

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Resistencia de la madera de teca (*Tectona grandis* L.f.) proveniente de plantaciones forestales ante el ataque de termitas de madera seca *Cryptotermes brevis* (Walker)

Alexander Berrocal Jiménez¹
Laura Vanessa Rojas Acuña¹

Resumen

Diversos factores como la edad del árbol, tipo de madera (albura o duramen), condiciones climáticas y edafológicas, contribuyen a que una especie sea más ó menos resistente al ataque de organismos extraños. El objetivo principal de este ensayo, fue determinar el grado de resistencia de la madera de *Tectona grandis* L.f. (teca) proveniente de plantaciones forestales jóvenes, creciendo en diferentes condiciones de sitio, tanto en la región Pacífico Central, como en la región Atlántica de Costa Rica, ante el ataque de termitas de madera seca *Cryptotermes brevis* (Walker). Se determinó que la madera de albura y de duramen de *T. grandis* es altamente resistente al ataque de este tipo de termitas, en la mayoría de los casos, la pérdida de peso de *T. grandis* no sobrepasó el 1%. Además se comprobó que preservar la madera con sales inorgánicas de boro, es altamente efectivo para controlar el ataque de *C. brevis*. La mortalidad de las termitas fue completa en madera preservada y alta en la madera sin preservar, según la clasificación de la norma ASTM D-3345. Así mismo, los daños en la madera tratada se catalogaron como mínimos ó ataques ligeros, mientras que en la madera sin preservar fueron ataques moderados y ligeros; la clasificación se hizo con la escala propuesta por la norma ASTM D-3345. El análisis de varianza (ANDEVA) realizado para la pérdida de peso, mostró una interacción significativa únicamente asociada al tratamiento aplicado (preservación con sales de boro), por lo que se concluye que la región, el sitio y el tipo de madera, no influyen directamente en la resistencia de la madera de *T. grandis*, ante el ataque de termitas de madera seca.

Palabras claves: Teca, *Tectona grandis*, Resistencia, Albura, Duramen, Preservación de la madera, Sales inorgánicas de boro, *Cryptotermes brevis*, Termitas de madera seca.

Abstract

Teak (*Tectona grandis* L.f.) wood resistance, from forest plantation, to the attack of dry wood termites *Cryptotermes brevis* (Walker). Different factors as tree age, type of wood (sapwood or heartwood), climatic and soil conditions, contribute for a species to be more or less resistant to the attack of foreign organisms. The objective of this trial was to determine the degree of resistance of *Tectona grandis* L.f. wood (teak) from young forest plantations, growing under different site conditions, in the Central Pacific region as well as in the Costa Rican Atlantic region, to the attack of dry wood termites *Cryptotermes brevis* (Walker). It was determined that *T. grandis* sapwood and heartwood were highly resistant to the attack of this type of termites, in most cases weight loss was no more than 1%. Furthermore it was shown that treating wood with boron inorganic salts is highly effective to

¹ Instituto Tecnológico de Costa Rica. aberrocal@itcr.ac.cr, lauraceae@costarricense.cr.

control the *C. brevis* attack. Termite mortality was complete in treated wood trials and high in non treated wood, according to ASTM D-3345 standard. Damages in treated wood were categorized as minimal or light, while in non treated wood were moderate to light. Classification was made based on the ASTM D-3345. ANOVA for weight loss showed a significant interaction associated only to the applied treatment (boron salts preservation), therefore concluding that region, site and wood type, do not directly affect the resistance of *T. grandis* wood to dry wood termites.

Keywords: Teak, *Tectona grandis*, Resistance, Sapwood, Heartwood, Wood preservation, Inorganic boron salts, *Cryptotermes brevis*, Dry wood termites.

INTRODUCCIÓN

La durabilidad natural de la madera se define como la resistencia intrínseca de la madera frente a degradaciones de los agentes que la destruyen, como hongos cromógenos y de pudrición, insectos xilófagos de ciclo completo (anóbidos, líctidos y cerambícidos), insectos sociales (termitas) y xilófagos marinos (Peraza, 2002).

La durabilidad de la madera depende de varios factores inherentes a su naturaleza, uno de ellos es el tipo de madera, ya que por ejemplo en la madera de albura suelen encontrarse sustancias de reserva como azúcares y almidones, que la hacen especialmente apetecible para hongos e insectos xilófagos; por el contrario, la madera de duramen contiene otro tipo de sustancias, propias del proceso de duraminización, que tienen en algunos casos, propiedades inhibitorias para el desarrollo de esos organismos, algunas de estas sustancias son: aceites esenciales, resinas, taninos, gomas, compuestos fenólicos y sustancias hidrosolubles diversas, de alta toxicidad (Tuset y Duran, 1979). Otros factores que también pueden explicar la mayor durabilidad del duramen son: menor contenido de humedad, menor tasa de difusión y el bloqueo de las cavidades celulares por gomas, resinas, tálides en los vasos, etc. (Canessa, 1988).

Aparte de los factores inherentes a la madera, la durabilidad depende también de las condiciones de uso, así por ejemplo, la madera será más susceptible a ser atacada en condiciones cálidas y húmedas que en climas fríos y secos; por otra parte, la probabilidad de ataque será mayor si ésta se encuentra en contacto directo con el suelo (JAC, 1988).

