Agronomía Costarricense 24(2): 07-23, 2000

CRECIMIENTO Y PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA MADERA DE TECA (*Tectona grandis*) DE 17 AÑOS DE EDAD EN SAN JOAQUIN DE ABANGARES, COSTA RICA[1/*]

*Fernando Castro**, Jaime Raigosa[2/***]*

Palabras clave: *Tectona grandis*, teca, crecimiento, propiedades físico-mecánicas.

RESUMEN

Los mercados de productos forestales, tanto nacionales como internacionales, provenientes de plantaciones y de bosques manejados y certificados, son cada día más exigentes en cuanto a estándares y características de alta calidad. Utilizando como base las normas de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM), se determinó las propiedades físicas y mecánicas de la teca (*Tectona grandis*), que crece actualmente en San Joaquín de Abangares, Costa Rica, a una altura de 30 m.s.n.m. y a una latitud norte de 10° 16'. Las propiedades físicas estudiadas fueron: peso específico básico, contracción radial, tangencial y volumétrica, razón de contracción, densidad seca y verde y punto de saturación de fibra. Las propiedades mecánicas estudiadas fueron: flexión estática, compresión paralela al grano, compresión perpendicular al grano, cortante paralelo al grano, dureza, clivaje y extracción de clavos. También, se establecieron comparaciones con tecas de otros sitios y latitudes así como con otras especies de maderas duras. El coeficiente de variación del peso específico básico (3.4%) de la teca muestreada en San Joaquín de Abangares, es mucho menor que el de Quepos (7%); y es una tercera parte del normal en

ABSTRACT

Growth and physical-mechanical properties of 17 years old teak (*Tectona grandis*) growing in San Joaquín, Abangares, Costa Rica. The national and international market of forest products, from certified-managment forests and plantations, is increasingly more demanding as to the standards and characteristics of high quality. The physical-mechanical properties of the teak (*Tectona grandis*), growing in San Joaquín de Abangares, Costa Rica, at 30 m and 10° 16' north latitude, are determined according to the ASTM standard D-143-83. The physical properties of teak timber studied were: basic specific weight, radial, tangential and volumetric contractions, contraction ratio, dry and green density and point of fiber saturation. The mechanical properties studied were: static flexure, shear, hardness, parallel and perpendicular compression. Also included were comparisons with teak timber harvested in other places and latitudes, as well as other hardwood species. The coefficient of variation of the basic specific weight of the San Joaquin de Abangares teak (3.4%) is half that of the Quepos teak (7%) and almost one third of the average of 50 species (10%), which is an

1/ Recibido para publicación el 29 de marzo del 2000.
2/ Autor para correspondencia.
* Parte de la Tesis de Licenciatura del primer autor. Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil. San José, Costa Rica.

** Geo-Ingeniería. Apartado postal 138-1150. San José, Costa Rica. e-mail: castro@racsa.co.cr
*** Apartado postal 7-0130. San José, Costa Rica. e-mail: raigosa@racsa.co.cr

la madera (10%). Los resultados demuestran que esta madera tiene una buena estabilidad dimensional; no presentará problemas de torceduras ni agrietamientos y, a pesar de ser una madera joven, mostró mejores propiedades físico-mecánicas que tecas de mayor edad. Igualmente, mostró 82% de duramen y 18% de albura. Por lo tanto, es una madera que se puede utilizar en pisos, parquet, marcos de puertas y ventanas, molduras, enchapes para cubiertas de barcos y tablilla.

standard for comparisons. The results show that this timber presents good dimensional stability; it is not going to present twisting or deformation, and, even though it is young timber, it shows better physical-mechanical properties than older teak timber. Also, it has 82% of heartwood and 18% of sapwood. Therefore, it can be used for floors, floor parquet, window and door frames, moulding, deck for boats and narrow boards for ceilings and floors.

INTRODUCCION

Teca (*Tectona grandis* L.f.), es una especie nativa de Birmania, Tailandia y algunas partes de la India. En América Central fue seleccionada como una de las especies prioritarias con base en los resultados obtenidos en las investigaciones hechas por el Proyecto Madeleña del CATIE y también por el impulso que el gobierno quería dar al desarrollo de las plantaciones forestales, apoyándose en los incentivos fiscales, puestos en marcha a partir de 1979.

Según Lamprecht (1990), en su hábitat natural, esta especie requiere de una estación seca bien definida, de 3 a 7 meses, con precipitaciones promedio anuales de 800-5000 mm y temperaturas medias entre 21-28°C.

Entre 1972-1987, el área reforestada, manejada y protegida mediante los incentivos forestales, fue de 309864.28 ha (FONAFIFO 1996). Del total anterior, se estima que entre un 3-4% corresponde al área reforestada con teca en la zona de Guanacaste (10845 ha).

Dichas plantaciones fueron creadas en ciertos casos más por tratar de aprovechar los incentivos fiscales que otorgaba el gobierno que por razones técnicas tales como la clase de sitio, los suelos, la topografía, la demanda, y el acceso a mercados. Y menos aún, con base al desarrollo de sus propiedades tecnológicas, que permitieran a mediano y largo plazo atender un mercado nacional y sobretodo internacional que exige características bien definidas con respecto a la calidad de la madera.

El objetivo de este trabajo fue mostrar los resultados sobre las propiedades tecnológicas de la madera de teca de 17 años bajo manejo en San Joaquín de Abangares y en especial, comparar éstos con otras experiencias en Costa Rica y en otras latitudes.

MATERIALES Y METODOS

Area de estudio

El estudio se realizó en la finca Mayilandia ubicada en San Joaquín de Abangares, provincia de Guanacaste, Costa Rica, a una distancia aproximada de 165 km al norte de San José, y aproximadamente a 10° 16' de latitud N y 85° 05' de longitud O. Cartográficamente se localiza en la hoja de Abangares escala 1:50000 #3146-1, según las coordenadas horizontales 417-418 y coordenadas verticales 249-250.

El sitio se ubica a una altitud de 30 m.s.n.m., caracterizándose por poseer pocas variaciones de altura. La plantación de teca se encuentra en topografía plana con menos del 2% de pendiente.

De acuerdo a los datos del Instituto Meteorológico Nacional, 1996, de la Estación Taboga, ubicada en Cañas, Guanacaste, que es la más cercana al sitio de estudio, la precipitación promedio anual es de 1611.2 mm, con una estación lluviosa que va de mayo a noviembre y un período seco bien definido que va de diciembre a abril, en general, acentuándose la sequía en los meses

de enero, febrero y marzo, ya que en ninguno de estos meses la lluvia sobrepasa los 20 mm de precipitación; lo que caracteriza la existencia de un déficit de agua en el suelo y una pérdida de follaje en los árboles.

Basados en 26 años de registro de la Estación Taboga, la temperatura máxima fue de 33.2°C, la mínima de 21°C; mientras que la máxima precipitación fue de 2.251 mm y la mínima de 1.016 mm.

En el Cuadro 1 se resumen las características climáticas de mayor relevancia. Los datos que se presentan a continuación, son el promedio de los registros a partir de 1980, fecha en la cual se estableció la plantación.

De acuerdo con Vázquez 1993, los suelos se clasifican como Vertisoles, que son suelos planos, profundos (mayores a 90 cm), de texturas franco arcillosa, con pH de 6.7 y regularmente drenados. Durante el período de sequía el suelo se resquebraja formando grietas de considerable tamaño.

