



Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 5 (13), 2008

ARTICULO CIENTÍFICO

**Comportamiento y costos de secado al aire y preservación por inmersión-difusión de madera de *Tectona grandis* L.f. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand de plantaciones de rápido crecimiento en el norte de Costa Rica**

Paula Gómez<sup>1</sup>  
Roger Moya<sup>1</sup>

**Resumen**

En este trabajo se presenta el comportamiento de la madera aserrada de 2.54 cm, 3.81 y 5.08 cm de las especies de *Tectona grandis* Linn F. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en los procesos de secado al aire y preservación por el método de inmersión-difusión. Además se estimó los costos de cada uno de estos procesos. El estudio se llevó a cabo con madera de plantaciones en el Aserradero de Maderas Preciosas de Costa Rica (MACORI), ubicada en la provincia de Guanacaste en Costa Rica. El tiempo de penetración del preservante en *T. grandis* varió de 15 a 30 días y en *B. quinata* de 12 a 26 días. Ambas especies mostraron porcentajes de penetración muy similares. El tiempo de penetración incrementa con el aumento de espesor de la madera. En la madera de *B. quinata* se debe tener cuidado en el proceso de preservación, debido a que es propensa a presentar hongos manchadores. En lo referente al secado de *T. grandis*, se estableció que el tiempo es 15, 20 y 30 días; para los espesores 2.54; 3.81 y 5.08 cm, respectivamente. En *B. quinata* el tiempo registrado fue de 12, 15 y 26 días respectivamente en los espesores antes mencionados. Los costos de secado obtenidos para ambas especies son bajos, de 4.83 US\$/m<sup>3</sup>, en tanto que los costos de preservación fueron mayores, de 23.47 US\$/m<sup>3</sup>; sin embargo, estos costos representan poca inversión dadas las posibles ventajas que se puedan tener al vender la madera seca y preservada.

**Palabras clave:** Madera, Rápido crecimiento, Especies tropicales, Secado, Preservación, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinata*, Costa Rica.

**Abstract**

**Behavior and costs of air-dry and dip-diffusion preservation of *Tectona grandis* L.f. and *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand wood from fast growing plantation in the north part of Costa Rica.** This research shows the behavior of *Tectona grandis* Linn F. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand lumber 2.54 cm, 3.81 and 5.08 cm thick during air-drying and dip-diffusion preservation process. The costs of the processes were also estimated. Wood was collected and research carried out at Maderas Preciosas de Costa Rica sawmill (MACORI) northern region of Costa Rica. Penetration time varied from 15 to 30 days in *T. grandis* and from 16 to 26 for *B. quinata*. Both species showed similar penetration rates. Penetration time increased with increasing thickness of lumber. Stain fungi developed in *B. quinata* lumber during preservation process. *T. grandis* lumber reached equilibrium moisture content (EMC) in 15, 20 and 30 days for the 2.54; 3.81 and 5.08 cm thickness respectively during the

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico de Costa Rica. [paulaagn@yahoo.es](mailto:paulaagn@yahoo.es), [rmoya@itcr.ac.cr](mailto:rmoya@itcr.ac.cr)

drying process. For *B. quinata* EMC was reached at 12, 15 and 26 days for each thickness respectively. Low dry costs of 4.83 US\$/m<sup>3</sup> were found, and preservation costs were higher than drying costs (23.47 US\$/m<sup>3</sup>). However, costs represent a low investment compared to the advantages that can be obtained by saling treated dry lumber.

**Keywords:** Wood, Fast grown condition, Tropical species, Wood process, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinata*, Costa Rica.

## INTRODUCCIÓN

Las especies *Tectona grandis* Linn F. (teca) y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand (pochote) han sido plantadas en Costa Rica para la producción de madera (CATIE, 1994; Chávez y Fonseca, 1991). A través de la utilización de espaciamientos adecuados en las plantaciones, material genéticamente mejorado o con manejo intensivo, se crean condiciones para el crecimiento rápido. Esto permite el desarrollo de árboles con excelentes crecimientos en diámetro y alta producción por área en periodos cortos de tiempo (Pérez *et al*, 2003; Pérez y Kanninen, 2005).

En Costa Rica, el 65% de la madera que es consumida en el mercado (1,018 millones de m<sup>3</sup> en troza), está siendo abastecida principalmente por madera producida en las plantaciones forestales de rápido crecimiento (Barrantes y Salazar, 2006). Este tipo de madera, por lo general presenta propiedades diferentes a la madera que se produce en las especies de los bosques naturales; la de plantaciones presenta alto contenido de albura (Moya, 2007), lo que da como resultado en una baja durabilidad natural, debido a que este tipo de madera es más susceptible a la degradación biológica (Vignote, 2005).

En Costa Rica, tanto la madera de *T. grandis* como la de *B. quinata* provenientes de plantaciones de forestales, han tenido gran aceptación en las industrias primarias y secundarias para la producción de bienes de consumo nacional e internacional. La *T. grandis* es utilizada en una amplia variedad de productos; que van desde aquellos inmersos en condiciones poco propensas a la degradación biológica, como muebles de uso interior en casas y edificios, hasta aquellos inmersos en condiciones severas como postes de cerca o soportes estructurales, aleros o pisos (Moya y Pérez, 2007). La madera de *B. quinata* proveniente de plantaciones es utilizada en ambientes con baja probabilidad de degradación biológica, tales como cerchas, forro para paredes y muebles.