La resistencia natural de la madera al deterioro, podría achacarse a diferentes razones, tales como: las paredes de las células leñosas constan de polímeros insolubles, altamente complejos y de altos pesos moleculares; la lignificación de la madera, crea una barrera física al ataque enzimático en los polisacáridos; la acción de las enzimas despolimerizantes, está restringida principalmente a las regiones no cristalinas de la celulosa; la madera tiene un bajo contenido de nitrógeno, en comparación con otros tejidos vegetales, esto reduce su susceptibilidad a la pudrición; por razones aún no muy bien comprendidas, se requiere de un contenido de humedad mucho más alto en la madera que en otros tejidos vegetales, para que se inicie el proceso de degradación por microorganismos (Scheffer, 1958).

Entre los métodos para determinar la durabilidad de una madera están el método de campo y los métodos de laboratorio. Los métodos de laboratorio brindan resultados de forma más rápida, ofrecen la posibilidad de tener un mayor control sobre ciertas variables, por ejemplo temperatura y humedad. Además debido al tamaño relativamente pequeño de las probetas, es comparativamente más fácil seleccionar maderas de zonas geográficas específicas, así como diferentes secciones del árbol y de esta forma, obtener información sobre las variaciones con respecto a estos parámetros (Canessa, 1988).

Las investigaciones que se realizan sobre la durabilidad de la madera en laboratorios se denominan índices, y la información que se obtiene debe ser comparada con la que se logra en el campo para que sea confiable. Las experiencias alcanzadas hasta el momento indican que, aunque existan algunas diferencias en los resultados, estas dos determinaciones son, en su mayor parte, equivalentes y por eso aceptadas en todo el mundo (JAC, 1988).

En lo que respecta a durabilidad, la madera adulta de *Tectona grandis* (teca) es considerada como muy resistente al ataque de hongos e insectos; los daños registrados en bosques naturales, plantación ó madera en uso, han sido de poca importancia. No obstante, la madera joven no dura más de cinco años si está en contacto con el suelo, la albura es susceptible al ataque de hongos (Torres y Silverborg, 1972; Chable, 1967; Altuve, 1986; Rodríguez, 1963; Carter, 1941). Lo anterior debido a que la resistencia a la pudrición, está correlacionada con la cantidad de extractivos que tiene la madera (Yatagai y Takahashi, 1980).

Al evaluar la resistencia de *T. grandis*, ante el ataque de los hongos *Ustilina deusta* Fr, *Trametes versicolor* (Linn.) y *Lenzites trabea* (Pers.), se ha encontrado que la albura es poco resistente a los dos primeros, mientras que el duramen es altamente durable, debido al contenido de extractivos que posee (Altuve, 1986; Torres, 1972).

El duramen de *T. grandis* es resistente a las termitas de madera seca y moderadamente resistente a las termitas subterráneas, pero es atacado con facilidad por la “polilla de mar” *Teredo* sp (Teredinidae, Mollusca) (Yatagai y Takahashi, 1980). La albura no es resistente a ninguno de los organismos mencionados, y sufre también el ataque del “barrenillo” *Anobium* sp. (Anobiidae, Coleoptera) (Longwood, 1961; Wolcott, 1957). La durabilidad del duramen de teca, ha sido conferida a la proporción de tectoquinona y naftoquinona, ambos son compuestos aromáticos del grupo de las antroquinonas ó quinonas naturales (Thulasidas y Bhat, 2007).

Estudios detallados realizados en el duramen de *T. grandis*, mostraron que su durabilidad disminuye en la zona más cercana a la médula, así como cuando tiene anillos de crecimiento anchos y proviene de árboles jóvenes. La conclusión práctica más importante de estos estudios es que no todas las porciones de duramen de *T. grandis* son altamente durables, y que la parte interna del tronco en términos generales es menos durable que la madera proveniente del exterior de la troza (madera adulta) (Da Costa *et al*, 1961). Una tasa de crecimiento muy acelerada, particularmente en las etapas tempranas de crecimiento, puede disminuir su durabilidad de manera apreciable (Weaver, 1993).

Con respecto a las termitas, vale la pena mencionar que son insectos sociales, que pertenecen al orden Isóptera, se caracterizan por ser insectos sociales y se alimentan de madera y otros materiales ricos en celulosa (IBERTRAC, 2005). Existen diferentes especies de termitas, algunas son subterráneas, otras son de madera seca y también las hay de madera húmeda (Rioja *et al*, 1976).

Las termitas de madera seca, a diferencia de las subterráneas, se encuentran normalmente solo en la pieza atacada, no tienen capacidad de pasar de una madera infestada a otra, a no ser que efectivamente exista un punto de contacto entre ambas maderas (Sentricon, 2006). Viven dentro de la madera que infestan, de la cual obtienen agua por medio de absorción y a través de procesos metabólicos (Scheffrahn y Su, 2005). Sus termiteros pueden tener de 1000 hasta 1500 individuos (IBERTRAC, 2005).

Las termitas de la especie *C. brevis* son típicas de construcciones humanas; difícilmente individuos de esta especie son encontrados en árboles ó aún en maderas abandonadas en el exterior de éstas (Sentricon, 2006). Viven en madera muy seca, que presenta contenidos de humedad entre el 10% y 12%. Por lo general, las colonias de esta especie no son muy numerosas y probablemente no excedan 300 individuos, aunque en una pieza de madera atacada se pueden encontrar varias colonias y juntarse en secciones en el interior de las galerías, lo que aparenta colonias muy

grandes (Cibrián *et al*, 1995). En la colonia hay tres castas reproductoras: el rey, la reina y los alados; los soldados y los obreros ó reproductores no maduros, conocidos también como los falsos trabajadores. Las colonias pueden vivir 10 años y además pueden estar muy cerca unas de otras, incluso pueden encontrarse compartiendo galerías (Scheffrahn y Su, 2005).

