron mayores en las maderas provenientes de Veracruz.

**Palabras clave:** Análisis foliar, características anatómicas de la madera, densidad básica, durabilidad, fertilidad de suelo, *Tectona grandis* L. f.

### ABSTRACT

In Mexico there is a growing interest in producing high-quality wood from *Tectona grandis* with a yield that can meet the demands of the international market; this is very relevant, as teak has a high economic value, and its commercialization may bring considerable profits. However, there is still not enough information to achieve this. The present study assessed the anatomical features of basic density, resistance to attack by fungi and edaphoclimatological conditions in two nine-year-old plantations in the states of Veracruz (humid) and Nayarit (dry). There were significant differences in the total fiber and lumen diameter, fiber wall thickness, total diameter, vessel length, and heartwood percentage, according to the origin of the plant; on the other hand, there were no differences in fiber length, width and length of the radii or density. Heartwood resistance to the effect of the fungi is determined by the type of fungus, not by the origin of the plantation. Foliar Ca and K were related to height and DBH, respectively. Soil Ca, pH and CEC (cation exchange capacity) were related to height. Both the heartwood proportion and DBH were higher in timber from Veracruz.

**Key words:** Foliar analysis, anatomic characteristics of wood, basic density, durability, soil fertility, *Tectona grandis* L. f.

Fecha de recepción/ receipt date: 28 de marzo de 2014; Fecha de aceptación/ acceptance date: 30 de junio de 2014.

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

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

<sup>3</sup> Departamento de Producción Forestal. Universidad de Guadalajara.

## INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales comerciales han tenido un gran auge a nivel mundial durante las últimas décadas; los géneros que ocupan mayor superficie son *Pinus* (poco más de 20 %), *Eucalyptus* (10 %), *Hevea* (5 %), *Acacia* (4 %) y *Tectona* (3 %); otras latifoliadas suman, en conjunto, 18 % y una variedad de coníferas alrededor de 11 % (Conafor, 2011). En México estas se localizan, principalmente, en Campeche, Veracruz, Tabasco, Chiapas, Nayarit y Michoacán y las especies maderables más importantes que se establecen en ellas son *Cedrela odorata* L. (22.2 %), *Eucalyptus* spp. (19.2 %), *Gmelina arborea* Roxb. (13.7 %), *Pinus* spp. (13 %), *Tectona grandis* L. f. (12.4 %) y *Swietenia macrophylla* King (4.6 %).

La extensión de terrenos con *Tectona grandis* se han incrementado de 141 ha (2001) a un total acumulado de 20 000 ha (2013), y ha sustituido el cultivo de diversas especies nativas (Conafor, 2013), lo que se debe a que tiene un alto valor comercial y, por ello, es atractiva para inversionistas y productores; hasta 2006 la madera de teca para aserrío proveniente de bosques naturales y de plantíos con más de 40 años de edad se cotizaba entre los 225 y 1 000 dólares por m<sup>3</sup>, en función del tamaño y la calidad (Anantha, 2006). Algunas características que se consideran, de forma cada vez más frecuente, en programas de reforestación es su rápido crecimiento, las características de su madera, los fustes rectos y su resistencia a plagas, entre otros (Chaves y Fonseca, 1991; FAO, 1992).

La teca se planta en 52 países y el área que cubre se estima en 4.35 millones ha (Kollert y Cherubini, 2012). De acuerdo con información de la ITTO (2010), Asia posee la mayor superficie (83 %), le sigue África (11 %), y por último, América Tropical (Costa Rica, Ecuador, Honduras, México, Panamá, Trinidad, Venezuela) con 6 %; no obstante, en la última década los cultivos más importantes están en Iberoamérica y se exportan troncos jóvenes a India, Europa y Estados Unidos de América, cuyo periodo de corta se estima de 20 a 25 años (Anantha, 2006).

Las plantaciones forestales comerciales disminuyen la presión de aprovechamiento sobre los bosques naturales y evitan su deforestación y se le da prioridad en superficies improductivas con vocación forestal (Conafor, 2011); así, todas ellas (con especies nativas o introducidas) le otorgan un valor agregado al producto maderable al ofrecer otros beneficios como: mejora en la calidad del aire, captura de carbono, conservación del hábitat natural de la fauna, incremento en la recarga de mantos acuíferos, menor erosión y privilegios sociales de paisajismo y recreación (Carballo, 1994; FAO, 2007).

En México se impulsa la creación de plantaciones forestales mediante incentivos económicos que aplican para sitios con condiciones ecológicas y edáficas variadas, por lo cual es común que el hábitat de la zona, la fertilidad del suelo y los

## INTRODUCTION

Commercial forest plantations have boomed worldwide during the last few decades; the genera that occupy the largest surface area in them are *Pinus* (slightly over 20 %), *Eucalyptus* (10 %), *Hevea* (5 %), *Acacia* (4 %) and *Tectona* (3 %); other broadleaves add up to 18 %, and a variety of conifers, to approximately 11 % (Conafor, 2011). In Mexico they are located mainly in *Campeche, Veracruz, Tabasco, Chiapas, Nayarit* and *Michoacán*, and the most important timber-yielding species established in them are *Cedrela odorata* L. (22.2 %), *Eucalyptus* spp. (19.2 %), *Gmelina arborea* Roxb. (13.7 %), *Pinus* spp. (13 %), *Tectona grandis* L. f. (12.4 %) and *Swietenia macrophylla* King (4.6 %).

The stretch of land with *Tectona grandis* has increased from 141 has (2001) to an accumulated total of 20 000 has (2013), and this species has replaced the cultivation of various native species (Conafor, 2013) due to its high commercial value, which renders it attractive to investors and producers. Until 2006, teak sawtimber from natural forests and plantations of over 40 years of age was priced between 225 and 1 000 USD per m<sup>3</sup> according to its size and quality (Anantha, 2006). Certain features that are increasingly being taken into account in reforestation programs are its rapid growth, the characteristics of its wood, its straight stems and its resistance to pests, among others (Chaves and Fonseca, 1991; FAO, 1992).

Teak is planted in 52 countries and is estimated to cover an area of 4.35 has (Kollert and Cherubini, 2012); according to information provided by the ITTO (2010), Asia has the largest surface (83 %), followed by Africa (11 %) and, lastly, Tropical America (Costa Rica, Ecuador, Honduras, Mexico, Panama, Trinidad and Venezuela), with 6 %. Nevertheless, in the last decade the most important crops are located in Spanish America, and young logs are exported to India, Europe and the United States of America. Its pruning cycle is estimated to be between 20 and 25 years (Anantha, 2006).

Commercial forest plantations reduce the exploitation pressure on natural forests and prevent their deforestation; priority is given to unproductive surfaces with a forest vocation (Conafor, 2011). Thus, all of them (including native or introduced species) add value to the timber product, since they offer other benefits such as an improvement of the air quality, carbon uptake, conservation of the natural habitat of the wildlife, an increase in the recharge of the aquifer, reduced erosion, and social privileges of landscaping and recreation (Carballo, 1994; FAO, 2007).

In Mexico, the creation of forest plantations is promoted through economic incentives that apply to sites with different ecological and edaphic conditions; therefore, the habitat of the area, soil fertility and the nutritional requirements of the plant are often overlooked; Vaides (2004) points out that frequently only the future production is considered in the case of *T. grandis*,

requerimientos nutricionales de la planta se pasen por alto. Vaides (2004) señala que en el caso de *T. grandis* es frecuente que solo se considere la producción futura, sin tomar en cuenta las necesidades básicas para su desarrollo adecuado y la afectación que pueden tener las propiedades de la madera, lo cual incide en su calidad, así como en el proceso de aprovechamiento y su industrialización (Cutter *et al.*, 2004; Saranpää, 2003).

