

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Estudio del efecto del espaciamiento sobre el peso específico básico y contracciones en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) de 10 años en Guanacaste, Costa Rica

Róger Moya Roque¹
Víctor Arce Ledesma²

Resumen

Para la determinación del peso específico básico (PEB) y las contracciones de la madera de teca (*Tectona grandis* L.f.) se muestrearon plantaciones de 10 años de edad, con dos diferentes espaciamientos: 6x2 m (830 árb/ha) y 3x3 m (1100 árb/ha). En el momento del muestreo, la densidad de las plantaciones era de 447 y 286 árb/ha, respectivamente.

En la selección de los árboles a muestrear se consideró individuos de todas las categorías diamétricas presentes en el rodal. En cada uno de rodales se seleccionaron aleatoriamente un total de nueve árboles, extrayendo en cada uno de ellos un disco de madera al nivel del diámetro a la altura de pecho (dap).

El comportamiento de las propiedades físicas de la madera de teca varió entre los espaciamientos, el peso específico básico incrementó logarítmicamente con la edad del cambium, la contracción total en sentido tangencial fue lineal, mientras que en las contracciones totales en los sentidos radiales, longitudinales y volumétricos la tendencia fue polinomial de segundo grado. Los análisis estadísticos demostraron que cuando el árbol presenta una edad del cambium de 1, 2, 9 y 10 años, el PEB y los diferentes tipos de contracciones no se ven afectados significativamente por el espaciamiento entre árboles, en tanto que para las otras edades al menos una de las propiedades de la madera se ve afectada por el espaciamiento.

Palabras claves: Teca, *Tectona grandis*, Espaciamiento, Peso específico básico, Contracciones, Madera, Costa Rica.

Abstract

Experimental study of effect of spacing on gravity specific and shrinking of 10-year-old teak (*Tectona grandis* L.f.) trees in Guanacaste, Costa Rica. For the determination of gravity specific and shrinking, 10-year-old teak (*Tectona grandis* L.f.) trees on two plantation densities (830 and 1100 trees/ha, i.e. 6x2 and 3x3m spacing) were sampled. The actual plantation densities were 447 and 286 trees/ha, respectively. Tree selection considered individuals of all diameter classes. On each plantation density, nine trees were randomly selected, cutting a cross-sectional disk at DBH height on each sample tree.

¹ Instituto Tecnológico de Costa Rica, rmoya@itcr.ac.cr

² Precious Wood Centroamérica, pwarce@racsa.co.cr

Physical properties varied with plantation density: gravity specific increased logarithmically with cambium age; total tangential shrinking increased linearly, and the other contractions (radial, longitudinal and volumetric) the best-fit model was polynomial of second degree. For ages between 1, 2, 9 and 10 years the gravity specific and the wood shrinking were not significantly different between plantation densities. For ages between 3 and 8 years, at least one wood property was highly correlated with plantation density.

Key words: Teak, *Tectona grandis*, Spacing, Gravity specific, Shrinking, Wood, Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

La teca (*Tectona grandis* L.f.) es preferida en la reforestación en las zonas tropicales debido a su excelente crecimiento y rendimiento (Bhat, 2000). En las regiones tropicales de América, por ejemplo en Centro América, la teca es utilizada en diversos programas de reforestación, ya que presenta cualidades apropiadas para el establecimiento de plantaciones a gran escala y fundamentalmente por el reconocimiento del valor de su madera en los mercados internacionales (Chávez y Fonseca, 1991).

En Costa Rica esta especie fue introducida en la década de los 40 en la parte central costera del Pacífico Central (Keogh, Fallas y Mora, 1978), pero no es sino hasta 1980 que se incrementó su utilización en los programas de reforestación a gran escala, e incluso en la actualidad se cuenta con alrededor de 40 mil hectáreas reforestadas (Arias y Zamora, 1999).

Los espaciamientos utilizados en Costa Rica al establecer las plantaciones comerciales de teca son muy variados: desde distancias de 6x2 o 5x5 m hasta espaciamientos tan reducidos como 2.4x2.4 m. Los espaciamientos amplios en la teca son utilizados con el fin de disminuir los costos de mantenimiento y de raleos de las plantaciones. La cantidad de raleos aplicados es muy variada y en muchos de los casos estos dependen de los espaciamientos iniciales con que se plantó (Krishnapillay, 2000).