En el Cuadro 2 se muestra el análisis químico de los suelos donde se ubica la plantación. Del Cuadro 2, se desprende que son suelos fértiles, por encima del óptimo, lo que concuerda con los datos encontrados por Vallejos (1996), donde se expresa la condición de especie basófila. Igualmente, presenta óptimos contenidos de potasio, fósforo, manganeso y una muy alta capacidad de intercambio de cationes (36.47).

La plantación de donde se extrajeron los árboles se encuentra en la formación Bosque húmedo premontano transición a basal (bhPTb), según el sistema de zonas de vida de (Holdridge 1982).

Metodología y muestreo de árboles

La metodología utilizada consistió tanto de labores de campo como de laboratorio. La plantación de teca de donde se extrajeron los árboles tiene 5 ha.

En las labores de campo se identificaron los árboles más representativos y se hizo un muestreo de 3 árboles, basados en la norma de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales, ASTM D-143-83 para "métodos secundarios".

Cuadro 1. Parámetros climáticos de la zona en estudio, Abangares, Costa Rica*.

Parámetros climáticos	Valor promedio	Unidad
Temperatura	27.6	°C
Precipitación	1.611	mm
Humedad relativa	73.9	%
Brillo solar	7.2	h
Evapotranspiración	7.7	mm
Radiación	20.1	mj/m^2
Estación seca	4	meses

* Datos suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional.

Cuadro 2. Análisis químico del suelo de la plantación de teca. Abangares, Costa Rica*.

H_2O pH	Ca	Mg	K	Acidez	CICE	P	Cu	Fe	Mn	Zn
	cmol(+)/L					mg/L				
6.7ª	26.90A	9.0M	0.47M	0.10M	36.47A	10.4M	10.0M	28.1M	8.0M	2.0B

A: Alto; M: Medio; B: Bajo.

* Fuente: Estudio realizado por el Programa del Laboratorio de Suelos CIA/UCR/CINDE. Agosto/98.

En las labores de laboratorio se utilizaron las mismas normas. Para las pruebas físicas se obtuvo probetas de madera de 5x5x15 cm de espesor en 15 cm de largo.

Para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera se siguió el procedimiento descrito en la norma ASTM D–143-83 denominada "Ensayos en pequeños especímenes de madera libre de defectos".

Las propiedades físicas determinadas fueron:

- Contenido de humedad
- Peso específico básico
- Densidad
- Contracción volumétrica
- Contracción radial
- Contracción tangencial.

En tanto que, las propiedades mecánicas estudiadas fueron:

- Flexión estática
- Compresión paralela al grano.
- Compresión perpendicular al grano.
- Cortante paralelo al grano.
- Dureza.
- Clivaje.
- Extracción de clavos

La condición verde se refiere al contenido de humedad de la madera en su estado natural (recién cortada), y la condición seca: a) seca al aire al 12% de humedad y b) seca en horno.

El crecimiento

La mayoría de las plantaciones de teca de mayor edad que se han establecido en la región Chorotega, se ubican en sitios de calidad baja, algunas en calidad media y en casos excepcionales en calidad buena. Lo anterior, demuestra que si los sitios no se seleccionaron bien, menos pudo pensarse en el efecto de calidad de sitio, crecimiento, manejo de la plantación, fertilización y las propiedades tecnológicas.

Apoyados en la base de datos del Sistema MIRA del CATIE , con más de 15 años de investigación en parcelas permanentes de Teca, no solo en Costa Rica sino en Centroamérica, se considera que sitios con suelos buenos, planos, profundos, bien drenados y precipitaciones mayores a 2000 mm, en la región Chorotega, pueden alcanzar clases de sitio alta. Igualmente, estos sitios se asocian con niveles altos de calcio, mayores a 10 meq/100 ml de suelo en los primeros 20 cm de profundidad (Vásquez y Ugalde 1994).

En estudios más recientes, Vallejos (1996), determinó 5 clases de índice de sitio: marginal, bajo, medio, alto y excelente. Igualmente, encontró que las variables más estrechamente correlacionadas con el índice de sitio fueron: déficit hídrico y contenidos de calcio de 0-20 cm de profundidad.

Los datos del Sistema MIRA, ubican las parcelas permanentes de Raigosa (1998) (comunicación personal), de donde se tomaron los árboles, en calidad de índice de sitio de medio a alto, con un valor de 19.1 m, una altura dominante de 20.6, a una edad de 13.3 años.

Con respecto a la plantación, debe destacarse que desde su establecimiento, ha contado con manejo silvicultural y fertilización. Sin embargo, Bhat (1998), menciona en sus investigaciones sobre las propiedades de la madera de teca de crecimiento rápido que el riego y los raleos tienen poca influencia en la resistencia de la madera.

RESULTADOS Y DISCUSION

Descripción macroscópica

La madera de teca estudiada presenta porosidad circular en algunas áreas del disco estudiado y en su mayoría se observa porosidad semicircular. Los poros encontrados son abundantes (380/cm^2), moderadamente pequeños, principalmente en el duramen y en general, la forma de los poros fue redonda y ovalada, de tipo solitario en su mayoría.

El parénquima se localiza a simple vista, presentándose en bandas terminales y asociado a los poros (paratraqueal vasicéntrico). Los radios son de tamaño mediano y visibles a simple vista (0.05 a 0.10 mm de ancho).

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA
SUNI
SISTEMA UNIFICADO DE INFORMACION INSTITUCIONAL

Descripción microscópica

El diámetro tangencial promedio de los poros/vasos es de 226 mm (ámbito 200 mm a 298 mm). Las placas de los elementos vasculares son simples, inclinadas y ocasionalmente transversales, con puntuaciones intervasculares ovaladas.

El parénquima es de tipo terminal, paratraqueal escaso y vasicéntrico y de forma rectangular u ovalada. Los radios son uniseriados y las fibras fusiformes, ligeramente estratificadas con punteaduras simples y con una longitud promedio de 1131 mm.

Propiedades físicas

Para la madera de teca estudiada se obtuvieron las siguientes propiedades físicas. De acuerdo con el Cuadro 3, el peso específico básico (P.E.B.) es de 0.58, basado en el peso seco al horno y el volumen en condición verde, lo que la clasifica como una madera pesada. Resultado que coincide con los datos encontrados por Carpio (1997), quién la clasifica como una madera de pesada a muy pesada.

La razón de contracción de 1/1.8 señala que esta madera no presentará problemas de agrietamiento ni deformaciones. Así mismo, se observa que la contracción volumétrica encontrada de 6.2%, indica que esta madera tiene una buena estabilidad dimensional y no presentará problemas como torceduras o agrietamientos.

El Cuadro 4, muestra algunas medidas estadísticas y su comparación con el promedio de 50 especies, que es el parámetro de referencia, de acuerdo con el US Forest Products Laboratory-Wood Handbook 1974, de los Estados Unidos.

Del Cuadro 4, se infiere que el coeficiente de variación del peso específico básico de 3.4% de la teca muestreada en San Joaquín de Abangares, es mucho menor que el coeficiente de variación normal promedio de otras maderas (10%). También, es menor que el de la teca de Quepos, que es de 7%. De ahí que las variaciones son menores y están por debajo de los estándares. Nótese también que el error estándar fue de 0.00.