Diversos estudios han relacionado las características físicas y químicas del suelo con la tasa de crecimiento, la acumulación de biomasa y las propiedades de la madera (Montero, 1999; Mollinedo, 2003); en este sentido, Bhat y Priya (2004) determinaron que cuando la teca proviene de lugares con baja fertilidad disminuye su resistencia mecánica, debido a que el parénquima tiene mejor desarrollo y se reduce el contenido de fibras. El clima del lugar también influye en la formación del duramen y en las propiedades físicas y químicas de la madera (Pérez y Kanninen, 2003; Kokutse *et al.*, 2004; Bhat *et al.*, 2005; Thulasidas y Bhat, 2007). En Costa Rica, Alvarado y Fallas (2004) registraron que, si el pH es menor a 6 se reduce el incremento medio anual en altura de 3.9 a 1.5 m año<sup>-1</sup>; además se ha observado que con valores inferiores a 5.5, se alteran las micorrizas y se afecta el desarrollo de los árboles (Alvarado *et al.*, 2004); en cambio, este aumenta cuando el calcio tiene niveles mayores a 68 % (Mollinedo *et al.*, 2005).

En México no hay información disponible que aporte evidencias útiles del comportamiento de la teca a las condiciones edafoclimáticas en las zonas de plantación; por lo tanto, es necesario realizar investigaciones sobre el comportamiento de las plantaciones de teca en distintos lugares del país para conocer la influencia de los factores edáficos y del contenido nutrimental foliar en el crecimiento de la planta. En el presente estudio se evaluaron las características de algunos elementos celulares de la madera (fibras, vasos y radios), el porcentaje de duramen, la densidad básica y la durabilidad natural; además, se relacionaron las condiciones edáficas y el contenido nutrimental foliar con el desarrollo de *T. grandis* en el trópico mexicano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se consideraron 16 árboles de teca de nueve años de edad, procedentes de dos plantaciones con espaciamentos de 3.5 x 3.5 m, una en el municipio Las Choapas (Veracruz) y otra en el municipio San Blas (Nayarit); en cada una de ellas se seleccionaron ocho ejemplares y se empleó un diseño estadístico completamente aleatorio. Se midieron la altura total y el diámetro a la altura del pecho (DAP= 1.30). El clima de los sitios es distinto, el de Veracruz corresponde a tropical húmedo y el de Nayarit al tropical seco (Cuadro 1).

while ignoring the basic needs for its adequate development and the affectation it may have on the properties of the wood; this has an impact on its quality and on the exploitation and industrialization process (Cutter *et al.*, 2004; Saranpää, 2003).

Several studies have related the physical and chemical characteristics of the soil with the growth rate, biomass accumulation and the properties of the wood (Montero, 1999; Mollinedo, 2003). In this sense, Bhat and Priya (2004) determined that, when teak originates from places with a low fertility, its mechanical resistance decreases because the parenchyma has a better development, and its fiber content is lower. The climate of the location also influences heartwood formation, as well as the physical and chemical properties of the wood (Pérez and Kanninen, 2003; Kokutse *et al.*, 2004; Bhat *et al.*, 2005; Thulasidas and Bhat, 2007). In Costa Rica, Alvarado and Fallas (2004) recorded a reduction in the annual mean height from 3.9 to 1.5 year<sup>-1</sup> with a pH below 6; besides, it has been observed that with values below 5.5 the *micorrhizae* are altered, and this affects the development of trees (Alvarado *et al.*, 2004); this, however, increases when calcium reaches levels above 68 % (Mollinedo *et al.*, 2005).

In Mexico there is no available information providing useful evidence of the behavior of teak in response to the edaphoclimatic conditions of the plantation areas. It is therefore necessary to research the behavior of teak plantations in different places in the country in order to know the influence of the edaphic factors and the foliar nutritional content on the growth of the plant. The present study evaluated the characteristics of some of the cell elements of wood (fibers, vessels and radii), the percentage of heartwood, the basic density and the natural durability; besides, the edaphic conditions and the foliar nutritional content were related to the development of *T. grandis* in the Mexican tropic.

## MATERIALS AND METHODS

16 nine-year old teak trees were considered; the trees were located in two different plantations with spacings of 3.5 x 3.5 m - one in Las Choapas municipality (Veracruz), and another in San Blas municipality (Nayarit). In each of these two plantations, eight specimens were selected, and a completely randomized statistical design was applied. The total height and the diameter at breast height (DBH = 1.30) were measured. The site of Veracruz has a tropical humid climate, whereas the site of Nayarit has a tropical dry climate (Table 1).

### Edaphic description

A compound sample was taken for each tree at a depth of 40 cm.

Cuadro 1. Características de los sitios de estudio.  
Table 1. Characteristics of the study sites.

Localidad	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)
Veracruz	17°07' - 18°00'	93° 36' - 94° 19'	10	22 a 28	2 400 a 3 100
Nayarit	21°20' - 21°45'	105°01' - 105°28'	30	22 a 28	1 300 a 2 000

Localidad = Locality; Latitud = Latitude; Longitud = Longitude; Altitud = Altitude; Temperatura = Temperature; Precipitación = Precipitation

## Caracterización edáfica

Se tomó una muestra de suelo compuesta para cada árbol a una profundidad de 40 cm.

Los análisis químicos de los macro y micronutrientes (potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc y cobre) se realizaron por espectrofotometría de absorción atómica mediante un espectrofotómetro Varian AA240FS; el fósforo se determinó a partir del método de molidovanadato de amonio y se usó un espectrofotómetro ultravioleta/visible LaboMed,inc® Spectro 23 RS; el nitrógeno foliar por digestión Kjeldahl y el nitrógeno nítrico por digestión microKjeldahl.

La evaluación de la materia orgánica se hizo a través del carbono orgánico presente con el procedimiento de Walkley y Black; el pH se obtuvo por medio de un potenciómetro Orion research 301 Analog Bench con una suspensión 1:2 de suelo y agua; para la capacidad de intercambio de cationes (CIC) se utilizó la técnica de acetato de amonio; y para la textura, el del hidrómetro de Bouyoucos.

## Análisis foliar

Con el fin de conocer el contenido mineral de las hojas, se recolectaron muestras del tercio superior de la copa viva de cada ejemplar y se eligieron aquellas que estuvieran iluminadas por completo y libres de daños o enfermedades visibles.

Los procedimientos empleados están descritos por Helrich (1990) y se interpretó según la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (Semarnat, 2002) para el diagnóstico de los requerimientos nutricionales para cultivos agrícolas ajustado para especies forestales, ya que son diferentes y la información disponible para estas es escasa; los resultados permitieron visualizar el nivel en que está cada una de las plantaciones evaluadas, adicionalmente fueron caracterizadas por medio de la guía para la interpretación de análisis foliar (Drechsel y Zech, 1991).



The chemical analyses of the macro and micronutrients (potassium, calcium, magnesium, iron, manganese, zinc and copper) were carried out by using atomic absorption spectrophotometry with a Varian AA240FS spectrophotometer; phosphorus was determined by the ammonium molybdovanadate method and it was used a LaboMed,inc® Spectro 23 RS UV/visible spectrophotometer; foliar nitrogen was determined by Kjeldahl digestion, and nitric nitrogen, by micro-Kjeldahl digestion.

The organic matter was assessed through the organic carbon present by using the Walkley and Black procedure; the pH was obtained by means of a potentiometer Orion research 301 Analog Bench with a 1:2 suspension of soil and water; for the cation exchange capacity (CEC), the ammonium acetate technique was utilized, and for the texture, the Bouyoucos hydrometer method.

## Foliar analysis

In order to determine the mineral content of the leaves, samples were collected from the upper third of the living crown of every specimen, and only those that were fully illuminated and free of damage or visible diseases were selected.

The procedures used are described by Helrich (1990) and were interpreted according to the NOM-021-SEMARNAT-2000 Mexican Official Norm (Semarnat, 2002) for the diagnosis of the nutritional requirements for agricultural crops adjusted for forest species, as they are different and the available information is scarce. The results made it possible to visualize the level at which each of the evaluated plantations were additionally characterized by using the leaf analysis interpretation guide (Drechsel and Zech, 1991).