La distancia de siembra y el raleo aplicado afectan directa y rápidamente la calidad de la madera que se produce (Zobel y Van Buijtenen, 1989). Es conocido que con espaciamientos más amplios se favorecen las dimensiones de las trozas apropiadas para las industrias. Sin embargo, los efectos que se producen en la madera en muchas ocasiones no son conocidos.

Los cambios ocurridos en la calidad de madera generalmente están asociados con un aumento en el tamaño de la copa, debido a la competencia por nutrientes disponibles y las variaciones en los procesos fotosintéticos, y consecuentemente una alteración en la tasa de crecimiento (Rocha y Della, 1987).

La influencia del espaciamiento sobre las propiedades de la madera en las zonas tropicales o subtropicales se empezó a documentar a partir de 1990, a pesar de que para especies de clima templado ya hace muchos años habían sido estudiadas (Miranda y Nahuz, 1999).

Los géneros *Pinus* y *Eucaliptus* de las zonas tropicales son los más estudiados con respecto a las características de la madera y su relación con el espaciamiento de siembra. Por ejemplo, en *Eucaliptus saligna* se ha comprobado que el espaciamiento afecta el PEB de la madera (Oda, et al., 1990) y la presencia de torceduras en la madera aserrada (Miranda y Nahuz, 1999).

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, cabe mencionar el desarrollado por Rosso y Ninin

(1998) en Venezuela, en el cual se estableció que el espaciamiento afecta 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.

En vista de que las propiedades físicas de la madera se ven afectadas por el espaciamiento entre los árboles, se planteó el objetivo de establecer las diferencias que se producen en el PEB y en las contracciones (en sentido tangencial, radial, longitudinal y volumétrica) entre dos regímenes de espaciamientos para la especie *Tectona grandis* creciendo en la zona del Pacífico Seco de Costa Rica, con el propósito de aportar información que ayude a tomar decisiones en relación a la distancia de siembra y el futuro manejo de la especie.

METODOLOGÍA

Para este estudio se tomaron árboles de teca de plantaciones pertenecientes a la empresa Precious Woods Costa Rica S.A., que se dedica a la reforestación con especies de alto valor comercial, entre ellas teca, las cuales se ubican en la región del Pacífico Norte de Costa Rica, específicamente en la Península de Nicoya, coordenadas Lambert: 358-362 (Verticales) y 208-216 (Horizontales). La precipitación media de esta región es entre 1390 a 3020 mm/año, temperatura entre 24.4 a 27.6°C, con máximas de 35°C y mínimas de 18.5°C y humedad relativa de 76%.

Para la determinación de las propiedades físicas de la madera, se muestrearon dos rodales de 10 años, uno de ellos se plantó inicialmente a un espaciamiento de 6x2 metros (830 árb/ha) en un área de 28 ha y el otro a 3x3 m (1100 árb/ha) en un área de 6 ha. Ambos rodales han tenido diferente manejo silvicultural: en el primero se ejecutó un raleo del 45% de los árboles a la edad de 5 años, presentando una densidad de 447 árboles por hectárea al momento del estudio; en el segundo se aplicaron 2 raleos, uno del 50% a los 3 años y el segundo a la edad de 6 años con una intensidad también del 50% de los árboles existentes, dando como resultado una densidad de 286 árboles/hectárea al momento del muestreo.

Para la selección de los árboles se midieron las parcelas permanentes que posee la compañía en cada uno de los rodales. En ellas se midió el diámetro a la altura del pecho (dap) y la altura total de los árboles (Cuadro 1).

Cuadro 1. Datos dasométricos de las plantaciones muestreadas. Nicoya, Costa Rica.

Variable	Parámetros estadísticos	Espaciamiento (m)	
		3 x 3	6 x 2
Diámetro (cm)	\bar{X}	25.01	23.17
	σ	4.73	3.62
Altura total (m)	\bar{X}	19.5	18.2
	σ	1.2	1.2

Nota: \bar{X} = Promedio; s = Desviación estándar.

Para la selección de los árboles se calculó una distribución de frecuencia acumulada de los diámetros presentes. Cada rodal se dividió en tres secciones correspondientes a los terciles de la distribución, permitiendo establecer tres clases diamétricas. En cada clase se seleccionaron tres árboles al azar, dando como resultado nueve árboles por cada ensayo. Se tuvo especial cuidado en que los árboles seleccionados fueran rectos, sin bifurcaciones y sin daños visibles.