La durabilidad, la presencia de albura y el comportamiento en secado y preservación de estas maderas provenientes de plantaciones forestales de rápido crecimiento, ha sido analizada por algunos investigadores. En teca, por ejemplo, se ha encontrado que la cantidad albura varía de 20 a 100% (Pérez y Kanninen, 2003), presentando los valores más bajos en las partes bajas del árbol y los valores más altos para la partes superiores. Además, se ha encontrado que los árboles a edades de 2 a 3 años empiezan a producir duramen, lo cual conlleva a que disminuya el porcentaje de albura con la edad de los árboles (Pérez y Kanninen, 2005). La durabilidad natural de la albura es muy baja, en tanto que el duramen es alto, sin embargo se ha comprobado que la madera producida de árboles de plantaciones de rápido crecimiento presenta inferior durabilidad que la madera proveniente de los bosques naturales (Bhat y Florence, 2005; Berrocal y Rojas, 2007). Con relación al secado, la madera de *T. grandis* se ha considerado de fácil secado y con pocos problemas (Chaves y Serrano, 2004). En el proceso de preservación, las investigaciones se han concentrado en preservar la madera con el método de vacío-presión y se ha demostrado que es posible preservar la albura, pero no así el duramen (Tewari, 1999).

En madera de *B. quinata* de plantaciones forestales se ha determinado que la producción de duramen ocurre en edades superiores a los 30 años, lo que indica que en los turnos de rotación propuestos en Costa Rica, los árboles de cosechas finales y de raleos contienen un porcentaje de albura cercano al 100% (Pérez y Kanninen, 2002). No obstante, esta situación permite que la madera sea de fácil secado, posea pocos defectos, pero muy susceptible al ataque de hongos e insectos (Moya y Córdoba, 1995; Cordero y Dossier, 2003).

Por otra parte, Costa Rica como muchos países de América con clima tropical, es de poca tradición en la industria forestal, por lo que no cuenta con el capital y la materia prima suficiente para implementar procesos de secado y preservación de alta inversión o de producción. A pesar de que este país consume aproximadamente de 1 000 000 de metros cúbicos, solamente se cuenta con dos plantas de preservación de madera del tipo vacío-presión y con aproximadamente 10 empresas con hornos convencionales de secado, con una capacidad por cámara entre 30 y 100 m<sup>3</sup>. El secado natural de la madera y el sistema de preservación inmersión y difusión, a pesar de que son de fácil aplicación, bajo costo de inversión inicial y requerir de mano de obra poco calificada (Junta Acuerdo de Cartagena, 1988), hasta el momento en Costa Rica han sido poco utilizados.

En el presente estudio se estima la rentabilidad económica de los procesos de preservación de la madera por inmersión-difusión de sales de boro y secado natural de madera *T. grandis* y *B. quinata* proveniente de plantaciones de rápido crecimiento, con el propósito de lograr su implementación en una empresa de escala media de producción (20 m<sup>3</sup> de madera en troza por día).

## METODOLOGÍA

### Ubicación geográfica

El presente estudio se llevó a cabo en el plantel industrial de la empresa Maderas Preciosas de Costa Rica S.A. (MACORI), ubicada en Garza, provincia de Guanacaste, Costa Rica (N09° 53' 20,35" y W85° 37' 29,49"). Dicha empresa se dedica a la reforestación con especies nativas en la región del Pacífico Norte (Schmincke, 2000). *T. grandis* y *B. quinata* son dos de las especies con mayor área plantada y cuya madera está siendo industrializada y comercializada en la actualidad por parte de la empresa.

### Condiciones climáticas

Durante el periodo en que fue realizado el estudio de secado (de febrero a mayo) se presentó una temperatura promedio de 32°C, una humedad relativa de 67.93% y la velocidad del viento promedio de 11.52 km/h (Cuadro 1). Aunque el proceso de secado para las diferentes especies y los diferentes espesores se trató de llevar a cabo durante el mismo periodo, esto no fue posible debido a la baja capacidad de producción del aserradero (1 metro cúbico por día); esto dio como resultado que ocurrieran algunas desfases en el momento de secar, por lo que las condiciones variaron ligeramente para cada espesor y especies (Cuadro 1). Se realizaron tres mediciones por día, a las 8, 12 y 16 horas, de la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento del sitio donde fueron colocadas las pilas de secado, utilizando un hidrómetro.

**Cuadro 1.** Condiciones climáticas promedio durante el periodo de secado (febrero a mayo de 2007) en la localidad de Garza, Guanacaste, Costa Rica, 2007.

Especie	Espesor (cm)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (km/h)
<i>Bombacopsis quinata</i>	2.54	32.99	58.14	11.88
	3.81	32.90	58.83	11.84
	5.08	31.42	71.44	11.38
	Promedio	32.44	62.8	11.70
<i>Tectona grandis</i>	2.54	30.36	77.88	8.68
	3.81	31.63	69.85	12.24
	5.08	31.42	71.44	11.38
	Promedio	31.14	73.06	10.43

## Caracterización de la madera

La madera utilizada en los estudios de preservación y secado fue obtenida del proceso de aserrío de trozas de *B. quinata* de 16 años y de *T. grandis* de 14 años, próxima al complejo industrial de la empresa. La madera aserrada de sección transversal de 2.54 x 7.5 cm; 3.81 x 7.5 cm y 5.08 x 7.5 cm para cada especie. El volumen total de madera fue de aproximadamente 1.2 m<sup>3</sup> para cada una de los espesores en las dos especies. Este volumen es equivalente a una "pila" de 1 m de ancho, 1 m de altura y 2.5 m de largo, separado entre las camas por separadores de 2.5 cm de cada espesor.

## Preservación de la madera

### Método de presión

Se empleó el método de preservación conocido como inmersión-difusión con sales de boro. En este método, la madera obtenida inmediatamente después del aserrío, es sumergida en el tanque de preservación por un minuto y posteriormente es apilada horizontalmente, en un diseño tipo "caja", utilizando separadores de 2.5 cm de espesor entre las capas de madera (Figura 1a), hasta alcanzar las dimensiones de las pilas. Cada pila se cubrió completamente con plástico "adhesivo paletizado en rollo", de 0.5 m de ancho, de forma que no entrara ni saliera aire para que las piezas permanecieran húmedas. Durante el periodo de difusión la madera debe estar cubierta para evitar el secado de la misma. Este tiempo que permanece cubierta la madera es conocido como *tiempo de difusión*.