## Anatomic characterization

Wood was microscopically described, and its density, heartwood percentage and durability were determined based on 50 cm logs at breast height. For the anatomical characterization of the cell elements, a longitudinally oriented wood cube was obtained, and splinters of early and late wood were drawn in order to form the compound sample; these were placed in a test tube with

## Caracterización anatómica

La madera se caracterizó de forma microscópica y su densidad, porcentaje de duramen y durabilidad, se determinaron a partir de trozas de 50 cm de longitud a la altura del pecho. En el caso de la caracterización anatómica de los elementos celulares se trabajó con un cubo de madera orientado de manera longitudinal y se obtuvieron astillas de madera temprana y tardía para formar la muestra compuesta, estas se colocaron en un tubo de ensayo con la solución disociadora de Franklin (mezcla 1:2 de ácido acético glacial y peróxido de hidrógeno al 30 %), y se dejó en baño María a 60 °C, hasta quedar suaves y blanquecinas; para eliminar el exceso de reactivo se agregó agua en cantidad suficiente.

Se prepararon láminas con el material procesado (IAWA, 1989) y se midió la longitud de 25 fibras mediante fotografías digitales a un aumento de 4X, en el caso del diámetro del lumen; para el diámetro total de la fibra y el grosor de la pared celular se utilizó el aumento 40X. Se obtuvieron probetas de 1 cm de cada lado que se ablandaron por ebullición con agua y se realizaron en un micrótopo *AO Cientific Instrument 860* cortes histológicos transversales, tangenciales y radiales con un grosor variable de 15 a 30  $\mu\text{m}$  y se hicieron láminas permanentes (IAWA, 1989), y se observaron en un microscopio *Wild Heerbrugg M12-83632*. Se midieron 25 vasos de madera tanto temprana como tardía sobre las fotografías digitales 4X y se determinó el diámetro total de los vasos en la sección transversal y la longitud en la radial. Para el ancho y largo de los vasos se midieron 25 radios en la sección tangencial a un aumento de 4X. Estos elementos anatómicos fueron medidos con el programa *Arcview GIS 3.2*.

El análisis del duramen se efectuó a partir de rodajas de 5 cm de espesor (19.3 de diámetro promedio para árboles de Veracruz y 17.6 cm en los de Nayarit), las cuales se dejaron secar a temperatura ambiente y pulieron en una de las superficies transversales con lijas de granulometría decreciente (80-100-120), se realizaron dos mediciones ortogonales del diámetro de las rodajas sin corteza y del duramen (sentidos norte-sur y este-oeste), la médula se tomó como el centro. El límite del área del duramen se apreció macroscópicamente por inspección visual (fue muy marcado); a partir de las áreas obtenidas se calculó su proporción y se expresó como porcentaje del área total sin corteza de la sección transversal.

Para evaluar la densidad se siguieron las especificaciones de la norma *ASTMD-2395-02* (ASTM, 2003): se determinó el peso húmedo de las muestras y fueron secadas en horno *Felisa FE-292* a 105 °C por 24 horas, a peso constante, la densidad básica se estimó con la relación entre el peso seco y el volumen verde.

Franklin's dissociating solution (a 1:2 mixture of glacial acetic acid and hydrogen peroxide at 30 %) and were left in a double boiler at 60 °C until they turned soft and whitish; in order to eliminate the excess reagent, water was added in a sufficient amount.

Slides were prepared with the processed material (IAWA, 1989) and measured the length of 25 fibers using 4X digital photographs for the lumen diameter; for the total diameter of the fiber and cell wall thickness, the magnification was 40X. Test tubes of 1 cm on each side were softened by boiling in water. In a *AO Cientific Instrument 860* microtome where were made transversal, tangential and radial histological cuts, with a variable thickness of 15 to 30  $\mu\text{m}$ , and permanent slides were prepared (IAWA, 1989), and they were observed in a *Wild Heerbrugg M12-83632* microscope. 25 cups vessels of early and late wood were measured on the 4X digital photographs, and the total diameter of the vessels in the cross-section and the longitude in the radial section were determined. For the length and width of the vessels, 25 radii were measured in the tangential section with a 4X magnification. These anatomical elements were measured by using the *Arcview GI 3.2* software.

The heartwood analysis was carried out based on 5 cm thick slices (with an average diameter of 19.3 for trees from Veracruz, and of 17.6 cm for trees from Nayarit), which were left to dry at room temperature and were polished on one of the transversal surfaces using sandpaper of decreasing grain sizes (in the north-south and east-west directions). The boundary of the heartwood area (which was highly marked) was macroscopically appreciated through visual inspection; based on the resulting areas, the heartwood proportion was calculated and expressed as a percentage of the total area of the transversal section without the bark.

The density was evaluated according to the specifications of the *ASTMD-2395-02* norm (ASTM, 2003): the wet weight of the samples was determined, and these were oven-dried with a *Felisa FE-292* oven at 105 °C during 24 hours at constant weight; the basic density was estimated using the ratio between the dry weight and the green volume.

The durability was calculated based on the procedures for accelerated laboratory assays described in the *ASTM D-2017-05* norm (ASTM, 2007); organic soil was used as culture medium, and the xylophagous fungi were *Trametes versicolor* (L.: Fr) Pilát, *Phanerochaete chrysosporium* Burds. (white rot fungi) and *Gloeophyllum trabeum* (Pers. ex Fr.) Murr. (a brown rot fungus); these are recommended in the Norm due to their aggressiveness and their frequent occurrence in broadleaf woods. The fungal material was obtained from the collection of strains of the Laboratory of Properties and Uses of Wood, at the Wood, Cellulose and Paper Department of the *Universidad de Guadalajara*. In order to verify the fungal

La durabilidad se obtuvo con base en los procedimientos para ensayos acelerados de laboratorio que se describen en la norma ASTM D-2017-05 (ASTM, 2007); se empleó suelo orgánico como medio de cultivo; y los hongos xilófagos utilizados correspondieron a *Trametes versicolor* (L.: Fr) Pilát, *Phanerochaete chrysosporium* Burds. (hongo de pudrición blanca) y *Gloeophyllum trabeum* (Pers. ex. Fr.) Murr. (hongo de pudrición parda); estos se recomiendan en la Norma por su agresividad y frecuente presencia en maderas latifoliadas. El material fúngico se seleccionó de la colección de cepas del Laboratorio de Propiedades y Usos de la Madera del Departamento de Madera, Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara. Para comprobar la actividad fúngica se utilizaron especímenes testigo de baja durabilidad. Así, en la madera de *Alnus* spp. se inoculó *P. chrysosporium* y en *Pinus* spp., *G. trabeum*, la durabilidad se expresó como el porcentaje de pérdida de peso seco al horno del material expuesto durante 16 semanas al ataque de los tres hongos indicados.

Los datos fueron analizados mediante el programa *Statgraphics Centurion* XV.11 versión 15.2.06, mediante un análisis de varianza (ANOVA) y en el caso de existir diferencias notables entre las dos procedencias ( $P < 0.05$ ), se realizó la Prueba de Rangos Múltiples, el ANOVA se utilizó para evaluar la importancia de la plantación de origen en las propiedades de la madera de teca. Se generó una matriz de correlación de Pearson para conocer la relación entre el suelo, el contenido nutrimental foliar y el crecimiento en teca.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de la caracterización física y química básica de los suelos para cada sitio de estudio. El pH para ambas plantaciones fue ácido y solo el de Nayarit (5.12) estuvo dentro de los niveles señalados por Drechsel *et al.* (1990) como adecuados para *T. grandis* (4.7 a 7). Al respecto, Briscoe (1995) indica que el desarrollo de esta especie es mejor con un pH entre 6.5 y 7.5, lo que coincide con Vaides (2004) y Montero (1999), quienes consignan que cuando el pH corresponde al intervalo de 5.3 y 7.0 se promueve el incremento medio anual (superior a  $18 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ). Por su parte, Mollinedo (2003) registró que con pH menor a 5.5 el incremento medio anual es de  $14 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , datos que concuerdan con el pH presente del estudio, ya que a pesar de tener un valor de 4.14 para el suelo de Veracruz, no se detectaron problemas en el desarrollo de los árboles.



activity, control specimens with a low durability were used. Thus, *P. chrysosporium* was inoculated into *Alnus* spp. wood, and *G. trabeum*, in *Pinus* spp. Durability was expressed as the percentage of oven-dry weight loss of the material exposed to attack by the three selected fungi during 16 weeks.