Antes de su corta, los árboles fueron marcados con una línea que indicaba el norte. En cada uno de los nueve árboles seleccionados se extrajo un disco de aproximadamente 3 cm de espesor a la altura del dap. En estos discos se marcó una línea que iniciaba en la posición norte y terminaba en el lado sur, pasando por el centro de la médula. Seguidamente se cortó una probeta en dirección norte-sur, de aproximadamente 2 cm de ancho y longitud variable dependiendo del diámetro del disco. Posteriormente se procedió a la separación de los anillos de crecimiento con la ayuda de un formón, labor que era sencilla ya que los anillos se encuentran bien marcados por tratarse de árboles creciendo en zonas con precipitaciones inferiores a los 1200 mm. De cada probeta se obtuvieron dos muestras para cada año, una en la posición norte y la otra en la posición sur, que se mantuvieron sumergidas en agua a fin de lograr o mantener un contenido de humedad encima del punto de saturación de la fibras (condición verde). La determinación del peso y las diferentes dimensiones fueron acordes con las Normas Americanas de Pruebas de Materiales (ASTM, 1986).

En cada una de las muestras identificadas de acuerdo al árbol, rodal, posición y a los anillos de crecimiento según la condición de humedad (estado verde o seco al horno), se les determinó el volumen, el peso, la dimensión tangencial, la dimensión radial y la dimensión longitudinal. Los valores obtenidos se utilizaron para determinar el PEB (peso seco al horno entre volumen verde) y las contracciones totales (desde su condición verde hasta el 0% de contenido de humedad) de la madera, en el sentido radial, tangencial, longitudinal y las contracciones volumétricas.

En el análisis estadístico se comprobó la normalidad de los datos y posteriormente se establecieron líneas de regresión para cada una de las propiedades físicas estudiadas. Los modelos de mejor ajuste se seleccionaron con base en el coeficiente de determinación (r^2) de la línea de tendencia.

Posteriormente y con el fin de establecer las diferencias que se presentaban entre los dos espaciamientos en las edades (desde 1 a 10 años), se realizó un análisis multivariado (MANOVA) en donde el espaciamiento fue la variable independiente y las propiedades físicas evaluadas (PEB y contracciones radiales, tangenciales, longitudinales y volumétricas) fueron las variables de respuesta. Las categorías diamétricas de los árboles correspondieron a los bloques del modelo. Se utilizó el programa SAS (SAS, 1997) para las regresiones y el MANOVA. En el primer caso se utilizó la instrucción PROC REG y en el segundo el PROC GLM (General Linear Model) para el análisis de varianza y CONTRAST para realizar las comparaciones. En todos estos análisis se consideraron los supuestos básicos: distribución normal, no multicolinealidad, etc.

RESULTADOS

El comportamiento de las propiedades físicas (PEB y contracciones) de la madera de teca varió con la densidad de plantación; el PEB aumentó logarítmicamente con la edad del cambium (Figura 1a) y la contracción tangencial de verde a seco al horno fue lineal (Figura 2a), mientras que para las contracciones totales radiales, longitudinales y volumétricas la tendencia fue de tipo polinomial.

Así también el análisis multivariado realizado, con el fin de determinar las diferencias entre los dos espaciamientos, demostró que cuando el árbol presenta una edad de 1, 2, 9 y 10 años, el PEB y los diferentes tipos de contracciones no se ven afectados por el espaciamiento entre los árboles. En tanto para el resto de edades del cambium (de 3 a 8 años) si se presentaron diferencias en al menos una de las propiedades. En el Cuadro 2 se muestra el valor de máxima similitud por Wilks Lambda y Rao's R donde los valores son significativos para las edades mencionadas de probabilidad.

Cuadro 2. Análisis multivariado para las diferentes edades del cambium. *Tectona grandis*. Nicoya, Costa Rica.

