



*La investigación, su esencia y arte.*

# FONDO EDITORIAL

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE TAYACAJA  
DANIEL HERNÁNDEZ MORILLO

## Crecimiento en plantaciones jóvenes y propiedades de la madera de Teca en México

<https://fondoeditorial.unat.edu.pe>



Alina Luisa Ypushima Pinedo  
Eduardo Salcedo Pérez  
Karen Stephanny Córdova Flores

Ena Vilma Velazco Castro  
Octavio Francisco Javier Galván Gildemeister

# Crecimiento en plantaciones jóvenes y propiedades de la madera de Teca en México



*La investigación, su esencia y arte.*

Alina Luisa Ypushima Pinedo

Eduardo Salcedo Pérez

Karen Stephanny Córdova Flores

Ena Vilma Velazco Castro

Octavio Francisco Javier Galván Gildemeister

Pampas – Tayacaja

2023

# Crecimiento en plantaciones jóvenes y propiedades de la madera de Teca en México

© Alina Luisa Ypushima Pinedo  
Email: aypushimap@unia.edu.pe  
Dirección: Jr. Bellavista 1014, Callería, Ucayali - Perú

Eduardo Salcedo Pérez  
Email: eduardo.salcedo@academicos.udg.mx  
Dirección: Av. Vuelo de las Grullas 100 int C14. Fraccionamiento Las Grullas.  
San Agustín, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco CP. 45045, México.

Karen Stephanny Córdova Flores  
Email: kcordova@unia.edu.pe  
Dirección: Calle Santa Lucía Mz 201 A Lt 22, Yarinacocha, Ucayali - Perú

Ena Vilma Velazco Castro  
Email: evelazcoc@unia.edu.pe  
Dirección: Jr. Señor de los milagros Mz I LT 1, Yarinacocha, Ucayali – Perú

Octavio Francisco Javier Galván Gildemeister  
Email: ogalvang@unia.edu.pe  
Dirección: Jr. Iparía manzana 55 lote 13, Yarinacocha, Ucayali - Perú

Editada por:

© Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo (UNAT) - Fondo Editorial.  
Dirección: Bolognesi N° 416, Tayacaja, Huancavelica -Perú  
info@unat.edu.pe  
Telf: (+51) 67 -990847026  
Web: <https://unat.edu.pe/>

Primera edición digital: 2023

Libro digital disponible en <https://fondoeditorial.unat.edu.pe>

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2023-09443

ISBN: 978-612-5123-08-4

Corrección de estilo y Diseño y Diagramación: Gráfica “imagen”:

Gianmarco Garcia Curo

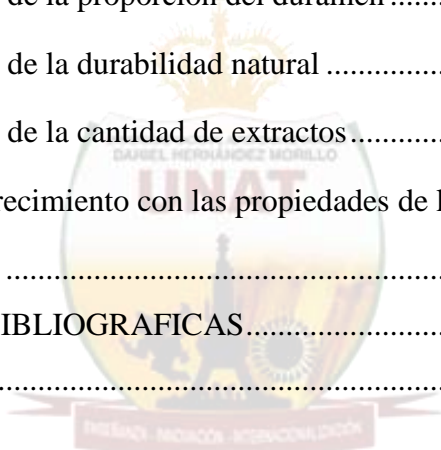
gianmarco.garcia.c@gmail.com / Telf: +51 925 622 439

*No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, su tratamiento información, la transmisión de ninguna otra forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del copyright.*

## TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	6
AGRADECIMIENTOS .....	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. ESTUDIOS DE CRECIMIENTO Y DE LAS PROPIEDADES DE LA MADERA DE TECA.....	12
2.1. Crecimiento .....	12
2.2. Características anatómicas .....	14
2.3. Proporción de duramen .....	15
2.4. Densidad.....	16
2.5. Durabilidad natural.....	18
2.6. Extractos.....	19
3. CARACTERÍSTICAS DE TECA .....	20
3.1. Distribución natural.....	20
3.2. Descripción botánica .....	20
3.3. Condiciones climáticas.....	20
3.4. Condiciones edáficas.....	21
3.5. Características de la madera .....	21
3.6. Teca en México .....	22
4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	22
4.1. Áreas de estudio .....	22
4.2. Etapa de campo .....	23

4.3. Etapa de laboratorio.....	24
4.4. Análisis estadístico .....	30
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	31
5.1. Determinación del crecimiento .....	31
5.2. Descripción microscópica anatómica.....	32
5.3. Determinación de la densidad básica .....	34
5.4. Determinación de la proporción del duramen .....	34
5.5. Determinación de la durabilidad natural .....	35
5.6. Determinación de la cantidad de extractos.....	38
5.7. Relación del crecimiento con las propiedades de la madera .....	39
6. CONCLUSIONES .....	41
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	42
ANEXOS .....	53



*La investigación, su esencia y arte.*



## DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a:

Dios que guía nuestro caminar.

Nuestras familias y a nuestros seres queridos Q.E.P.D.

*La investigación, su esencia y arte.*



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a:

Al Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, de la  
Universidad de Guadalajara, México.

Al Departamento de Madera, Celulosa y Papel, de la Universidad de  
Guadalajara, México

*La investigación, su esencia y arte.*

## RESUMEN

El objetivo del trabajo de investigación fue evaluar el crecimiento y las propiedades de la madera de Teca, de dos procedencias en México. Se realizó en plantaciones de 9 años en San Blas, Nayarit y en las Choapas, Veracruz. Se seleccionaron 8 árboles por sitio. Se midieron la altura total y el DAP. Se colectó trozas de 50 cm de longitud. Hubo diferencia significativa en el porcentaje de duramen y contenido de extractos, siendo mayor en Las Choapas y en San Blas, respectivamente. No hubo diferencia significativa en la densidad básica. Hubo diferencia significativa por el tipo de ensayo en la durabilidad natural, presentando mayor pérdida de peso el ensayo bloque-suelo. En los dos sitios y los dos tipos de ensayos, la mayor pérdida de peso en la madera fue ocasionado por el hongo *Trametes versicolor*. Se encontró correlación inversa moderada entre la altura total con la longitud de vaso, longitud de fibra y porcentaje de duramen. Asimismo, la cantidad de extractos presentó una relación positiva moderada con la altura.

**Palabras claves:** Anatomía de la madera, duramen, densidad básica, durabilidad natural, extractos.



## ABSTRACT

The objective of the research work was to evaluate the growth and properties of Teak wood, from two sources in Mexico. It was carried out in 9-year-old plantations in San Blas, Nayarit and in Las Choapas, Veracruz. 8 trees per site were selected. Total height and DAP were measured. Logs of 50 cm in length were collected. There was a significant difference in the heartwood percentage and extract content, being higher in Las Choapas and San Blas, respectively. There was no significant difference in the basic density. There was a significant difference due to the type of test in natural durability, with the block-soil test presenting greater weight loss. In the two sites and the two types of trials, the greatest weight loss in the wood was caused by the *Trametes versicolor* fungus. A moderate inverse correlation was found between the total height with the length of the vessel, fiber length and percentage of heartwood. Likewise, the amount of extracts presented a moderate positive relationship with height.

**Keywords:** Wood anatomy, heartwood, basic density, natural durability, extracts.

*La investigación, su esencia y arte.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Las plantaciones de Teca (*Tectona grandis*) más importantes, dentro de los últimos 10 años, se encuentran en los países iberoamericanos, siendo exportados hacia Europa, los Estados Unidos de Norteamérica y la India, los fustes jóvenes; estimándose su tiempo de corta entre los 20 a 25 años (Anantha, 2006). En México, la superficie establecida es de 22.2%, 19.2%, 13.7%, 13% y 12.4% de las principales especies maderables como son cedro (*Cedrela odorata*), eucalipto (*Eucalyptus spp.*), melina (*Gmelina arborea*), pino (*Pinus spp.*), teca (*Tectona grandis*) y caoba (*Swietenia macrophylla*), respectivamente; y están ubicados principalmente en Nayarit, Michoacán, Veracruz, Tabasco, Chiapas y Campeche; incrementándose la superficie plantada de Teca en más del 12%, es decir de 141 ha en 2001 a un total acumulado para 2013 de casi 20000 ha (CONAFOR, 2013).

La teca es una especie forestal que ha ganado gran interés entre productores forestales e inversores debido a su elevado valor en el mercado. Hasta el año 2006, el precio de la madera de teca, dependiendo de su tamaño y calidad para aserrío, variaba significativamente, oscilando entre 225 y 1000 dólares por metro cúbico, ya sea procedente de bosques naturales o de plantaciones con más de 40 años de edad (Anantha, 2006). Esta madera de teca es altamente apreciada en sistemas de reforestación debido a su rápido crecimiento y a la alta calidad de la madera que produce, caracterizada por troncos rectos y otras propiedades favorables ((FAO, 1992; Chávez y Fonseca, 1991).

El fomento de las plantaciones forestales comerciales en México se ha promovido mediante incentivos económicos, sin tener en cuenta

adecuadamente las variadas condiciones locales. Este enfoque ha sido objeto de críticas, como indica Vaides (2004), quien señala que la mayoría de los interesados en las plantaciones de teca se centran exclusivamente en la futura producción de madera, sin considerar suficientemente la idoneidad del sitio para el crecimiento adecuado de la especie, lo que puede influir en las propiedades de la madera, incluida su calidad, y tener un impacto en su posterior utilización industrial. Estos problemas han sido abordados previamente en investigaciones realizadas por Saranpää (2003) y por Cutter *et al.* (2004).

