

Efecto del espaciamiento en plantación sobre dos propiedades físicas de madera de teca a lo largo del fuste

Róger Moya Roque¹
Víctor Arce Ledezma²

RESUMEN

Para determinar la densidad básica (DB) y la contracción de la madera de teca (*Tectona grandis* Linn F.) se utilizó madera de plantaciones proveniente de árboles de 10 años con dos diferentes espaciamientos. En uno de ellos se plantó a 6 m x 2 m (830 árboles ha⁻¹) y en el otro a 3 m x 3 m (1 100 árboles ha⁻¹). A la fecha en que se realizó el muestreo, las densidades de las plantaciones eran de 447 y 286 árboles por hectárea, respectivamente. Para la selección de los árboles a muestrear se buscó que estuvieran representados árboles de todas las categorías presentes en el rodal. Se seleccionaron nueve árboles al azar en cada uno de los espaciamientos y, para cada uno de ellos, se cortaron discos cada 2,5 m, iniciando en la base del árbol hasta una altura de 15 m. La tendencia de la relación entre la densidad básica y la contracción (tangencial, radial y volumétrica) con respecto a la edad en árboles de teca en todos los casos, fue lineal de segundo grado con la edad del *cambium*. Los análisis estadísticos demostraron que la densidad básica resultó mayor en el espaciamiento de 3 m x 3 m, mientras que las contracciones de la madera fueron mayores en el espaciamiento de 6 m x 2 m. Estos resultados muestran que cuando se trata de árboles de 10 años de edad la densidad básica no es un buen indicativo para predecir las contracciones de la madera de teca.

PALABRAS CLAVE:

Contracción de la madera, densidad, espaciamiento en plantación, teca, *Tectona grandis*.

ABSTRACT

To estimate of the specific gravity and wood shrinkage of teakwood (*Tectona grandis* Linn F.) 10-year-old trees from plantations with two planting densities (830 trees ha⁻¹ or 6 m x 2 m spacing and 1 100 trees ha⁻¹ or 3 m x 3 m spacing) were studied in the dry zone of Costa Rica. Specimens of all diametric categories found in the plantations were included in the selection of sample trees. For each one of the plantation densities, a total of nine trees were selected randomly. From each tree, cross-section samples were taken every 2,5 m along the stem length, starting at the base of the tree and up to 15 m. Specific gravity and wood shrinkage (tangential, radial, and volumetric) presented a linear relationship (2nd grade) with increasing cambium age. Statistical analysis showed that specific gravity values were greater on the 3 m x 3 m spacing, while wood shrinkage values were greater for the 6 m x 2 m spacing. The results obtained show that for 10-year-old teak trees, specific gravity is not a good indicator for predicting wood shrinkage.

KEY WORDS:

Wood shrinkage, specific gravity, plantation spacing, teak, *Tectona grandis*.

INTRODUCCIÓN

La teca es preferida en la reforestación en las zonas tropicales debido a su excelente crecimiento y rendimiento (Bhat, 2000). En Centroamérica esta especie es utilizada en diversos programas de reforestación debido a las características mencionadas anteriormente y por el reconocimiento de su madera en los mercados internacionales (Chávez y Fonseca, 1991). En Costa Rica la teca fue introducida en la década de 1940 en la parte central costera del Pacífico (Keogh *et al.*, 1978), específicamente entre Parrita y Quepos. Sin embargo, hasta la década de 1980, se incrementó su utilización en los programas de reforestación a gran escala; en la actualidad se cuenta con alrededor de 40 mil hectáreas reforestadas (Arias y Zamora, 1999).

Uno de los temas que constantemente es motivo de discusión por los reforestadores es el espaciamiento a utilizar en las plantaciones comerciales. En Costa Rica se pueden encontrar distancias de 6 m x 2 m ó 5 m x 5 m hasta espaciamientos tan reducidos como 2,4 m x 2,4 m. La cantidad y porcentajes de raleos aplicados son variados también; en muchos de los casos, estos dependen de los espaciamientos iniciales con que se plantó (Krishnapillay, 2000).

La distancia de plantación y los raleos aplicados afectan directamente la calidad de la madera (Zobel y Van Buijtenen, 1989). Es conocido que con espaciamientos más amplios se favorece las dimensiones de las trozas. Sin embargo, los efectos de los espaciamientos sobre la calidad de la madera en muchas ocasiones, no son conocidos. Los cambios ocurridos en la calidad de madera producto del manejo forestal, generalmente están asociados a un incremento en el tamaño de la copa, que puede ser consecuencia de la competencia de los nutrientes y de las variaciones en los procesos fotosintéticos al aumentar o disminuir el número de árboles en una plantación (Rocha y Della, 1987).

El estudio de la influencia del manejo forestal sobre las propiedades de la madera en las zonas tropicales o subtropicales de América es muy escaso (Miranda y Nahuz, 1999). Los géneros *Pinus* y *Eucalyptus* de las zonas tropicales son los que llevan la vanguardia en ello, algunos estudios que se pueden mencionar son los llevados a cabo por Oda *et al.* (1990) y Miranda y Nahuz (1999) en *Eucalyptus saligna*, en el cual encontró que el espaciamiento afecta la densidad básica de la madera y la calidad dimensional de la madera aserrada, respectivamente.