Edad del cambium (años)	Wilks' Lambda	Rao's R	Grados de libertad		Valor p
			df 1	df 2	
1	0.733	2.184	5	30	0.0823
2	0.863	0.952	5	30	0.4625
3	0.638	3.412	5	30	0.01472*
4	0.688	2.725	5	30	0.0381*
5	0.428	8.009	5	30	0.0001*
6	0.473	6.698	5	30	0.0003**
7	0.607	3.879	5	30	0.0079**
8	0.637	3.420	5	30	0.0146***
9	0.780	1.693	5	30	0.1667
10	0.663	1.627	5	16	0.2095

- * Significancia a 95% solamente la contracción tangencial de las variables de respuesta.
- ** Significancia a 95% la contracción tangencial y peso específico de las variables de respuesta.
- ** Significancia a 95% solamente el peso específico de las variables de respuesta.

Peso específico básico (PEB)

El peso específico básico (PEB) aumentó logarítmicamente con la edad del cambium para los dos espaciamentos. Los valores de este parámetro oscilaron desde 0.40 a 0.65, siendo el valor más bajo en edades tempranas del cambium y los más altos para las edades cercanas a los 10 años. El espaciamento de 3 x 3 m presentó un PEB menor que el espaciamento de 6 x 2 m (Figura 1a), aunque estas diferencias no fueron significativas.

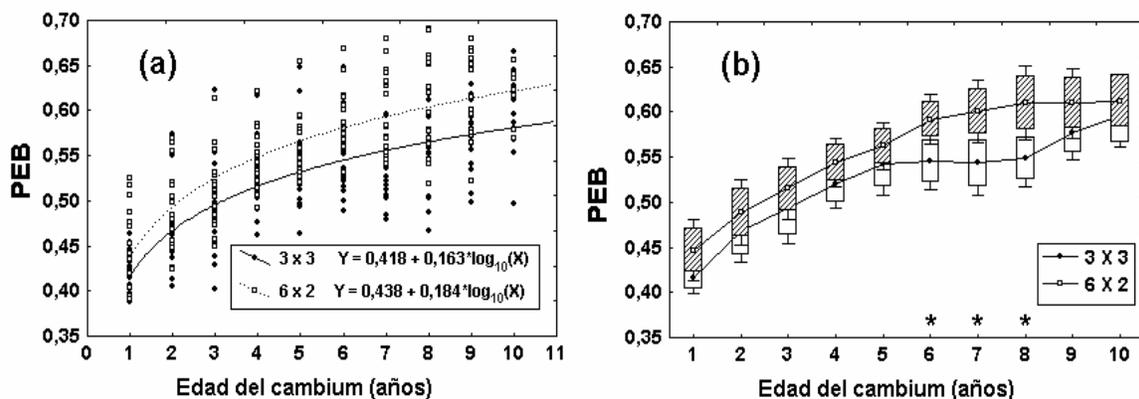


Figura 1. Peso específico básico a diferentes edades del cambium para los dos espaciamentos de plantación: (a) regresión de ajuste y (b) diferencias por edades del cambium. *Tectona grandis*. Nicoya, Costa Rica.

Nota: el símbolo * indica que se presentaron diferencias significativas entre los dos espaciamentos en esos años.

Esta tendencia difiere de la reportada para la misma especie por Moya (2002) para árboles de nueve años creciendo en Costa Rica en una región con niveles de precipitación anual superior a 3500 mm, en la cual se reporta una tendencia a incrementar linealmente con la edad del cambium. De igual forma Bhat *et al.* (2001) reportan que el PEB tiende a mantenerse estable con la edad, utilizando árboles creciendo en la India en sitios donde la precipitación media anual se encuentra entre 2700 y 2900 mm.

Estas diferencias encontradas en el comportamiento del PEB se pueden deber a diferencias en la tasa de crecimiento de los árboles. Moya (2002) reporta valores de dap entre 22 y 32 cm hasta los 9 años, mientras que Bhat *et al.* (2001) establecen un diámetro entre 24 y 30 cm en árboles de 60 años. Las plantaciones muestreadas en el presente estudio presentan un dap promedio entre 24 y 25 cm.

Durante los primeros años de desarrollo del árbol no se presentaron diferencias con respecto al PEB entre los diferentes espaciamientos. No fue sino hasta el año 6 donde se encontró que el menor espaciamiento inicial y la mayor intensidad de manejo presentaron diferencias respecto al espaciamiento más amplio (Figura 1b). Esto se puede atribuir a que durante los primeros años de crecimiento, la competencia que se da entre las copas de los árboles es similar para los dos espaciamientos.