En varios países se han realizado investigaciones que abordan la acumulación de biomasa, la relación entre la tasa de crecimiento y las características físicas y químicas del suelo, así como las propiedades de la madera. Entre estos estudios se destacan los trabajos de Mollinedo (2003) y Montero (1999). Bhat y Priya (2004) descubrieron que la baja resistencia mecánica de la madera de teca se debe a la menor cantidad de fibras y al mayor contenido de parénquima, lo cual está relacionado con lugares de baja fertilidad. Además, se ha observado que las características físicas y mecánicas de la madera, el porcentaje de duramen y la composición química están influenciados por la calidad del sitio en plantaciones forestales, como indican Pérez y Kanninen (2003), Kokutse *et al.* (2004), Bhat *et al.* (2005), y Thulasidas y Bhat (2007). En estudios realizados en Costa Rica por Alvarado y Fallas (2004) y confirmados en Panamá por Mollinedo *et al.* (2005), se menciona que la tasa de crecimiento de la teca disminuye de 3.9 a 1.5 metros por año en suelos con un pH inferior a 6, mientras que un mayor crecimiento se promueve en suelos con niveles de calcio superiores al 68%. Sin embargo, Alvarado *et al.* (2004) señalan que un pH inferior a 5.5 afecta el crecimiento de los árboles, lo cual tiene un impacto en la colonización de las raíces por

micorrizas. A pesar de estas investigaciones realizadas en otros países, en México no existen estudios ni información científica que expliquen cómo se comporta la especie de teca en las áreas donde ha sido establecida.

Por lo tanto, y ante la presencia de mayores cantidades de fustes procedentes de los raleos de las plantaciones que se desarrollan en diferentes lugares de México, es necesario investigar el comportamiento del crecimiento y de las propiedades de la madera de Teca de dichas plantaciones forestales considerando la procedencia y poder disponer de resultados más representativos. Por lo señalado, se tuvo como objetivo en el trabajo de investigación evaluar las características anatómicas (fibras, vasos y radios), el duramen, la densidad básica, la resistencia natural de la madera, el contenido de extractos; asimismo, se relacionó el crecimiento con las propiedades de la madera de Teca del trópico mexicano.

## **2. ESTUDIOS DE CRECIMIENTO Y DE LAS PROPIEDADES DE LA MADERA DE TECA**

*La investigación, su esencia y arte.*

### **2.1. Crecimiento**

Según el estudio de Pérez (2009) realizado en árboles de teca a los 10 meses, se observó una mejora significativa en el crecimiento, logrando una altura de 288 centímetros y un diámetro de 4.7 centímetros con el uso del tratamiento que incluyó 50 gramos de fertilizante con la composición de 17-34-30 (Nitrógeno-Fósforo-Potasio).

Durante los tres primeros años de crecimiento, los árboles de teca pueden alcanzar alturas de 2.8 a 3.6 metros por año y aumentar su diámetro en un rango de 2.9 a 3.7 centímetros por año. Sin embargo, en los siguientes

tres años, su crecimiento en altura disminuye hasta llegar a alrededor de 1.7 metros por año, mientras que el aumento en diámetro se reduce a 2 centímetros por año. A partir del noveno año, tanto la altura como el diámetro experimentan un descenso adicional, con tasas de crecimiento de alrededor de 1 metro por año en altura y 1.5 centímetros por año en diámetro. Se ha observado que en suelos jóvenes y con una precipitación anual superior a 1500 milímetros, se logra un mejor desarrollo de los árboles de teca, según reporta el estudio de Vargas et al. (2007).

A los 7 meses en árboles de Teca, aplicando 100 g de NPK (10-30-10), se obtuvo una altura total de 1.90 m (Mollinedo, 2003).

En el estado de Gujarat, donde la precipitación anual es de 2500 milímetros, se observaron diferencias significativas en el crecimiento de los árboles de teca en función del riego. A los dos años de edad, la altura de los árboles fue de 2.26 metros con riego y solo 0.8 metros sin riego. A los cuatro años, el crecimiento en altura aumentó a 3.54 metros con riego y solo 0.85 metros sin riego. En cuanto al diámetro del tronco, a los dos años, se registraron diámetros de 16.52 centímetros con riego y 6.6 centímetros sin riego. A los cuatro años, el diámetro continuó aumentando, alcanzando los 21.16 centímetros con riego y 7.67 centímetros sin riego. Estos resultados se basan en un estudio realizado por Bebartá (1999).

A los cinco años de edad, se observó una mejora significativa en el crecimiento de los árboles de teca cuando se aplicaron 254.7 gramos por árbol de un fertilizante con la composición N-P-K (12-24-12), según el estudio de Montero (1995). En estas condiciones, los árboles alcanzaron una altura de

5.32 metros, un diámetro de 5.48 centímetros y un volumen de 77.77 decímetros cúbicos.

El crecimiento de los árboles de teca se caracteriza por una fase inicial de rápido desarrollo, donde alcanzan tasas de crecimiento de 2.62 a 3.06 metros por año en altura. Esta fase se sucede por una etapa intermedia que abarca de tres a cuatro años, y finalmente, se entra en una fase de crecimiento más lento a partir de los 8 a 10 años. Estas observaciones se derivan del estudio de Chávez y Fonseca (1991).

## 2.2. Características anatómicas

En árboles de teca, en un mayor espaciamiento Luiz *et al.* (2011) encontraron que, “las fibras fueron más largas y con paredes más gruesas, además menor frecuencia de vasos. También hay variación radial en las dimensiones celulares, siendo que la longitud y el espesor de la pared de fibras aumentan significativamente en sentido médula-corteza, mientras que la frecuencia de vasos y radios son mayores en la región de la médula, ya que el diámetro de los vasos y la altura de los radios fueron menores en esa posición. La longitud de los vasos y el ancho de los radios no fueron influenciados por el espaciamiento y la posición radial”.

Izekor y Fuwape (2011) mencionan que, “se presentaron diferencias significativas en las características anatómicas como la longitud de la fibra, diámetro de la fibra, ancho del lumen de la fibra y grosor de la pared de fibra de árboles de 15, 20 y 25 años en Teca. También hubo diferencias significativas dentro y entre los árboles de las mismas y diferentes clases de edades. Características anatómicas tales como la longitud de la fibra, diámetro de la fibra, espesor de la pared celular, aumenta con la edad, sin embargo, el

ancho del lumen de la fibra disminuye con la edad. Generalmente las características anatómicas disminuyen desde la base hacia arriba y aumentan de la madera interna a la madera externa desde donde se recolectaron las muestras de madera. Los efectos de la edad, muestras de árboles, posiciones longitudinal y radial contribuyeron significativamente a las variaciones en las características anatómicas de la madera de teca”.

Kokutse *et al.* (2009b) evaluaron que, “en la madera de Teca proveniente de Togo, la longitud de la fibra era de aproximadamente 1.45 mm en rodales jóvenes. Los resultados mostraron que el nivel de productividad de teca, que está vinculada a las propiedades de la fibra de madera varió significativamente para la longitud de la fibra, el ancho de la fibra, el diámetro del lumen de la fibra, el espesor de pared de la fibra, por la edad de los rodales y los factores ecológicos”.

El estudio realizado por Moya *et al.* (2009a) reveló que “el tipo de clima o la calidad del sitio donde se establecen las plantaciones de teca tienen un impacto limitado en los parámetros de las fibras, como su longitud y espesor de pared, así como en los parámetros de los radios, como su ancho, cantidad de células y frecuencia. Sin embargo, se observaron cambios significativos en los parámetros relacionados con los vasos de la madera”.

### **2.3. Proporción de duramen**

En Timor Oriental, en árboles de teca con edades comprendidas entre los 50 y 70 años, se encontró que el duramen, que es la parte más dura de la madera, representaba el 91% del diámetro del tronco a una altura de 1.7 metros, el 90% a una altura de 9.5 metros y el 72% a una altura de 18.7 metros. Estos hallazgos indican que a medida que la altura del árbol aumenta, la

proporción de duramen tiende a disminuir. Esto se basa en los resultados obtenidos en el estudio llevado a cabo por Miranda *et al.* (2011).

Las proporciones del duramen en Teca son similares entre Nigeria y Tanzania, teniendo un mayor crecimiento en diámetro los árboles de Tanzania (Kokutse *et al.* 2009a).

Las proporciones de duramen no tuvieron diferencia significativa entre zonas húmedas y secas, en árboles de 30 y 35 años en la India. Sin embargo, con árbol y el diámetro del duramen se encontraron grandes diferencias entre los sitios, donde los mayores diámetros se presentaron en los sitios húmedos (Thulasidas y Bhat, 2009)

La proporción de duramen en Ecuador fue diferente en árboles que crecen en lugares húmedos y secos, mostrando los lugares secos proporciones de duramen significativamente más altos a diferencia de los lugares húmedos (Crespo *et al.*, 2008).

En Togo, en árboles que crecen en cuatro zonas diferentes, el alto contenido de duramen y el crecimiento es más favorable en zonas con la mayor proporción de precipitación anual (1200-1500 mm al año) (Kokutse *et al.*, 2004).

## 2.4. Densidad

Luiz *et al.* (2009) reportan que, “la densidad básica presenta un comportamiento de aumentar de la médula (0.53) hacia la corteza (0.56), siendo que, a partir de la zona media, los valores se vuelven más estables”.