Cuadro 3. Pruebas físicas para la teca de Abangares de 17 años. ASTM D-143.

Chi %	P.E.B.	C.R. %	C.T. %	C.V. %	C.R./C.T.
93	0.58	2.2	3.9	6.2	1/1.8

Chi: Contenido de humedad inicial; P.E.B: Peso específico básico; C.R.: Contracción radial; C.T.: Contracción tangencial; C.V.: Contracción volumétrica; C.R./C.T.: Razón de contracción.

Cuadro 4. Promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación (C.V.) del peso específico básico, de las contracciones volumétricas, radial y tangencial de la teca de Abangares, Costa Rica.

Parámetros estadísticos	P.E.B.	C.V. %	C.R. %	C.T. %
Promedio	0.58	6.2	2.2	3.9
Desviación estándar	0.02	0.88	0.34	0.63
Error estándar	0.00	0.18	0.03	0.06
Coeficiente de variación	3.4	14.2	16	16
Coeficiente de variación promedio de 50 especies*	10	16	15	14

* Valores tomados del US Forest Products Lab. Wood Handbook 1974.
P.E.B: Peso específico básico; C.R.: Contracción radial; C.T.: Contracción tangencial; C.V.: Contracción volumétrica; C.R./C.T.: Razón de contracción.

Lo anterior, mantiene concordancia con los resultados encontrados por Zhang (1995), quien encontró muy poca variación en el peso específico (de 4.6% a 12.1%), tanto en maderas suaves como duras.

Con respecto a los coeficientes de variación de las contracciones, éstas no muestran una gran variación con relación a los promedios esperados para la madera normal (Cuadro 4); pero la madera de teca que crece en Quepos si mostró una variación muy alta, pues sus coeficientes de variación alcanzaron valores de 30%, 34% y 37%, para la contracción volumétrica, radial y tangencial respectivamente. Estos valores son casi el doble de los de la madera de teca que crece en San Joaquín y de la madera normal. En general, se sabe que a mayores valores en las contracciones, habrá mayor tendencia a que se presenten problemas durante el secado.

Las variaciones de las relaciones entre la densidad de la madera y las tasas de crecimiento, a través de manipulaciones silviculturales fueron bien documentadas por Zobel y Van Buijtenen, citados por Zhang (1995), quienes anotan que los raleos y la fertilización combinados aumentan la tasa de crecimiento y frecuentemente reducen la gravedad específica. Esto claramente indica que, ambos, la fertilización y los raleos son capaces de acelerar el crecimiento de los árboles pero que también tienen diferentes efectos en el peso específico de la madera.

La creencia general que ha prevalecido entre reforestadores y tecnólogos de la madera es que la teca de crecimiento rápido produce solo madera ligera, débil y esponjosa. Sin embargo, Bhat (1998), señala que las nuevas evidencias y datos revelan que árboles seleccionados de plantaciones forestales de crecimiento rápido de madera de teca de diferentes edades que van desde 13, 21, 55 y 65 años de edad no mostraron diferencias significativas en cuanto a la densidad de la madera.

Igualmente que, especies de crecimiento rápido y porosidad circular presentan madera con alta densidad y resistencia. En consecuencia, queda claro que las propiedades de resistencia y densidad de la madera de teca de árboles jóvenes (13 y 21 años) no son necesariamente inferiores a las de árboles viejos de 55 y 65 años de edad. Lo cual significa que, el turno de plantaciones de teca de crecimiento rápido puede ser reducido sin que se afecte la resistencia de la madera.

Para ilustrar todo lo anterior y establecer sus características con respecto a lo reportado para la madera de la especie, se compara la teca de esta zona (Abangares), de 17 años, con tecas de diferente procedencia que no reportan sus edades, excepto Quepos que tiene 28 años (Cuadro 5), así como con distintas especies que presentan problemas de agrietamiento durante el secado (Cuadro 6).

Cuadro 5. Propiedades físicas de la madera de teca de diferentes procedencias según la Norma ASTM-143-83.

Procedencia	Edad/años	P.E.B.	C.R. %	C.T. %	C.V. %	C.R./C.T.	Referencia
Puerto Rico	--	0.55	2.1	3.8	6.2	1/1.8	Longwood 1962
Honduras	--	0.56	2.1	4.6	5.1	1/2.2	González 1979
Myanmar*	--	0.57	2.3	4.2	6.8	1/1.8	González 1979
Africa y Asia	--	--	2.7	5.0	7.9	1/1.9	Delaunay 1992
Quepos, Costa Rica	28	0.61	2.3	5.4	5.7	1/2.3	González 1979
Panamá	--	0.63	1.9	4.9	5.6	1/2.6	González 1979
India	--	0.57	2.2	4.0	-	1/1.8	González 1979
Abangares, Costa Rica	17	0.58	2.2	3.9	6.2	1/1.8	Autores 1999

* (Antigua Birmania)
P.E.B: Peso específico básico; C.R.: Contracción radial; C.T.: Contracción tangencial; C.V.: Contracción volumétrica; C.R./C.T.: Razón de contracción.

Cuadro 6. Propiedades físicas y de secado de algunas maderas pesadas y su comparación con la madera de teca de Abangares, Costa Rica.

Especie	P.E.B.	C.R. %	C.T. %	C.V. %	C.R./C.T.	Secado	Referencia
Teca, Costa Rica *Tectona grandis*	0.58	2.2	3.9	6.2	1/1.8	Estabilidad dimensional pocos o leves defectos durante el secado	Autores 1999
Pilón, Panamá *Hyeronima alchorneoides*	0.60	5.7	9.2	13.6	1/1.6	Se presentan torceduras y colapso en algunos casos	G y G 1973
Cenízaro, Costa Rica *Pithecellobium saman*	0.49	2.78	5.07	7.55	1/1.8	Requiere de un secado cuidadoso, presenta torceduras, contracciones altas	G y G 1973
Roble Encino, Costa Rica *Quercus costaricensis*	0.59	3.97	12.1	17.9	1/3.1	Severos problemas de agrietamiento y deformación	Valverde 1996
Caobilla, Costa Rica *Carapa guianensis*	0.52	3.4	7.0	11.2	1/2.1	Secado moderado, algunas veces ocurre agrietamiento.	G y G 1973

P.E.B: Peso específico básico; C.R.: Contracción radial; C.T.: Contracción tangencial; C.V.: Contracción volumétrica; C.R./C.T.: Razón de contracción

Del Cuadro 5, se infiere que las procedencias de Panamá y de Quepos, Costa Rica, presentan los mayores valores de peso específico básico (P.E.B.) 0.63 y 0.61; mientras que la procedencia de Abangares presenta 0.58. Lo que es interesante destacar acá, es que esos P.E.B. ligeramente más altos se deben a que son tecas mayores de 28 años de edad, para el caso de Quepos (González 1979), y posiblemente la de Panamá también lo sea, dada la información que se tiene de introducción a dicho país; en tanto que la de Abangares es de apenas 17 años.

Aunque en la literatura no se reportan las edades, se cree que las procedencias de Myanmar y de la India son también de edades mayores a 28 años, especialmente por ser lugares de origen. De Honduras y Puerto Rico se desconoce la edad.