**Figura 1.** Madera apilada y cubierta por plástico de paletizar (a) y tanque de preservación construido para la preservación con el método inmersión-difusión (b).

### Tiempo de difusión para alcanzar el 100% de penetración

Primeramente se realizó un ensayo preliminar para determinar el tiempo total de difusión. Se tomaron 20 muestras de 50 cm de longitud por espesor (2.54; 3.81 y 5.08 cm) en cada especie, se sumergieron en la solución preservante por un minuto y posteriormente fueron envueltas con plástico de polietileno, para evitar la entrada o salida de aire. La penetración del preservante fue evaluada cada cinco días en un período de dos meses, según la metodología propuesta por Leandro *et al* (2002). En cuatro muestras de cada espesor por especie, se seleccionó una submuestra de 2.54 cm de espesor a 10 cm de uno de sus lados. Sobre esta submuestra se le aplicó la solución reveladora de la presencia de boro en la madera, la cual contiene dos soluciones, una compuesta de cúrcuma disuelta en alcohol al 95% y la otra solución de ácido clorhídrico y ácido salicílico en alcohol al 95%. En las partes de la madera donde el boro está presente, se torna de color rojo al agregar ambas soluciones. El tiempo de difusión del preservante para alcanzar el 100% es denominado por el tiempo que tarda el preservante en alcanzar la mitad del espesor de la pieza de madera.

### Tanque de preservación

Una vez determinado el tiempo de difusión en la submuestra, se procedió a la construcción del tanque de preservación. Para ello se utilizó un tanque semicircular, de 2.67 m de largo y

aproximadamente 30 cm de radio (Figura 1b), construido con “estañones” de 208 litros (55 galones).

#### Control de penetración

Al cumplir con el tiempo establecido se procedió a muestrear cuatro piezas testigo por carga de madera, las cuales fueron cortadas por la mitad de su longitud y se le aplicó la prueba de penetración del preservante. La penetración fue del 100% de la mitad del espesor.

### **Secado de la madera**

#### Método de secado

Se utilizó el secado natural o secado al aire, el cual consiste en colocar una pila de madera en posición perpendicular a la circulación del aire, protegida bajo techo construido por plástico (Figura 2b) para evitar la incidencia del sol y del agua, hasta que la madera alcance el contenido de humedad de equilibrio del ambiente, en este caso 18%, que es el contenido de humedad de equilibrio del sitio donde se apiló.

#### Apilado de la madera

Se formaron pilas tipo "caja" con dimensiones de 1 m de ancho, 1 m de altura y 2.5 m de largo. La madera fue apilada horizontalmente utilizando separadores de 2.5 cm de espesor entre las camas (Figura 2a). Para cada espesor (2.54 cm; 3.81 cm y 5.08 cm) por especie, se formó una pila para cada especie y espesor (Figura 2b).



**Figura 2.** Apilado tipo cama, compuesta de separadores de 2.54 cm y tablas (a) y protegida de la incidencia del sol y la lluvia (b).

#### Control de contenido de humedad

De cada espesor fueron seleccionadas 4 tablas en forma aleatoria. A 40 cm de uno de los extremos fue cortado la muestra testigo de 30 cm, las cuales fueron pintadas en sus extremos y colocadas a ambos lados de la pila de madera (Figura 2a). Estas muestras fueron pesadas diariamente durante un periodo de aproximadamente 30 días, que fue el tiempo en que se logró alcanzar el peso constante de la muestra, el cual se define como el tiempo de secado (Rietz y Page, 1972). El tiempo de secado se calculó con base en cantidad de días en que las muestras de madera alcanzan un contenido de humedad de 18%, el cual corresponde al contenido de humedad de equilibrio del sitio donde fue apilada la madera.

#### Control de calidad del secado

Antes y después del proceso de secado, a cada una de las tablas se le evaluaron los defectos de arqueadura y grietas. La incidencia y la magnitud fueron los parámetros evaluados según la metodología propuesta por Hallock y Malcolm (1972) y Milota (1996).

### Análisis estadísticos

Se aplicó un análisis de variancia (ANOVA) para conocer si existe diferencia significativa entre espesores de una misma especie para la cantidad de días que debe estar almacenada la madera y el porcentaje de penetración en la preservación. Así como para el contenido de humedad inicial, la cantidad de días en alcanzar el 18% de contenido de humedad y la magnitud y porcentaje de incidencia de grietas y arqueaduras luego del proceso de secado de la madera.

### **Determinación de costos**

Para la estimación de costos de preservación y secado, se cuantificaron todos los costos involucrados durante estas operaciones. Estos fueron clasificados en:

- Gastos de inversión inicial (fijos): que incluyen solamente el material y mano de obra involucrados en la construcción e implementación de un sistema de preservación y secado al aire, como por ejemplo, contratar personal, adquirir “estañón”, etc.
- Gastos de materiales: en las operaciones de preservado y secado que contemplan la compra de algunos materiales como sales de boro (preservante), plástico paletizado, pintura metálica, etc.
- Gastos de mano de obra: donde se contempla la cantidad de personas necesarias y el tiempo que se tarda en los procesos de secado y de preservación.

Los gastos y costos son reportados en dos tipos de monedas: en colones, que es la moneda nacional de Costa Rica y en dólares (tasa de cambio de 1 dólar es igual a 520 colones).

## **RESULTADOS**

### **Preservación**

Se determinó que el tiempo de penetración del preservante en la madera de *T. grandis* osciló entre 15 y 30 días y en la madera de *B. quinata* de 12 a 26 días (Cuadro 2). En esta última especie, la máxima penetración se logra en menor cantidad de días que en *T. grandis* para los diferentes espesores de madera, en todos los casos es superior a 91% de penetración.