Izekor *et al.* (2010) indican “que la densidad promedio, basada en el peso seco al horno y el volumen, para la madera de *T. grandis* a edades de 15, 20 y 25 años, fue de 480, 556 y 650 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Esto implica que a medida que la madera envejece, su densidad tiende a aumentar. También observaron una disminución de la densidad desde la base del tronco hacia la parte superior, con un aumento de la densidad desde la parte interna hacia la parte externa de la madera”.

Por otro lado, Miranda *et al.* (2011) informan “que la densidad básica promedio de la madera de teca fue de 607 kg/m<sup>3</sup>, con variaciones que oscilaban entre 579 y 633 kg/m<sup>3</sup> entre diferentes árboles. Además, notaron que la densidad aumentaba a lo largo del tronco, desde 555 kg/m<sup>3</sup> en la base hasta 674 kg/m<sup>3</sup> hacia la parte superior.

También se observó un aumento en la densidad desde la médula hacia la corteza en la parte inferior del tronco, con valores promedio de 520 kg/m<sup>3</sup> a 10% de la distancia desde la médula y 601 kg/m<sup>3</sup> a 90% de la distancia desde la médula. Sin embargo, en la parte media del tronco, las diferencias en la densidad entre las regiones radiales eran menos significativas.

Este aumento en la densidad desde la médula hacia la corteza refleja la presencia de anillos de crecimiento más estrechos en la parte externa del tronco”.

Solorzano *et al.* (2012) evaluaron que, “en clones de 4 años en madera de Teca, la densidad básica promedio fue de 0.46 g/cm<sup>3</sup>, siendo baja la densidad por tratarse de madera juvenil, que presentan pared celular delgada y un alto ángulo de inclinación de las microfibras”.

## 2.5. Durabilidad natural

En el duramen de la madera de teca, con edades en rango de 5.5 a 10 años en Malasia, Niamké *et al.* (2011) reportan que, “el duramen osciló entre altamente a moderadamente resistentes contra el ataque de hongos, lo que indica un alto grado de variabilidad entre los árboles muestreados”.

En Java (India) en árboles de 17 y 27 años, Lukmandaru (2011) mencionó que, “en la posición radial de la madera de teca, la pérdida de peso por ataque de termitas tendió a aumentar del duramen exterior a la médula. La pérdida de peso en duramen interior no difería del duramen exterior. Sin embargo, la pérdida de peso en el duramen cerca de la médula fue ligeramente más alta que aquellos en duramen interno y externo. En posición axial, la pérdida de masa en la parte media fue menor que de la parte superior e inferior. Además, la pérdida de peso en la parte superior fue mayor que en la parte inferior”.

En Costa Rica en plantaciones de 7 a 15 años, Moya y Berrocal (2010) evaluaron que, “el color más claro (L\*) en el duramen se asocia a la baja resistencia contra hongos pero que el color enrojecido (a\*) aumenta la resistencia a la pudrición”.

En Costa Rica en plantaciones de 13 años, Moya *et al.* (2009b) reportan que, “la resistencia al ataque de hongos fue similar en el duramen próximo a la médula y el duramen próximo a la albura para los dos tipos de clima y las calidades de sitio. No obstante, en algunas muestras, observaron que el duramen presenta valores de degradación similar a la albura, este comportamiento se dio principalmente en la madera que está cerca de la médula, en los árboles procedentes del clima húmedo tropical”.

En dos diferentes sitios de Togo en árboles de 34 y 40 años, Kokutse *et al.* (2009b) evaluaron que, “la madera estudiada fue muy resistente al ataque de hongos y que los árboles en suelos hidromórficos tropicales ferruginosos eran menos resistentes en comparación con los árboles del suelo drenado, también determinaron que existe una variación radial, donde en ambos sitios el duramen externo era menos resistente a *C. versicolor* que el duramen interno. Sin embargo, el duramen intermedio no fue significativamente diferente del duramen interno y externo”.

## 2.6. Extractos

En el duramen externo de árboles con edades de 8, 30 y 51 años, los contenidos totales de extracto fueron 5.3, 7.01 y 8.04%, respectivamente (Lukmandaru y Takahashi, 2009).

Los extractos menos polares se caracterizan por un incremento significativo debido a la transformación de la madera juvenil en madera adulta y que con la edad del duramen aumentan los compuestos menos polares. En árboles de 8 años, el contenido de extractos en el duramen fue menor (7.15%) a diferencia de árboles con 30 y 50 años (8.53 y 9.17%) (Lukmandaru y Takahashi, 2008).

En plantaciones agroforestales, la cantidad total de extractos fue diferente entre sitio húmedo y sitio seco, siendo mayor para el sitio seco de 16% a diferencia del sitio húmedo fue más bajo con 12% y no difirió significativamente con la plantación forestal que tuvo 13% (Bhat *et al.*, 2005).

### 3. CARACTERÍSTICAS DE TECA

#### 3.1. Distribución natural

Fonseca (2004) menciona que, “Teca (*T. grandis*) es una especie arbórea decidua perteneciente a la familia Verbenaceae originaria de India, Birmania, Tailandia, Java e Indonesia, en estado adulto el árbol es recto de hasta 30 m de altura y 80 cm de diámetro (Jayaraman, 2011). En la mayoría de los países donde se ha introducido es conocida como teca o teak (en inglés), sin embargo, sus nombres varían según el país o región. Por ejemplo, en India se le denomina sagun, sagon, sagan, skhu, toak, shilp tru, o Indian oak, o teck (como se le conoce también en Francia, Inglaterra y Holanda). En Indonesia se le llama jati, deleg y kulidawa. En Birmania es conocida como Kyun, y en Laos y Tailandia se le llama sak y mai-sak, respectivamente”.

#### 3.2. Descripción botánica

Francis (2003) menciona que, “las flores de Teca son pequeñas, blancas y perfectas. La floración se presenta aproximadamente 2 meses luego de finalizar la temporada lluviosa y esta especie produce semillas viables a partir de los 3 años. Las mejores cosechas de semillas son obtenidas en plantaciones no mayores a 20 años”.

#### 3.3. Condiciones climáticas

Prasad y Vanlalremkimi (2008) mencionan que, “para su óptimo desarrollo y crecimiento la teca requiere un clima cálido húmedo, con precipitaciones de 1270 a 3800 mm anuales, sin embargo, para la producción de madera de buena calidad la especie requiere una estación seca de por lo

menos cuatro meses con 60 mm de precipitación como mínimo, temperatura mínima mensual superior a 13°C, máxima por debajo de 40°C y altitud entre los 200 y 900 m”.

### 3.4. Condiciones edáficas

Chávez y Fonseca (1991) mencionan que, “el suelo debe ser profundo, fértil, húmedo, aireado, con buen drenaje, textura franco arenosa y pH de 6.5 a 7.5, por abajo del rango puede morir y por arriba su crecimiento se inhibe. Cuando el suelo es poco profundo o muy delgado se presenta muerte descendente. Debe plantarse en terrenos aluviales, ondulados con abundante materia orgánica. Es una especie heliófila y con poca tolerancia a la competencia por luz”.

### 3.5. Características de la madera

Destaca por su color marrón dorado, vetado y textura, entre las múltiples cualidades de su madera, que la convierten en una madera altamente atractiva; su alta estabilidad dimensional la hace fácil de trabajar; su alta durabilidad natural y resistencia al biodeterioro la hace propicia para el uso en la fabricación de una extensa gama de productos para interiores y exteriores (Thulasidas *et al.*, 2006; Tamarit y López, 2007).

Hallett *et al.* (2011) mencionan que, “por las excelentes propiedades tecnológicas de su madera tiene alta demanda en el mercado internacional, es usada como estándar de comparación con otras maderas y por su alta reputación es considerada en todo sentido la madera más valiosa del mundo y bien podría ser catalogada como la reina de todas las maderas”.

### **3.6. Teca en México**

En México, la teca ha experimentado un aumento significativo en la plantación a gran escala en los últimos años debido a su rápido crecimiento y su alto valor económico. Principalmente, se ha establecido en forma de plantaciones forestales comerciales (PFC), especialmente en la región sureste del país. La introducción de la teca en México se remonta a 1945, cuando se comenzó a cultivar en estados como Campeche, Veracruz, Quintana Roo, Tabasco y Chiapas, según el informe de López y González (2005).

CONAFOR (2012) reportó, “una superficie plantada de 149 959 ha, de las cuales la superficie plantada de teca alcanzó 18 009 ha cubriendo alrededor de 12% del total, ocupando el quinto lugar en importancia en cuanto a superficie plantada y manteniendo una tendencia creciente”.

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. Áreas de estudio**

Se llevo a cabo en dos plantaciones forestales de Teca de 9 años, en los municipios de Las Choapas y de San Blas, del estado de Veracruz y de Nayarit, respectivamente; presentando un espaciamiento inicial de 3.5 m x 3.5 m.