De los pocos estudios que se han llevado a cabo con el objetivo de determinar los efectos del espaciamiento sobre la calidad de la madera en teca, cabe mencionar los realizados por Rosso y Ninin (1998) en Venezuela y por Pérez y Kanninen (2002) en Costa Rica. Los primeros investigadores encontraron que el espaciamiento influye en el tamaño de los nudos, y la pérdida de la verticalidad del fuste, lo cual determina la presencia y magnitud de los defectos como excentricidad de la médula, el achatamiento y las arqueaduras de las trozas. Los segundos investigadores no encontraron diferencia significativa en la densidad anhidra (calculada con el peso seco al horno y el volumen en la misma condición) para diferentes densidades de plantación en árboles de teca creciendo en Costa Rica.

Por otra parte, es importante evaluar la posible variación de las propiedades de la madera con la altura del árbol, para establecer los posibles usos de las diferentes partes del árbol. En la madera de teca, Pérez y Kanninen (2002) encontraron variaciones de la densidad anhidra para árboles de teca creciendo en Costa Rica con diámetros a la altura del pecho, menores a 38 cm, encontrando que no existe una relación lineal entre los parámetros.

Tewari (1998) y Moya (2000) sí determinaron dos diferentes tendencias en

la respuesta de la densidad básica (calculada por el peso seco al horno y el volumen en condición verde o un contenido de humedad superior a 30 %) de la madera de teca.

En árboles creciendo en forma natural y en plantaciones forestales en la India, Tewari (1998) establece un primer tramo desde la base del árbol hasta una altura de 6,3 m donde la densidad básica disminuye con la altura y posteriormente empieza a aumentar hasta una altura de 12,3 m, la cual fue la altura máxima donde se determinó esta propiedad. En tanto, para árboles de diferentes edades (5, 7 y 9 años), Moya (2000) encontró que el peso específico tiende a disminuir desde la base del árbol hasta una altura de 7,5 m, correspondiente a una altura cercana a la base de la copa y posteriormente el peso específico tiende a aumentar con la altura del árbol.

OBJETIVO

En vista que las propiedades de la madera se ven afectadas por el espaciamiento entre los árboles y por la altura del árbol, se propuso el objetivo de establecer las diferencias que se presentan en la densidad básica (DB) y en la contracción (tangencial, radial y volumétrica) entre dos tipos de espaciamientos a diferentes alturas del tronco en árboles de *Tectona grandis* Linn F. creciendo en la zona del Pacífico Seco de Costa Rica, con el fin de aportar información que ayude a tomar decisiones en cuanto al espaciamiento, el futuro manejo de la especie y la posible utilización de la madera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron árboles de plantaciones pertenecientes a la empresa Precious Woods Costa Rica S.A., dedicada a la reforestación con especies

de alto valor comercial en la región del Pacífico Norte de Costa Rica, específicamente en la Península de Nicoya (85° 37' 29" longitud oeste y 9° 53' 20" latitud norte). La teca es la especie más utilizada por esta empresa para la reforestación. La región donde se encuentran los rodales es caracterizada como trópico seco, con temperaturas que oscilan entre 18,5 °C y 35 °C, con un promedio de 25 °C, con una precipitación anual inferior a 1200 mm, estación de cinco meses secos bien definidos.

Para la determinación de las propiedades de la madera se muestrearon dos rodales de 10 años de edad. Uno de ellos se plantó inicialmente con un espaciamiento (E1) de 3 m x 3 m (1 100 árboles ha⁻¹) en un área de 6 hectáreas y el otro con un espaciamiento (E2) a 6 m x 2 m (830 árboles ha⁻¹) en un área de 28 hectáreas, los cuales han tenido un manejo diferente (Tabla 1).

Antes de seleccionar los árboles muestreados se midieron las parcelas permanentes que posee la compañía en cada uno de los rodales, registrando el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total de los árboles presentes en la parcela y se calcularon los valores promedio (Tabla 2).

Posteriormente, se calculó una distribución de frecuencias acumuladas de los diámetros presentes en cada uno de los rodales y se dividió en tres partes, correspondientes a los terciles de la distribución, permitiendo establecer tres clases diamétricas. De cada clase se seleccionaron tres árboles al azar, dando como resultado nueve árboles en cada plantación (Tabla 3). Esta forma de muestreo por terciles permite hacer un muestreo de la totalidad de diámetros presentes en el rodal, desde las categorías inferiores hasta las categorías superiores.

Tabla 1. Esquema de manejo para los dos espaciamientos de teca evaluadas

CARACTERÍSTICA (árboles ha ⁻¹)	ESPACIAMIENTO	
	3 m x 3 m (E1)	6 m x 2 m (E2)
Densidad de plantación inicial	1 100	830
Densidad de plantación a los 3 años	555 (50 % de IR)	830
Densidad de plantación a los 5 años	555	456 (45 % de IR)
Densidad de plantación a los 6 años	277	456
Densidad de plantación a los 10 años	277	456

IR: intensidad de raleo.