Estos insectos provocan diversos daños en todo tipo de estructuras de madera como: marcos de puertas y ventanas, vigas, armarios, paredes, etc. A simple vista la madera parece estar sana, sin embargo si se le aplica presión se hunde y se pueden observar las galerías internas construidas por estos insectos. Peraza (2002), indica que estas cavidades ó cámaras están unidas entre sí por túneles de sección circular, con un diámetro que permite el paso del cuerpo de las termitas. También se pueden alimentar de papel y de tejidos lignocelulósicos, y en su avance para llegar a las fuentes alimenticias, pueden provocar daños a otros materiales que obstruyan su camino, como los plásticos y concreto. También son capaces de anidar en paneles de madera aglomerada (IBERTRAC, 2005).

En ocasiones, dentro de las galerías que construyen ó cerca de las estructuras afectadas, se pueden observar unas pequeñas bolitas que son sus excrementos, éstos son expulsados a través de los agujeros que le hacen a la madera. De acuerdo con Cibrián *et al* (1995), los excrementos varían de color gris claro a café dependiendo de la madera que consumen. Estos excrementos se quedan almacenados en una cámara en el nido y pueden ser usados para cerrar canales que eventualmente no estén siendo utilizados más por los individuos de la colonia, e incluso para fines de defensa (Sentricon, 2006).

La mejor forma de evitar el ataque de termitas, es preservando la madera. Existen diversos métodos de tratamiento para preservar la madera, la utilización de uno u otro depende de factores como tipo de madera, uso que se le dará a la madera y condiciones ambientales a las que estará expuesta la misma (JAC, 1988).

Uno de los preservantes mayormente utilizados a nivel mundial, son las sales inorgánicas de boro, las cuales son compuestos químicos que contienen boro (B) y oxígeno (O₂), hay cerca de 14 tipos de boratos, entre ellos están el ácido bórico y el bórax, los dos más usados como sales hidrosolubles no fijas para preservar la madera (Velázquez, 1993). Una característica muy importante de los boratos es que son tóxicos para hongos e insectos xilófagos, pero inofensivos para el hombre y los animales domésticos; no manchan la madera, lo que la hace apta para la aplicación de pinturas u otros tipos de acabados (Tuset y Durán, 1979).

Su mecanismo tóxico se desconoce en detalle y hay varias teorías al respecto; supuestamente interfieren en los procesos vitales críticos de los organismos que metabolizan la celulosa, por lo que protegen la madera contra las termitas de madera seca y contra las termitas subterráneas, que dependen de protozoos para digerir la celulosa (Velázquez, 1993). Por su parte, Cox (2003) indica que dosis muy pequeñas de boratos pueden envenenar a las termitas, debido a que los boratos inhiben muchas enzimas (incluyendo la celulasa); la enzima celulasa es particularmente importante para las termitas porque les permite digerir la celulosa de madera. Las termitas secretan celulasa ellas mismas, ó tienen acceso a una fuente disponible a través de protozoarios intestinales que la producen. Las dosis pequeñas de boratos hacen que las termitas mueran de hambre, porque las vuelve incapaces de digerir la celulosa, básicamente lo que sucede es que las termitas al consumir la madera preservada con boratos mueren intoxicadas lentamente, ya que éstos se van acumulando en su sistema digestivo, por lo anterior no todas las termitas mueren a un mismo tiempo.

El objetivo de este estudio fue determinar el grado de resistencia de la madera de *Tectona grandis* (*teca*) proveniente de plantaciones forestales de dos sitios (Pacífico Central y Región Huetar Atlántica de Costa Rica), ante el ataque de termitas de madera seca *Cryptotermes brevis*.

METODOLOGÍA

Sitios de estudio

El ensayo para determinar la resistencia de la madera de *T. grandis* ante el ataque de *C. brevis* fue efectuado con madera proveniente de plantaciones forestales ubicadas en dos regiones de Costa Rica, Huetar Atlántica (Pococí, Limón) y Pacífico Central (Parrita, Puntarenas). En ambas regiones se definieron dos sitios, uno considerado como bueno (sitio 1) en cuanto a condiciones de crecimiento (alta fertilidad) y un sitio 2 que por el contrario presenta malas condiciones de crecimiento (baja fertilidad).

Análisis de suelos

En cada sitio seleccionado se tomaron muestras para hacer análisis de suelo, los cuales se realizaron en el Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica.

Diseño del ensayo

En los sitios buenos y malos de cada región, se establecieron en forma aleatoria dos parcelas circulares de 500 m², en dichas parcelas se midió el diámetro de todos los árboles y se calculó el diámetro promedio. Posteriormente se seleccionaron y se cortaron tres árboles “tipo”, es decir los tres árboles con los diámetros más cercanos al valor promedio obtenido. En total se seleccionaron 12 árboles por región geográfica, seis árboles provenientes de los sitios buenos y seis de los sitios malos, para un total de 24 árboles.

De cada árbol seleccionado, se obtuvo un disco de 2,5 cm de espesor a la altura del diámetro; dichos discos fueron lijados y posteriormente se extrajo de cada uno de ellos una probeta de albura y otra de duramen; las dimensiones de las probetas fueron 3 x 2 x 1 cm.

La mitad de las probetas (de albura y duramen) fueron preservadas con sales a base de boro (ABE 9,5%), por medio del método de inmersión difusión; el otro 50% de las probetas no se preservó. Se incluyeron además 5 probetas de albura de ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.), que fungieron como testigos del ensayo. El diseño experimental fue definido utilizando el programa Minitab 11 para Windows®.