Al analizar las diferentes propiedades físicas y procedencias, se tiene que las procedencias de Puerto Rico y Abangares, Costa Rica, presentan contracciones radiales y tangenciales más bajas que las otras procedencias.

Para los casos indicados en el Cuadro 5, con los cuales se compara la teca de Abangares, los autores reportan grandes cualidades físicas así como pocos problemas de agrietamiento y una muy buena estabilidad dimensional (Delaunay 1992, González 1979, Longwood 1962, USDA 1960). La condición anterior, resalta las propiedades de la madera estudiada, ya que entre las tecas comparadas, la de Abangares, presenta la menor razón de contracción (1/1.8).

Es importante destacar también, que la literatura indica que, no parece haber relación directa entre el peso específico básico y la contracción, comportamiento que se refleja en los valores del Cuadro 5, donde las contracciones varían sin ningún patrón con respecto al P.E.B. (Longwood 1962).

En el Cuadro 6 se comparan las propiedades físicas de la teca estudiada con las de otras especies de madera que presentan alguna similitud y singularidad en su proceso de secado; esto con el fin de resaltar el buen comportamiento que presenta la teca.

Del Cuadro 6, se observa que maderas con algunas características similares a la teca presentan problemas de agrietamiento y colapso, condiciones, que como se determinó, no se observan en la madera de teca de Abangares.

Sin embargo, el pilón (*Hyeronima alchornoides*) con un P.E.B. y una razón de contracción (C.R./C.T.) similar a la teca, presenta torceduras y en algunos casos colapso.

También, aunque la razón de contracción (C.R./C.T.) es menor en el pilón, los valores individuales de contracción radial y contracción tangencial son bastante más alto que los de la madera de teca. Lo anterior se ve reflejado en la contracción volumétrica, que es mayor en el pilón que en la teca; dicha diferencia en el valor de contracción volumétrica explica el comportamiento del pilón en contraste con la teca, ya que por ejemplo, de 2 maderas que posean similitud en su P.E.B. y en su razón de contracción, una grieta que se forme en la superficie o en el interior, tenderá a aumentar más en la madera con mayor contracción volumétrica; es decir, a mayor reducción de volumen mayor ensanchamiento de las grietas y torceduras existentes.

Por otra parte, en el cenízaro (*Pithecellobium saman*) se presenta una condición interesante, ya que sus características de contracción y razón son similares a las de la teca por lo que podría esperarse un buen comportamiento de éste durante el proceso de secado. Sin embargo, esto no es lo observado, ya que se reportan problemas como torceduras, contracciones considerables y en algunos casos agrietamiento (González y González 1973).

A simple vista podría aducirse que este comportamiento obedece principalmente a características internas de la madera, las que sin lugar a duda tienen parte importante en los problemas presentados por esta especie durante el secado. No obstante, debe considerarse que entre estas maderas existe una marcada diferencia en el P.E.B. lo que explica en parte este comportamiento del cenízaro, ya que para agrietar o torcer una madera más densa que otra, las fuerzas internas que producen el agrietamiento deben ser mayores en la primera. Esto quiere decir que una madera más liviana que la teca como el cenízaro, pero con similares valores de contracción, presentará una menor resistencia al agrietamiento debido a su menor peso específico básico, que se relaciona directamente con una menor resistencia a la tensión perpendicular lo que facilita la separación o torcedura de sus elementos (fibras).

También, se presentan en el Cuadro 6, otras maderas con P.E.B. similar a la teca, pero con serios problemas de secado como es el caso del roble encino (*Quercus costaricensis*), madera en la cual se observa claramente, que la alta contracción tangencial y volumétrica son los principales factores que afectan su proceso de secado.

El establecer cuáles son los límites para que una madera presente problemas de agrietamiento, y cuándo estos pueden atribuirse a problemas de contracción o a condiciones internas de la madera, no está dentro del alcance de este trabajo; sin embargo, se puede concluir que la teca no presenta problemas de agrietamiento y posee una buena estabilidad dimensional.

Propiedades mecánicas

En el análisis de las propiedades mecánicas de la teca, se emplearon los resultados promedio para efectos de comparación. Los ensayos se realizaron tanto en condición verde (CH>30%) como en condición seca al 12% de CH, como lo establece la norma ASTM D-143-83.

Los resultados de los ensayos mecánicos en condición verde aparecen en el Cuadro 7.

En general, se puede decir que en la mayoría de las maderas se presenta un aumento en la resistencia mecánica conforme disminuye el contenido de humedad, exceptuando algunos casos (US Forest Products Laboratory 1974). Por esto la determinación de dichas propiedades, tanto en condición verde como seca establecen un buen criterio para la determinación de los esfuerzos de diseño; ya que éstos, por lo general, son calculados a partir de ensayos en condición verde con humedades superiores al 18% (Robles y Echenique 1983).

En el Cuadro 6 se comparan las propiedades físicas de la teca estudiada con las de otras especies de madera que presentan alguna similitud y singularidad en su proceso de secado; esto con el fin de resaltar el buen comportamiento que presenta la teca.

Del Cuadro 6, se observa que maderas con algunas características similares a la teca presentan problemas de agrietamiento y colapso, condiciones, que como se determinó, no se observan en la madera de teca de Abangares.

Sin embargo, el pilón (*Hyeronima alchornoides*) con un P.E.B. y una razón de contracción (C.R./C.T.) similar a la teca, presenta torceduras y en algunos casos colapso.

También, aunque la razón de contracción (C.R./C.T.) es menor en el pilón, los valores individuales de contracción radial y contracción tangencial son bastante más alto que los de la madera de teca. Lo anterior se ve reflejado en la contracción volumétrica, que es mayor en el pilón que en la teca; dicha diferencia en el valor de contracción volumétrica explica el comportamiento del pilón en contraste con la teca, ya que por ejemplo, de 2 maderas que posean similitud en su P.E.B. y en su razón de contracción, una grieta que se forme en la superficie o en el interior, tenderá a aumentar más en la madera con mayor contracción volumétrica; es decir, a mayor reducción de volumen mayor ensanchamiento de las grietas y torceduras existentes.

Por otra parte, en el cenízaro (*Pithecellobium saman*) se presenta una condición interesante, ya que sus características de contracción y razón son similares a las de la teca por lo que podría esperarse un buen comportamiento de éste durante el proceso de secado. Sin embargo, esto no es lo observado, ya que se reportan problemas como torceduras, contracciones considerables y en algunos casos agrietamiento (González y González 1973).

A simple vista podría aducirse que este comportamiento obedece principalmente a características internas de la madera, las que sin lugar a duda tienen parte importante en los problemas presentados por esta especie durante el secado. No obstante, debe considerarse que entre estas maderas existe una marcada diferencia en el P.E.B. lo que explica en parte este comportamiento del cenízaro, ya que para agrietar o torcer una madera más densa que otra, las fuerzas internas que producen el agrietamiento deben ser mayores en la primera. Esto quiere decir que una madera más liviana que la teca como el cenízaro, pero con similares valores de contracción, presentará una menor resistencia al agrietamiento debido a su menor peso específico básico, que se relaciona directamente con una menor resistencia a la tensión perpendicular lo que facilita la separación o torcedura de sus elementos (fibras).

También, se presentan en el Cuadro 6, otras maderas con P.E.B. similar a la teca, pero con serios problemas de secado como es el caso del roble encino (*Quercus costaricensis*), madera en la cual se observa claramente, que la alta contracción tangencial y volumétrica son los principales factores que afectan su proceso de secado.