**Cuadro 2.** Promedios de cantidad de días de almacenamiento, porcentaje de penetración y contenido de humedad de preservación para *Bombacopsis quinata* y *Tectona grandis*, Guanacaste, Costa Rica, 2007.

<b>Especie</b>	<b>Espesor (cm)</b>	<b>Tiempo de almacenamiento (días)</b>	<b>Penetración (% del espesor)</b>	<b>Contenido de humedad (%)</b>
<b><i>Bombacopsis quinata</i></b>	2.54	12 <sup>a</sup>	98.63 <sup>a</sup>	88.75
	3.81	15 <sup>b</sup>	100.00 <sup>a</sup>	80.77
	5.08	26 <sup>c</sup>	98.92 <sup>a</sup>	81.44
<b><i>Tectona grandis</i></b>	2.54	15 <sup>a</sup>	94.29 <sup>a</sup>	79.21
	3.81	20 <sup>b</sup>	95.28 <sup>a</sup>	78.75
	5.08	30 <sup>c</sup>	91.34 <sup>a</sup>	77.05

**Notas:** valores promedio provenientes de cuatro muestras de cada uno de los espesores. Las letras diferentes en sentido vertical de cada especie indican que son estadísticamente diferentes en un nivel de confianza de 99%.

En general el porcentaje de penetración para los diferentes espesores de madera fueron similares en *B. quinata*, en todos los casos se obtuvo un valor cercano a 100%. Sin embargo, la

cantidad de días en alcanzar esta penetración fue estadísticamente diferente para cada espesor, de hecho aumentó con el incremento del espesor de la madera (Cuadro 2). En el caso de *T. grandis*, se determinó que el porcentaje de penetración en el espesor de 5.08 cm fue ligeramente inferior que los espesores de 2.54 y 3.81 cm, pero sin alcanzar a ser estadísticamente diferentes. En *B. quinata* se encontró que la cantidad de días en alcanzar la máxima penetración aumentó con el incremento del espesor de la madera. Dicho resultado era predecible, ya que un aumento del espesor significa que las sales deben difundirse en una mayor distancia, involucrando mayor cantidad de tiempo. En otras especies de reforestación de rápido crecimiento, como *Gmelina arborea* Roxb. y *Alnus acuminata* Kunth. en el trópico (Leandro *et al*, 2002; Muñoz *et al*, 2007) y *Populus tremuloides* Michx. de clima templado (Puettmann y Schmidt, 1997), también se ha encontrado un aumento en la cantidad de días que demora la difusión de las sales de boro conforme se incrementa el espesor de las piezas.

Se reporta que el contenido de humedad inicial de *B. quinata* es mayor que el de *T. grandis* (Pérez y Kanninen, 2002; Moya *et al*, 2003), ello da como resultado que el *B. quinata* presente una mayor cantidad de agua dentro de la madera, ya que cuenta con mayores espacios libres. Una mayor humedad permite una mejor condición para la difusión de las sales de boro, al tener una mayor cantidad de agua presente en la madera (Grace, 1997). Fonseca (2004), haciendo referencia a la importancia del contenido de humedad durante la preservación con boro en madera de *T. grandis*, recomienda que el contenido de humedad inicial debe ser superior a 85%, si se quiere obtener una difusión de preservante de casi un 100%, en especial cuando se trata de madera de albura.

### **Calidad de la madera al finalizar el proceso de preservación**

La calidad visual de la madera una vez finalizado el proceso de preservación (cubierta con plástico por varios días) por el método de difusión con sales de boro, varía de una especie a otra. La madera de *T. grandis* no sufrió cambio en su textura, no se manchó ni se decoloró y no sufrió ataques de hongos. La madera de *B. quinata* sí sufrió cambio en su apariencia, se tornó más opaca, sufrió el ataque de dos especies de hongos tipo "mohos". Uno produce esporas negras y de mal olor que tornó la madera de color oscuro. Este hongo se presentaba a lo largo y ancho de las piezas. El otro hongo cubría algunas áreas de los cantos y esquinas de la pieza de madera. A pesar de estos mohos, se pudo comprobar que estos y la decoloración de la madera eran de carácter superficial, ya que al cepillar la madera eran eliminados. Muñoz (1994) y Moya y Córdoba (1995) con madera de *B. quinata* de plantaciones jóvenes, determinan que esta especie es susceptible al ataque de hongos y manchas, por lo que se debe tratar la madera recién aserrada con anti-hongos y anti-manchas inmediatamente después de cortado el árbol para evitar la degradación.

Aunque la presencia de hongos de tipo mohos en la madera de *B. quinata* fue de carácter superficial, no significa pérdidas económicas importantes debido a que son eliminados en las operaciones de alistado, como el canteado o cepillado de la madera al ser de carácter superficial. Sin embargo para garantizar aún más la calidad de la madera aserrada, es recomendable agregar algún tipo de fungicida o anti-mancha en el momento de preparar la solución del preservante. Esta medida permitirá que la calidad visual de la madera mejore si se va a vender sin cepillar y no afecte su comercialización.

### **Secado de la madera**

#### Determinación del tiempo de secado al aire

La madera aserrada de menor espesor (2.54 cm) fue la que presentó mayor velocidad de secado (porcentaje de pérdida de humedad por día), seguido por el espesor de 3.81 cm y por último el espesor de 5.08 cm, que representa la velocidad de secado menor (Cuadro 3). Esto significa que la cantidad de días en alcanzar el 18% (contenido de humedad de equilibrio en el sitio donde se llevó a cabo el secado) aumenta con el incremento del espesor de la madera aserrada.