En el espaciamiento de 3x3 a la edad de 3 años no se permitió que la plantación entrara en competencia de copas, permitiéndose mediante un raleo el desarrollo creciente del PEB. Sin embargo, al efectuar un raleo a la edad de 6 años, la plantación se encontraba bajo una alta competencia y al ejecutarse el raleo los árboles aumentaron su crecimiento, alterando el PEB de la madera y por ende disminuyendo su valor respecto al espaciamiento de 6x2 m. Por esta razón, en el momento en que se libera la competencia de las copas se empiezan a establecer las diferencias en las propiedades físicas de la madera con respecto a aquellas que todavía siguen en competencia (Larocque y Marshall, 1995).

Contracciones en la madera

La contracción tangencial de la madera de teca en los dos rodales estudiados presentó un crecimiento lineal con la edad del cambium (Figura 2a). El espaciamiento de 3x3 m presentó valores de contracciones totales tangenciales más altos que el espaciamiento de 6x2 m. Sin embargo, esta tendencia no fue estadísticamente significativa.

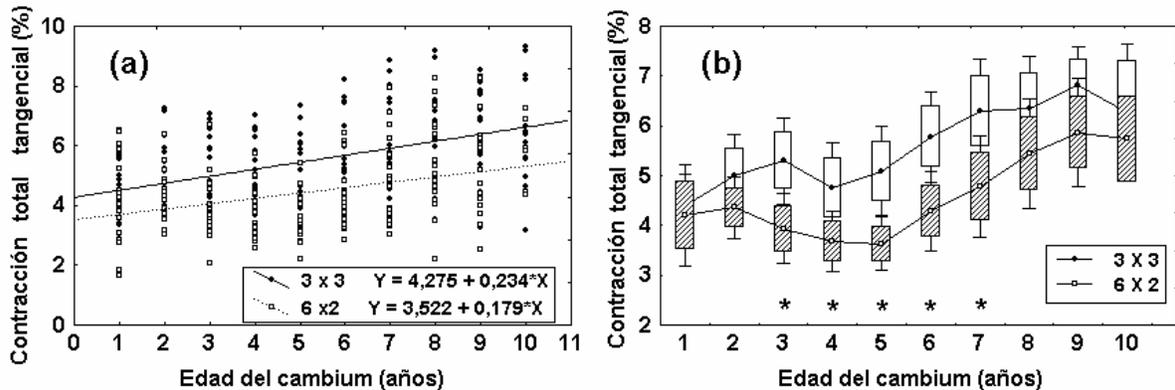


Figura 2. Contracción total tangencial a diferentes edades del cambium para los dos espaciamientos evaluados: (a) regresión de ajuste y (b) diferencias por edades del cambium. *Tectona grandis*. Nicoya, Costa Rica.

Nota: el símbolo * indica que se presentaron diferencias significativas entre los dos espaciamientos en esos años.

Respecto a las diferencias de los espaciamientos para una misma edad del cambium, se encontró que para el rango de edades entre 3 y 7 años el espaciamiento menor y con mayor intensidad de manejo (3x3 m), presentó una contracción tangencial significativamente menor que la que ocurre en el espaciamiento de 6x2 m con menor manejo silvicultural (Figura 2b).

Los valores de contracciones tangenciales entre los dos espaciamientos estudiados presentan un comportamiento no esperado al considerar las diferencias presentadas en el PEB. Los árboles con espaciamientos de 3x3 m y con mayor manejo presentaron una tendencia a poseer madera con PEB mayor que la que presenta en el espaciamiento de 6x2 m (Figura 1a), e incluso se presentaron diferencias significativas para algunas edades del cambium (Figura 1b). Sin embargo, cuando se evaluó la contracción tangencial este no fue el resultado, los árboles del rodal de 3x3 m presentaron menores contracciones (Figura 2), a pesar que presentan mayor PEB, indicando con estos resultados que el PEB no es un buen indicativo para predecir el comportamiento en las contracciones de la madera.

Este comportamiento de tener mayor densidad y menor contracción tangencial se encuentra explicado por otras características de la madera que no fueron consideradas en este estudio. Por ejemplo, en un estudio realizado en *Populus deltoides* (Parresol y Cao, 1998) encontraron diferencias en la intensidad de zonas cristalinas en la madera dependiendo del espaciamiento de siembra, probablemente dando como consecuencia que aquellos que presentan menores porcentajes de estas zonas presenten mayores contracciones, ya que el agua está ocupando los espacios de las zonas amorfas en la madera.