En la Figura 1 se esquematiza el diseño del ensayo.

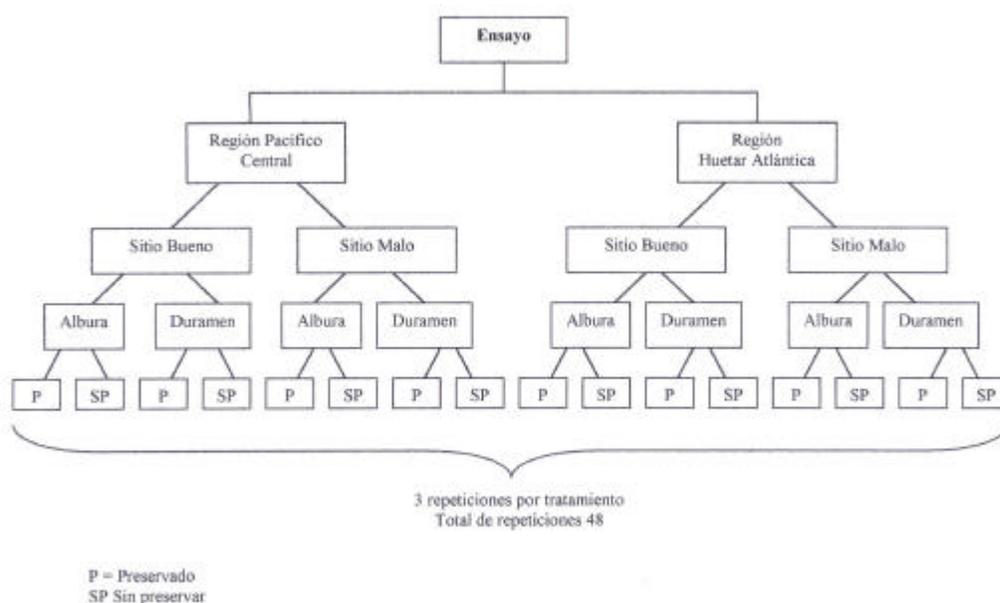


Figura 1. Diseño del ensayo de resistencia de la madera de *Tectona grandis* proveniente de plantaciones forestales de dos regiones del país, ante el ataque de *Cryptoterme brevis*.

Determinación del peso seco

Se determinó el peso seco al 0% de contenido de humedad (CH) de cada una de las probetas antes del ensayo, utilizando una balanza con un error de $\pm 0,001$ g, para lo cual fue necesario colocar dichas probetas en un horno a una temperatura de $105 \pm 1^\circ\text{C}$, durante 24 horas. Una vez que el peso seco de las muestras fue determinado, se procedió a acondicionar las probetas a un CH cercano al 12%, valor recomendado para poder realizar este tipo de ensayo, con termitas de madera seca (Leandro *et al*, 2002).

Mortalidad de termitas

Cada una de las 48 probetas, tanto las preservadas como las sin preservar, así como las cinco probetas de *C. lusitanica*, se colocaron en platos Petri y se les agregó un total de 40 termitas por plato (39 obreras y un soldado), se taparon y se almacenaron en una incubadora a una temperatura de $27 \pm 1^\circ\text{C}$ por un periodo de 90 días (11,4 semanas).

Semanalmente, durante 12 semanas, se contaron las termitas muertas de cada plato, con el objetivo de determinar el grado de mortalidad de las mismas. Para medir el grado de mortalidad se utilizó el criterio de clasificación de la norma ASTM D-3345 (ASTM, 1999) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Categorías de clasificación para la mortalidad de termitas según la norma ASTM D-3345.

Mortalidad de termitas (%)	Categoría
0-33	Ligera
34-66	Moderada
67-99	Fuerte
100	Completa

(Fuente: ASTM, 1999)

Clasificación de la madera según daños

A finalizar los 90 días del ensayo se retiraron las termitas que quedaban en los platos y se clasificó el nivel de daños provocado a las probetas. La valoración se hizo en forma visual y se empleó la escala de evaluación propuesta por ASTM D-3345 (ASTM, 1999) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación de la madera basada en los daños ocasionados por termitas, según la norma ASTM D-3345.

Daño ocasionado	Clasificación
Daño mínimo	10
Ataque ligero	9
Ataque moderado	7
Ataque fuerte	4
Falla	0

(Fuente: ASTM, 1999)

Después de evaluar los daños en la madera, se volvió a determinar el peso seco de las probetas (0% CH). Una vez que se contó con ambos pesos (antes y después del ensayo), se calculó el porcentaje de pérdida de peso por acción de las termitas, lo que permitió la clasificación de la resistencia de la madera en cuatro categorías, de acuerdo con la norma ASTM D-2017 (ASTM, 1994) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Clasificación de la madera de acuerdo a daños producidos por termitas, según norma ASTM D-2017.

Pérdida de peso promedio (%)	Peso residual promedio (%)	Grado de resistencia	Clase
0-10	90-100	Altamente resistente	A
11-24	76-89	Resistente	B
25-44	56-75	Moderadamente resistente	C
45 en adelante	55 ó menos	No resistente	D

(Fuente: ASTM, 1994)

Análisis estadístico

Se usó el programa Minitab 11 para Windows®, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) multivariado con un 95% de confianza, con el fin de determinar si se obtuvieron diferencias en la pérdida de peso de las muestras de madera, asociadas a los parámetros evaluados (región, sitio, tipo de madera y tratamiento con preservante), así como a la interacción de éstos.

RESULTADOS

Análisis de suelos

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de los análisis de suelos.