En promedio, la madera de *B. quinata* pierde un 3.96% de contenido de humedad por día, con un contenido de humedad inicial cercano a 80% en los espesores de 3.81 cm y 5.08 y de 88%

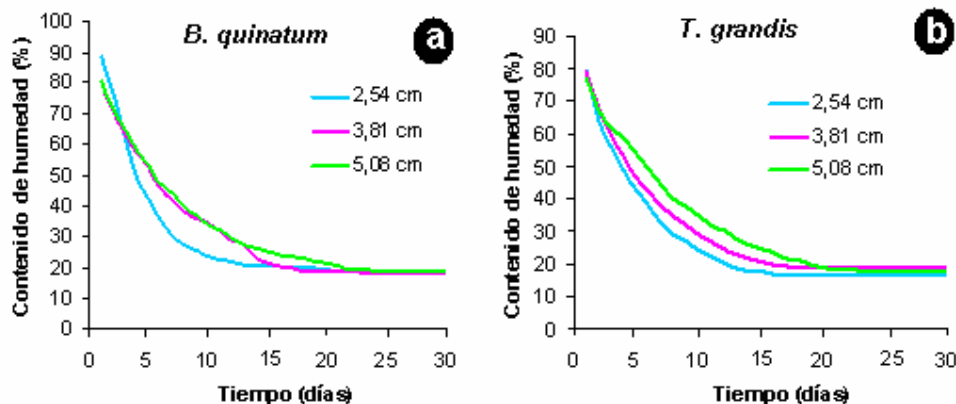
en el espesor de 2.54 cm; la madera de *T. grandis* en promedio pierde 3.51%/día, valor ligeramente inferior al del *B. quinata* y su contenido de humedad inicial también cercano al 80%. Aunque se presentan algunas diferencias en el contenido de humedad inicial y en la velocidad de secado entre las dos especies, estas no llegan a influir grandemente en el periodo de secado. En todos los espesores de ambas especies se encontró que la cantidad de días en alcanzar el contenido de humedad de equilibrio del sitio (18%) es muy similar cuando la madera es secada al aire.

**Cuadro 3.** Tiempo de secado, contenido de humedad inicial y final y velocidad de secado para las muestras testigo de la madera de *Bombacopsis quinata* y *Tectona grandis*, Guanacaste, Costa Rica, 2007.

Especie	Espesor (cm)	Contenido de humedad inicial (%)	Contenido de humedad final (%)	Tiempo que tardó en alcanzar el 18% (días)	Velocidad de secado (%/día)
<i>Bombacopsis quinata</i>	2.54	88.78	18.97	13 <sup>a</sup>	5.75 <sup>a</sup>
	3.81	80.77	18.46	19 <sup>b</sup>	3.37 <sup>b</sup>
	5.08	80.69	18.92	23 <sup>c</sup>	2.75 <sup>c</sup>
<i>Tectona grandis</i>	2.54	79.21	17.16	14 <sup>a</sup>	4.50 <sup>a</sup>
	3.81	78.76	18.75	18 <sup>b</sup>	3.46 <sup>b</sup>
	5.08	77.05	17.88	23 <sup>c</sup>	2.58 <sup>c</sup>

**Notas:** valores promedio proveniente de cuatro muestras de cada uno de los espesores. Las letras diferentes en sentido vertical de cada una de las especies indican que son estadísticamente diferentes.

Otro aspecto importante a destacar durante el proceso de secado de la madera, es conocer el comportamiento del contenido de humedad antes de llegar al equilibrio con las condiciones ambientales. En las dos especies analizadas, se encontró que la disminución de la humedad en la madera en los primeros 10 días ocurre rápidamente, en especial para el espesor de 2.54 cm; posterior a ese periodo, el agua de la madera es eliminada más lentamente, hasta que llega al contenido de humedad de equilibrio (Figura 3). Este comportamiento se debe a que los primeros días del secado, es eliminada el agua libre de la madera, que se encuentra en los espacios vacíos y lúmenes de las fibras y vasos, siendo además el tipo de agua más fácil de eliminar (Haygreen y Bowyer, 1996).



**Figura 3.** Variación del contenido de humedad para los espesores de madera de *Bombacopsis quinata* (a) y *Tectona grandis* (b) durante el secado al aire en la localidad de Garza, Guanacaste, Costa Rica, 2007.

#### Calidad de secado

Al evaluar la presencia de grietas en la madera aserrada en condición seca se observó que estas aumentaron, tanto en su cantidad (porcentaje de piezas con este defecto) como en su



magnitud (Cuadro 4). Este aumento ocurre en todos los espesores. En relación a la arqueadura, se encontró que tanto su valor como la cantidad de piezas con este defecto aumentaron luego del proceso de secado, esto para las dos especies y los diferentes espesores de madera (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Daños en las piezas de madera al finalizar el proceso de secado al aire de *Bombacopsis quinata* y *Tectona grandis*, Guanacaste, Costa Rica, 2007.