Tabla 2. Variables dasométricas para los dos espaciamientos de teca evaluadas

CARACTERÍSTICA	ESPACIAMIENTO	
	3 m x 3 m (E1)	6 m x 2 m (E2)
DAP promedio (cm) \pm desviación estándar (cm)	25,0 \pm 4,7	23,2 \pm 3,6
Incremento medio anual (IMA) en DAP (cm)	2,5	2,3
Altura total promedio (m) \pm desviación estándar (m)	19,5 \pm 1,2	18,2 \pm 1,2
Incremento medio anual (IMA) en altura (m)	2,0	1,8

Tabla 3. Diámetros para la separación por terciles de los espaciamientos muestreados

CLASE DIAMÉTRICA	ESPACIAMIENTO 3 m x 3 m		ESPACIAMIENTO 6 m x 2 m	
	DAP (cm) \pm DS (cm)	N	DAP (cm) \pm DS (cm)	N
1	19,22 \pm 2,28	104	27,11 \pm 3,79	14
2	23,36 \pm 0,92	104	25,88 \pm 5,53	14
3	26,91 \pm 1,89	105	21,97 \pm 3,09	15

DAP: diámetro a la altura del pecho

DS: desviación estándar

N: número de árboles en el tercil

Se tuvo especial cuidado de que los árboles seleccionados fueran rectos, sin bifurcaciones y sin daños visibles. De cada uno de los nueve árboles seleccionados se extrajo un disco de aproximadamente 3 cm de espesor de diferentes alturas, empezando el primero en la base del árbol y posteriormente se fue cortando un disco cada 2,5 m hasta llegar a una altura donde el diámetro del árbol fuera de 10 cm, alrededor de los 15 m de altura. Así mismo se cortó un disco a la altura del pecho (DAP).

En cada uno de los discos obtenidos se cortó una sección rectangular en dirección norte-sur, de aproximadamente 4 cm de ancho y ésta se separó en dos partes a partir de la médula, dando como resultado dos secciones más pequeñas, una en la posición norte y la otra en la posición sur (Fig. 1), las cuales se mantuvieron sumergidas en agua para garantizar su condición saturada. En cada una de estas porciones en condición

saturada, se determinaron el peso, el volumen por medio del desplazamiento de agua, la dimensión tangencial a la mitad del radio y la dimensión radial que corresponde a la longitud entre la médula y la corteza de las subsecciones.

Posteriormente, los especímenes fueron colocadas en un horno de circulación de aire a 103 °C con el fin de eliminar completamente el agua dentro de la madera. Después de 24 horas se realizaron mediciones de su peso hasta tener un peso constante, se volvieron a determinar las dimensiones de cada espécimen. Los valores antes y después del secado, se utilizaron para determinar la densidad básica (peso seco al horno y volumen verde al máximo contenido de humedad), el porcentaje de contracción total volumétrica (%CTV), el porcentaje de contracción total tangencial (%CTT) y el porcentaje de contracción total radial (%CTR).

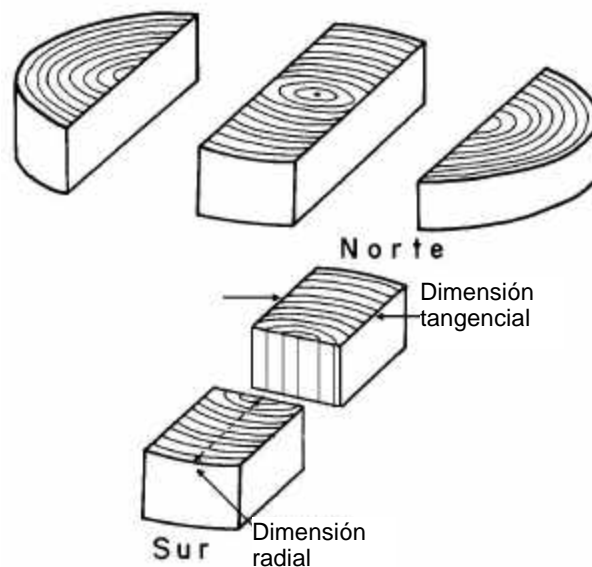


Figura 1. Forma de obtención de especímenes y medición de la dimensión tangencial y radial

En el análisis estadístico de los datos, se comprobó la distribución normal de los mismos y posteriormente se estableció el tipo de correlación entre propiedades físicas (variable dependiente) y altura de los árboles (variable independiente) en las dos condiciones de espaciamiento analizadas. Para todos los casos se evaluó el tipo de regresión que mejor se ajustara a los datos obtenidos, con base en el coeficiente de determinación (R^2) de la línea de tendencia; resultando, en todos los casos, una regresión lineal de segundo grado denotada, $y = a + b_1x + b_2x^2 + \text{error}$; donde x representa la altura de los árboles, la variable y corresponde a una de las propiedades físicas evaluadas y a , b_1 y b_2 los parámetros de la regresión.

Posteriormente, con el fin de establecer las diferencias entre los dos espaciamientos en diferentes alturas del árbol, se estableció un análisis multivariado (MANOVA), en donde el espaciamiento y la altura fueron las variables independientes y las cuatro propiedades físicas evaluadas (DB, %CTT, %CTR y %CTV) las variables de respuesta. El MANOVA se utilizó con el fin de facilitar los análisis, ya que de una misma muestra de madera se obtuvieron varias variables de repuesta.