Cuadro 4. Características edafológicas de los sitios seleccionados. Ensayo de resistencia de la madera de *Tectona grandis*, proveniente de plantaciones forestales de dos regiones del país, ante el ataque de *Cryptotermes brevis*.

Característica	Valores adecuados	Pococí		Parrita	
		Sitio 1	Sitio 2	Sitio 1	Sitio 2
pH (H ₂ O)	5,5 a 6,5	5,4 a 5,5	4,7 a 5,0	6,2 a 6,5	5,0 a 5,1
Ca (cmol(+)/L)	4 a 20	2,8 a 3,9	2,0 a 5,0	40,5 a 40,3	2,0 a 2,0
Mg (cmol(+)/L)	1 a 5	0,6 a 0,9	0,9 a 1,2	12,5 a 16,3	1,2 a 1,2
K (cmol(+)/L)	0,2 a 0,8	0,1 a 0,2	0,1 a 0,2	0,3 a 0,5	0,1 a 0,1
Acidez (mol(+)/L)	<0,3	0,2 a 0,2	1,2 a 1,8	0,1 a 0,1	0,9 a 1,2
CICE	>5	3,7 a 5,2	4,9 a 7,5	54,4 a 57,2	4,1 a 4,5
P (mg/L)	10 a 50	5,8 a 8,9	6,0 a 6,1	9,2 a 9,5	5,1 a 13,4
Cu (mg/L)	1 a 20	3,3 a 3,9	10,8 a 12,0	9,1 a 10,6	7,6 a 8,6
Fe (mg/L)	10 a 50	113 a 114	289 a 295	17a 23	110 a 115
Mn (mg/L)	10 a 50	9,2 a 9,7	36 a 48	7,4 a 23	115 a 188
Zn (mg/L)	3 a 10	0,5 a 0,6	1,6 a 1,8	1,2 a 1,9	2,2 a 2,7

Notas:

- En los sitios 1 los árboles son más gruesos que en los sitios 2.
- Las celdas en gris (■) corresponden a los nutrientes limitantes.
- CICE = Ca + Mg + K + acidez extraíble.
- Valores adecuados suministrados por el CIA (Centro de Investigaciones Agronómicas).

Con respecto a los valores adecuados para *T. grandis*, los sitios se encuentran relativamente cercanos a dichos valores, cabe destacar que en la mayoría de los casos, los datos están levemente por debajo de los valores establecidos; quizás el único valor limitante es la cantidad de hierro encontrado, ya que en tres de los sitios evaluados los resultados obtenidos fueron altos y *T. grandis* es una especie que no tolera las altas concentraciones de hierro (Fonseca, 2004).

Mortalidad de termitas

En el Cuadro 5 se presenta un resumen de las categorías de mortalidad obtenidas por región, sitio, tipo de madera y tratamiento.

Cuadro 5. Mortalidad de *Cryptotermes brevis* por región, sitio, tipo de madera y tratamiento. Ensayo de resistencia de la madera de *Tectona grandis*, proveniente de plantaciones forestales establecidas en dos regiones de Costa Rica. 2005.

Región	Sitio	Tipo de madera	Tratamiento	Mortalidad (%)	Categoría*
Parrita	Bueno	Albura	Preservado	100	Completa
			Sin preservar	93,33	Fuerte
		Duramen	Preservado	100	Completa
			Sin preservar	87,50	Fuerte
	Malo	Albura	Preservado	100	Completa
			Sin preservar	88,33	Fuerte
		Duramen	Preservado	100	Completa
			Sin preservar	88,33	Fuerte
Pococí	Bueno	Albura	Preservado	100	Completa
			Sin preservar	89,17	Fuerte
		Duramen	Preservado	100	Completa
			Sin preservar	79,17	Fuerte
	Malo	Albura	Preservado	100	Completa
			Sin preservar	89,17	Fuerte
		Duramen	Preservado	100	Completa
			Sin preservar	87,50	Fuerte
		Testigo		95	Fuerte

*Según norma ASTM D-3345 (ASTM, 1999).

Para la región de Parrita, toda la madera de albura y duramen que fue preservada, independientemente del sitio de procedencia, mostró una mortalidad de termitas del 100%, lo cual la clasifica como **mortalidad completa**, pues no logró sobrevivir ninguna termita. Para la madera que no fue preservada, el mayor porcentaje de mortalidad lo presentó la albura procedente del sitio de alta fertilidad y el valor menor fue para el duramen proveniente del mismo sitio. Los porcentajes de mortalidad de termitas obtenidos fueron 93,33% y 87,50% respectivamente, estos valores se clasifican como **mortalidad fuerte**. Con respecto al sitio de baja fertilidad, la albura y el duramen registraron el mismo porcentaje de mortalidad (88,33%), la que se clasifica como **mortalidad fuerte**.

Para la región de Pococí, la madera que fue preservada, tanto albura como duramen de los dos sitios evaluados, mostró una mortalidad del 100%, es decir una **mortalidad completa**. Mientras que la madera que no recibió tratamiento preservante arrojó porcentajes de mortalidad menores. La albura del sitio de alta fertilidad y la del sitio de baja fertilidad presentaron un porcentaje de mortalidad igual correspondiente a un 89,17%, este porcentaje la clasifica como **mortalidad fuerte**. Por otro lado el duramen del sitio de alta fertilidad registró un 79,17% de mortalidad, mientras que el duramen del sitio de baja fertilidad mostró un 87,50% de mortalidad (**mortalidad fuerte**).