El establecer cuáles son los límites para que una madera presente problemas de agrietamiento, y cuándo estos pueden atribuirse a problemas de contracción o a condiciones internas de la madera, no está dentro del alcance de este trabajo; sin embargo, se puede concluir que la teca no presenta problemas de agrietamiento y posee una buena estabilidad dimensional.

Propiedades mecánicas

En el análisis de las propiedades mecánicas de la teca, se emplearon los resultados promedio para efectos de comparación. Los ensayos se realizaron tanto en condición verde (CH>30%) como en condición seca al 12% de CH, como lo establece la norma ASTM D-143-83.

Los resultados de los ensayos mecánicos en condición verde aparecen en el Cuadro 7.

En general, se puede decir que en la mayoría de las maderas se presenta un aumento en la resistencia mecánica conforme disminuye el contenido de humedad, exceptuando algunos casos (US Forest Products Laboratory 1974). Por esto la determinación de dichas propiedades, tanto en condición verde como seca establecen un buen criterio para la determinación de los esfuerzos de diseño; ya que éstos, por lo general, son calculados a partir de ensayos en condición verde con humedades superiores al 18% (Robles y Echenique 1983).

Cuadro 7. Resultados de los ensayos mecánicos para madera de teca de Abangares de 17 años de edad. Costa Rica.

Prueba	Valor	Unidades
Flexión estática		
Esfuerzo al límite proporcional	435	kg/cm^2
Módulo de ruptura	767	kg/cm^2
Módulo de elasticidad	99600	kg/cm^2
Trabajo al límite proporcional	0.95	$m\text{-}kg/dm^3$
Trabajo a la carga máxima	7.2	$m\text{-}kg/dm^3$
Cortante paralelo		
Esfuerzo último	102	kg/cm^2
Compresión paralela		
Resistencia máxima	346	kg/cm^2
Dureza		
Extremos	587	kg
Lados	600	kg

Asimismo, especies con un elevado P.E.B. contienen menos humedad al cortarse que especies livianas; sin embargo, existe un contenido de humedad por encima del cual la resistencia ya no disminuye y algunos autores lo han establecido alrededor del 18% (Robles y Echenique 1983), por lo que los ensayos con altos contenidos de humedad reflejan el mínimo valor de resistencia que podría tener esa madera, razón por la cual es un valor sumamente útil para efectos de diseño.

En el Cuadro 8, se comparan los resultados de los ensayos de flexión al 12% de contenido de humedad de la madera de teca de Abangares con otras tecas de diferentes procedencias.

Del Cuadro 8, se deduce que la madera de teca de Abangares es menos resistente que la de Quepos y Panamá, por ser estas procedencias de mayor edad; sin embargo, se observa que la relación peso específico básico:resistencia mecánica, es buena, ya que sus características son bastante similares a estas procedencias, a pesar de que ellas tienen mayor P.E.B. (0.61 y 0.63) y edad; pero es mejor que las procedencias de Honduras y Myanmar.

La prueba de flexión estática es de suma importancia para la determinación de los esfuerzos de diseño en elementos estructurales, ya que de este ensayo se derivan parámetros como el módulo de elasticidad, que sirve para determinar deflexiones o el módulo de ruptura, que es una medida de la capacidad que tiene una viga para soportar cargas de lenta aplicación durante cortos períodos de tiempo.

Los otros parámetros mostrados en el Cuadro 8, como el trabajo al límite proporcional y el trabajo a la carga máxima, son indicadores de la energía que puede absorber la madera al llegar a éstos estados (límite proporcional y carga máxima, respectivamente).

En pruebas hechas, seco al aire en Trinidad y Tobago, de las propiedades mecánicas de plantaciones de teca, las propiedades mecánicas mostraron ser iguales o superiores a las de la teca de los bosque naturales en Burma. También se encontró que la teca de Honduras era ligeramente superior a la teca que crece en los bosques naturales de Burma (Longwood 1962). Bryce (1966),citado por Bhat (1998) en sus trabajos sobre teca, menciona que las propiedades mecánicas de madera de teca de 51 años de Tanzania fueron 15% inferior a las de la teca de Myanmar y Trinidad.

Cuadro 8. Resultados de los ensayos de flexión ASTM D-143-83 al 12% de contenido de humedad para tecas de diferentes procedencias*.

Procedencia**	P.E.B.	Parámetros asociados con la prueba				
		Esfuerzo al límite proporcional kg/cm^2	Módulo de ruptura kg/cm^2	Módulo de elasticidad kg/cm^2	Trabajo al límite proporcional kg-m/dm^3	Trabajo a la carga máxima kg-m/dm^3
Abangares Costa Rica	0.58	587	991	112000	1.5	7.9
Quepos Costa Rica	0.61	753	1190	151000	2.2	10.4
Honduras	0.56	594	938	98000	2.0	7.2
Panamá	0.63	566	1050	152000	1.2	7.1
Myanmar	0.61	574	931	104700	1.8	6.5

* Tomado de González y Bonilla 1979.
** No se reportan las edades, excepto para Abangares (17 años) y Quepos (28 años).

Los valores en el Cuadro 9, muestran el promedio, la desviación estándar, el coeficiente de variación y el coeficiente de variación promedio de 50 especies para el peso específico básico y la flexión (esfuerzo al límite proporcional, módulo de ruptura, módulo de elasticidad, trabajo al límite proporcional y trabajo a la carga máxima) para las tecas procedente de Abangares y Quepos, Costa Rica.

Cuadro 9. Promedio, desviación estándar, error estándar y coeficiente de variación del peso específico básico (P. E. B.) y de la flexión al 12% de contenido de humedad en madera de tecas procedentes de Abangares y Quepos, Costa Rica*.

Parámetros estadísticos	P.E.B.	Esfuerzo al límite proporcional kg/cm^2	Módulo de ruptura kg/cm^2	Módulo de elasticidad kg/cm^2	Trabajo al límite proporcional kg-m/dm^3	Trabajo a la carga máxima kg-m/dm^3
Promedio	0.58**	587**	991	112000	1.5	7.9
	0.61***	753***	1190	151000	2.2	10.4
Desviación estándar	0.02	81.8	92.5	14847	0.4	2.6
Error estándar	0.000	12.3	13.9	2238	0.1	0.4
	0.008	21.5	19.1	2900	0.1	0.5
Coeficiente de variación	3.4	13.9	9.3	13.2	25.6	32.7
	7.015.0	8.010.0	28.0	24.0		
Coeficiente de variación promedio de 50 especies****	10.0	22.0	16.0	22.0	38.0	34.0

* Elaboración propia con datos de los autores 1999, y de González y Bonilla 1979.
** Abangares.
*** Quepos.
**** Valores tomados del US Forest Products Lab. Wood Handbook 1974.

Es importante anotar que el P.E.B. es un parámetro útil para medir la calidad de la madera que tiene que ver con los productos a fabricar, ya que algunas características de esta se relacionan con él. Se correlaciona con propiedades como el módulo de ruptura y la resistencia máxima en compresión paralela. Así, lo señalan varios autores como Armstrong et al. (1984), quienes encontraron que la regresión logarítmica de la gravedad específica y las propiedades mecánicas fueron significativas al nivel del 95%.