Se utilizó el programa de estadística SAS para las regresiones y el MANOVA (SAS, 1997). En el primer caso, se utilizó el procedimiento (Statement) PROC REG y en el segundo el PROC MANOVA. En este último análisis estadístico, con el fin de determinar las diferencias entre los dos espaciamientos en diferentes alturas de las variables de respuesta, se utilizó el procedimiento CONTRAST.

Para determinar si una línea de tendencia de uno de los espaciamientos era mayor que el obtenido por el otro, se aplicó una prueba t al parámetro b_1 :

$$t = \frac{m_1 - m_0}{\sqrt{s/n}}$$

donde:

- m_1 = parámetro de la regresión para un espaciamiento
- m_0 = parámetro de la regresión del otro espaciamiento
- s = desviación estándar del parámetro de m_0
- n = número de mediciones

RESULTADOS

Las propiedades físicas estudiadas mostraron una tendencia lineal de segundo grado con respecto a la altura del árbol para los dos espaciamientos de plantación (Tabla 4). Sin embargo, es importante destacar los resultados en la tendencia de la densidad básica, las curvas en los dos espaciamientos son de forma cóncava hacia arriba (Fig. 2), los valores del parámetro lineal de las curvas (b_1x) fueron menores que cero, aunque en el espaciamiento de 6 m x 2 m es mayor que en el de 3 m x 3 m. Las contracciones fueron más altas en el tramo de 7,5 m a 10,0 m (Fig. 3).

El análisis multivariado (MANOVA) estableció que las propiedades físicas (densidad básica y contracciones) de la teca se ven afectadas por el espaciamiento y la altura de los árboles (Tabla 5).

Según los resultados del modelo estadístico establecido en la Tabla 4, la interacción entre el espaciamiento y la altura no es significativa ($p > 0,01$), por lo que no existe un efecto combinado de estos factores. Con base en este resultado se pueden analizar de forma separada las variables de repuesta (propiedades físicas) en cada una de las alturas y los espaciamientos.

Tabla 4. Ecuaciones y parámetros de la regresión para la densidad básica y las contracciones de madera de teca de 10 años en dos espaciamientos

VARIABLE	E	$Y = a + b_1x + b_2x^2$	DS de a	DS de b_1	DS de b_2	p	R ²
DB	E1	$Y = 0,54 - 0,009x + 0,00065x^2$	0,0061	0,0022	0,00015	<0,0001	0,216
	E2	$Y = 0,57 - 0,007x + 0,00062x^2$	0,0080	0,0031	0,00023	<0,0001	0,117
%CTT	E1	$Y = 5,16 + 0,169x - 0,011x^2$	0,0978	0,0351	0,00240	<0,0001	0,265
	E2	$Y = 4,32 + 0,139x - 0,009x^2$	0,0724	0,0281	0,00209	<0,0001	0,304
%CTR	E1	$Y = 2,22 + 0,204x - 0,013x^2$	0,0715	0,0257	0,00175	<0,0001	0,505
	E2	$Y = 2,06 + 0,122x - 0,009x^2$	0,0754	0,0298	0,00218	<0,0001	0,224
%CTV	E1	$Y = 6,71 + 0,351x - 0,022x^2$	0,1445	0,0512	0,00354	<0,0001	0,418
	E2	$Y = 6,03 + 0,176x - 0,012x^2$	0,1082	0,0420	0,00312	<0,0001	0,238

DB: densidad básica
 %CTT: porcentaje de contracción total tangencial
 %CTR: porcentaje de contracción total radial
 %CTV: porcentaje de contracción total volumétrica
 E: espaciamiento
 E1: 3 m x 3 m
 E2: 6 m x 2 m
 DS: Desviación estándar
 R²: coeficiente de determinación
 X: altura del árbol (variable independiente)
 Y: propiedad física (variable de respuesta)