La alta mortalidad de albura indica cierto nivel de durabilidad, la cual puede deberse a la presencia de una zona de transición en la madera; dicha zona, es el punto donde la madera de albura comienza a transformarse en duramen, en este sector la madera presenta coloración clara como la albura y además presenta tílides en los vasos, característica propia del duramen (Haygreen y Bowyer; 1996).

Con respecto a la mortalidad de la albura de ciprés (testigo), ésta fue levemente mayor en comparación con la madera de *T. grandis* no preservada; al finalizar las 12 semanas de ensayo, el porcentaje de mortalidad fue de un 95%, que también se clasifica como **mortalidad fuerte**.

Pérdida de peso en la madera de *Tectona grandis*

Tanto para la región de Parrita como para la región de Pococí, la mayor pérdida de peso se registró en la madera de albura y duramen que no fue preservada, lo cual era de esperarse; sin embargo, la diferencia con respecto a la madera que si fue preservada es mínima (Cuadro 6).

Cuadro 6. Pérdida de peso por región, sitio, tipo de madera y tratamiento ocasionada por *Cryptotermes brevis*. Ensayo de resistencia de la madera de *Tectona grandis*, proveniente de plantaciones forestales establecidas en dos regiones de Costa Rica. 2005.

Región	Sitio	Tipo de madera	Tratamiento	Pérdida de peso (%)
Parrita	Bueno	Albura	Preservado	0,564
			Sin preservar	0,392
	Malo	Duramen	Preservado	0,596
			Sin preservar	0,989
	Bueno	Albura	Preservado	0,638
			Sin preservar	1,175
Malo	Duramen	Preservado	0,717	
		Sin preservar	1,084	
Pococí	Bueno	Albura	Preservado	0,337
			Sin preservar	1,385
	Malo	Duramen	Preservado	0,562
			Sin preservar	0,790
	Bueno	Albura	Preservado	0,693
			Sin preservar	1,040
Malo	Duramen	Preservado	0,554	
		Sin preservar	0,687	
Testigo				3.892

Para la región de Parrita la mayor pérdida de peso se presentó en la madera de albura y duramen sin preservar, procedente del sitio de baja fertilidad (sitio malo), la pérdida de peso sobrepasó el 1%; sin embargo, fue mucho menor que la pérdida de peso de la albura de ciprés (testigo), este valor es relativamente más alto a los otros valores registrados para la región de Parrita.

En el caso de la región de Pococí, la albura sin preservar procedente del sitio de alta fertilidad y del sitio de baja fertilidad, presentó mayor pérdida de peso comparada con los otros valores obtenidos, aunque, al igual que con la región de Parrita, el porcentaje obtenido no fue mayor al de la albura del testigo, lo que indica que la madera de *T. grandis* es más resistente que la madera de ciprés (testigo).

De acuerdo a los resultados de pérdida de peso obtenidos para la ambas regiones, la madera de *T. grandis* se clasifica según la norma ASTM D-2017 como **altamente resistente** y se ubica en la **clase A**, puesto que las pérdidas de peso se ubican dentro del rango de 0-10%.

Clasificación de la madera según daños

En el Cuadro 7 se presenta la clasificación de los daños ocasionados por *C. brevis* en la madera de *T. grandis*, la cual se realizó de forma visual y utilizando la escala de valoración propuesta por la norma ASTM D-3345 (ASTM, 1999).

Cuadro 7 Clasificación visual de los daños ocasionados *Cryptotermes brevis* por región, sitio, tipo de madera y tratamiento. Ensayo de resistencia de la madera de *Tectona grandis*, proveniente de plantaciones forestales establecidas en dos regiones de Costa Rica. 2005.

Región	Sitio	Tipo de madera	Tratamiento	Daño ocasionado*	Clasificación*
Parrita	Bueno	Albura	Preservado	Mínimo	10
			Sin preservar	Ataque moderado	7
	Malo	Duramen	Preservado	Mínimo	10
			Sin preservar	Ataque moderado	7
	Malo	Duramen	Preservado	Ataque ligero	9
			Sin preservar	Ataque ligero	9
Pococí	Bueno	Albura	Preservado	Mínimo	10
			Sin preservar	Ataque moderado	7
	Malo	Duramen	Preservado	Ataque ligero	9
			Sin preservar	Ataque moderado	7
	Malo	Duramen	Preservado	Mínimo	10
			Sin preservar	Ataque moderado	7
Testigo					7

*Según norma ASTM D-3345 (ASTM, 1999).

En la región de Parrita, la madera de albura y duramen del sitio de alta fertilidad, así como la madera de albura proveniente del sitio de baja fertilidad, obtuvieron la misma clasificación para la madera preservada (10), lo cual significa un daño mínimo, pues apenas se nota que las termitas intentaron perforar la madera pero no lo lograron; mientras que para la madera que no fue preservada la clasificación fue de 7, lo que indica un ataque moderado, caracterizado por la presencia de pequeñas galerías internas, construidas por las termitas.

En el caso del duramen (preservado y sin preservar) del sitio de baja fertilidad de la región de Parrita, la clasificación obtenida fue un 9, correspondiente a un ataque ligero y que se caracteriza por presentar perforaciones en la madera, pero aún no se forman galerías.

En la región de Pococí, la albura preservada del sitio con buena fertilidad y del sitio con mala fertilidad presentó daño mínimo; mientras que la que no fue preservada presentó un ataque moderado. Por otro lado el duramen preservado del sitio de alta fertilidad obtuvo una clasificación de 9, es decir ataque ligero, mientras que el duramen tratado, pero procedente del sitio de baja fertilidad presentó un daño mínimo. En cuanto al duramen sin tratar, el del sitio bueno tuvo un ataque moderado mientras que en el sitio malo el ataque fue ligero.