The data were subjected to a variance analysis (ANOVA) using the *Statgraphics Centurion* XV.11 version 15.2.06 software, and whenever there were notable differences between the two origins ( $P < 0.05$ ), the Multiple Range Test was carried out. The ANOVA was used to assess the importance of the source plantation for the properties of teak wood. A Pearson correlation matrix was generated to determine the relationship between the soil, the foliar nutritional content and growth in teak trees.

## RESULTS AND DISCUSSION

Table 2 shows the results of the basic physical and chemical characterization of the soils for each study site. The pH for both plantations was acid, and only the site of Nayarit (5.12) was within the levels described by Drechsel *et al.* (1990) as adequate for *T. grandis* (4.7 to 7). In this respect, Briscoe (1995) points out that this species develops better with a pH between 6.5 and 7.5, and agrees with Vaides (2004) and Montero (1999), according to whom a pH between 5.3 and 7.0 prompts the mean annual increment (above  $18 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ). On the other hand, Mollinedo (2003) indicates that a pH below 5.5 results in a  $14 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ . These data are coincidental with the current pH registered in the study, which, despite being 4.14 for the soil of the Veracruz site, did not result in detectable damage to tree development.

Soils had a high content of organic material (3 to 5 %), which, along with their loamy texture, favors water infiltration and retention during the dry season; besides, loamy soils preserve the cations and anions, are an important source of nitrogen and promote tree growth. The content of micronutrients -zinc, manganese, copper and iron- was higher even within the sufficiency interval established for agricultural soils in the NOM-021-SEMARNAT-2000 (Semarnat, 2002). The macronutrients, nitric nitrogen and phosphorus, were relatively low compared to the intervals established in the same Mexican Official Norm. Reference was made to the fact that this norm lacks comparative registers for adequate levels of nutritional content in the soil for *T. grandis* plantations in Mexico. Although the records for the macronutrients were medium and low, they manifested no deficiency symptoms and did not act as limiting factors on tree development, since the annual mean increment (AMI) in volume in Veracruz ( $10.8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ) and Nayarit ( $10.8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ) corresponded to high values according to Montero (1999), who proposes 5.1 a  $10.9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  as medium class and 1.1 a  $18 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  as high in soils with a high natural fertility, except for phosphorus and potassium (in Costa Rica).

Los suelos presentaron altos contenidos de materia orgánica (de 3 a 5 %), lo que aunado a su textura franca favorece la infiltración y retención de agua en época seca, además conserva los cationes y aniones, fuente importante de nitrógeno y promueve el crecimiento de teca. El contenido de los micronutrientes: zinc, manganeso, cobre y hierro estuvieron dentro del intervalo de suficiencia señalado para suelos agrícolas en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (Semarnat, 2002), e incluso, fueron mayores; los macronutrientes: nitrógeno nítrico y fósforo resultaron relativamente bajos en comparación con los intervalos señalados en la misma Norma Oficial Mexicana. Se usó con referencia a que dicha norma carece de registros de comparación para niveles suficientes de contenido nutrimental en suelo para plantaciones de *T. grandis* para México. A pesar de los registros medios y bajos de los macronutrientes, no se manifestaron síntomas de deficiencia, ni actuaron como factores limitantes para el desarrollo del árbol, ya que el incremento medio anual (IMA) en volumen en Veracruz ( $10.8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) y Nayarit ( $16.9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) correspondieran a valores altos, de acuerdo con Montero (1999), quien propone como clase media  $5.1$  a  $10.9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y alta del  $11$  a  $18 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ; en suelos con una alta fertilidad natural, excepto para fósforo y potasio (en Costa Rica).

La diferencia del IMA entre los dos sitios estudiados responde a que el contenido de cationes intercambiables (mayores para Nayarit) se relaciona con el crecimiento de la especie (Montero, 1999; Mollinedo *et al.*, 2005; Ypushima, 2010). Por lo tanto, es recomendable la ejecución de investigaciones relativas al uso de fertilizantes, riego y otros mejoradores de suelo (composta, enclado, abonos verdes, etc.) y su efecto en el desarrollo de los árboles.

Es sumamente útil complementar la información derivada de las muestras de suelo y sus condiciones de fertilidad con la variación de los nutrimentos en las hojas (Bertsch, 1995; Drechsel y Zech, 1991), ya que en estos órganos se refleja el estado nutrimental de la planta (Binkley, 1993; Alcántar y Trejo, 2007); en el Cuadro 3 se resumen los datos del contenido foliar determinado en ambas plantaciones. Drechsel y Zech (1991) establecieron niveles bajo, medio y suficiente para cada elemento mineral, y los resultados que se obtuvieron demuestran que los dos sitios bajo estudio tuvieron el mismo comportamiento: el nitrógeno (importante para la actividad fotosintética, para la formación de biomasa y el crecimiento de los árboles) correspondió a la categoría de suficiente, por el contrario, la cantidad de fósforo, potasio, calcio y magnesio calificó como baja, aunque no se manifestó su deficiencia, por lo cual los valores obtenidos pueden ser considerados como aceptables o suficientes. En cuanto a las cantidades de zinc, manganeso y cobre fueron altos, solo el hierro resultó por abajo de lo señalado por Drechsel y Zech (1991).

Cuadro 2. Propiedades físico-químicas de los suelos de las dos procedencias de *Teca grandis* Lf.

Table 2. Physical-chemical properties of the soils of the two sites of origin of *Teca grandis* Lf.

Propiedades	Procedencia		
	Veracruz	Nayarit	
mg kg <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub>	25.7	17.3
	P	7.5	6.1
	Zn	2.6	3.3
	Mn	3.1	2.2
	Cu	12.6	15.5
	Fe	17.5	8.4
	K	0.3	0.9
Cmol <sup>(+)</sup> kg <sup>-1</sup>	Ca	1.0	2.6
	Mg	0.7	2
	CIC	18.00	30.85
H <sub>2</sub> O	pH	4.14	5.12
%	MO	5.49	3.34
Textura	Fa	Fr	

Propiedades = Properties; Procedencia = Origin

The difference between the AMIs of the two studied sites is due to the content of exchangeable cations (which is higher for Nayarit) and is related to the growth of the species (Montero, 1999; Mollinedo *et al.*, 2005; Ypushima, 2010). Therefore, it is advisable to research the use of fertilizers, irrigation and other soil improvers (compost, whitewashing, green fertilizers, etc.) and their effect on tree development.

It is most helpful to complement the information from soil samples and their fertility conditions with the variation of nutriments in the leaves (Bertsch, 1995; Drechsel and Zech, 1991), as the nutritional status of the plant is reflected in these organs (Binkley, 1993; Alcántar and Trejo, 2007); Table 3 summarizes the information of the foliar content determined in both plantations. Drechsel and Zech (1991) established low, medium and sufficient levels for each mineral element, and the results show that the two studied sites had the same behavior: nitrogen (which is important for the photosynthetic activity, for biomass formation and tree growth) was classified as sufficient; on the other hand, the amounts of phosphorus, potassium, calcium and magnesium were classified as low, although their deficiency was not manifested, and therefore the values obtained may be regarded as acceptable or sufficient. The amounts of zinc, manganese and copper were high; only iron was below the levels established by Drechsel and Zech (1991).

Cuadro 3. Concentración nutrimental foliar por procedencia.  
Table 3. Foliar concentration of nutrients by site of origin.