Mientras que Ladrach (1986) en sus investigaciones sobre las propiedades de la madera en plantaciones forestales con especies exóticas (mayormente coníferas) y aún con algunas latifoliadas en Colombia, no encontró correlación alguna entre el P.E.B. de la madera y la tasa de crecimiento; pero si encontró que la gravedad específica variaba con el logaritmo de la edad, de un mínimo de 0.30 a los 4 años a un máximo de 0.44 a los 14 años.

Con respecto a los coeficientes de variación del módulo de ruptura, éstos en ambas tecas son casi semejantes (8.0% y 9.3%) pero están muy por debajo del estándar que es de 16%. Sin embargo, la procedencia de Quepos mostró menor coeficiente de variación en el módulo de elasticidad (10%) que la de Abangares (13.2%); ambas están muy por debajo de los estándares promedio que alcanzan 22%.

También, Shepard y Shottafer (1992) estudiaron los cambios en la gravedad específica, el módulo de ruptura y el módulo de elasticidad, con relación a la edad en *Pinus resinosa* y encontraron que el punto de madurez de la madera para la gravedad específica variaba entre los 30 y los 45 años de edad. Asimismo, Senft (1985), menciona que a menudo por el crecimiento tan rápido y las rotaciones cortas en coníferas, estas carecen de la fibra necesaria para fabricar los productos que requieren resistencia estructural y estabilidad dimensional.

Las variaciones de las relaciones entre densidad de la madera y tasas de crecimiento, a través del manejo silvicultural fueron bien documentadas por Zobel y Van Buijtenen, citados por Zhang (1995) quienes indican que los raleos y la fertilización combinados aumentan la tasa de crecimiento y frecuentemente reducen la gravedad específica. Esto indica que ambos, la fertilización y los raleos son capaces de acelerar el crecimiento de los árboles pero que también tienen diferentes efectos en el peso específico.

Sin embargo Zhang (1995), en sus trabajos encontró que tanto las propiedades físicas como mecánicas están virtualmente determinadas por las características anatómicas y químicas de las especies y que el peso específico es capaz, por si solo, de reflejar algunas características anatómicas de la madera como por ejemplo, ángulo microfibrilar, composición de los elementos de la madera, morfología de las fibras y algunas otras características.

Según el uso y la especie, algunas propiedades pueden ser más importantes que otras, por ejemplo, en la madera de teca la dureza y la durabilidad son propiedades fundamentales debido a los usos tradicionales que se le dan a esta en Costa Rica.

En el Cuadro 10, se comparan las propiedades de dureza para la madera de teca de diferentes procedencias en Costa Rica

Del Cuadro 10, se observa que la madera de teca de Abangares presenta la mayor dureza con respecto a las otras procedencias; y en especial con la de Quepos, que tiene 28 años de edad; ya que como se dijo anteriormente, esta es una de las propiedades de mayor importancia en la madera de teca comúnmente empleada en pisos, muebles y cubiertas para barcos.

En el Cuadro 11, se muestran los valores correspondientes a otras propiedades mecánicas determinadas para la madera de teca de diferentes procedencias.

Los resultados del Cuadro 11, señalan que la madera de teca de Abangares presenta resistencias más altas que las demás tecas en las pruebas de cortante y compresión perpendicular.

En el Cuadro 12, se muestran los resultados del estudio anatómico de medición de fibras para la madera de teca de Abangares y Quepos, en donde se relacionan las características morfométricas de las fibras con las propiedades mecánicas.

El análisis de los valores del Cuadro 12, permite aclarar algunos aspectos relacionados con los resultados obtenidos en las pruebas mecánicas para la madera de estas tecas. En primer lugar, se nota como el esfuerzo al límite proporcional presenta un valor mayor en la teca de Quepos,

Cuadro 10. Propiedades de dureza para madera de teca de diferentes procedencias en Costa Rica al 12% de contenido de humedad.

Procedencia Costa Rica	Edad años	P.E.B.**	Dureza* kg	Referencia
San Andrés	8	0.54	571	Moya y Córdoba, 1996
Pavón	7	0.50	470	Moya y Córdoba, 1996
Altamira	7	0.51	460	Moya y Córdoba, 1996
Abangares	17	0.58	602	Autores 1999
Cañas	14	0.60	589	INII-LPF 1994
Guápiles	14	0.60	515	INII-LPF 1994
Quepos	28	0.61	536	González y Bonilla, 1979

* Promedio de dureza en los extremos y lados
** Peso específico

Cuadro 11. Propiedades de compresión y cortante para la madera de teca de diferentes procedencias al 12% de contenido de humedad, según la Norma ASTM D143-83*.

Procedencia	P.E.B.***	Cortante	Compresión paralela	Compresión perpendicular
		Esfuerzo cortante máximo kg/cm^2	Resistencia máxima en compresión kg/cm^2	Esfuerzo al límite proporcional kg/cm^2
Abangares**	0.58	123	492	98
Quepos**	0.61	121	552	85
Honduras	0.56	113	477	94
Panamá	0.63	108	472	86
Myanmar	0.61	97	472	84

* González y Bonilla 1979.
** Costa Rica.
*** Peso específico básico.

Cuadro 12. Características morfométricas de las fibras de madera de teca de 2 procedencias: Abangares y Quepos.

Procedencia	Edad años	P.E.B.**	Fibras			Poros			E.L.P.* kg/cm^2	Dureza lateral kg
			Long prom µm	Diám. tangenc. µm	Espesor pared µm	Diám. lumen µm	Cant./cm^2	Diám. tangenc. µm		
Abangares	17	0.58	1131	29	3.5	22	380	226	587	661
Quepos	28	0.61	1550	25	4.5	16	490	210	758	557

* Donde E.L.P. representa esfuerzo al límite proporcional en flexión estática.
** Peso específico.

el cual se relaciona con una mayor edad y longitud de fibra, puesto que una fibra más larga, densa y entrecruzada, como la que presenta esta procedencia, permite una mayor resistencia en tensión. La situación anterior es de importancia, ya que la madera de teca de Abangares presenta menos cantidad de poros y fibras más anchas con menos pared; también, el P.E.B. es mayor en la madera de teca de Quepos, lo cual supone una mayor densidad en la estructura de fibras de ésta última, que se atribuye posiblemente a la madurez y edad de esta madera.

En el caso de la dureza lateral, la situación es diferente, ya que la madera de teca de Abangares presenta fibras más cortas y gruesas, lo que sumado a una menor cantidad de poros permiten un menor desplazamiento entre estas en sentido perpendicular ante una determinada presión, como la que se ejerce en la prueba de dureza lateral o compresión perpendicular, lo que se comprueba al observar valores de menor resistencia (557 kg) en estas pruebas para la teca de Quepos.

Para una caracterización más completa, se realizaron los ensayos de clivaje y extracción de clavos conforme con lo que establece la norma ASTM D-143-83.

El clivaje es una medida tanto de la tendencia que tiene la madera a desgarrarse ante una carga, como de la resistencia que ofrece la misma a ser rajada en sentido longitudinal. Es precisamente, en este sentido (paralela al grano) en que generalmente ocurren los agrietamientos durante el secado. De ahí la importancia de relacionar el clivaje con el agrietamiento desde el punto de vista mecánico.

Por otro lado, la prueba de extracción de clavos es una medida directa de la resistencia que ofrece la madera en uniones con clavos.