Especie	Espesor (cm)	Piezas con grietas (%)		Longitud de grietas (cm)		Índice de arqueadura (%)		Piezas con arqueadura (%)	
		A	D	A	D	A	D	A	D
<i>Bombacopsis quinata</i>	2.54	33.8 <sup>a</sup>	36.6 <sup>b</sup>	32.4 <sup>a</sup>	39.4 <sup>b</sup>	0.26 <sup>a</sup>	0.29 <sup>b</sup>	17.5 <sup>a</sup>	25.1 <sup>b</sup>
	3.81	44.1 <sup>a</sup>	62.7 <sup>b</sup>	16.9 <sup>a</sup>	22.0 <sup>b</sup>	0.15 <sup>a</sup>	0.19 <sup>b</sup>	26.8 <sup>a</sup>	34.6 <sup>b</sup>
	5.08	38.8 <sup>a</sup>	56.7 <sup>b</sup>	26.9 <sup>a</sup>	29.6 <sup>b</sup>	0.09 <sup>a</sup>	0.20 <sup>b</sup>	14.1 <sup>a</sup>	18.8 <sup>b</sup>
	<b>Promedio</b>	<b>38.9<sup>a</sup></b>	<b>52.0<sup>b</sup></b>	<b>25.4<sup>a</sup></b>	<b>30.4<sup>b</sup></b>	<b>0.17<sup>a</sup></b>	<b>0.23<sup>b</sup></b>	<b>19.5<sup>a</sup></b>	<b>26.17<sup>b</sup></b>
<i>Tectona grandis</i>	2.54	53.7 <sup>a</sup>	75.0 <sup>b</sup>	38.9 <sup>a</sup>	42.6 <sup>b</sup>	0.45 <sup>a</sup>	0.47 <sup>b</sup>	24.5 <sup>a</sup>	35.3 <sup>b</sup>
	3.81	41.1 <sup>a</sup>	51.8 <sup>b</sup>	25.0 <sup>a</sup>	32.1 <sup>b</sup>	0.13 <sup>a</sup>	0.15 <sup>b</sup>	29.4 <sup>a</sup>	31.5 <sup>b</sup>
	5.08	43.2 <sup>a</sup>	50.0 <sup>b</sup>	29.5 <sup>a</sup>	36.4 <sup>b</sup>	0.18 <sup>a</sup>	0.22 <sup>b</sup>	27.3 <sup>a</sup>	25.4 <sup>b</sup>
	<b>Promedio</b>	<b>46.0<sup>a</sup></b>	<b>58.9<sup>b</sup></b>	<b>31.1<sup>a</sup></b>	<b>37.0<sup>b</sup></b>	<b>0.21<sup>a</sup></b>	<b>0.25<sup>b</sup></b>	<b>27.0<sup>a</sup></b>	<b>30.7<sup>b</sup></b>

**Nota:** A, antes del secado; D, después del secado.

En *T. grandis* se observó que la presencia de grietas (cantidad piezas y longitud) y de arqueadura (cantidad e índice) fueron mayores de las que se presentaron en la madera de *B. quinata*. Sin embargo, si se considera que los resultados obtenidos son aceptables para las dos especies y es normal que suceda un aumento de los defectos en la madera durante el secado (Simpson, 1991).

También se encontró, que el mayor porcentaje de piezas con grietas se presentan en la madera de *T. grandis* de 2.54 cm de espesor y que este defecto disminuye al aumentar el espesor de la madera aserrada. Sin embargo, en la madera de *B. quinata* el espesor de 3.81 cm presenta los mayores valores, seguido del espesor de 5.08 cm y el espesor de 2.54 cm. El índice de arqueadura fue mayor en el espesor de 2.54 cm para las dos especies, sin embargo la incidencia de este defecto no tuvo este mismo comportamiento, ya que los mayores porcentajes se presentan en el espesor de 3.81 cm y los menores en el espesor de 2.54 cm.

La presencia de madera con grietas y con encorvadura ocurre durante el proceso de secado por las diferencias en las contracciones de la madera en sus planos (Simpson, 1991). Los defectos de secado se acentúan por la presencia de madera juvenil que es producida en los primeros años de crecimiento del árbol (Zobel y Sprague, 1998). Si se considera que la madera utilizada en las dos especies (*T. grandis* y *B. quinata*) provenía de árboles con edad inferior a 15 años, caracterizadas por una alta presencia de madera juvenil (Bhat *et al*, 2001) y la presencia de altas tensiones de crecimiento, dan como resultado una contribución importante en la incidencia de grietas y torceduras producidas durante el proceso de secado (Chaves y Serrano, 2004).

#### Análisis de costos

En los costos de secado se encontró que el rubro más alto es la mano de obra, con el 98.62% del costo total de esta operación (4.83 US\$/m<sup>3</sup>); los de menor peso, en orden ascendente son los costos de inversión y de materiales (Cuadro 5). Los costos de materiales se ven influenciados por dos situaciones: primero porque se necesitan dos operarios para llevar a cabo el proceso de apilado de la madera y segundo, porque durante el tiempo que permanece la madera apilada hasta alcanzar su contenido de humedad de equilibrio, se necesita de una persona para su cuidado y control. En la operación de preservación, el rubro más importante en los costos totales (28.29 US\$/m<sup>3</sup>) son los costos de materiales nuevamente (Cuadro 5), debido principalmente a la compra de las sales de boro (44.21% de los costos totales). Se presenta la

especificación de los costos para los procesos de apilado y secado y preservación en los cuadros 6 y 7 respectivamente del anexo.

**Cuadro 5.** Costos económicos para el proceso de preservación por difusión con sales de boro y secado al aire para *Bombacopsis quinata* y *Tectona grandis*. 2007.

Proceso	Tipo de costo	Costo		Porcentaje del costo (%)
		¢/m <sup>3</sup>	\$/m <sup>3</sup>	
Secado al aire	Inversión	15.92	0.03	0.63
	Materiales	18.87	0.04	0.75
	Mano de obra	2478	4.76	98.62
	<b>Total</b>	<b>2512.79</b>	<b>4.83</b>	<b>100</b>
Preservación doble difusión	Inversión	51.95	0.10	0.44
	Materiales	8061.87	15.50	68.14
	Mano de obra	3717.00	7.15	31.42
	<b>Total</b>	<b>11830.82</b>	<b>22.75</b>	<b>100</b>
Preservar y secar la madera	<b>Total</b>	<b>14715.31</b>	<b>28.29</b>	-

**Nota:** 1 US dólar = 520 colones.

Al comparar los procesos de secado y de preservación es evidente que los costos del segundo proceso son los más altos, esto porque los materiales necesarios para llevar a cabo esta actividad son más caros, principalmente las sales de boro como se ha mencionado previamente. En general, se aprecia que el costo de secado es relativamente económico para los beneficios que estos procesos conlleva, tales como el mejoramiento en las operaciones de trabajabilidad (cepillado, taladrado, moldurado, torneado, entre otras), aumento de las propiedades mecánicas, acústicas, térmicas y eléctricas, así como prevención de la biodegradación de la madera por hongos o insectos (Haygreen y Bowyer, 1996).