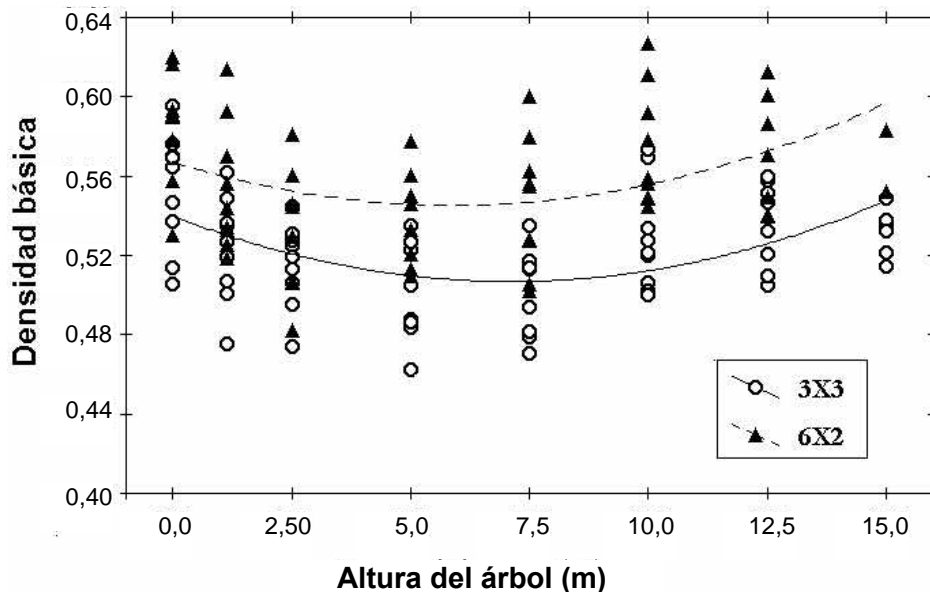


Figura 2. Variación de la densidad básica con la altura del árbol en dos espaciamientos de plantaciones de teca de 10 años de edad.

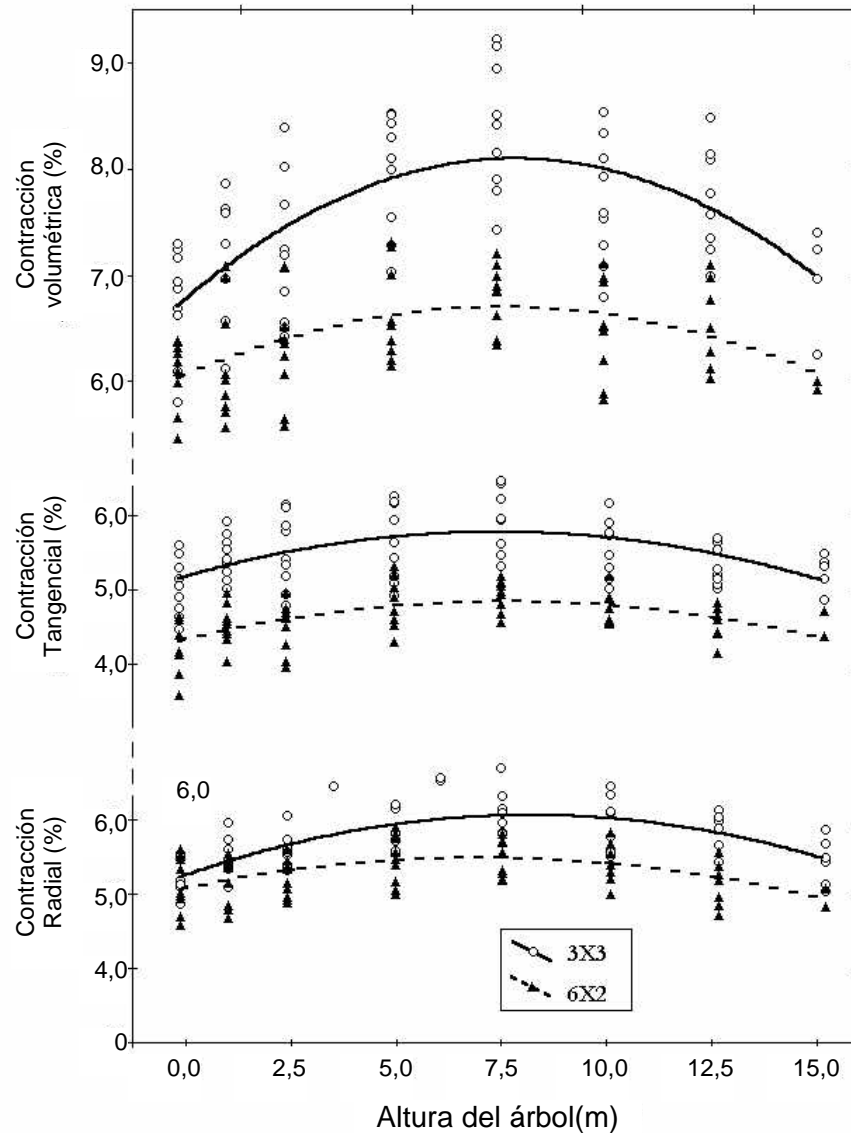


Figura 3. Variación del %CTT, el %CTR y el %CTV con la altura del árbol en dos tipos de espaciamientos en plantaciones de teca de 10 años.

Tabla 5. Resultado del MANOVA para las diferentes alturas y dos espaciamientos

EFECTO	WILKS' LAMBDA	GRADOS DE LIBERTAD		p
		1	2	
Espaciamiento	0,306	4	112	0,0000
Altura	0,341	28	405	0,0000
Espaciamiento * Altura	0,777	28	405	0,4019

Wilks' Lambda: criterio de máxima verosimilitud

Además, es importante tener presente que para los objetivos propuestos en este trabajo es importante conocer el efecto que provoca el espaciamiento sobre la densidad básica y las contracciones de la madera, por lo que en los análisis posteriores no se analizan las diferencias debidas a la altura de los árboles sino solamente las diferencias debidas a los espaciamientos.

Del análisis de las diferencias entre las medias para cada una de las alturas de los árboles, para cada espaciamiento, se encontró que las propiedades físicas estudiadas fueron estadísticamente diferentes entre los dos espaciamientos, a excepción de la contracción radial a la altura de 15 metros (Tabla 6).