En el Cuadro 13, se presentan los resultados de las pruebas de extracción de clavos y clivaje de la madera de teca de Abangares y otras maderas con peso específico similar.

Del Cuadro 13, se observa que la madera de teca, de Abangares tiene una resistencia a la extracción de clavos 2 veces mayor que la del laurel, madera muy usada en la construcción, de ahí que tenga una buena resistencia en uniones y juntas con clavos.

Debido a lo poco común de las pruebas de extracción de clavos y clivaje, no existen muchas referencias sobre estos ensayos, en especial para la última especie.

Con el fin de lograr una caracterización más completa de la madera de teca de Abangares, en el Cuadro 14, se muestran los datos experimentales obtenidos para esta especie, como para otras especies de maderas usadas en la construcción en Costa Rica, que se catalogan desde livianas hasta muy pesadas.

Del Cuadro 14, se observa que la madera de teca de Abangares tiene propiedades muy semejantes a maderas extremadamente pesadas como el cocobolo (*Vatairea lundelli*); sin embargo, es superada únicamente por el almendro (*Dipteryx panamensis*) en todas sus propiedades.

Presenta también propiedades mecánicas muy semejantes al roble encino (*Quercus costaricensis*) y al pilón (*Hieronyma alchornoides*).

Cuadro 13. Resultado de las pruebas de clivaje y extracción de clavos para la madera de teca de Abangares y otras maderas con peso específico básico (P. E. B.) similar según norma ASTM D-143*.

Especie	Procedencia	P. E. B.	Clivaje/cm de ancho kg	Retención de clavos kg
Teca *Tectona grandis*	Abangares**	0.58	64	123
Teca *Tectona grandis*	Myanmar	0.61	61	---
Cedro macho *Guarea* sp	Costa Rica	0.55	---	613
Laurel *Cordia alliodora*	Costa Rica	0.42	---	423
Cenízaro *Phitecellobium saman*	Venezuela	0.49	43	---

* Longwood 1962 y Tuck 1974.
** Costa Rica.

Cuadro 14. Propiedades mecánicas en condición verde y seca al 12% de contenido de humedad de algunas maderas importantes utilizadas en construcción en Costa Rica. ASTM D-143-83*.

Especie	Peso específico básico (P. E. B.)	Flexión módulo ruptura kg/cm^2	Módulo Elasticidad kg/cm^2	Compresión resistencia máxima kg/cm^2	Cortante esfuerzo máximo kg/cm^2	Dureza extremos kg	Lados kg
Jaul	0.35	453	109000	187	52	137	128**
(*Alnus acuminata*)		649	108000	205	86	374	215***
Laurel	0.42	455	94100	228	57	---	---
(*Cordia alliodora*)		597	84500	269	53	---	---
Teca	0.58	767	99600	346	102	587	600
(*Tectona grandis*)		991	112400	491	123	543	661
Roble Encino	0.59	476	92600	197	79	460	577
(*Quercus costaricensis*)		1029	131000	445	105	651	792
Pilón	0.61	633	72000	272	76	499	389
(*Hieronyma alchornoides*)		803	120700	332	95	803	591
Cocobolo	0.70	911	179000	423	90	626	534
(*Vatairea lundelli*)		1127	195300	617	121	928	733
Almendro	0.94	1453	255000	712	146	1468	1524
(*Dipteryx panamensis*)		1488	285700	961	186	1298	1158

* Tuck y Picado 1983.
** Valores obtenidos en condición verde.
*** Valores obtenidos al 12% de humedad.

CONCLUSIONES

- La madera de teca procedente de Abangares se clasifica como una madera pesada y de buena calidad, de acuerdo con su peso específico básico (P.E.B.) de 0.58 y es más liviana que la madera de teca procedente de Quepos y de Puerto Armuelles, Panamá.
- La madera de teca de Abangares mostró a los 17 años de edad, un 82% de duramen y un 18% de albura; asimismo, una marcada diferencia de coloración entre la albura y el duramen. En condición verde la albura es pardo anaranjado, en tanto que el duramen es gris pardo y al cambiar a condición seca, tanto la albura como el duramen se oscurecen ligeramente.
- La madera de teca de Abangares mostró porosidad circular y semicircular mayormente con poros abundantes (380/cm^2) y moderadamente pequeños, principalmente en el duramen, de forma redonda y ovalada y de tipo solitarios.
- Los valores de sus contracciones radial, tangencial y volumétrica de 2.2, 3.9, 6.2 y de su razón de contracción de 1/1.8, muestran que la madera de teca de Abangares no presentará problemas de agrietamientos ni deformaciones; igualmente, que tiene una muy buena estabilidad dimensional; por consiguiente, es muy probable que sea físicamente más resistente a la madera de teca que crece en Quepos, en Panamá y similar a la de la India, a pesar de que éstas procedencias son de mayor edad. Esto se debe principalmente a su baja razón de contracción de 1/1.8
- A pesar de su edad estimada en más de 28 años, la madera de teca procedente de Quepos

(Costa Rica) y de Panamá, con P.E.B. de 0.61 y 0.63, respectivamente, mostraron razones de contracción más altas que la madera de teca de Abangares, con 1/2.3 y 1/2.6, y por consiguiente se espera que presenten problemas de agrietamiento y deformaciones.

- Maderas muy utilizadas en Costa Rica, como el pilón (*Hieronyma alchornoides*), con un P.E.B. y una razón de contracción muy semejantes a la teca de Abangares, sin embargo, presenta problemas de torceduras y colapso, producto de sus altas contracciones volumétrica, tangencial y radial. Mientras que el cenízaro (*Pithecellobium saman*), con características semejantes a la teca , pero con un P.E.B. básico bajo (0.49), presenta problemas de torceduras, altas contracciones y en algunos casos agrietamiento.
- El coeficiente de variación del peso específico básico de la teca de Abangares, fue de 3.4%, mientras el de Quepos, mostraba ser del 7%, y el del promedio de las 50 especies tomadas como referencia y que son el estándar de comparación alcanzaba al 10%. De ahí, que las variaciones en el P.E.B. en Abangares serán mucho menores con relación a Quepos y a los estándares.
- Con relación a las propiedades físicas de la madera de teca que se ha plantado en climas muy húmedos y superhúmedos y de edades jóvenes, se cree que su P.E.B. está alrededor de 0.50, lo cual permite deducir que todavía esta madera es muy joven y probablemente no muestre un cambio fisiológico de madera joven a madera dura. Asimismo, dado su relativo bajo peso específico va a presentar menor resistencia al agrietamiento, lo cual se relaciona también con una menor resistencia a la tensión perpendicular, facilitando la separación o torcedura de sus elementos (fibras). También, en estos climas la teca desarrolla más albura que duramen, debido a que hay más paredes activas en el xilema en contacto con el agua que no permiten un crecimiento adecuado del duramen.
- En condición seca, la madera de teca de Abangares es superior en el esfuerzo al límite proporcional a la madera de teca procedente de Myanmar y Panamá; es casi igual a la de Honduras, pero inferior a la de Quepos. Mientras que, con relación al módulo de ruptura, es superior a la de Honduras, India y Myanmar; similar a la de Panamá y Quepos, a pesar de ser estas últimas maderas de mayor edad.
- En relación al módulo de elasticidad, la madera de teca de Abangares sigue siendo superior a la de Honduras y Myanmar, igual a la de la India pero inferior a la de Panamá y Quepos.
- Con relación al trabajo a la carga máxima, la madera de teca de Abangares es superior a la madera de teca procedente de Honduras, India, Myanmar y Panamá; y también a otras especies de maderas pesadas como el pilón (*Hieronyma alchornoides*). Sin embargo, es inferior a la teca de Quepos, por ser ésta de mucho mayor edad.
- La madera de teca de Abangares, a pesar de su juventud, 17 años, mostró en promedio la mayor dureza, 602 kg, con respecto a las procedencias de madera de teca de San Carlos, Quepos, Guápiles y mejor aún que las procedencias de Honduras, India y Panamá. Sin embargo, es semejante a algunas especies de maderas pesadas como el roble (*Quercus alba*); pero inferior a maderas mucho más pesadas como el pilón (*Hieronyma alchornoides*), el cocobolo (*Vatairea lundelli*), el roble encino (*Quercus costaricensis*), el roble blanco (*Quercus copeyensis*) y el almendro (*Dipteryx panamensis*).
- La madera de teca de Abangares mostró resistencias más altas que las demás procedencias de tecas y que otras especies de maderas muy pesadas como el roble encino (*Quercus costaricensis*), el pilón (*Hieronyma alchornoides*), el cocobolo (*Vatairea lundelli*) en las pruebas de cortante y compresión perpendicular. Mientras que, en la prueba de compresión paralela fue inferior a la teca de Quepos, al cocobolo y al almendro.
- En general, la madera de teca de Abangares, es mecánicamente más resistente que la teca de la India, a la cual supera en flexión estática, dureza tanto en los extremos como en los lados; mecánicamente superior a la teca de Myanmar, a la cual supera en todos