	Nutrientes	Veracruz	Nayarit
%	N	1.60	1.80
	P	0.13	0.14
	K	0.14	0.11
	Ca	0.09	0.20
mg kg <sup>-1</sup>	Mg	0.03	0.03
	Fe	92.71	92.23
	Zn	60.36	47.37
	Mn	70.67	55.48
	Cu	44.47	46.17

Con los datos edáficos y del contenido mineral foliar se realizó un análisis de correlación de Pearson para ambas procedencias (Cuadro 4). La altura de los árboles presentó mayor correspondencia con parámetros del suelo: pH ( $r=0.94$ ), CIC ( $r=0.89$ ), calcio ( $r=0.80$ ), cobre ( $r=0.79$ ) y potasio ( $r=0.75$ ). Cabe destacar que respecto al contenido mineral foliar, únicamente, el calcio tuvo un valor destacado ( $r=0.91$ ). El DAP registró una alta relación positiva con el potasio foliar, a diferencia del nitrógeno, con el cual mostró alta relación negativa.

El magnesio foliar fue el único elemento que correlacionó con su homólogo en el suelo; el calcio lo hizo tanto con el pH como con la capacidad de intercambio de cationes. Esto coincide con lo determinado por Mollinedo (2003), quien señala que el fósforo edáfico no afecta el desarrollo de la teca (observó buen desarrollo en suelos deficientes en este elemento); en contraste con el potasio, que favorece el crecimiento, también indica una asociación positiva entre el pH con la suma de bases en el suelo y el calcio foliar en plantaciones de 3.5 años de edad establecidas en alfisoles, inceptisoles y ultisoles en Panamá. Montero (1999) determinó una relación positiva entre el calcio, el fósforo, y el nitrógeno del suelo con sus homólogos a nivel de hoja en ejemplares de *T. grandis* de 2 a 45 años de edad en Costa Rica. En el presente trabajo la única correspondencia fue con el calcio y concuerda con Vallejos (1996), autor que consigna una relación positiva entre el calcio del suelo con el calcio y magnesio foliares en campos de teca de entre 3 y 15 años.

La correlación positiva entre el pH y el calcio de las hojas evidencia que a mayor salinidad, más alta será su concentración en el área de la hoja; Bertsch (1995) cita que el pH afecta algunas características de los nutrimentos (calcio, magnesio, potasio y fósforo y nutrimentos menores) en el suelo como: solubilización, disponibilidad y adsorción, lo que se refleja en su nexa con el crecimiento del árbol. Según los resultados de Ypushima (2010), únicamente, el fósforo y el potasio confirmaron correlación

A Pearson correlation analysis was performed for both sites based on the edaphic data and the foliar mineral content (Table 4). Tree height shows a closer correspondence with the soil parameters: pH ( $r=0.94$ ), CEC ( $r=0.89$ ), calcium ( $r=0.80$ ), copper ( $r=0.79$ ) and potassium ( $r=0.75$ ). As for the foliar mineral content, only calcium had a high value ( $r=0.91$ ). The DBH showed a high positive relationship to foliar potassium and a negative relationship to nitrogen.

Foliar magnesium was the only element that correlated with its counterpart in the soil. Calcium did so with both the pH and the cation exchange capacity. This agrees with the perception of Mollinedo (2003) that edaphic phosphorus does not affect the development of teak (he observed a good development in soils that are deficient in this element), while potassium favors growth; it also indicates a positive association between the pH and the sum of the bases in the soil and foliar calcium in plantations aged 3.5 years established on alfisoles, inceptisoles and ultisoles in Panama. Montero (1999) determined a positive relationship between soil calcium, phosphorus and nitrogen in the soil and their counterparts at leaf level in *T. grandis* specimens aged 2 to 45 years in Costa Rica. In the present research, the only correspondence was with calcium, and it agrees with Vallejos (1996), who registers a positive correspondence between soil calcium and foliar calcium and magnesium in teak fields aged between 3 and 15 years.

The positive correlation between the pH and foliar calcium shows that the greater the salinity, the higher is its concentration in the leaf area; Bertsch (1995) cites that the pH affects certain characteristics of the nutriments (calcium, magnesium, potassium and phosphorus and minor nutriments) in the soil, such as solubility, availability and adsorption; this is reflected in its association to tree growth. According to the results obtained by Ypushima (2010), only phosphorus and potassium showed a statistical correlation to the height and the diameter at the stem base. The minimum levels established for potassium were sufficient for the development of *T. grandis* in Nayarit.

Most anatomical characteristics showed significant differences ( $P<0.05$ ) according to their origin (Table 5); the most notable were the total diameter and vessel length; these are regarded as the anatomical elements of the xylem with the highest adaptability to growth conditions (Carlquist, 2003); despite the difference observed by origin in this regard, the vessels were short according to IAWA (1989). The dissimilarities found between the vessels manifest the adaptability of the trees to the climate conditions of each site, particularly to precipitation: where this was more abundant, the values increased, contributing to a more efficient conduction of water in the xylem (Baas, 1982). The registered variations agree with Bhat *et al.* (2001), who determined, in India, that the diameter of the vessels is larger in agroforest plantations located in humid areas ( $217\mu\text{m}$ ) than in those located in dry areas ( $217\mu\text{m}$ ), and in forest plantations ( $205\mu\text{m}$ ) for trees aged 35 years.



estadística con la altura y el diámetro a la base del tallo. Los niveles establecidos como mínimos para el potasio fueron suficientes para *T. grandis* en Nayarit.

The anatomical structure of wood is partly a consequence of environmental factors, as Bhat and Priya (2004) have pointed out for crops aged 21 and 65 years, and Moya *et al.* (2009) for

Cuadro 4. Correlaciones (r) del suelo, foliar y crecimiento  
Table 4. Correlations (r) between the soil levels, foliar levels and growth.

Variable	Suelo x altura	Foliar x altura	Suelo x DAP	Foliar x DAP	Suelo x foliar
N	-	0.42	-	-0.81*	-0.36
P	-0.07	0.19	0.29	0.47	0.46
K	0.75*	0.64	0.16	0.84*	0.29
Ca	0.80*	0.91*	0.26	-0.75	0.81*
Mg	0.54	0.36	0.27	0.02	0.71*
Fe	-0.55	0.20	0.73	0.05	-0.11
Mn	-0.36	-0.56	0.41	0.31	-0.08
Zn	-0.03	-0.37	-0.21	0.19	-0.03
Cu	0.79*	-0.12	0.79*	-0.19	0.41
NO <sub>3</sub>	-0.57	-	0.63	-	-0.36
pH	0.94*	-	-0.65	-	0.95* <sub>Ca</sub>
CIC	0.89*	-	-0.44	-	0.83* <sub>Ca</sub>
MO	-0.59	-	-0.26	-	-

Variable = Variable; Suelo x altura = Soil x height; Foliar x altura = Foliar x height; Suelo x DAP = Soil x DBH; Foliar x DAP = Foliar x DBH; Suelo x foliar = Soil x foliar \* P<0.05.

La mayoría de las características anatómicas presentaron diferencias significativas (P<0.05) en función de su procedencia (Cuadro 5); las más notables fueron en el diámetro total y la longitud de los vasos, que son considerados como los elementos anatómicos del xilema con mayor capacidad de adaptación a las condiciones de crecimiento (Carlquist, 2003); sobre el particular, a pesar de la diferencia que se observó según la procedencia, los vasos fueron cortos, de acuerdo con IAWA (1989). Las disimilitudes que hubo entre los vasos manifiestan la capacidad de adaptación de los árboles a las distintas características climáticas de cada sitio, principalmente la precipitación, ya que donde fue más abundante, los valores aumentaron y eso contribuye a una conducción más eficiente del agua en el xilema (Baas, 1982). Las variaciones registradas coinciden con Bhat *et al.* (2001), quienes determinaron, en India, que el diámetro de los vasos es más grande en plantaciones agroforestales de sitios húmedos (217 µm) que en los secos (199 µm), y de la plantación forestal (205 µm) para árboles de 35 años.