## 4.2. Etapa de campo

### 1) Evaluación del crecimiento en las plantaciones

Con el objetivo de relacionar el crecimiento de las plantaciones jóvenes con las propiedades de la madera de Teca, se tuvieron en consideración los siguientes:

- ❖ El diámetro a la altura del pecho (DAP) se midió a una distancia de 1.30 metros desde la base del árbol, utilizando una cinta métrica. Esta medida se considera estándar a nivel mundial y se utiliza ampliamente en inventarios forestales, siguiendo la metodología descrita por Romahn *et al.*, 1994). Para obtener los datos del diámetro se utilizó la siguiente ecuación:

$$DAP = \frac{C}{\pi}$$

Donde: *La investigación, su esencia y arte.*

D: Diámetro a la altura del pecho en cm

C: Circunferencia en cm

$\pi$ : 3.1416

- ❖ Altura total. Se midió con un clinómetro, se precedió a medir de la de la base del árbol y de la parte superior en porcentaje. Se colocó una cinta métrica hasta donde se pudiera ver la parte de arriba del árbol (15 a 20 m) y se midió horizontalmente la distancia de la base del árbol. Se usó lo siguiente:

$$H = \frac{D_h (L_s - L_b)}{100}$$

Donde:

H: Altura en m

$D_h$ : Distancia horizontal en m

$L_s$ : Lectura superior del árbol en %

$L_b$ : Lectura de la base del árbol en %

## 2. Tumbado y trozado de los árboles

Se seleccionaron 8 árboles por sitio, que no presentaron bifurcaciones, torceduras, daños por hongos o insectos y fueron del segundo aclareo. Se cortó trozas de 50 cm de longitud, de donde se seccionó una rodaja de 5 cm de espesor para determinar el porcentaje de duramen. Los fustes de la parte del duramen fueron predimensionados (aserradas en tablas). Se cortó las tablas con un grosor de 45 cm y con orientación perpendicular a los anillos de crecimiento. Se obtuvo muestras para las propiedades anatómicas, densidad básica, durabilidad natural y para los extractos.

## 4.3. Etapa de laboratorio

### 1) Evaluación anatómica

Se cortó longitudinalmente un cubo de madera para la caracterización cuantitativa. Se colocó en baño María a 60°C, ácido acético glacial y peróxido de hidrógeno al 30% en mezcla 1:2 (solución disociadora de Franklin), en un tubo de ensayo y con una muestra compuesta de astillas de madera temprana



y madera tardía, y se dejó hasta que se mostraron suaves y blanquecinas. Con este material se prepararon las láminas (IAWA, 1989). A un aumento de 4X, en fotografías digitales se midieron en 25 fibras, la longitud de las fibras y a un aumento de 40 X se midieron el diámetro total de la fibra, el grosor de la pared celular y el diámetro del lumen.

Las probetas de 1 cm<sup>3</sup> se sometieron a un proceso de ebullición con agua para ser ablandadas. Se realizaron cortes histológicos en la sección transversal (Tv), tangencial (Tg) y radial (Rd) de la probeta de 15 a 30 μm. Con este material se prepararon las láminas permanentes (IAWA, 1989). A un aumento de 4X, en fotografías digitales en la sección transversal se midieron en 25 vasos de madera de primavera y de verano, el diámetro total de los vasos y la longitud de los vasos se midió en la sección radial. Se midieron 25 radios a un aumento de 4X en la sección tangencial, el ancho y largo de los radios. Se realizaron las mediciones anatómicas con el programa ArcGIS 3.5.

## **2) Evaluación del porcentaje de duramen**

Las rodajas de 5 cm de espesor se secaron al ambiente y fueron lijadas en la parte transversal con granulometría decreciente de las lijas de 80, 100 y 120.

Se midieron ortogonalmente las rodajas sin corteza, los diámetros y se midió el duramen con centro en la médula (sentidos: norte-sur y este-oeste). Se observó a nivel macroscópico el límite del área del duramen; a partir del cual, se calculó como porcentaje del área total sin corteza del corte transversal, el porcentaje de duramen.

### 3) Evaluación de la densidad básica

Según lo especificado en la norma ASTM D-2395-02 (ASTM, 2003), se elaboró las probetas. Se calculó el peso húmedo de la probeta. Se secó a 105°C hasta llegar a un peso constante. Mediante el cálculo de la relación entre peso seco y volumen verde se realizó el cálculo de la densidad básica

### 4) Evaluación de la durabilidad natural

Según lo especificado en las normas ASTM D-2017 (ASTM, 2007) y EN 350-1 (CEN, 1994), correspondiente para ensayos acelerados de laboratorio de durabilidad natural de madera, se realizó los ensayos de bloque-suelo y bloque-agar,

Se cortaron las probetas de prueba, controles y testigos con las dimensiones de 2.5 x 2.5 x 1 cm y 2.5 x 1.5 x 5 cm para los ensayos bloque-suelo y bloque-agar, respectivamente. Para el ensayo bloque-suelo se cortaron bloques alimentadores con dimensiones de 3 x 3 x 0.5 cm.

Se usaron hongos del Laboratorio de Propiedades y Usos de la Madera “Dr. Ezequiel Montes Ruelas” del Departamento de Madera, Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara. Según lo especificado en ASTM D-2017 (ASTM, 2007) y EN 350-1 (CEN, 1994), se usaron los hongos *Trametes versicolor* y *Phanerochaete chrysosporium* (pudrición blanca) y *Gloeophyllum trabeum* (pudrición parda); quienes recomiendan estos hongos xilófagos debido a su presencia frecuente y agresividad en maderas de latifoliadas y coníferas.

En cajas petri se sembraron los hongos *T. versicolor* y *G. trabeum* en medio de cultivo de extracto de malta agar y el hongo *P. chrysosporium* en

medio de cultivo de papa dextrosa agar. Se resembró los hongos de pudrición blanca una semana antes y el hongo de pudrición marrón fue de dos semanas antes y ser inoculados en la cámara de pudrición.

- a) Determinación de la durabilidad natural. Se realiza mediante la evaluación de la pérdida de peso de las probetas que se han expuesto al ataque de hongos xilófagos mediante los ensayos bloque-suelo y bloque-agar, y se utilizó lo siguiente:

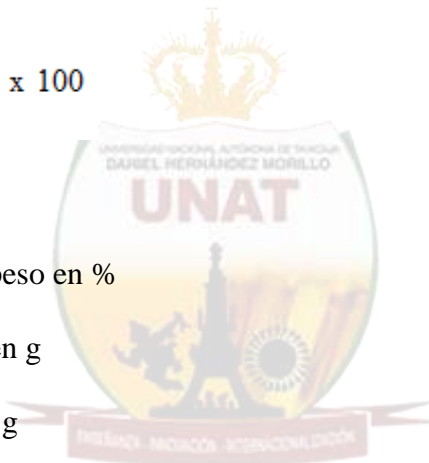
$$\% PW = \left[ \frac{W_i - W_f}{W_i} \right] \times 100$$

Donde:

PW: Pérdida de peso en %

$W_i$ : Peso inicial en g

$W_f$ : Peso final en g



- b) Determinación del contenido de humedad. Para el cálculo del contenido de humedad de las probetas que se han expuesto al ataque de los hongos xilófagos, en los dos ensayos, se utilizó lo siguiente:

$$\%CH = \left[ \frac{W_h - W_f}{W_f} \right] \times 100$$

Donde:

CH: Contenido de humedad en %

$W_h$ : Peso húmedo en g

$W_f$ : Peso seco final en g

c) Determinación de la categorización de la durabilidad natural.

Según lo especificado en ASTM D 2017-05 (ASTM, 2007) y EN 350-1 (CEN, 1994), que mediante la pérdida de peso de las probetas que se han expuesto a hongos xilófagos, se han establecido la categorización de la durabilidad natural de la madera en condiciones que favorezcan a estas especies.

Se presenta la categorización de la durabilidad natural de la madera:

**Tabla 1**

*Categorización de la durabilidad natural de la madera (ASTM D 2017-05)*

Clase de resistencia	Pérdida de peso (%)
Altamente resistente	0 a 10
Resistente	11 a 24
Moderadamente resistente	25 a 44
Ligeramente resistente	45 o superior

*La investigación, su esencia y arte.*

**Tabla 2**

*Categorización de la durabilidad natural de la madera (EN 350-1)*

Clase de resistencia	Categoría de resistencia	Pérdida de peso (%)
1	Muy durable	$0 \leq 5$
2	Durable	$5 \leq 10$
3	Moderadamente durable	$10 \leq 20$
4	Ligeramente durable	$20 \geq 30$
5	No durable	$> 30$

## 5) Evaluación de la cantidad de extractos

Se llevó a cabo un proceso de análisis de muestras de un gramo de material molido y tamizado (con un tamaño de partícula de 250 micrómetros) para calcular el contenido de humedad, así como de 50 gramos de muestra para realizar extracciones sucesivas utilizando solventes de diferentes polaridades como hexano, acetato de etilo y metanol.

El procedimiento consistió en agitar la mezcla de muestra y solvente en una proporción de 1:10 (50 gramos de muestra por cada 500 mililitros de solvente) a una temperatura ambiente y a una velocidad de agitación constante de 250 revoluciones por minuto durante un período de 24 horas para cada solvente. Posteriormente, se filtró la mezcla y se evaporó el solvente a una temperatura de 40 grados Celsius utilizando un rotavapor hasta que la muestra quedó completamente seca. Se pesó el extracto final obtenido en cada caso.

Se llevaron a cabo mediciones de la cantidad de extracto obtenido para cada solvente y se calculó la cantidad total de extractos. Además, se tuvo en cuenta el peso de las muestras antes y después del proceso de extracción con los solventes, lo que permitió determinar el contenido de humedad en las muestras. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de extractos} = \frac{\frac{(PMAE)}{1 + \left(\frac{CH}{100}\right)} - (PMDE)}{\frac{(PMAE)}{1 + \left(\frac{CH}{100}\right)}} \times 100$$

Donde:

CH: Contenido de humedad en %

PMAE: Peso de muestra antes de extracción en g

PMDE: Peso de muestra después de extracción en g

#### 4.4. Análisis estadístico

Se realizó en el programa Microsoft office 2010, un análisis estadístico básico. Para evaluar las diferencias significativas entre los sitios se tuvo que realizar un análisis de varianza (ANOVA). Las diferencias entre medias fueron a través de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Se realizó la correlación de Pearson para el crecimiento y las propiedades de la madera. Se usó el programa STATGRAPHICS Centurión.