La densidad básica para cada uno de los espaciamientos estudiados presentó una regresión lineal de segundo grado contra la altura de los árboles. En las zonas inferiores del fuste, los valores registrados fueron más altos, empezando

a disminuir hasta una altura de 5,0 m ó 7,5 m, para luego volver a aumentar con la altura (Fig. 2), siendo el espaciamiento de 6 m x 2 m el que presenta valores más altos de los dos tipos de espaciamiento.

El %CTT, %CTR y %CTV de la madera de teca en los dos rodales estudiados presentaron una relación lineal de segundo grado al aumentar la altura de los árboles (Fig. 3), presentando los valores más bajos en las partes inferior y superior del árbol, mientras que en el tramo de 5,0 m a 10,0 m se registraron los valores más altos.

Respecto a los espaciamientos, se estableció que en los tres tipos de contracciones la distancia de 3 m x 3 m presentó una tendencia estadísticamente mayor que los árboles que se desarrollan en espaciamientos de 6 m x 2 m, comprobando este comportamiento cuando se analizaron las diferencias en cada una de las alturas estudiadas de las propiedades físicas de la madera (Tabla 6).

Tabla 6. Valores y diferencias significativas para la densidad básica y las contracciones de madera de teca en dos espaciamientos

ALTURA DEL ÁRBOL (m)	DB		%CTT		%CTR		%CTV	
	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2
Base	0,553 ^a	0,585 ^b	5,05 ^a	4,63 ^b	2,33 ^a	2,20 ^b	6,88 ^a	6,55 ^b
DAP	0,524 ^a	0,554 ^b	5,42 ^a	4,54 ^b	2,49 ^a	2,14 ^b	7,14 ^a	6,18 ^b
2,50	0,515 ^a	0,532 ^b	5,51 ^a	4,50 ^b	2,57 ^a	2,19 ^b	7,07 ^a	6,33 ^b
5,00	0,500 ^a	0,537 ^b	5,66 ^a	4,83 ^b	2,87 ^a	2,45 ^b	7,79 ^a	6,63 ^b
7,50	0,502 ^a	0,544 ^b	5,90 ^a	4,84 ^b	3,16 ^a	2,44 ^b	8,22 ^a	6,62 ^b
10,00	0,530 ^a	0,572 ^b	5,64 ^a	4,68 ^b	2,88 ^a	2,55 ^b	7,69 ^a	6,50 ^b
12,50	0,536 ^a	0,572 ^b	5,44 ^a	4,55 ^b	2,98 ^a	2,23 ^b	7,71 ^a	6,54 ^b
15,00	0,584 ^a	0,567 ^b	5,43 ^a	5,15 ^b	2,53 ^a	2,22 ^a	7,01 ^a	6,75 ^b
Promedio	0,528	0,556	5,51	4,67	2,73	2,32	7,45	6,48

Nota: Valores con letras diferentes para una misma altura son estadísticamente diferentes (Valor $p < 0.01$)

DB: densidad básica

E1: espaciamiento de 3 m x 3 m

%CTT: porcentaje de contracción total tangencial

E2: espaciamiento de 6 m x 2 m

%CTR: porcentaje de contracción total radial

DAP: diámetro a la altura del pecho

%CTV: porcentaje de contracción total volumétrica

DISCUSIÓN

En otros estudios realizados se ha encontrado tendencias similares a las obtenidas en este trabajo; por ejemplo, Tewari (1998) establece una tendencia similar a la encontrada en el presente trabajo para los dos tipos de espaciamientos: disminución de la densidad básica en la parte media del fuste. Sin embargo, en dicho estudio se encontró que la sección del árbol en la que se obtienen los menores valores de la densidad es en los tramos entre 3,3 m y 6,3 m, a diferencia del resultado encontrado en este estudio donde los valores más bajos se ubican entre los 5 m y los 10,0 m (Fig. 2). Tewari (1998) también menciona que los valores de densidad que determinó son mayores que los obtenidos para este estudio, dicho autor establece un intervalo de 0,58 a 0,60, mientras que los dos espaciamientos estudiados los valores oscilan entre 0,45 y 0,60.

En Costa Rica, Pérez y Kanninen (2002) encontraron que la densidad anhidra tiende a ser mayor en la base del árbol que a la altura donde inicia la copa de los árboles (no menciona la altura). Este comportamiento concuerda con el presente trabajo, si se toma en consideración el tramo entre la base y la altura de la copa de los árboles muestreados, que se ubica entre los 7,5 m y los 10,0 m.

En otras especies latifoliadas se presenta una variación de la densidad básica con la altura de los árboles, similar al encontrado para la madera de teca de 10 años: mayor en la base del árbol, un decrecimiento hasta una altura media y posteriormente un incremento hacia la parte alta del árbol. Entre las especies que se pueden mencionar están *Swietenia macrophylla* (Briscoe *et al.*, 1963), *Liriodendron tulipifera* y *Liquidambar styraciflua* (Webb, 1964 mencionado por Zobel y Van Buijtenen, 1989).