La albura del testigo obtuvo una clasificación de 7, es decir un ataque moderado, en las probetas de dicha madera se encontraron galerías internas que incluso en algunos casos atravesaron la pieza de lado a lado.

Análisis estadístico

En el Cuadro 8 se presenta el análisis de varianza (ANDEVA) realizado con el fin de determinar si se presentaron diferencias en la pérdida de peso de las muestras de madera, asociadas a los parámetros evaluados (región, sitio, tipo de madera y tratamiento con preservante), así como a la interacción de éstos.

Cuadro 8. Análisis de Varianza (ANDEVA) (95% de confianza), para determinar el efecto de la región, sitio, tipo de madera y tratamiento en la pérdida de peso de la madera de *Tectona grandis*, procedente de plantaciones forestales establecidas en dos regiones de Costa Rica y sometida al ataque *Cryptotermes brevis*.

Factor evaluado	Valor p^*	Diferencia significativa
Región	0,906	No
Sitio	0,275	No
Madera	0,781	No
Tratamiento	0,002	Si
Región* Sitio	0,190	No
Región* Madera	0,102	No
Región* Tratamiento	0,477	No
Sitio* Madera	0,390	No
Sitio* Tratamiento	0,897	No
Madera* Tratamiento	0,473	No
Región* Sitio* Madera	0,560	No
Región* Sitio* Tratamiento	0,102	No
Región* Madera* Tratamiento	0,113	No
Sitio* Madera * Tratamiento	0,883	No
Región* Sitio* Madera* Tratamiento	0,137	No

*(95% de confianza)

Como se muestra en el cuadro anterior, solo se encontró una interacción significativa asociada al tipo de tratamiento, esto quiere decir que hay diferencias estadísticamente significativas en la pérdida de peso de la madera cuando ésta se preserva, en comparación con la que no se preserva; mientras que región, sitio y tipo de madera ó su interacción, no influyen directamente en la pérdida de peso de la madera de *T. grandis*.

Para la madera que no fue preservada, se obtuvieron los valores de pérdida de peso más altos, mientras que cuando la madera fue tratada con boro, estos valores disminuyen (Figura 2).

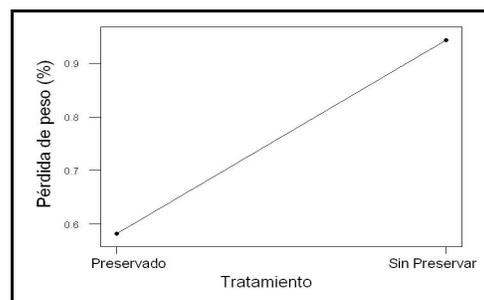


Figura 2. Interacción entre el tratamiento aplicado y la pérdida de peso en madera de *Tectona grandis* sometida al ataque de *Cryptotermes brevis*. Costa Rica. 2005.

Es importante destacar que se esperaba que hubiese diferencia significativa entre el tipo de madera, ya que la literatura reporta que el duramen de teca es más resistente que la albura (Yatagai y Takahashi, 1980), sin embargo en este caso y para este ensayo no sucedió de esta forma; una de las causas podría ser la presencia de la zona de transición entre albura y duramen

anteriormente mencionada. También puede estar asociado al hecho que la teca no es una madera muy apetecida por las termitas de madera seca y éstas no les quedó más que degradarla puesto que no tenían otra fuente de alimento, de ahí que los daños y la pérdida de peso, fue mínima, sin importar si era madera de albura ó de duramen.

CONCLUSIONES

La madera de *Tectona grandis* procedente del Pacífico Central y de la Región Huetar Atlántica de Costa Rica, se clasificó como altamente resistente al ataque de las termitas de la especie *Cryptotermes brevis*; así mismo se determinó que las condiciones de sitio y el manejo de las plantaciones, no influyen directamente en dicha resistencia.

El tratamiento de preservación a base de sales inorgánicas de boro, resultó ser 100% eficiente contra el ataque de las termitas *Cryptotermes brevis*. La madera preservada mostró daños mínimos y ataques ligeros; mientras que la madera sin preservar presentó daños clasificados como ataques moderados y ligeros, aunque dentro de un mismo tratamiento (preservado y sin preservar) no se presentó una diferencia estadísticamente significativa entre albura y duramen.

La mortalidad de *Cryptotermes brevis* en los ensayos con madera preservada, fue catalogada como completa (100%); mientras que la mortalidad de las termitas en la madera sin preservar se clasificó como fuerte (67-99%).

Como conclusión general, se determinó que no existe diferencia significativa en casi ninguna de las variables evaluadas (región, sitio, tipo de madera y tratamiento), ni en las interacciones de éstas; salvo en el tratamiento preservación con sales inorgánicas de boro y sin preservar.