*La investigación, su esencia y arte.*

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Determinación del crecimiento

Con la finalidad de poder relacionar el crecimiento con las propiedades de la madera de Teca, se realizó la medición de la altura total y del DAP en los dos sitios (Figura 1). La altura total promedio fue de 13 y 16 m en Las Choapas y San Blas, respectivamente.

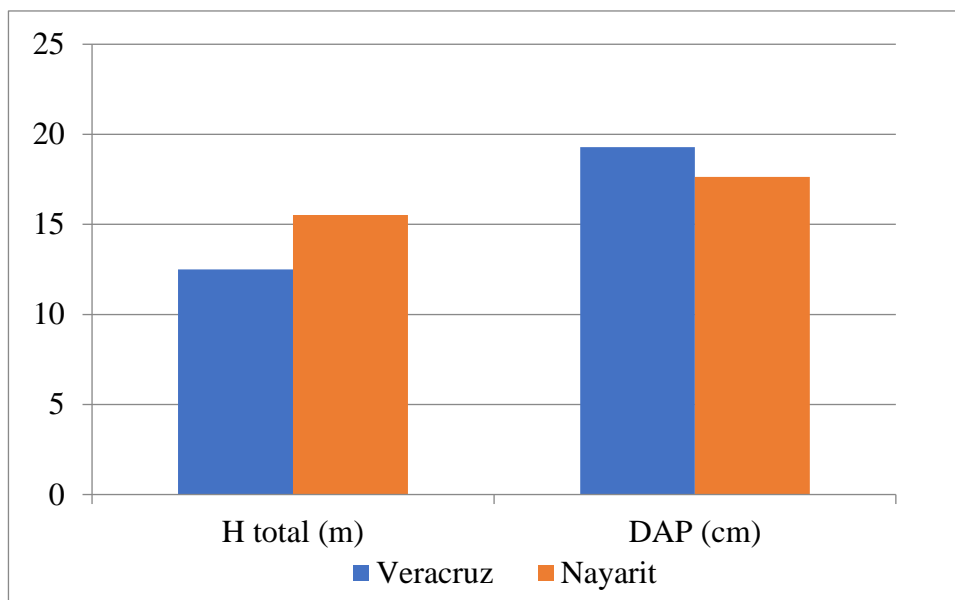
El DAP fue de 19.3 y 17.6 cm en Las Choapas y San Blas, respectivamente; por otro lado Chávez y Fonseca (1991) mencionan que en Argentina plantaciones con espaciamiento de 2 x 3 m con edades de 16 a 17 años, tuvieron de 16 m y de 14 a 15 cm en altura y DAP, respectivamente; en Brasil plantaciones con espaciamiento de 1 x 1 m con edad de 9 años, tuvieron de 9.3 m y de 9 cm en altura y de DAP, respectivamente; y en Colombia plantaciones con edades de 5 a 6 años, tuvieron 16 a 17 m de y de 14.5 a 15.4 cm en altura y DAP, respectivamente.

Concluyendo los investigadores, que en Colombia se encontraron los mejores crecimientos.

Las plantaciones presentaron un incremento medio anual de altura (IMAH) aproximado de 1.4 y 1.7 m, y con un incremento medio anual de diámetro a la altura del pecho (IMADAP) de 2.1 y 2 cm en las Choapas y San Blas, respectivamente. Asimismo, Vargas *et al.* (2007) reportan que los incrementos en altura, bajan hasta un metro a partir del noveno año y que bajan hasta 1.5 cm los incrementos diamétricos; por ello, la Teca de ambos sitios está en un crecimiento de nivel medio.

**Figura 1**

*Crecimiento en altura total y DAP de dos sitios*



## 5.2. Descripción microscópica anatómica

Los cortes transversales (Tv), tangencial (Tg) y radial (Rd) de la madera de Teca de Las Choapas y San Blas se observaron en la Figura 2. En el corte transversal (Figura 2a y 2b) presentó en Las Choapas la madera de Teca principalmente vasos en agrupación solitaria y agrupados de 2 a 4 y la madera de Teca en San Blas presentó vasos agrupados de 2 a 3; la madera de Las Choapas presentó 5 vasos  $\text{mm}^{-2}$  en promedio y la madera de San Blas fue de 6 vasos  $\text{mm}^{-2}$ .

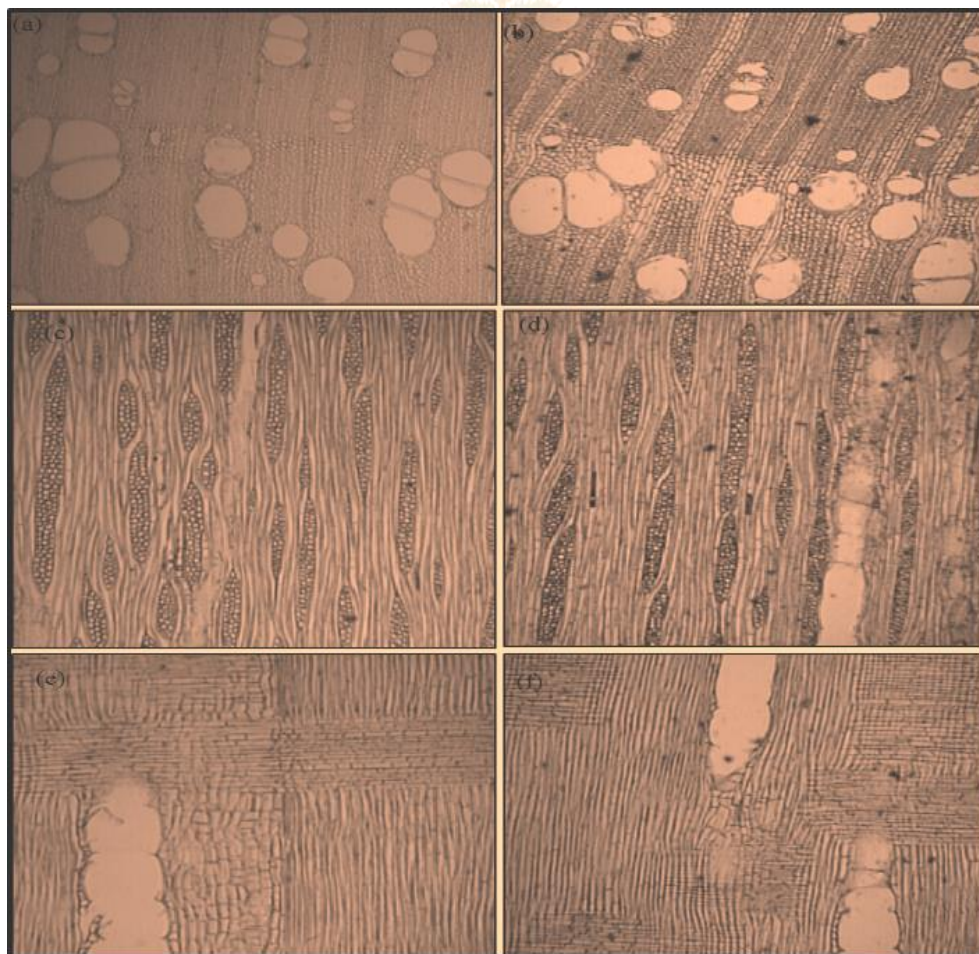
En el corte tangencial (Figura 2c y 2d) la madera de teca presentó en Las Choapas, parénquima radial con radios tetraseriados de células de 4 a 50 de largo por 2 a 4 de ancho y en San Blas fue de 6 a 60 células; en las Choapas fueron cortos las células en los radios uniseriados de 3 a 9 de largo y en San



Blas fue de 3 a 12. En el corte radial (Figura 2e y 2f) la madera de teca en los dos sitios presentó radios compuestos por un solo tipo de células denominados homocelulares.

## Figura 2

*Cortes histológicos (4X) de la madera de dos sitios (a)Transversal-Las Choapas (b)Transversal-San Blas (c)Tangencial-Las Choapas (d)Tangencial-San Blas (e)Radial-Las Choapas (f)Radial-San Blas*



### 5.3. Determinación de la densidad básica

La densidad básica que presentó la madera de Teca de San Blas fue de  $0.50 \text{ g cm}^{-3}$  y de Las Choapas fue de  $0.53 \text{ g cm}^{-3}$ , que según Castro y Raigosa (2000) la madera de esta especie no tendrá problemas de mayores contracciones, torceduras y en ciertos eventos de agrietamientos. Estos resultados coinciden con trabajos reportados en Ecuador, Costa Rica e India para árboles de cuatro años densidades de  $0.50$  y  $0.60 \text{ g/cm}^3$ , para árboles de 8 años densidades de  $0.50$  y  $0.65 \text{ g/cm}^3$ , para árboles de 18 y 22 años densidades de  $0.48$  y  $0.52 \text{ g/cm}^3$ , para árboles de 20 años densidades de  $0.53$  y  $0.57 \text{ g/cm}^3$ , para árboles que son irrigados densidades de  $0.47$  y  $0.59 \text{ g/cm}^3$  y para árboles dominantes de 60 años niveles de peso específico a partir  $0.48$  hasta  $0.53$  (Bhat, 2000; Pérez y Kanninen, 2003; Córdoba y Sáenz, 2004; Pérez y Kanninen, 2005; Crespo *et al.*, 2008).