En cuanto a los mayores valores de densidad básica que se obtuvieron para

los árboles con espaciamiento de 6 m x 2 m a diferentes alturas (Tabla 6), se pueden explicar con la tasa de crecimiento de los árboles. En árboles de teca con edades menores a 10 años, se ha encontrado que al disminuir la tasa de crecimiento ocurre un aumento de la densidad básica de la madera (Moya, 2002).

El espaciamiento de 6 m x 2 m, en el momento del muestreo, presenta mayor cantidad de árboles por hectárea que la distancia 3 m x 3 m, a pesar de que fue plantado a una menor densidad. No obstante, durante los 10 primeros años, la distancia 6 m x 2 m ha tenido una intensidad de manejo menor en podas y raleos que el espaciamiento de 3 m x 3 m (Tabla 1), lo que ha permitido tener en la actualidad diámetros menores (Tabla 2) y por lo tanto tener una mayor densidad básica de la madera.

Contracción de la madera

En todas las alturas los árboles con espaciamiento de 3 m x 3 m se presentaron valores de contracción (tangencial, radial y volumétrica) estadísticamente superiores a los encontrados para la madera de árboles provenientes del espaciamiento de 6 m x 2 m (Tabla 6). Esta respuesta es diferente a la densidad básica, en el cual el espaciamiento más reducido (3 m x 3 m) presentó valores inferiores a los obtenidos en los árboles con mayor espaciamiento inicial (6 m x 2 m).

Este resultado contradice un principio que generalmente se aplica a la madera, en donde establece que la densidad básica es un buen indicador para predecir la respuesta en las contracciones de la madera, generalmente a mayor densidad mayor será la contracción de la madera. Sin embargo, se debe tener cuidado con dicha afirmación, ya que los árboles estudiados que tienen una edad de 10 años, los cuales aún están produciendo madera juvenil (Bhat *et al.*, 2001), además de que las contracciones en la mayoría de los casos están asociadas a la proporción

y el tamaño de los vasos en la madera (Panshin y De Zeeuw, 1970).

También se ha encontrado que el espaciamiento de los árboles puede afectar los constituyentes químicos de la madera específicamente la celulosa y la hemicelulosa (Zobel y Sprague, 1998). La madera que presenta mayor cantidad de celulosa es de esperar que presente una mayor densidad de la madera, esto debido a que este tipo de compuesto posee una estructura más uniforme y peso molecular mayor que la que se presenta en la hemicelulosa (Panshin y De Zeeuw, 1970).

En este sentido, el espaciamiento de 6 m x 2 m probablemente puede producir mayor cantidad de hemicelulosas, las cuales provocan mayor densidad básica, pero en el momento del secado, las contracciones de la madera no son tan severas ya que las estructuras químicas de estos constituyentes químicos no son tan uniformes como los de la celulosa, teoría que será necesario comprobar (Panshin y De Zeeuw, 1970).

Así también, otra posible explicación a los resultados obtenidos, donde a mayor densidad básica menor contracción, es la presencia o no de zonas cristalinas en las cadenas de las microfibrillas que afectan las contracciones de la madera. Por ejemplo en un estudio realizado en *Populus deltoides* (Parresol y Cao, 1998) se encontraron diferencias en la intensidad de zonas cristalinas en la madera, dependiendo del espaciamiento de plantación de los árboles. Este resultado sugiere que aquella madera con menor porcentaje de zonas amorfas presenta menor contracción en la madera debido a que el agua esta ocupando los espacios en estos sitios.

En otras especies también se han encontrado relaciones contradictorias entre la densidad básica y otras propiedades de la madera, como en el caso de *Pinus taeda* (Biblis *et al.*, 1995 y Biblis *et al.*, 1997). En esa especie se encontró que la

madera producida con un espaciamiento de plantación presentaba densidad básica menor que en otro espaciamiento, pero tenía un módulo de elasticidad y de ruptura mayor, lo cual es contradictorio, pues generalmente la madera con menor densidad básica tienen modulo de elasticidad y de ruptura menores (Biblis *et al.*, 1995 y Biblis *et al.*, 1997).

CONCLUSIONES

- La madera proveniente de un espaciamiento de 3 m x 3 m y dos raleos de 50 % a los 3 y 6 años presentó una densidad básica estadísticamente superior en las diferentes alturas que la madera de árboles de espaciamiento de 6 m x 2 m con un raleo de 45 % a la edad de 5 años.
- La madera de un espaciamiento de 6 m x 2 m con un raleo de 45 % a los 5 años presentó una contracción (tangencial, radial y volumétrica) estadísticamente superior a la de la madera proveniente de árboles con espaciamiento inicial de 3 m x 3 m y raleos de 50 % a la edad de 3 y 6 años.
- La densidad básica y la contracción de la madera (tangencial, radial y volumétrica) presentan una tendencia lineal de segundo grado con respecto a la altura de los árboles. La densidad básica presenta el mayor valor en la base y parte alta del árbol, en tanto que los valores de contracción de la madera son menores en estas partes.
- En madera juvenil de teca, no se puede relacionar la densidad básica con las contracciones de la madera. Los resultados demostraron que un espaciamiento que posee mayor densidad básica que otro espaciamiento da como resultado madera con menor contracción para el primer caso.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a todo el personal de la empresa Precious Woods Costa Rica S.A., en especial al Ing. Ronald Guerrero, por la colaboración prestada en el desarrollo del presente estudio.