BIBLIOGRAFÍA

- Altuve, LF. 1986. Estudio tecnológico exploratorio y promocional de la teca de aclareos (*Tectona grandis*). Mérida, VE, Universidad de los Andes. 83 p.
- ASTM (American Society for Testing Material, US). 1999. Standard Method of Laboratory Evaluation of Wood and Other Cellulosic Materials for Resistance to Termites. D-3345. Book of Standards. Section 4. Vol 0.4.09. Pennsylvania, US. 224p.
- ASTM (American Society for Testing Material, US).1994. Standard Method of Accelerated Laboratory Test of Natural Decay Resistance of woods. D 2017. Annual book of ASTM Standards 2001. Section 4. Vol.04.09. Pennsylvania, US. 350 p.
- Canessa, E. 1988. Resistencia a la pudrición en seis especies maderables de plantación. Cartago, CR, ITCR. 64 p.
- Carter, CJ. 1941. The formation of teak plantations in Trinidad with the assistance of peasant contractors. Caribbean Forester. 2(4):147-153.
- Chable, AC. 1967. Reforestation in the Republic of Honduras, Central America. Ceiba (Hond). 13(2):1-56.
- Cibrian, D; Méndez, T; Campos, R; Yates, H; Flores, J. 1995. Insectos forestales de México. Chapingo, MX, Universidad Autónoma de Chapingo. 453 p.
- Cox, D. 2003. Boratos para el control de las termitas (en línea). Consultado 19 feb. 2006. Disponible en: <http://www.echotech.org/network/modules.php?name=News&file=article&sid=839>



- Da Costa, EWB; Rudman, P; Gay, FJ. 1961. Relation-ship of growth rate and related factors to durability in *Tectona grandis*. Empire Forestry Review. 40(4):308-319.
- Fonseca, W. 2004. Manual para productores de teca (*Tectona grandis* L. F) en Costa Rica (en línea). San José, CR, FONAFIFO. Consultado 20 marzo 2006. Disponible en: www.fonafifo.com
- Haygreen, J; Bowyer, J. 1996. Forest products and Wood science. 3ª ed. Iowa, US, State University Press, Ames, Iowa. 484 p.
- IBERTRAC. 2005. Termitas.net. Eliminación de colonias de termitas (en línea). Barcelona, ES. Consultado 20 dic. 2005. Disponible en: www.termitas.net.
- JAC (Junta del Acuerdo de Cartagena, CO). 1988. Manual del Grupo Andino para la preservación de maderas. Lima, PE, Proyecto sub regional de promoción industrial de la madera para construcción (PRID-Madera) de la Junta del Acuerdo de Cartagena. 404 p.
- Leandro, L; Moya, R; Canessa, E. 2002. Resistencia de la madera de melina (*Gmelina arborea*) proveniente de plantaciones forestales ante el ataque de los hongos de pudrición blanca *Trametes versicolor* y *Pleurotus ostreatus* y las termitas de madera seca (*Cryptotermes brevis*). Informe # 8. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 157 p.
- Longwood, F. 1961. Puerto Rican Woods their machining seasoning and related characteristics. Washington, US, Department of Agriculture. 98 p.
- Peraza, F.2002. Protección preventiva de la madera. Madrid, Es, Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho. 437 p
- Rioja Lo-Bianco, E; Pieltain Bolívar, C; Ceballos, G; Fernández, A; Barreiro, A. 1976. Historia Natural: Vida de los animales, de las Plantas y de la Tierra. Tomo II. Zoología. (Invertebrados). 10 ed. Barcelona, ES, Instituto Gallach de Librería y Ediciones. 487 p.
- Rodríguez, MA. 1963. El cultivo de la teca (*Tectona grandis*) en Venezuela: Informe general y resultados preliminares de algunos ensayos de crecimiento. Revista Forestal Venezolana 6(8-9):49-72.
- Scheffer, TC. 1958. Control of decay and sap stain in logs of green lumber Report N°2107. Wisconsin, US, Dept. of Agriculture, Forest Service. 13 p.
- Scheffrahn, RH; Su, NY. 2005. West Indian drywood termite: *Cryptotermes brevis* (Walker). Featured Creatures (en línea). Florida, US, University of Florida. Publication number EENY-79. Consultado 1 set 2006. Disponible en http://creatures.ifas.ufl.edu/urban/termites/west_indian_drywood_termite.htm.
- Sentricon (Sistema de Eliminação da Colonia de Cupins, BR). 2006. Cupins de Madeira seca (en línea). Sao Paulo, BR. Consultado 12 mar. 2006. Disponible en <http://www.dowagro.com/br/sentricon/cupins/seca.htm>
- Thulasidas, PK; Bhat, KM. 2007. Chemical extractive compounds determining the brown-rot decay resistance of teak wood. Holz als Roh- und Werkstoff. 65(2):121-124.
- Torres, L. 1972. Durabilidad relativa de la teca (*Tectona grandis*) procedente de una plantación de la región de Barrinitas, Estado Barinas. Mérida, VE, Universidad de los Andes, Laboratorio Nacional de Productos Forestales.14 p.
- Torres, L; Silverborg, S. 1972. Estudio sobre la durabilidad natural de la teca (*Tectona grandis* L.f.) mediante ensayos acelerados de "soil-blocks" en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales en Mérida, VE, Boletín Instituto Forestal Latino- Americano de Investigación y Capacitación. (41-42):63-70
- Tuset, R; Duran, F. 1979. Manual de Maderas Comerciales, Equipos y procesos de utilización. Montevideo, UY, Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur. 688 p.



- Velázquez, C. 1993. Preservación de madera verde por el método de difusión de boratos, guía para el técnico forestal. Turrialba, CR, CATIE-RENAR. 27 p.
- Weaver, P. 1993. *Tectona grandis* L.F. Teak. (en línea). New Orleans, US. Consultado 11 feb. 2006. Disponible en <http://www.fs.fed.us/global/iitf/Tectonagrandis.pdf>.
- Wolcott, GN. 1957. Inherent natural resistance of woods to the attack of the West Indies dry-wood termite *Cryptotermes brevis* Walker. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico. 41:259-311.
- Yatagai, M; Takahashi, T. 1980. Tropical Wood extractives effects durability, paint curing time, and pulp sheet resin spotting. Wood Science (JP). 12(3):176-182.