De acuerdo a la norma ASTM (2003), la densidad de la madera de Teca de Las Choapas y San Blas se considera como media, siendo influenciada esta propiedad por la edad y el manejo silvicultural de los árboles más que por el estado del lugar de las plantaciones forestales (Moya y Arce, 2003; Pérez y Kanninen, 2005).

### 5.4. Determinación de la proporción del duramen

El porcentaje de duramen de la madera que presentó Las Choapas fue de 70% y San Blas fue de 57%, teniendo una diferencia entre sitios del 13%. Con respecto a esto, Higuchi *et al.* (1997) manifiestan que ocurren ciertos procesos químicos durante el proceso de formación del duramen, lo cual mejoraría los cambios de color y durabilidad natural de la madera, haciéndolo el factor que mejor definiría la calidad de la misma. Por lo tanto, el objetivo

principal en la producción de las especies es obtener durante el desarrollo de los árboles mayor porcentaje de duramen.

La formación de duramen en Teca, de acuerdo con Solorzano *et al.* (2012), se inicia relativamente temprano entre los 4 a 6 años, a diferencia de otras especies. Lo encontrado por Kokutse *et al.* (2004), concuerdan con la presente investigación, donde los árboles que tuvieron el mejor crecimiento y porcentaje de duramen estaban ubicados en sitios con mayor precipitación anual; mientras que Thulasidas y Bhat (2009), encontraron que la proporción del duramen no varió en condiciones húmedas y secas, en árboles de 35 años de la India.

De otra manera Pérez y Kanninen (2003) y Crespo *et al.* (2008) mencionan que en Costa Rica y en Ecuador, el mayor porcentaje de duramen de los árboles fue en los sitios secos a diferencia de los sitios húmedos, y lo atribuyen al cese del crecimiento en los sitios secos, lo que permite al árbol la depuración de material inerte en la formación anual del duramen.

### *La investigación, su esencia y arte.*

Por lo tanto, la formación del duramen podría explicarse no solo a partir de la precipitación, sino también podría deberse a varios factores sobre el aumento del porcentaje de duramen de los árboles de Teca.

## **5.5. Determinación de la durabilidad natural**

Hubo diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre los tipos de hongos y el ensayo usado, pero con respecto a los sitios no hubo diferencias significativas en la durabilidad natural (Cuadro 3).

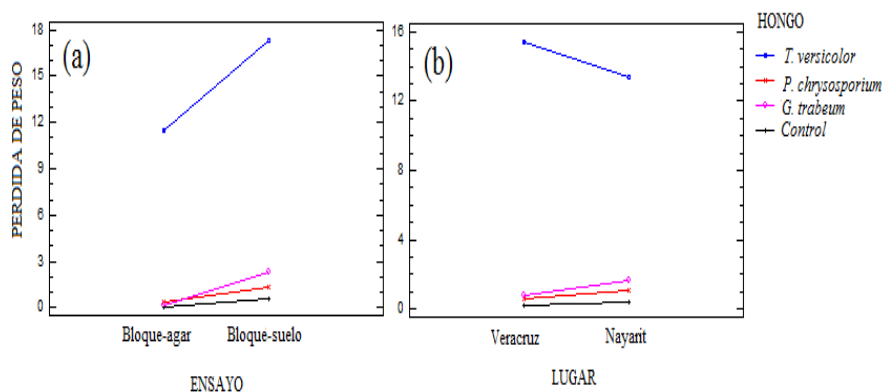
Se observó que en el ensayo de bloque-suelo fueron mayores las pérdidas de peso; sin embargo, los dos ensayos mantuvieron la misma tendencia en cuanto a la durabilidad natural de las probetas y la agresividad de los hongos xilófagos. Moya *et al.* (2009a), no encontraron diferencias significativas entre sitios cuando evaluaron en plantaciones de 13 años, la durabilidad natural frente a hongos de pudrición blanca y parda.

Mientras que Bhat *et al.* (2005) y Thulasidas y Bhat (2007) reportan que la madera de los árboles de los sitios secos tiene mayor durabilidad que los procedentes de sitios húmedos; asimismo, mencionan que en madera de los árboles de 35 años, el hongo de pudrición blanca causó pérdidas menores de 10%, mientras que el hongo de pudrición parda registró pérdidas de peso severas, esta misma situación fue mencionado por Miller *et al.* (2003) para diferentes especies de Bolivia en maderas tropicales duras (angiospermas), mientras que en la presente investigación el hongo de pudrición blanca *T. versicolor* fue el más agresivo, observándose que en la Figura 3, en las interacciones hongo-ensayo (Figura 3a) y hongo-lugar (Figura 3b), sobresale el hongo de pudrición blanca *T. versicolor* sobre los otros dos hongos.

Para poder precisar la potencialidad de uso de una especie estudiada ante la presencia de un riesgo de degradación se debe tener en cuenta la categorización más baja en la cual se haya clasificado a la madera, cuando se presenten diferencias entre bloque-agar y bloque-suelo en la categorización de la durabilidad natural (Silva y Torres, 2012).

**Tabla 3***Análisis de varianza (ANOVA) para durabilidad natural*

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Ensayo	710.174	1	710.174	59.99	0.0000
B:Hongo	17787	3	5929.01	500.81	0.0000
C:Lugar	3.54445	1	3.54445	0.3	0.5845
Interacciones					
AB	573.164	3	191.055	16.14	0.0000
AC	3.34758	1	3.34758	0.28	0.5951
BC	158.896	3	52.9652	4.47	0.0041
ABC	9.50102	3	3.16701	0.27	0.8488
Residuos	5872.08	496	11.8389		
Total	25117.7	511			
(Corregido)					

**Figura 3***Interacciones sobre pérdida de peso (a)Hongo-Ensayo (b)Hongo-Lugar*

## 5.6. Determinación de la cantidad de extractos

En el Cuadro 4 se observa la cantidad total de extractos y la cantidad de extractos procedentes de las fases sucesivas de extracciones. En San Blas se obtuvieron los contenidos más altos de extractos en la madera del duramen de Teca de los diversos solventes usados. Los extractos en hexano y acetato de etilo presentaron diferencias estadísticas y no se encontró diferencias significativas en los extractos de metanol. Los extractos totales de la madera procedente de San Blas fueron estadísticamente mayores a diferencia de la procedente de Las Choapas. La baja variación en la cantidad de los extractos totales fue en San Blas con coeficiente de variación de 8% y en los diferentes extractos el CV fue de 9 a 14%.

Se observaron diferencias significativas en la cantidad total de extractos entre los diferentes sitios estudiados. En el caso de Las Choapas, la cantidad fue del 5.5%, mientras que en San Blas fue del 8.8%. Esto se compara con investigaciones anteriores realizadas por Haupt *et al.* (2003) en plantaciones de Panamá con 29 años de edad, donde encontraron que la cantidad total de extractos estaba en el rango del 8.8% al 9.4%. Por otro lado, Lukmandaru y Takahashi (2009) mencionan que en árboles de 8, 30 y 51 años, la cantidad de extractos fue del 7.15%, 8.53% y 9.17%, respectivamente. En este contexto, San Blas se ubicó dentro de los niveles de extractos reportados. En particular, en San Blas se registró una mayor cantidad de extractos solubles en metanol. Además, Windeisen *et al.* (2003) informan que los extractos de la madera de una región seca en Panamá eran más solubles en éter de petróleo.

No hubo relación en las dos procedencias entre la durabilidad natural y la cantidad total de extractos, mencionando sobre ello Haupt *et al.* (2003) que la tectoquinona presente en el extracto como compuesto químico individual determina la durabilidad a diferencia de la cantidad total de extractos, así lo mencionan Mosedale *et al.* (1996) y Yamamoto *et al.* (1998). Los extractos de la madera de San Blas tenían el color más acentuado, mencionando Gierlinger *et al.* (2004) que la cantidad de extractos se relaciona con el color de la madera; la cual, es apreciada como la parte decorativa de la madera, en el mercado.

**Tabla 4**

*Cantidad de extractos (%) de la madera de Teca de dos sitios*

Tipo	Las Choapas	San Blas
Extracto en hexano (%)	1.3 <sup>a</sup> (14)	2.9 <sup>b</sup> (10)
Extracto en acetato de etilo (%)	1.2 <sup>a</sup> (14)	2.3 <sup>b</sup> (10)
Extracto en metanol (%)	3.0 <sup>a</sup> (11)	3.6 <sup>a</sup> (9)
Rendimiento total de extractos	5.5 <sup>a</sup> (19)	8.8 <sup>b</sup> (8)

Diferencias significativas (95%) en letras diferentes de la misma fila  
Entre paréntesis se muestra el coeficiente de variación

### **5.7. Relación del crecimiento con las propiedades de la madera**

En el Cuadro 5 se observa relaciones inversas bajas de la altura total con el diámetro total de la fibra, el diámetro total del vaso y el diámetro del lumen de la fibra; del mismo modo relaciones inversas moderadas de la altura total con la longitud de la fibra y la longitud del vaso. Izekor y Fuwape (2011), reportan que mientras la altura del árbol aumenta, la longitud de la fibra disminuye, y que tiende a ocurrir por la edad siendo producido mayormente

en la anatomía de la madera. Hubo una relación moderada entre la altura total y el porcentaje de duramen, presentando mayor altura los árboles en San Blas de 16 m con 57% de duramen en la madera con respecto a los árboles de Las Choapas que tuvo 13 m con un 70% de duramen, siendo relevante considerar este aspecto en el manejo silvicultural de plantaciones forestales de teca; mientras, que en la bibliografía se encuentra que el principal factor es la edad y después es el diámetro en el porcentaje de duramen (Pérez y Kanninen, 2003; Viquez y Pérez, 2005; Moya y Calvo-Alvarado, 2012). Hubo una relación baja entre la cantidad de extractos y la altura total, manifestando Thulasidas y Bhat (2007) que el sitio tiene influencia en el contenido de extractos, debido a que el sitio seco presentó mayor cantidad de extractos a diferencia del sitio húmedo.