La estructura anatómica de la madera es consecuencia, en parte, de factores ambientales, como lo señalan Bhat y Priya (2004) en cultivos de 21 y 65 años y Moya *et al.* (2009) en plantaciones de 13 años. Hubo diferencias significativas (P<0.05) para el diámetro total, el diámetro del lumen y el grosor de la pared de las fibras, a diferencia del largo y ancho del radio que no tuvieron mayor variación. La longitud

plantations aged 13 years. There were significant differences (P<0.05) for the total diameter, lumen diameter and fiber wall thickness, while the length and width of the radius showed no significant variation. The length of the fiber was classified as short for both origins; the fiber wall thickness was ranked as fine for Veracruz and medium for Nayarit, and the radii were assessed as medium in both cases, according to IAWA (1989).

There were no significant differences (P>0.05) in the basic density of the wood between the two sites of origin, and according to the ASTM norm (2003), it is considered to be medium, which means that management and tree age influence it more than the conditions of the plantation site; the findings of Moya and Arce (2003) and Pérez and Kanninen (2005b) agree in this respect. Based on the density estimated for Nayarit (0.0 g cm<sup>-3</sup>) and for Veracruz (0.53 g cm<sup>-3</sup>), there should be no gnarling, high contractions or cracks (Castro and Raigosa, 2000). The wood density estimates in this study agree with those registered in the literature for Costa Rica (Pérez and Kanninen, 2003),



de la fibra se clasificó como corta para ambas procedencias, el grosor de pared de fibra como fina para Veracruz y mediana para Nayarit y los radios como medianos, en ambos casos, según IAWA (1989).

which are 0.50 and 0.65 g cm<sup>-3</sup> in crops aged 8 years; in Pérez and Kanninen (2005a) (0.05 and 0.60 g cm<sup>-3</sup> in *T. grandis* aged 4 years), and in Córdoba and Sáenz (2004) (0.53 and 0.57 g cm<sup>-3</sup> for teak aged 20 years); they also agree with the values

Cuadro 5. Comparación de algunas características anatómicas para vasos, fibras y radios de la madera.

Propiedades	Procedencia		ANOVA
	Veracruz	Nayarit	Valor-P
Longitud de vaso (μm)	231a	171b	0.001 *
Diámetro total de vaso (μm)	183a	153b	0.009 *
Longitud de fibra (mm)	0.88a	0.82a	0.158 n.s
Diámetro total de fibra (μm)	24 a	22b	0.028 *
Grosor de pared de fibra (μm)	6 a	9b	0.034 *
Diámetro de lumen de fibra (μm)	19 a	14b	0.009 *
Largo de radio (μm)	543a	529 a	0.823 n.s
Ancho de radio (μm)	66 a	60 a	0.063 n.s

\*Significativo al P<0.05; n.s = no significativo; letras diferentes en la misma fila= diferencias significativas

Table 5. Comparison of certain anatomic characteristics for vessels, fibers and radii of the wood.

Properties	Origin		ANOVA
	Veracruz	Nayarit	P-Value
Vessel length (μm)	231a	171b	0.001 *
Vessel total diameter (μm)	183a	153b	0.009 *
Fiber length (mm)	0.88a	0.82a	0.158 n.s
Fiber total diameter (μm)	24 a	22b	0.028 *
Fiber wall thickness (μm)	6 a	9b	0.034 *
Fiber lumen diameter (μm)	19 a	14b	0.009 *
Radius length (μm)	543a	529 a	0.823 n.s
Radius width (μm)	66 a	60 a	0.063 n.s

\*Significant at P<0.05; n.s = non- significant; different letters in the same row = significant differences

La densidad básica de la madera no presentó diferencias significativas (P>0.05) entre las procedencias y, según la norma ASTM (2003), se considera como mediana, lo cual significa que influyen más en ella el manejo y la edad de los árboles que las condiciones del sitio de plantación, hecho que concuerda con lo corroborado por Moya y Arce (2003) y Pérez y Kanninen (2005b). Con base en la densidad obtenida, tanto en Nayarit (0.50 g cm<sup>-3</sup>) como en Veracruz (0.53 g cm<sup>-3</sup>), no deben presentarse torceduras, altas contracciones, ni agrietamientos (Castro y Raigosa, 2000). Los resultados del presente trabajo para la densidad de la madera coinciden con la literatura para Costa Rica (Pérez y Kanninen, 2003) 0.50 y 0.65 g cm<sup>-3</sup> en cultivos de 8 años (Pérez y Kanninen, 2005a) (0.50 y 0.60 g cm<sup>-3</sup> con *T. grandis* de 4 años (Córdoba y Sáenz, 2004) (0.53 y 0.57 g cm<sup>-3</sup> con teaca de 20 años); también para Ecuador, en donde se

estimated for Ecuador, which are 0.48 and 0.59 g cm<sup>-3</sup> in sites aged 18 and 22 years (Crespo *et al.*, 2008), and for India, where the wood density is 0.47 and 0.59 g cm<sup>-3</sup> in individuals with irrigations, and the specific weight intervals are 0.48 and 0.53 for dominant specimens aged 60 years (Bhat, 2000).

Statistically significant differences (P<0.05) were determined for the heartwood percentage according to the site of origin; the percentage was higher for the state of Veracruz (70 %) than for Nayarit (57 %); this is the most important parameter utilized to define the quality of *T. grandis* wood, as during the heartwood formation several chemical processes occur that enhance its durability and generate changes in its color (Higuchi *et al.*, 1997), and therefore, there is great interest in obtaining more heartwood when producing this species. As a consequence of the

registran 0.48 y 0.52 g cm<sup>-3</sup>, en lugares de 18 y 22 años de antigüedad (Crespo *et al.*, 2008); en la India, se consigna de 0.47 y 0.59 g cm<sup>-3</sup> en individuos con irrigación e intervalos de peso específico de 0.48 a 0.53 para ejemplares dominantes de 60 años (Bhat, 2000).

Respecto al porcentaje de duramen, se calcularon diferencias estadísticamente significativas (P<0.05) en función de la procedencia, y fue mayor para el estado de Veracruz (70 %) que en Nayarit (57 %). Cabe destacar que dicho parámetro es el más importante para definir la calidad de la madera de *T. grandis*, ya que durante el proceso de formación del duramen tienen lugar procesos químicos que mejoran la durabilidad y generan cambios en el color (Higuchi *et al.*, 1997); por ello, hay gran interés de obtener más duramen al producir esta especie. Dada la diferencia que se estimó (13 %), además del factor precipitación, hubo cierta correlación con respecto a la altura total de los árboles (r=0.63), ya que mientras la altura se incrementa (Veracruz 13 m y Nayarit 16 m), el porcentaje de duramen disminuye; es recurrente que en la literatura se mencione que su proporción está influenciada, en primer lugar, por la edad y en segundo, por el diámetro (Pérez y Kanninen, 2003; Viquez y Pérez, 2005; Moya y Calvo-Alvarado, 2012), lo que corresponde con los valores de DAP: Veracruz 19.3 cm y Nayarit 17.6 cm). Solórzano *et al.* (2012) citan que el duramen de la teca comienza a formarse entre los cuatro y los seis años, tiempo corto en comparación con otras especies. Los resultados del presente estudio coinciden con los de Kokutse *et al.* (2004), ya que los individuos en zonas con más lluvia anual fueron los que tuvieron mayor crecimiento y mejor proporción de duramen.

Thulasidas y Bhat (2009) no registraron variación en la relación del duramen entre procedencias (condiciones húmedas y secas en India); en tanto, Pérez y Kanninen (2003) y Crespo *et al.* (2008) registraron mejor porcentaje de duramen en los ejemplares de sitios secos en Costa Rica y Ecuador; los autores lo atribuyen a que en estos lugares hay un cese de crecimiento que permite al árbol la formación anual del duramen, con la depuración de material inerte e indican que el desarrollo del duramen no solo se explica por la precipitación, sino que es necesario considerar la interacción o influencia de otros factores sobre el incremento de duramen en las plantaciones de teca.