Los constituyentes químicos de la madera también se ven afectados por la distancia entre los árboles (Zobel y Van Buijtenen, 1989). Aquella madera que presenta mayor cantidad de celulosa también presenta una mayor densidad de la madera, debido a que este tipo de compuesto posee una estructura más uniforme y peso molecular mayor que la que se presenta en la hemicelulosa. En el caso de los espaciamientos estudiados, según las explicaciones anteriores, el espaciamiento puede estar afectando la presencia de zonas cristalinas, los componentes químicos u otras características de la madera que se encuentran relacionadas con la contracción tangencial.

El comportamiento de la contracción radial con la edad del cambium en ambos espaciamientos fue modelado mediante una curva cóncava de tipo polinomial, presentando un ligero descenso para los

primeros años y posteriormente un aumento con la edad del cambium (Figura 3a). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas a ninguna edad del cambium (Figura 3b).

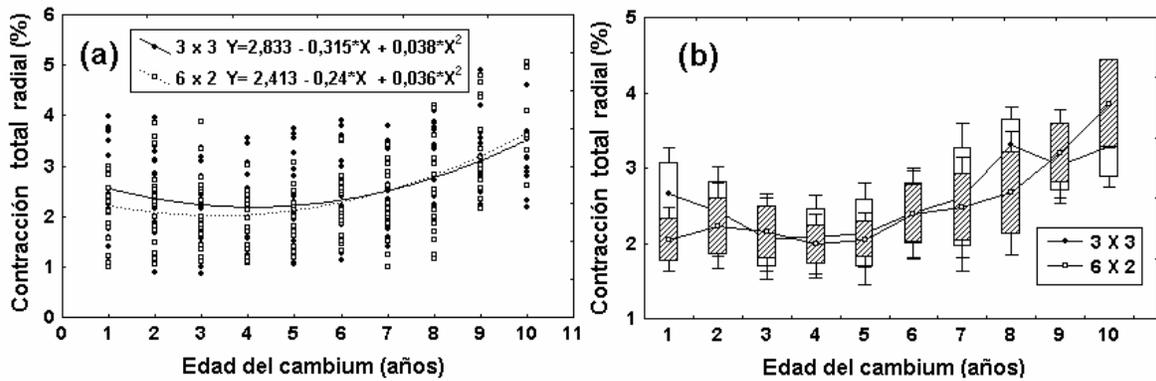


Figura 3. Contracción total radial a diferentes edades del cambium para los dos espaciamientos evaluados: (a) regresión de ajuste y (b) diferencias por edades del cambium. *Tectona grandis*. Nicoya, Costa Rica.

El porcentaje de contracción radial, a diferencia de la tangencial, no mostró diferencias entre los espaciamientos. Este tipo de contracción depende en gran medida de la presencia, la cantidad, el tamaño y la composición de los radios, que en el caso de los espaciamientos estudiados probablemente no se presentan diferencias en este tipo de elemento anatómico. Aunque no se comprobó que existiera una variación significativa con el espaciamiento, sería recomendable realizar los estudios correspondientes.

La contracción longitudinal disminuyó con la edad del cambium en los dos tipos de espaciamientos estudiados, presentando valores desde 1% en los primeros años a 0.4% en las edades superiores (Figura 4a).