**Tabla 5**

*Relación entre el crecimiento y las propiedades de la madera de Teca*

Propiedades	HT	DAP
Longitud de la fibra	-0.66*	0.23
Diámetro total de la fibra	-0.51*	0.27
Longitud del vaso	-0.68*	-0.27
Diámetro total del vaso	-0.53*	0.14
Diámetro del lumen de la fibra	-0.54*	0.43
Grosor de pared de la fibra	0.39	-0.38
Ancho de radio	-0.43	0.40
Largo de radio	-0.09	0.48
Densidad básica (g/cm <sup>3</sup> )	-0.23	0.09
Duramen (%)	-0.63*	0.22
Durabilidad natural	-0.19	-0.22
Cantidad de extractos	0.59*	-0.49

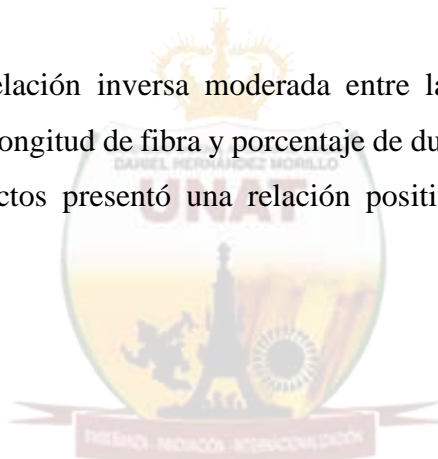
\*Significancia 95%

HT= altura total



## 6. CONCLUSIONES

- El porcentaje de duramen tuvo influencia del sitio siendo mayor en Las Choapas, mientras que la densidad básica no estuvo influenciada por el sitio.
- La mayor pérdida de peso fue ocasionada por el hongo *Trametes versicolor* en las dos procedencias y ensayos.
- La cantidad de extractos tuvo influencia del sitio siendo mayor en San Blas.
- Se encontró correlación inversa moderada entre la altura total con la longitud de vaso, longitud de fibra y porcentaje de duramen. Asimismo, la cantidad de extractos presentó una relación positiva moderada con la altura.



*La investigación, su esencia y arte.*

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alvarado, A., Chavarría, M., Guerrero, R., Boniche, J., Navarro, J. 2004. Características edáficas y presencia de micorrizas en plantaciones de teca (*Tectona grandis* Lf) en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 28(1), 89-100. [https://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v28n01\\_089.pdf](https://www.mag.go.cr/rev_agr/v28n01_089.pdf).
- Alvarado, A., Fallas, J. 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. *Agronomía Costarricense*, 28(1), 81-87. <https://www.redalyc.org/pdf/436/43628108.pdf>.
- Anantha, H. 2006. Informe internacional sobre la teca. Product Disclosure Statement - Rewards Group Teak Project International Teak Market Report. <https://docplayer.es/20959563-Informe-internacional-sobre-la-teca.html>.
- ASTM. 2003. Annual Book of American Section of the International Association for Testing Materials (ASTM) standards. ASTM D-2395-02: Standard test methods for specific gravity of wood and wood-base materials.
- ASTM. 2007. Annual Book of American Section of the International Association for Testing Materials (ASTM) standards. Standard D-2017-05. Standard test methods for accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods.
- Bebarta, K. 1999. Teak: ecology, silviculture, management, and profitability. India. 380 p.

- Bhat, K. 2000. Timber quality of teak from managed tropical plantations with special reference to Indian plantations. *Bois et forêts des tropiques*, 263(1), 6-15.
- Bhat, K., Priya, P. 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., Thulasidas, P., Florence, E., Jayaraman, K. 2005. Wood durability of home-garden teak against brown-rot and white-rot fungi. *Trees*, 19(6), 654-660. <https://doi.org/10.1007/s00468-005-0429-0>.
- Castro, F., Raigosa, J. 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. *Agronomía Costarricense*, 24(2), 7-23. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/10037>.
- CEN. 1994. Standard EN 350-1. Durability of wood and wood-based products -Natural durability of solid wood. Part 1: Guide to the principles of testing and classification of the natural durability of wood. Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe. European Committee for Standardization (CEN). 15 p.
- CONAFOR. 2013. Especies maderables establecidas en PCF por año. <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/plantaciones-forestales/>.

- CONAFOR. 2012. Programa de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales, a 15 Años de su Creación. Zapopan, Jalisco, México.
- Córdoba, R., Sáenz, M. 2004. Propiedades físico-mecánicas de teca de Costa Rica y Panamá. [www.FundatecITCR.com](http://www.FundatecITCR.com).
- Crespo, R., Jiménez, E., Suatunce C., Law B, Fonseca, C. 2008. Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera de teca (*Tectona grandis* LF) de Quevedo y Balzar. *Ciencia y Tecnología*, 1(2), 55-63. <https://doi.org/10.18779/cyt.v1i2.74>.
- Cutter, B., Coggeshall, M., Phelps, J, Stokke, D. 2004. Impacts of forest management activities on selected hardwood wood quality attributes: a review. *Wood and fiber science*, 36(1), 84-97.
- Chávez, E., Fonseca, W. 1991. *Tectona grandis* L.f. especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE, Turrialba, Costa Rica. [https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4173/Teca\\_Tectona\\_grandis.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4173/Teca_Tectona_grandis.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- FAO. 1992. Teak in Asia. Secondary Teak in Asia. Guangzhou, China.
- Fonseca, W. 2004. Manual para productores de teca (*Tectona grandis* L. f) en Costa Rica. <https://www.fonafifo.go.cr/media/1332/manual-para-productores-de-teca.pdf> .
- Francis, J. 2003. *Tectona grandis* L.f. <http://www.rngr.net/Publications/ttsm/Folder>.

- Gierlinger, N., Jacques, D., Grabner, M., Wimmer, R., Schwanninger, M., Rozenberg, P., Pâques, L. 2004. Colour of larch heartwood and relationships to extractives and brown-rot decay resistance. *Trees*, 18(1), 102-108. <https://doi.org/10.1007/s00468-003-0290-y>.
- Hallett, J., Diaz-Calvo, J., Villa-Castillo, J., Wagner, M. 2011. Teak Plantations: Economic Bonanza or Environmental Disaster?. *Journal of Forestry*, 109(5), 288-292. <https://doi.org/10.1093/jof/109.5.288>.
- Haupt, M., Leithoff, H., Meier, D., Puls, J., Richter, H., Faix, O. 2003. Heartwood extractives and natural durability of plantation-grown teakwood (*Tectona grandis* L.)—a case study. *Holz Roh Werkst*, 61(6), 473-474. <https://doi.org/10.1007/s00107-003-0428-z>.
- Higuchi, T., Fukazawa, K., Shimada, M. 1997. Biochemical studies on the heartwood formation. *Rcs. Bull. Coli. Expt. For.*, 25(1), 167-193.
- IAWA. 1989. List of microscopic features for hardwood identification. In: Wheeler, E., Baas, P., Gasson, P. (Eds.). *IAWA Bull.* (ns). Leiden, The Netherlands. 332 p.
- Izekor, D., Fuwape, J. 2011. Variations in the anatomical characteristics of plantation grown *Tectona grandis* wood in Edo State, Nigeria. *Archives of Applied Science Research*, 3(1), 83-90.
- Izekor, D., Fuwape, J., Oluyege, A. 2010. Effects of density on variations in the mechanical properties of plantation grown *Tectona grandis* wood. *Archives of Applied Science Research*, 2(6), 113-120.

- Jayaraman, K. 2011. Report on the international training programme on teak. In: Jayaraman, K., Bhat, K.. (Eds.). Proceedings of the international training programme. Innovations in the management of planted teak forests. Kerala, India. s/ p.
- Kokutse, A., Adjonou, K., Kokou, K. 2009b. Relationship between ecological indicators and teak wood characteristics in Tchorogo plantation (Togo). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 3(3), 483-491. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v3i3.45352>.
- Kokutse, A., Adjonou, K., Kokou, K., Gbeassor, M. 2009a. Problématique de la performance du teck de provenance tanzanienne par rapport au teck local en plantation au Togo. *Bois et forêts des tropiques*, 302(4), 1-10. <https://doi.org/10.19182/bft2009.302.a20399>.
- Kokutse, A., Baillères, H., Stokes, A., Kokou, K. 2004. Proportion and quality of heartwood in Togolese teak (*Tectona grandis* Lf). *Forest ecology and management*, 189(1), 37-48.
- López, C., González, A. 2005. Cultivo de la especie forestal comercial teca en el Sureste de México. Plan de negocios. Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal. México. 55 p.
- Luiz, I., Borges F., S., Luiz L, E. 2009. Influência do espaçamento em algumas propriedades físicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. *Cerne*, 15(2), 244-250.