Con respecto a la resistencia al ataque de hongos no hubo diferencias estadísticas significativas (P<0.05) entre plantaciones, pero sí entre las especies fúngicas (Cuadro 6). La mayor pérdida de peso ocurrió cuando se incorporó *T. versicolor*, por lo cual se consideró como el más agresivo para los árboles de teca de 9 años, pero aun así la madera se clasificó como resistente según la norma ASTM (2007); *P. chrysosporium* (pudrición blanca) y *G. trabeum* (pudrición parda) no generaron disminución en el peso de la madera y se clasificó como altamente resistente. Los testigos sirvieron para validar los resultados, ya que perdieron más de 30 %

estimated difference (13 %) and of the precipitation factor, there was certain correlation to the total height of the trees (r=0.63): as the height increases (Veracruz 13 m and Nayarit 16 m), the heartwood percentage decreases; the literature mentions recurrently that its proportion is influenced first by the age and secondly by the diameter (Pérez and Kanninen, 2003; Viquez and Pérez, 2005; Moya and Calvo-Alvarado, 2012, as the values for DBH show: 19.3 cm for Veracruz, and 17.6 cm for Nayarit). In teak trees, according to Solórzano *et al.* (2012), the heartwood begins to be formed between four and six years, a short period compared to other species. The results of this study agree with those of Kokutse *et al.* (2004), since individuals in areas with a higher annual precipitation achieved greater growth and a higher heartwood proportion.

Thulasidas and Bhat (2009) registered no variation in the heartwood proportion between the two sites (in humid versus dry areas of India), while Pérez and Kanninen (2003) and Crespo *et al.* (2008) observed a higher heartwood percentage in specimens of dry areas of Costa Rica and Ecuador; the authors ascribe this to a cease in growth occurring in dry areas that allows the tree an annual heartwood formation, with disposal of inert material, and indicates that precipitations are not the only factor that influences heartwood development, and therefore the interaction or the influence of other factors on the increase of heartwood in teak plantations should be considered.

As for resistance to attack by fungi, there were no statistically significant differences (P<0.05) between plantations; however, differences occurred between fungal species (Table 6). The largest weight loss occurred when *T. versicolor* was incorporated; for this reason, it was considered as the most aggressive fungus for teak trees aged 9 years; even thus, the wood was classified as resistant according to the ASTM norm (2007), since *P. chrysosporium* (white rot) and *G. trabeum* (brown rot) did not generate a decrease in wood weight. Controls served to validate the results, as they lost over 30 % of their weight; i.e. the conditions were adequate for the attack. Moya *et al.* (2009) evaluated the resistance of individuals aged 13 years against *P. chrysosporium* and *G. trabeum*, and they also detected no differences between the diverse areas. However, according to the findings of Bhat *et al.* (2005) and Thulasidas and Bhat (2007), trees from humid areas were less resistant to the attacks, and *G. trabeum* caused a larger weight loss in wood samples aged 35 years; conversely, weight losses with *P. chrysosporium* were below 10 %, which coincides with the findings of Miller *et al.* (2003) for tropical hard woods of different species in Bolivia.



de su peso; es decir, que las condiciones eran adecuadas para el ataque. Moya *et al.* (2009) evaluaron la resistencia de individuos de 13 años a *P. chrysosporium* y *G. trabeum* y tampoco detectaron diferencias entre las distintas áreas; sin embargo, Bhat *et al.* (2005) y Thulasidas y Bhat (2007) tuvieron resultados en los cuales los árboles procedentes de lugares húmedos fueron menos resistentes a los ataques, además en sus estudios observaron que *G. trabeum* causó mayor pérdida de peso en las muestras de madera de 35 años, en cambio, con *P. chrysosporium* fueron menores a 10 %, lo que coincide con lo consignado por Miller *et al.* (2003) para maderas tropicales duras de diferentes especies en Bolivia.



Cuadro 6. Resistencia de la madera al ataque de hongos.  
Table 6. Resistance of the wood against attack by fungi.

Especie	Veracruz	Nayarit	Testigo
	Pérdida de peso (%)		
<i>Trametes versicolor</i> (L.: Fr.) Pilát	18.5 a	16.2 a	47.3
<i>Phanerochaete chrysosporium</i> Burds.	1.0 b	1.7 b	51.0
<i>Glophyllum trabeum</i> (Pers. ex. Fr.) Murr.	1.6 b	2.9 b	47.9
Control	0.5 c	0.7 c	

Letras diferentes en la misma fila y columna, presentan diferencias significativas ( $P < 0.05$ )

Especies = Species; Pérdida de peso = Weight loss; Testigo = Control. Different letters in the same row and column represent significant differences ( $P < 0.05$ )

## CONCLUSIONES

El calcio, tanto foliar como del suelo, tuvo una fuerte relación con la altura total, al igual que el pH y la CIC del suelo. El potasio foliar se vinculó ampliamente con el diámetro a la altura del pecho (DAP) y el nitrógeno foliar mostró una relación negativa.

El diámetro total de la fibra, el del lumen, la longitud de los vasos, el grosor de pared de las fibras, la proporción de duramen y el DAP fueron mayores en la madera procedente de la zona húmeda (Veracruz), pero no hubo diferencias significativas en los radios.

Las condiciones edafoclimáticas de la zona de procedencia no influyen en la densidad básica de la madera.

*Trametes versicolor* fue el hongo que ocasionó mayor pérdida de peso en la madera, de manera independiente a su procedencia.

## AGRADECIMIENTOS

A todo el personal del Departamento de Madera, Celulosa y Papel y en especial a los Laboratorios de Estructura y Calidad de la Madera, de Propiedades y Usos de la Madera y de Química de la Madera, de Análisis de Suelo, de Agromicrobiología, de Biotecnología del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias y al Laboratorio Ambiental. A los ingenieros Jaime Cruz y Jurgen Stock, por el apoyo a la investigación en los trabajos de campo.

## CONCLUSIONS

Both soil and foliar calcium had a high ratio to the total height, as did the pH and the CEC of soil. Foliar potassium was widely associated to the diameter at breast height (DBH), while foliar nitrogen showed a negative relationship.

The fiber total diameter, the lumen diameter, the vessel length, the fiber wall thickness, the heartwood proportion and the DBH were larger in timber from the humid area (Veracruz); however, there were no significant differences in the radii.

The edaphoclimatic conditions of the site of origin do not influence the basic density of wood.

*Trametes versicolor* was the fungus that caused the greatest loss of wood weight, regardless of its origin.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to express their gratitude to all the staff of the *Departamento de Madera, Celulosa y Papel*, and particularly to the *Laboratorio de Estructuras, Calidad, Propiedades y Usos de la Madera, Laboratorios de Química de la Madera, Análisis de Suelos, Microbiología Agrícola y de Biotecnología del Centro de Ciencias Biológicas y Agrícolas y al Laboratorio de Medio Ambiente*, as well as to Engineers Jaime Cruz and Jurgen Stock for their support in the research carried out during field work.