Aunque el proceso de preservación resultó con mayor costo, esto no es un inconveniente para realizar esta operación; los beneficios de contar con madera aserrada permite aumentar su vida útil en varios años, esto según lo demuestran en algunas ensayos realizados en condiciones aceleradas de laboratorio con madera de plantaciones de rápido crecimiento (Moya *et al*, 2008). En *B. quinata* este proceso se vuelve aún más importante, porque la madera en plantaciones posee una resistencia al ataque hongos e insectos más baja que cuando la madera proviene de árboles creciendo en condición natural (Cordero y Boshier, 2003).

## CONCLUSIONES

Con base en los resultados de la cantidad de días que debe permanecer la madera aserrada en difusión de *B. quinata* y *T. grandis*, así como la excelente penetración obtenida durante la preservación con el método inmersión-difusión, se demuestra que técnicamente es posible la preservación de la madera. Sin embargo, *B. quinata* es susceptible a que se produzcan hongos de manchas superficiales, lo cual se puede evitar al agregar un fungicida a la solución preservante.

La aplicación del método de secado al aire es técnicamente viable en la madera de *T. grandis* y *B. quinata* proveniente de plantaciones de rápido crecimiento, ya que se obtuvieron excelentes resultados respecto a la cantidad de días requeridos por la madera para alcanzar el contenido de humedad de equilibrio del medio, así como por la poca presencia y baja magnitud de defectos en la madera.

Los costos de secar y preservar la madera de *B. quinata* y *T. grandis* fueron de 4.83 y 22.75 US\$/m<sup>3</sup> respectivamente, siendo bastante bajos para el primer proceso y relativamente altos para la preservación. No obstante, los posibles beneficios que se puedan obtener son de

mucha importancia, ya que aumentan la vida útil, lo que ayuda a comercializar la madera de las especies estudiadas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Barrantes, A; Salazar, G. 2006. Usos y aportes de la madera en Costa Rica. San José, CR, Oficina Nacional Forestal, Ministerio de Energía y Minas. 28 p. (Estadísticas 2005)
- Berrocal, A; Rojas, L. 2007. 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). Revista Kurú Forestal: 4(10):1-15.
- Bhat, KM; Florence, EJ. 2005. Natural Decay Resistance of Juvenile Teak Wood Grown in High Input Plantations. *Holzforschung*. 57(5): 453-455.
- Bhat, KM; Priya, P; Rugmini, P. 2001. Characterisation of juvenile wood in teak. *Wood Sci Tech* 34:517–532.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. CR). 1994. *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand, especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, CR, 44 p. CATIE. Colección de guías silviculturales (Serie técnica; Informe técnico N° 172)
- Chaves, E; Fonseca, W. 1991. *Tectona grandis* L.f. Especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, CR, CATIE. 47 p. Colección de guías silviculturales (Serie técnica; Informe técnico N° 179).
- Chaves, V; Serrano, JR. 2004. Influencia del espaciamiento de siembra y otros factores sobre el desarrollo de torceduras y grietas en madera proveniente de plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.). Revista Kurú Forestal. 1(3): 1-12.
- Cordero, J; Boshier, D. 2003. *Bombacopsis quinata*. Un árbol maderable para reforestar. US., South Parks Road, Oxford Forestry Institute. 145 p.
- Fonseca, W. 2004. Manual para productores de teca (*Tectona grandis* L.f.) en Costa Rica. (en línea). San José, CR. FONAFIFO. Consultado 17 mayo 2007. Disponible en: [http://www.fonafifo.com/text\\_files/proyectos/ManualProductoresTeca.pdf](http://www.fonafifo.com/text_files/proyectos/ManualProductoresTeca.pdf)
- Grace, JK. 1997. Review of recent research on the use of borates for termite prevention. In International Conference on Wood Protection with Diffusible Preservatives and Pesticides. (2nd, 1997, Madison, US). Proceedings. Eds. Forest Products Society. Madison, US. p. 85-92.
- Hallock, HY; Malcolm, FB. 1972. Sawing to reduce warp in plantation red pine studs. Madison, USA, USDA Forest Service, Forest Products Laboratory. (Research paper FLP-164) 35 p.
- Haygreen, J; Bowyer, J. 1996. Forest products and wood science. 3ª ed. Iowa, US. State University Press, Ames, Iowa. 484 p.
- Junta de Acuerdo de Cartagena. 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. Características de la preservación de la madera de melina (*Gmelina arborea*) con el método de inmersión-difusión utilizando boro y el método de vacío-presión utilizando CCA-C. Informe # 6. Proyecto FC -0011-2000: Evaluación de las características y propiedades tecnológicas para la melina (*Gmelina arborea*) proveniente de plantaciones forestales. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Centro de Investigación en Integración Bosque Industria. 94 p.
- Milota, MR. 1996. Method of measurement of bow and crook. *Forest Products Journal*. 41(9) 65-68.
- Moya, R. 2007. Industrialización y comercialización de madera proveniente de plantaciones forestales en Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*. 49:154-162.