- Luiz, I., Garcia, R., Longui, E., Borges, S. 2011. Dimensões anatômicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. em função do espaçamento e da posição radial do tronco. *Scientia Forestalis*, 39(89), 61-68.
- Lukmandaru, G. 2011. Variability in the natural termite resistance of plantation teak wood and its relations with wood extractive content and color properties. *Journal of Forestry Research*, 8(1), 17-31. <http://dx.doi.org/10.20886/ijfr.2011.8.1.17-31>.
- Lukmandaru, G., Takahashi, K. 2008. Variation in the natural termite resistance of teak (*Tectona grandis* Linn. fil.) wood as a function of tree age. *Ann. For. Sci.*, 65(7), 708-708. <https://doi.org/10.1051/forest:2008047>.
- Lukmandaru, G., Takahashi, K. 2009. Radial distribution of quinones in plantation teak (*Tectona grandis* L.f.). *Ann. For. Sci.*, 66(6), 605-605. <http://dx.doi.org/10.1051/forest/2009051>.
- Miller, R.B.; Wiedenhoef, A.C.; Williams, R.S.; Stockman, W.; Green, F. 2003. Characteristics of ten tropical hardwoods from certified forests in Bolivia. Part II. Natural durability to decay fungi. *Wood and fiber science* 35(3): 429-433.
- Miranda, I., Sousa, V., Pereira, H. 2011. Wood properties of teak (*Tectona grandis*) from a mature unmanaged stand in East Timor. *Journal of wood science*, 57(3), 171-178. <https://doi.org/10.1007/s10086-010-1164-8>.

- 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. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5493>.
- Mollinedo, M., Ugalde, L., Alvarado, A., Verjans, J., Rudy, L. 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. *Agronomía Costarricense*, 29(1), 67-75.
- Montero, M. 1999. Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L.f. y *Bombacopsis quinatum* (Jacq), Dugand, en Costa Rica. Tesis de Maestría, Universidad Austral de Chile. 111 p.
- Montero, V. 1995. Dinámica de crecimiento en teca (*Tectona grandis* L.) bajo fertilización en El Limón de Chupampa, Herrera-Panamá. Seminario Técnico Fertilización Forestal. Santiago, Veraguas, Panamá. 29 p.
- Mosedale, J., Charrier, B., Janin, G. 1996. Genetic control of wood colour, density and heartwood ellagitannin concentration in European oaks (*Quercus petraea* and *Q. robur*). *Forestry* 69, 111-124. <https://doi.org/10.1093/forestry/69.2.111>.
- Moya, R., Arce, V. 2003. Estudio experimental del efecto del espaciamiento sobre las propiedades físicas de peso específico básico y contracciones en plantaciones de teca (*Tectona Grandis*) de 10 años. *Revista Forestal Venezolana*, 47(1), 153-161.



- Moya, R., Berrocal, A. 2010. Wood colour variation in sapwood and heartwood of young trees of *Tectona grandis* and its relationship with plantation characteristics, site, and decay resistance. *Ann. For. Sci.*, 67(1), 109. <https://doi.org/10.1051/forest/2009088>.
- Moya, R., Berrocal, A., Serrano, J., Tomazello F., M. 2009a. 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. *Forest Systems*, 18(2), 119-131. <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2009182-01055>.
- Moya, R., Berrocal, A., Serrano, J., Tomazello, M. 2009b. Variación radial de la anatomía, densidad y durabilidad de la madera de teca (“*Tectona grandis*”) procedente de dos calidades de sitio y dos regiones climáticas de Costa Rica. *Investigación agraria: Sistemas y recursos forestales*, 18(2), 119-131.
- Moya, R., Calvo-Alvarado, J. 2012. Variation of wood color parameters of *Tectona grandis* and its relationship with physical environmental factors. *Ann. For. Sci.*, 69(8), 947-959. <https://doi.org/10.1007/s13595-012-0217-0>.
- Niamké, F., Amusant, N., Charpentier, J., Chaix, G., Baissac, Y., Boutahar, N., Adima, A., Kati-Coulibaly, S., Jay-Allemand, C. 2011. Relationships between biochemical attributes (non-structural carbohydrates and phenolics) and natural durability against fungi in dry teak wood (*Tectona grandis* L. f.). *Ann. For. Sci.*, 68(1), 201-211. <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0021-2>.

- Pérez, D., Kanninen, M. 2003. Heartwood, sapwood and bark content, and wood dry density of young and mature teak (*Tectona grandis*) trees grown in Costa Rica. *Silva Fennica*, 37(1), 45-54. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.511>.
- Pérez, D., Kanninen, M. 2005. Effect of thinning on stem form and wood characteristics of teak (*Tectona grandis*) in a humid tropical site in Costa Rica. *Silva Fennica*, 39(2), 217-225. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.385>.
- Pérez, P. 2009. Fertilización NPK y demanda nutrimental de cuatro especies en fases temprana de crecimiento. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, México. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/1287>.
- Prasad, V., Vanlalremkimi, J. 2008. Growing stock variation in different teak (*Tectona grandis*) forest stands of Mizoram, India. *Journal of Forestry Research*, 19(3), 204-208. <https://doi.org/10.1007/s11676-008-0043-2>.
- Romahn, C, Ramírez M., Treviño, J. 1994. Dendrometría. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 354 p.
- Saranpää, P. 2003. Wood density and growth. In: Barnett, J., Jeronimidis, G. (Eds.). Wood Quality and its biological basis. CRC Press. Boca Ratón, Florida, USA. 226 p.

- Silva, J., Torres, P. 2012. Durabilidad Natural. In: ITTO (Ed.). Industrialización, Comercialización y Manejo Sostenible de diez Especies Nativas Mexicanas. México. 226 p.
- Solorzano, S., Moya, R., Chauhan, S. 2012. Early genetic evaluation of morphology and some wood properties of *Tectona grandis* L. clones. *Silvae genética*, 61, 58-65. <http://dx.doi.org/10.1515/sg-2012-0008>.
- Tamarit, J., López, J. 2007. Xilotecnología de los principales árboles tropicales de México. INIFAP-CIR Golfo Centro, C.E.S.M. Libro Técnico No. 3. Tlahuapan, Puebla, México. 264 p.
- Thulasidas, P., Bhat, K. 2007. Chemical extractive compounds determining the brown-rot decay resistance of teak wood. *Holz Roh Werkst*, 65(2), 121-124. <https://doi.org/10.1007/s00107-006-0127-7>.
- Thulasidas, P., Bhat, K. 2009. Log characteristics and sawn timber recovery of home-garden teak from wet and dry localities of Kerala, India. *Small-scale Forestry*, 8(1), 15-24. <http://dx.doi.org/10.1007/s11842-008-9064-0>.
- Thulasidas, P., Bhat, K., Okuyama, T. 2006. Heartwood colour variation in home garden teak (*Tectona grandis*) from wet and dry localities of Kerala, India. *Journal of Tropical Forest Science*, 18(1), 51.
- Vaides, 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.  
<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4036>.

- Vargas, M., Quezada, H., Morales, M. 2007. Estado actual de las investigaciones de la Teca (*Tectona grandis* L.F.) en el valle de sacta, Cochabamba. Bolivia. 3 p.
- Viquez, E., Pérez, D. 2005. Effect of pruning on tree growth, yield, and wood properties of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Silva Fennica*, 39(3), 381. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.375>.
- Windeisen, E., Klassen, A., Wegener, G. 2003. On the chemical characterisation of plantation teakwood from Panama. *Holz Roh Werkst*, 61(6), 416-418. <https://doi.org/10.1007/s00107-003-0425-2>.
- Yamamoto, K., Simatupang, M., Hashim, R. 1998. Caoutchouc in teak wood (*Tectona grandis* L. f.): formation, location, influence on sunlight irradiation, hydrophobicity and decay resistance. *Holz Roh Werkst*, 56(3), 201-209. <https://doi.org/10.1007/s001070050299>.

## ANEXOS

### Anexo 1. Colección fotográfica

#### Figura 4

*Tumbado del árbol de Teca*



**Figura 5**

*Corte del fuste*



**Figura 6**

*Rodajas de Teca del municipio de las Choapas, Veracruz*



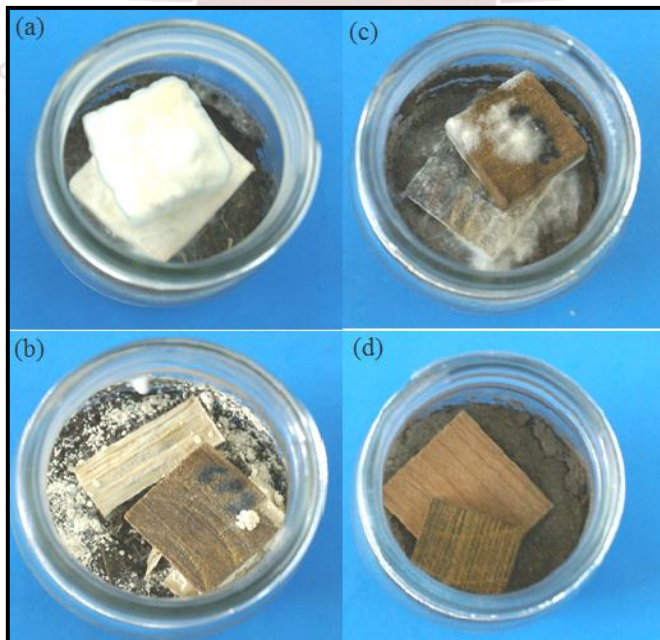
**Figura 7**

*Rodajas de Teca del municipio de San Blas, Nayarit*



**Figura 8**

*Ensayo bloque-suelo (a) y (c) hongos de pudrición blanca (b) hongo de pudrición marrón (d) control*



**Figura 9**

*Ensayo bloque-agar (a) y (c) hongos de pudrición blanca (b) hongo de pudrición marrón (d) control*