REFERENCIAS

- Arias, N. y G. Zamora. 1999. Diagnóstico de las oportunidades o amenazas para el proceso de reforestación nacional que implicaría el tratado de libre comercio con Chile. COSEFORMA-CCF. San José, Costa Rica. 40 p.
- Bhat, K.M. 2000. Timber quality of teak from managed tropical plantations with special reference to Indian plantations. Bois et Forêts des Tropiques 263 (1):5-29.
- Bhat, K.M.; P.B. Priya y P. Rugmini. 2001. Characterization of juvenile wood in teak. Wood Science and Technology 34(6):517-532.
- Biblis, E.; H. Carino; R. Brinkr y C. McKee. 1995. Effect of stand density on flexural properties of lumber from two 35-year-old loblolly pine plantations. Wood Fiber and Science 27(1):25-33.
- Biblis, E.; H. Carino y R. Brinkr. 1997. Flexural properties of lumber from two 40-year-old loblolly pine plantations with different stand densities. Wood Fiber and Science 29(4):375-380.
- Briscoe, C.B.; J.B. Harris y D. Wyckoff. 1963. Variation of specific gravity in plantation-grown trees of bigleaf mahogany. Caribbean Forest 24:67-74.
- Chávez, E. y W. Fonseca. 1991. Teca (*Tectona grandis* L.F.), árbol de uso múltiple en América Central. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). Serie Técnica, Informe Técnico 169. Turrialba, Costa Rica. 60 p.
- Keogh, R.; J. Fallas y F. Mora. 1978. Teca (*Tectona grandis*) en Costa Rica. Documento de Trabajo # 16. Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo PNUD/FAO/COS/ 72/013. Dirección General Forestal. Universidad Nacional de Costa Rica y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Costa Rica. 19 p.
- Krishnapillay, B. 2000. Silviculture and management of teak plantations. Unasylva 201:14-21.
- Miranda, M.J. y M.A. Nahuz. 1999. Estudo da influência do espaçamento de plantio de *Eucalyptus saligna* Smith nos índice de rachamento após o desdobro e após a secagem. Scientia Forestalis 55:107-116.
- Moya, R. 2000. Características de la madera de teca de 5, 7 y 9 años de edad creciendo en el Atlántico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. Boletín Kurú 29:5-6.
- Moya, R. 2002. Influencia de la edad del cambium, tasa de crecimiento y nivel de precipitación sobre la densidad básica en madera de teca en Costa Rica. Madera y Bosques 8(1):39-49.
- Oda, S.; E.J. Mello; A.L. Menck y P.C. Costa. 1990. Variação da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos, com 6 anos de idade. In: Congreso Florestal Brasileiro, Campos do Jordão, Sao Pablo, 22-27 de setembro. Brasil, p:83-93.
- Panshin, A.J. y C. De Zeeuw, 1970. Textbook of wood technology. 3a edición. McGraw-Hill Book Company. Nueva York. EUA. 705 p.

- Parresol, B.R. y F. Cao. 1998. An investigation of crystalline intensity of the wood of poplar clones grown in Jiangsu Province, China. Reserch Paper SRS-11, United Stated Deparment of Agriculture, Forest Service. EUA. 7 p.
- Pérez, D. y M. Kanninen. 2002. Heartwood, sapwood y bark content and wood specific gravity of young and mature *Tectona grandis* trees in Costa Rica. *Silva Fennica* 37(1):45-54.
- Rosso, F. y P. Ninin. 1998. Variabilidad de los defectos de trozas de la especie teca (*Tectona grandis* L.F.) en diferentes densidades arbóreas, en la unidad experimental de la reserva forestal de Ticoporo, Barinas-Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 42(2):103-112.
- Rocha, B. y R.M. Della. 1987. Efeito do espaçamento na produção em peso e na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* aos 52 meses de idade. *Revista Arvore* 11(2):132-145.
- SAS Institute Inc, 1997. SAS/STAT® user's guide, versión 6.08, Vol. 2. SAS Institute Inc. Cary, NC. 846 p.
- Tewari, D.N. 1999. A monograph on teak (*Tectona grandis*). International Book Distributors. Dehra Dun - 248006. India. 235 p.
- Zobel B.J. y J.R. Sprague, 1998. Juvenile wood in forest trees. Spring-Verlag. 299 p.
- Zobel B. y B. Van Buijtenen. 1989. Wood variation: its causes and control. Spring-Verlag. Nueva York. 363 p. ♦

- 1 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Apartado 159-7050. c.e.: rmoya@itcr.ac.cr.
- 2 Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad de Nacional de Costa Rica. Heredia, Costa Rica.

Manuscrito recibido el 14 de noviembre de 2002.
Aceptado el 24 de junio de 2003.

Este documento se debe citar como:

Moya R., R y V. Arce L. 2003. Efecto del espaciamento en plantación sobre dos propiedades físicas de madera de teca a lo largo del fuste. *Madera y Bosques* 9(2):15-27.