- Moya, R; Córdoba, R. 1995. Evaluación de aserrío y trabajabilidad de madera de pochote [*Bombacopsis quinatum* (Jacq.), Dugand] de 8 años de edad. *Revista Forestal Centroamericana*. 12(4): 19-24.
- Moya, R; Pérez, D. 2007. Processing and marketing of teak wood products from fast-grown teak plantations in Costa Rica. In *Processing and marketing of teak wood products of planted forests*. (2007 September, Peechi, IN). *Proceedings*. 2000. Bhat, M.K (eds). Peechi, IN. p. 25-28
- Moya, R; Pérez, LD; Arce, A. 2003. Wood density of *Tectona grandis* at two plantation spacings in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Products*. 9(1/2): 153-161.
- Moya, R; Pérez, LD; Leandro, L. 2008. Wood characteristics of three native species: *Terminalia amazonia*, *Vochysia guatemalensis* and *Hyeronima alchorneoides* growing in fast-growth plantations in Costa Rica. *Bosques*. (in press).
- Muñoz, F. 1994. Estudio tecnológico para determinar posibles usos industriales de *Bombacopsis quinatum* (Jacq) Dugand, proveniente de una plantación de 8 años. *Práctica de Especialidad Bachiller*. Cartago, CR: ITCR, Escuela de Ingeniería Forestal. 96 p.
- Muñoz, F; Moya, R; Berrocal, A. 2007. Propiedades de especies nativas reforestadas comercialmente en Costa Rica: Jaúl (*Alnus acuminata*). Desde el Bosque. *Boletín Informativo de la Cámara Costarricense Forestal*. 17: 4-6.
- Pérez LD; Kanninen, M. 2005. Stand growth scenarios for *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*. 210(1-3) 425-441.
- Pérez, LD; Kanninen, M; Ugalde, LA. 2003. Stand growth scenarios for *Bombacopsis quinata* plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*. 174(1): 345-352.
- Pérez, LD; Kanninen, M. 2002. Wood specific gravity and aboveground biomass of *Bombacopsis quinata* plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*. 165(1): 1-9.
- Pérez, LD; 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.
- Puettmann, E; Schmidt, L. 1997. Boron diffusion treatment of aspen lumber stored under various relative humidities. *Forest Products Journal*. 47(10): 47-50.
- Rietz, RC; Page, RH. 1972. *Air drying of lumber: A guide to industry practice*. Agri. Handb. 401. 110 p. Available in revised form as *air drying of lumber*. Madison, USA, USDA Forest Service, Forest Products Laboratory. (Gen. Tech. Rept. FPL-GTR-117) 62 p.
- Schmincke, KH. 2000. Plantaciones de teca en Costa Rica: la experiencia de la empresa Precious Woods. *Unasylyva*. 201: 29-35.
- Simpson, W. 1991. *Dry Kiln Operator's Manual*. Madison, USA, USDA Forest Service, Forest Products Laboratory. (Handbook AH-188) 100 p.
- Tewari, DN. 1999. *A monograph on teak (Tectona grandis)*. Dehra Dun, IN. International Book Distrutors. 312 p.
- Vignote, PS. 2005. *Tecnología de la madera*. 3ª ed. Madrid, ES, Ediciones Mundi Prensa. 150 p.
- Zobel, B; Sprague, J. 1998. *Juvenile wood in trees*. New Cork, US. Springer-Verlag. 300 p.

## ANEXO

**Cuadro 6.** Costos del proceso de apilado y secado al aire para *Bombacopsis quinata* y *Tectona grandis* provenientes de plantación en Garza, Guanacaste, Costa Rica, 2007.

Tipo de costo	m <sup>3</sup> /vida útil	Costo/ m <sup>3</sup>		Costo total (%)
		Colones (¢)	Dólares (\$)	
<b>Inversión inicial</b>				
1 balanza	5200	3.27	0.01	0.13
6 m plástico/construcción	520	5.65	0.01	0.22
1 kg clavos 3 pulgadas	520	1.63	0.00	0.06
Bases de madera	1040	1.79	0.00	0.07
240 separadores	520	1.19	0.00	0.05
Mano de obra (4 horas)	1040	2.38	0.01	0.09
<b>Subtotal de costos de inversión</b>		<b>15.92</b>	<b>0.03</b>	<b>0.63</b>
<b>Costos de materiales</b>				
1 tiza		0.48	0.005	0.02
1 libreta		0.96	0.005	0.04
1 pintura metálica		17.31	0.03	0.69
1 lápiz		0.12	0.00	0.00
<b>Subtotal de materiales</b>		<b>18.87</b>	<b>0.04</b>	<b>0.75</b>
<b>Subtotal de mano de obra*</b>		<b>2478</b>	<b>4.76</b>	<b>98.62</b>
<b>Costos totales de apilado y secado</b>		<b>2512.79</b>	<b>4.83</b>	<b>100</b>

**Notas:** 1 dólar = 520 colones. \*En la mano de obra contempla el tiempo de dos personas formando la pila de madera y una persona encargada de los patios de secado.

**Cuadro 7.** Costos del proceso de preservación para *Bombacopsis quinata* y *Tectona grandis* provenientes de plantación en Garza, Guanacaste, Costa Rica, 2007.

Tipo de costos	m <sup>3</sup> /vida útil	Costo/ m <sup>3</sup>		Costo total (%)
		Colones (¢)	Dólares (\$)	
<b>Inversión inicial</b>				
1 estación	4160	2.76	0.01	0.02
2 mascarillas	1040	7.21	0.01	0.06
2 guantes	86.32	35.91	0.07	0.30
2 delantales plásticos	520	5.77	0.01	0.05
Mano de obra (2 horas)	4160	0.29	0.001	0.00
<b>Subtotal de costos de inversión</b>		<b>51.95</b>	<b>0.10</b>	<b>0.44</b>
<b>Costos de materiales</b>				
25 kg bórax		2850.24	5.48	24.09
25 kg ácido bórico		2380.83	4.58	20.12
Transporte de sales		779.02	1.50	6.58
1 rollo plástico adhesivo paletizado		1088.93	2.09	9.20
1 cinta adhesiva		122.50	0.24	1.04
20 g cúrcuma		54.45	0.10	0.46
1 litro alcohol		181.49	0.35	1.53
1 litro ácido clorhídrico		50.70	0.10	0.43
10 g ácido salicílico		553.72	1.06	4.68
<b>Subtotal de costos de materiales</b>		<b>8061.87</b>	<b>15.50</b>	<b>68.14</b>
<b>Subtotal de mano de obra*</b>		<b>3717.00</b>	<b>7.15</b>	<b>31.32</b>
<b>Costos totales de preservación</b>		<b>11830.82</b>	<b>22.75</b>	<b>100.00</b>

**Notas:** 1 dólar = 520 colones. En la mano de obra contempla el tiempo de dos personas formando la pila.