*End of the English version*

## REFERENCIAS

- Alcantar, G. y L. Trejo. 2007. Nutrición de cultivos. Mundi Prensa México. D. F. México. 451 p.
- Alvarado, A. y J. L. Fallas. 2004. Efecto de la saturación de acidez y encalado sobre el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L. f.) en suelos ácidos de Costa Rica. Agron. Costarric. 28(1): 81-87.
- Alvarado, A., M. Chavarría, R. Guerrero, J. Boniche y J. R. Navarro. 2004. Características edáficas y presencia de micorriza en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L. f.) en Costa Rica. Agron. Costarric. 28(1): 89-100.
- Anantha, P., H. S. 2006. Informe internacional sobre la teca. Product Disclosure Statement - Rewards Group Teak Project "International Teak Market Report". Canberra, Australia. 6 p.
- American Section of the International Association for Testing Materials (ASTM). 2007. Standard D-2017-05. Standard test methods for accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. Annual Book of ASTM standards. West Conshohocken, PA. USA. pp. 270-274.
- American Section of the International Association for Testing Materials (ASTM). 2003. ASTM D-2395-02. Standard test methods for specific gravity of wood and wood-base materials. ASTM International. West Conshohocken, PA. USA. Vol. 4-10. pp. 4-10.
- Baas, P. 1982. Systematic, phylogenetic and ecological wood anatomy. In: Baas, P. (ed.). New perspectives in wood anatomy: systematic, phylogenetic and ecological. London, UK. pp. 23-58.
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 p.
- Bhat, K. M. 2000. Timber quality of teak from managed tropical plantations with special reference to India plantations. Bois et Forêts des Tropiques 263: 6-16.
- Bhat, K. M., P. B. Priya and P. Rugmini. 2001. Characterization of juvenile wood in teak. Wood Sci. Technol. 34: 517-532.
- 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.
- Bhat, K. M., P. K. Thulasidas and E. J. Florence. 2005. Wood durability of home-garden teak against brown-rot and white-rot fungi. Trees-Struc. Funct. 9: 654-660.
- Binkley, D. 1993. Nutrición forestal. Editorial Limusa. México, D. F. México. 340 p.
- Briscoe, C. 1995. Silvicultura y manejo de teca, melina y pochote. CATIE Serie Técnica. Informe Técnico Núm. 270. Turrialba, Costa Rica. 44 p.
- Carballo, C. 1994. Proyectos de plantaciones forestales en México, evaluación financiera y económica. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Edo. de Méx. México. 107 p.
- Carlquist, S. 2003. Comparative wood anatomy: systematic ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood. Springer-Verlag. Berlin, Germany. 436 p.
- Castro, F. y J. Raigosa. 2000. Crecimiento y propiedades físico-mecánicas de la madera de teca (*Tectona grandis*) de 17 años de edad en San Joaquín de Abangares, Costa Rica. [http://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v24n02\\_007.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_agr/v24n02_007.pdf). (9 de diciembre de 2010).
- Chávez, E. y W. Fonseca. 1991. Teca: *Tectona grandis* L. f., especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico Núm. 179. 47 p.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2011. Situación actual y perspectivas de las plantaciones forestales comerciales en México. Comisión Nacional Forestal-Colegio de Posgraduados. México, D. F. México. 472 p.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2013. Especies maderables establecidas en PCF por año. <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/plantaciones-forestales/> (25 de marzo de 2014).
- Córdoba, R. y M. Sáenz. 2004. Propiedades físico-mecánicas de teca de Costa Rica y Panamá. [www.fundatecITCR.com](http://www.fundatecITCR.com). (9 de diciembre del 2012).
- Crespo, R., E. Jiménez, P. Suatunance, G. Law y C. Sánchez. 2008. Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera de teca (*Tectona grandis* L. F.) de Quevedo y Baltazar. Ciencia Tecnol. 1: 55-63.
- Cutter, B. E., M. V. Coggeshall, J. E. Phelps and D. D. Stokke. 2004. Impacts of forest management activities on selected hardwood wood quality attributes: a review. Wood Fiber Sci. 36: 84-97.
- Drechsel, P., S. Schmall and W. Zech. 1990. Relationships between growth, mineral nutrition, and soils in young teak plantations in Benin and Liberia. Water Air Soil Poll. 54(4): 651-656.
- Drechsel, P. and W. Zech. 1991. Foliar nutrient levels of broad-leaved tropical trees: a tabular review. Plant Soil 131: 29-46.
- Helrich, K. 1990. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA. USA. 980 p.
- Higuchi, T. Y., K. Fukazawa and M. Shimada. 1997. Biochemical studies on the heartwood formation. Rcs. Bull. Coli. Expt. For. 25: 167-192.
- International Association of Wood Anatomist (IAWA). 1989. List of microscopic features for hardwood identification. In: Wheeler, E. A., P. Baas and P. E. I. Gasson. (eds.). Leiden, The Netherlands. IAWA Bulletin 10(3): 219-332.
- Kokutse, A. D., H. Bailleres, A. Stokes and K. Kokou. 2004. Proportion and quality of heartwood in Togolese teak (*Tectona grandis* L.f.). Forest Ecol. Manag. 189: 37-48.
- Kollert, W. and L. Cherubini. 2012. Teak resources and market assessment 2010. FAO Planted Forests and Trees Working Paper FP/47/E. <http://www.fao.org/docrep/015/an537e/an537e00.pdf> (4 de julio de 2013).
- Miller, R. B., A. C. Wiedenhoef, R. S. Williams and W. Stockman. 2003. Characteristics of ten tropical hardwoods from certified forest in Bolivia. Part II. Natural durability to decay fungi. Wood Fiber Sci. 35: 429-433.
- Montero, M. 1999. Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L. f. y *Bombacopsis quinata* (Jacq) Dugand, en Costa Rica. Tesis de Maestría. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. 63 p.
- Mollinedo, M. 2003. Relación suelo-planta, factores de sitio y respuesta a la fertilización, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* L. f.) en la zona Oeste. Cuenca del Canal de Panamá. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 90 p.
- Mollinedo, M., L. Ugalde, A. Alvarado, J. Verjans y L. Rudy. 2005. Relación suelo-árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de Teca (*Tectona grandis*), en la zona Oeste de la Cuenca del Canal de Panamá. Agron. Costarric. 29(1): 67-75.
- Moya, R. y V. Arce L. 2003. Efecto del espaciamiento en plantación sobre las propiedades físicas de madera de teca a lo largo del fuste. Madera y Bosques 9(2): 15-27.
- Moya, R., A. Berrocal, R. Serrano and M. Tomazello. 2009. Radial variation of anatomical features, Wood density and decay resistance in teak (*Tectona grandis*) from two qualities of growing sites and two climatic regions of Costa Rica. Rev. Invest. Agraria. Sist. Recursos For. 18(2): 119-131.
- Moya, R. and J. Calvo-Alvarado. 2012. Variation of wood color parameters of *Tectona grandis* and its relationship with physical environmental factors. Ann Forest Sci. 69: 947-959.
- Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). 2007. Situación de los bosques del mundo. Roma, Italia. 143 p.
- Pérez, 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 Fenn. 37:45-54.
- Pérez, D. and M. Kanninen. 2005a. Effect of thinning on stem form and wood characteristics of teak (*Tectona grandis*) in a humid tropical site in Costa Rica. Silva Fenn. 39: 217-225.
- Pérez, D. and M. Kanninen. 2005b. Stand growth scenarios for *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. For. Ecol. Manag. 210: 425-441.
- Saranpää, P. 2003. Wood density and growth. In: Barnett, J. and G. Jeronimidis. (eds.). Wood quality and its biological basis. Blackwell Publishing CRC Press. Boca Rotón, FL. USA. 226 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. México, D.F., México. 85 p.

- Solórzano, S., R. Moya and S. Chauhan. 2012. Early genetic evaluation of morphology and some wood properties of *Tectona grandis* L clones. *Silvae Genet.* 61: 58-65.
- International Tropical Timber Organization (ITTO). 2010. Teak as potential plantation species. ITTO Tropical Timber Market Report 15, 11: 1-15.
- Thulasidas, P. K. and K. M. Bhat. 2007. Chemical extractive compounds determining the brown-rot decay resistance of teakwood. *Holz Roh Werkst* 65: 121-124.
- Thulasidas, P. K. and K. M. Bhat. 2009. Log characteristics and sawn timber recovery of homegarden teak from wet and dry localities of Kerala, India. *Small-scale. Forestry* 8:15-24.
- Vaides, L., E. E. 2004. Características de sitio que determinan el crecimiento y productividad de teca (*Tectona grandis* L. f.) en plantaciones forestales de diferentes regiones de Guatemala. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 81 p.
- Vallejos, O. 1996. Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L. f., *Bombacopsis quinatum* (Jacq), Dugand y *Gmelina arborea* Roxb, en Costa Rica. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 147 p.
- Viquez, E. and D. Pérez. 2005. Effect of pruning on tree growth, yield, and wood properties of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Silva Fenn.* 39: 381-390.
- Ypushima, P., A. L. 2010. Evaluación del contenido nutrimental de teca (*Tectona grandis* L. f.) en plantaciones forestales en Nayarit, México. Tesis de Maestría. Departamento de Madera, Celulosa y Papel. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal. México. 85 p.