los valores de las propiedades de flexión estática, dureza, cortante, compresión paralela y perpendicular; a pesar de que esta procedencia mostraba un mayor P.E.B. Además, es muy semejante o casi igual a la teca de Panamá que tiene mayor P.E.B. De todos modos, vale la pena mencionar que, probablemente todas estas maderas de teca mencionadas anteriormente tienen edades superiores a los 28 años.

- Dadas sus características físico-mecánicas y su peso específico básico, la madera de teca de Abangares, se puede utilizar en la construcción de botes, barcos, pisos, parquet, muebles tanto para interiores como exteriores y gabinetes, entarimados, marcos de puertas, ventanas, artesanía y tablilla.
- En síntesis y por todo lo anteriormente mencionado, se puede concluir que la madera de teca de Abangares aún cuando es mucho más joven que la mayoría de otras tecas, es mecánicamente mejor, que las tecas procedentes de la India, Myanmar, Burma, Trinidad y Tobago; ligeramente mejor que la de Honduras, pero un poco menor que las procedencias de Quepos y Panamá.

AGRADECIMIENTO

Los autores expresan sinceros agradecimientos al Laboratorio de Productos Forestales del Instituto de Investigaciones en Ingeniería (INII) de la Universidad de Costa Rica, por todo el apoyo recibido durante la investigación, por la realización de los ensayos y por el uso de sus instalaciones.

Al Dr. Luis Ugalde del CATIE, por permitirnos utilizar algunos datos de las parcelas de crecimiento del Sistema Mira y por sus sugerencias al manuscrito. Igualmente, a todas las personas que colaboraron en esta investigación, nuestro agradecimiento.

LITERATURA CITADA

ARMSTRONG et al. 1984. The effect of specific gravity on several mechanical properties of some world woods. Wood Science and Technology 18:137-146.

BHAT, K.M. 1998. Properties of fast-grown teak wood: Impact on end-user's requirements. Journal of Tropical Forest products 4(1):1-1.

DELAUNAY, J. 1992. Resultats d'essais de provenances de teck, *Tectona grandis*, six ans apres leur mise en place en Cote D'Ivoire. *In:* Consulta mundial sobre mejoramiento de árboles forestales. Camberra, Australia.

FONAFIFO. 1996. Estadísticas de plantaciones forestales. San José, Costa Rica. 60 p.

GONZALEZ, G.; BONILLA, L. 1979. Propiedades y usos de la madera de teca (*Tectona grandis*) creciendo en Quepos. Laboratorio de Productos Forestales. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 8 p.

GONZALEZ, Y.; GONZALEZ, G. 1973. Propiedades físicas, mecánicas, usos y otras características de algunas maderas comercialmente importantes en Costa Rica. Laboratorio de Productos Forestales. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 51 p.

HOLDRIDGE, L.R. 1982. Ecología basada en zonas de vida. [Trad. del inglés por] Humberto Jiménez Saa. IICA. San José, Costa Rica. 216 p.

LADRACH, W.E. 1986. Comparaciones entre procedencias de siete coníferas en la zona andina al finalizar los ocho años. Informe de Investigación N°105. 8 p. Celulosa y Papel de Colombia. Cali, Colombia.

LAMPRECHT, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Traducido por Antonio Carrillo. GTZ. Eschborn. 335 p.

LONGWOOD, F.R. 1962. Present and potencial commercial timbers of the Caribbean with special reference to the west Indies, the Guineas and British Honduras. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Agriculture Handbook N° 207. U.S.A.

MOYA, R.; CORDOBA, R. 1996. Propiedades de dureza, contenido de humedad, densidad y peso específico básico de la madera de teca (*Tectona grandis*) proveniente de diferentes subregiones de la Zona Huetar Norte de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. 6 p.

ROBLES, F.; ECHENIQUE, R. 1983. Estructuras de madera. Editorial Limusa. México.

SENFT, J.F. et al. 1985. Weak wood: Fast-grown trees make problem lumber. J. Forestry 83:476-482.

SHEPARD, R.K.; SHOTTAFER, J.E. 1992. Specific gravity and mechanical property-age relationship in red pine. Forest Prod. J. 42(7/8):60-66.

TUCK, J.B. 1974. Consideraciones para el cálculo de estructuras de madera. Laboratorio de Productos Forestales. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

TUCK, J.B.; PICADO, F. 1983. Propiedades físicas, mecánicas, preservación, durabilidad, cepillado, taladrado, lijado y torneado de 18 especies maderables de Costa Rica. Informe final de proyecto. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago.

U.S. Department of Agriculture. 1960. Tropical timbers of the world. Agriculture Handbook N° 607. Forest Service. U.S.A. 8:12.

U.S. 1974. Forest products laboratory. Wood Handbook: Wood as engineering material. Agriculture Handbook N° 72. Wisconsin, USDA. Forest Service. p. 238-239.

VALLEJOS, O.S. 1996. Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L.F., *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand y *Gmelina arborea* Roxb. San José, Costa Rica. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 147 p.

VASQUEZ, A. 1983. Mapa de suelos de Costa Rica. Proyecto apoyo al servicio nacional de suelos y aguas. Escala 1:200000. San José, Costa Rica.

VASQUEZ, W.; UGALDE, L. 1994. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinata* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Informe final. Convenio de Cooperación Proyecto Forestal Chorotega (IDA/FAO). Proyecto Madelaña-3 (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 24 p.

ZHANG, S.Y. 1995. Effect of growth rate on wood specific gravity and selected mechanical properties in individual species from distinct wood categories. Wood Science and Technology 29:451-465. USA.