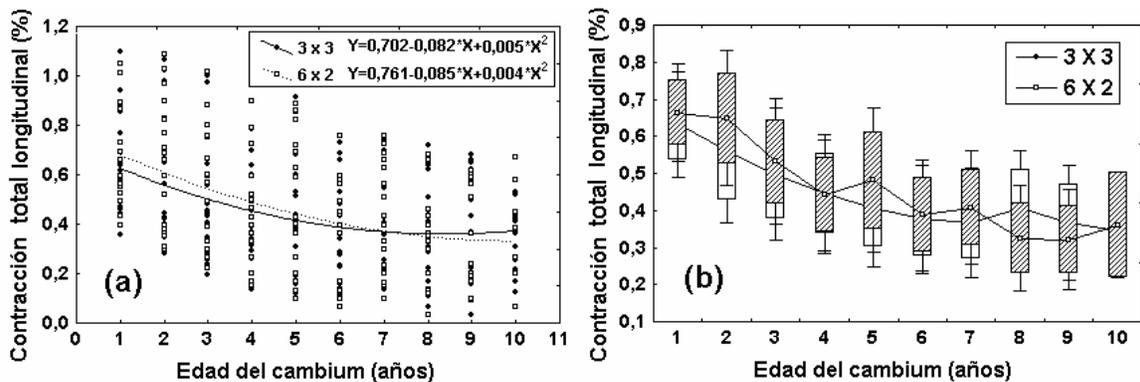


Figura 4. Contracción total longitudinal a diferentes edades del cambium para los dos espaciamientos evaluados: (a) regresión de ajuste y (b) diferencias por edades del cambium. *Tectona grandis*. Nicoya, Costa Rica.

Durante los primeros años de desarrollo de los árboles, tanto la inclinación de las microfibrillas en la pared celular S_2 como la inclinación de fibra, van disminuyendo sus valores con el aumento de la edad del cambium (Zobel y Sprague, 1998). Esta disminución paulatina de la inclinación de las

fibras y las microfibrillas, da como resultado una mayor contracción longitudinal de la madera que se encuentra cerca de la médula (primeros años de desarrollo del árbol), y así se determinó en este estudio para la madera de teca de 10 años de edad (Figura 4a).

La contracción longitudinal no se vio afectada por el espaciamiento y el tipo de manejo de la plantación en la madera de teca (Figura 4b). La contracción longitudinal posee una relación muy estrecha con la inclinación de la fibra y esta a su vez se ve poco influenciada por las condiciones de manejo, de sitio o espaciamiento para muchas especies. Se ha establecido que esta característica está fuertemente relacionada con la genética de la especie (Zobel, 1992).

Referentes a las contracciones volumétricas para los diferentes años de crecimiento del árbol, se estableció que los valores varían entre 10% y 3%. Las cifras más altas se establecen para los primeros años y a edades cercanas a los 10 años, en tanto que los valores más bajos se establecen para las edades entre 4 y 5 años (Figura 5a).

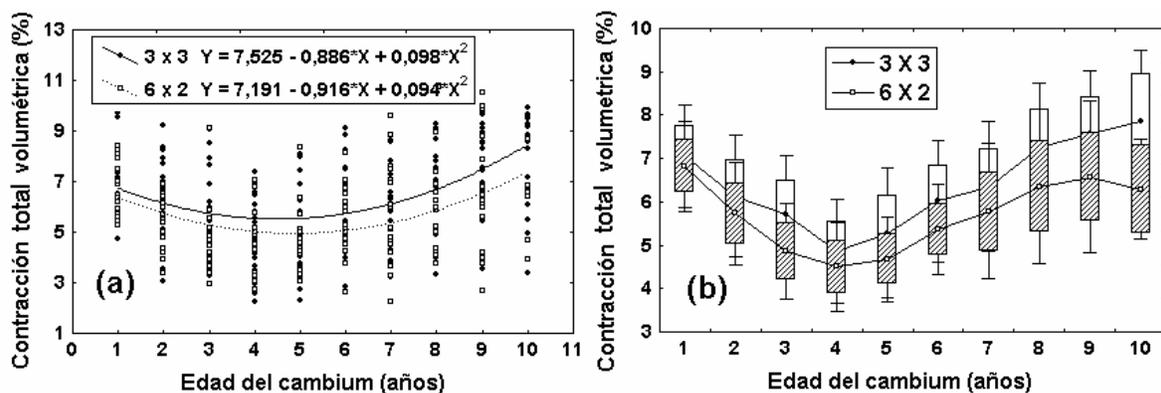


Figura 5. Contracción total volumétrica a diferentes edades del cambium para los dos espaciamientos evaluados: (a) regresión de ajuste y (b) diferencias por edades del cambium. *Tectona grandis*. Nicoya, Costa Rica.

El comportamiento de la contracción volumétrica también fue representado por una curva cóncava, de tipo polinomial. En este caso durante los primeros años los valores son altos, posteriormente empiezan a disminuir hasta la edad de 4 y 5 años, para luego aumentar paulatinamente hasta los 10 años (Figura 5a).

En los primeros años, a pesar de que la madera presenta el PEB más bajo (Figura 1), las contracciones volumétricas son mayores, contradiciendo el principio de que a mayor densidad de la madera, mayor contracción volumétrica. Este comportamiento se debe en gran medida a los altos valores de contracciones longitudinales que se presentan en los primeros años (Figura 4). Esta característica de la madera se estabiliza en el año 5, coincidiendo con el valor más bajo que se obtuvo en los valores de contracción volumétrica (Figura 5b).

El espaciamiento y el manejo no afecta significativamente las contracciones volumétricas en las diferentes edades del cambium, a pesar de que se aprecian valores ligeramente más altos en el espaciamiento de 3x3m y con mayor manejo, más no es estadísticamente significativo (Figura 5b).

CONCLUSIONES

La tendencia del PEB y las contracciones (tangenciales, radiales, longitudinales y volumétricas) de la madera de teca no presentan diferencias significativas entre el espaciamiento de 3x3 y 6x2 m.

El PEB disminuye significativamente durante el período de 6 a 8 años en el espaciamiento de 3x3m, mientras que la contracción tangencial es significativamente mayor en el espaciamiento de 3x3 m entre los 3 y 7 años.

Las otras contracciones (tangenciales, radiales, longitudinales y volumétricas) cuando se analizó individualmente las diferentes edades del cambium del árbol, no presentaron diferencias significativas.

La utilización de espaciamientos más amplios y la aplicación de un manejo intensivo en plantaciones de teca, permite el aumento de los volúmenes de madera, sin afectar significativamente las propiedades de contracciones y densidad.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece 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.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias, N; Zamora, G. 1999. Diagnóstico de las oportunidades o amenazas para el proceso de reforestación nacional que implicaría el tratado de libre comercio con Chile. San José, CR, COSEFORMA-CCF. 40 p.
- ASTM (American Society for Testing and Materials, US). 1986. Standard methods of: small clear specimens of timber. ANSI/ASTM D-143-94. Pennsylvania, US, ASTM. Vol. 04-10. 31 p. (Reproved 2000).
- Bhat, KM. 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, KM; Priya, PB; Rugmini, P. 2001. Characterization of juvenile wood in teak. Wood Science and Technology 34(6):517-532.
- Chávez, E; Fonseca, W. 1991. Teca (*Tectona grandis* L.f.). Árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, CR. Serie Técnica, Informe técnico No. 169: 60 p.
- Keogh, R; Fallas J; Mora, F. 1978. Teca (*Tectona grandis*) en Costa Rica. Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo PNUD/FAO/COS/72/013. San José, CR, Dirección General Forestal; Universidad Nacional; FAO-Costa Rica. 19 p. (Documento de Trabajo #16).
- Krishnapillay, B. 2000. Silviculture and management of teak plantations. Unasylya No.201:14-21.
- Larocque, L; Marshall, P. 1995. Wood relative development in red pine (*Pinus resinosa* Ait) stands as affected by different initial spacing. Forest Science 41(4):709-728.
- Miranda, MJ; Nahuz, MA. 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. 2002. Influencia de la edad del cambium, tasa de crecimiento y nivel de precipitación sobre la densidad básica de madera de teca en Costa Rica. *Maderas y Bosques* 8(1):39-49.
- Oda, S; Mello, EJ; Menck, AL; Costa, PC. 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*, (1990, Campos do Jordão, Sao Pablo, BR). Sao Pablo, BR. p. 83-93.
- Parresol, BR; Cao, F. 1998. An Investigation of crystalline intensity of the wood of poplar clones grown in Jiangsu Province, China. USDA, Forest Service. Research Paper. SRS-11. 7 p.
- Rocha, B; Della, RM. 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.
- Rosso, F; Ninin, P. 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.
- SAS Institute Inc. 1997. SAS/STAT® user's guide, version 6.08, Vol. 2. North Carolina, USA. 846 p.
- Zobel, B. 1992. Silvicultural effects on wood properties. *IPEF International* 2:31-38.
- Zobel, B; Sprague, JR. 1998. Wood variation: its causes and control. New York, US, Spring-Verlag. 363p
- Zobel, B; Van Buijtenen, B. 1989. Wood variation: its causes and control. New York, US, Spring-Verlag. 363p.