

NOTA TÉCNICA

Propiedades físico-mecánicas de la madera de *Tectona grandis* Linn. F. (teca), proveniente de una plantación de ocho años de edad en Cochabamba, Bolivia

Jaime Rivero Moreno¹
Róger Moya Roque²

Resumen

La presente investigación se realizó con madera proveniente de plantaciones experimentales de *Tectona grandis* Linn. F. (teca) de 8 años de edad, ubicadas en los predios de la Universidad Mayor de San Simón en el Valle de Sacta en la provincia Carrasco del Departamento de Cochabamba, Bolivia. El objetivo general fue determinar las principales propiedades físicas y mecánicas de la teca, con el fin de contar con información básica de esta madera para las condiciones de Bolivia. La metodología empleada se fundamenta en las normas ASTM (American Society for Testing and Materials). Se determinó también el porcentaje de albura y duramen en la trozas de los árboles que fueron muestreados. Los resultados mostraron que la albura representa el mayor volumen de la troza con 72.11% y el duramen, solamente un 27.89%. Referente a las propiedades físicas, se determinó que la densidad al 12% de contenido de humedad fue de 0.58 g/cm³, el peso específico básico registrado fue de 0.50; las contracciones en general fueron bajas: 5.33% para la tangencial total; 2.57% en la radial total; 8.01% en la volumétrica total y el punto de saturación de la fibra obtenido fue de 26.40%. Referente a las propiedades mecánicas se obtuvieron los siguientes valores: en flexión estática, el módulo de ruptura (MOR) registrado fue de 963.60 kg/cm² y el módulo de elasticidad de 105313.21 kg/cm²; en compresión paralela al grano, se obtuvo un MOR de 460.59 kg/cm²; en compresión perpendicular al grano, se registró un esfuerzo en el límite proporcional (ELP) de 70.92 kg/cm²; la dureza axial obtenida fue de 415.16 kg, mientras que la perpendicular fue de 357.60 kg; la resistencia al cizallaje tangencial fue de 125.15 kg/cm² y la radial de 122.65 Kg/cm²; finalmente se determinó una resistencia a la extracción de clavos, en el plano axial de 58 kg y en el plano perpendicular de 54 kg. En términos generales, se pudo concluir que la madera de teca de 8 años de edad creciendo en la región específica del Valle de Sacta, Bolivia, presenta propiedades físico-mecánicas ligeramente inferiores a las reportadas por otros autores en otras regiones del mundo, producto de que fueron utilizados árboles de muy corta edad (jóvenes).

Palabras clave: *Tectona grandis*, Teca, Plantación, Propiedades físico-mecánicas, Albura, Duramen.

¹ Universidad Mayor de San Simón, Bolivia, proesfor@umss.edu.bo

² Instituto Tecnológico de Costa Rica, rmoya@itcr.ac.cr

Abstract

Physical and mechanical properties of teak wood (*Tectona grandis* Linn. F.) from 8-years old plantations in Cochabamba, Bolivia. The main objective of the study was to evaluate the most important physical and mechanical properties of teak wood (*Tectona grandis* Linn. F.) in young trees in Bolivia. Trees were cut in an 8 years old plantation in the Valle de Sacta, in the Province of Carrasco, Cochabamba, Bolivia. The methodology used is based in the ASTM (American Society for Testing and Materials) standards therefore the results can be compared with other studies somewhere else. Sapwood volume represents 72.11% total volume and the hardwood 27.89%. With respect to the physical properties it was determined that the density, at 12% of content of humidity, was 0.58 g/cm³, and the basic specific gravity 0.50. The shrinkage in general was low, 5.33% for the total tangential shrinkage; 2.57% in total radial shrinkage; 8.01% in the total volumetric shrinkage, and the fiber saturation point was 26.40%. With respect to the mechanical properties the results were: a) in static bending, the rupture module (MOR) was 963.60 kg/cm², b) the elasticity module 105,313.21 kg/cm²; c) in compression parallel to grain, the MOR was 460.59 kg/cm²; d) in compression perpendicular to grain, the effort proportional to limit (EPL) was 70.92 kg/cm²; e) the axial hardness was 415.16 kg, and the perpendicular 357.60 kg; f) the tangential shear parallel to grain was 125.15 kg/cm², and radial 122.65 kg/cm²; and finally, g) the nail withdrawal resistance in the axial face was 58.0 kg, and in the perpendicular face 54.0 kg. It can be concluded that the collected eight years old teak wood, has physical-mechanical properties that are lower to those reported by other authors in others countries.

Key words: *Tectona grandis*, Teak, Young Plantations, Physical-mechanical wood properties, Sapwood, Hardwood.

INTRODUCCIÓN

La madera de *Tectona grandis* Linn. F. es de amplio uso y con un gran mercado a nivel internacional, debido a su gran durabilidad, belleza, buenas propiedades de trabajabilidad y excelentes propiedades físicas y mecánicas (Bhat, 2000). Es por esta razón, que ha sido ampliamente usada en los programas de reforestación en muchos países de las regiones tropicales de América, Oceanía, Asia y África (Kaosa-Ard, 1998). Según estimaciones de FAO (2006), a pesar de que los datos son pocos confiables para cada uno de los países, se estima que existen alrededor de 100 000 ha plantadas en el mundo, ubicadas principalmente en Oceanía y América. En América, desde la introducción de esta especie en 1913 a Trinidad y Tobago (Anónimo, 1938), ha sido plantada y probada en ensayos de adaptabilidad en casi todos los países de la región tropical y hasta subtropical, como algunas regiones de Argentina y México (Devato, 1942; Arreola, 1980). En Bolivia, la teca ha sido introducida desde antes de 1990, con semilla procedente de Costa Rica y Honduras; no obstante, es una especie forestal maderable poco conocida en este país (Vargas *et al*, 2003).

En los últimos años, en Bolivia se han establecido algunas parcelas experimentales con esta especie, la cual ha demostrado buena adaptación al medio, por lo que se considera como una especie de interés para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales en la región del subtropical del país y particularmente Cochabamba (Programa Forestal, 2001). Esta región subtropical de Bolivia, conocida comúnmente como "Chapare", ha sufrido una importante pérdida de su superficie original de bosques primarios, debido principalmente al cultivo de la hoja de coca, a la producción agrícola de sustento y a la explotación indiscriminada de los recursos forestales, por lo que es de mucho interés realizar prácticas de plantaciones forestales, con especies de rápido crecimiento y valor comercial, para satisfacer las necesidades inmediatas de la población existente en la zona, con el fin de mitigar el interés de los productores por otros cultivos. No obstante, en esta región, como en todos aquellos países de América, muy familiarizados con las

especies maderables provenientes del bosque natural, el conocimiento de las características básicas (físicas, mecánicas, anatómicas, trabajabilidad, etc.) de las especies introducidas y creciendo en plantaciones de rápido crecimiento son poco ó nada conocidas.

El presente trabajo presenta un estudio sobre presencia de albura y duramen, las propiedades físicas y mecánicas de madera de teca proveniente de plantaciones experimentales de 8 años, ubicadas en el Valle del Sacta, Cochabamba, Bolivia.

METODOLOGÍA

Características del área de estudio y plantación

El fundo universitario Valle del Sacta se encuentra limitado por los paralelos 17°31'30" y 17°07'30" de latitud sur, y los meridianos 64°47'10" y 64°31'05' de longitud oeste (Figura 1); con elevaciones de 195 a 250 m, precipitación promedio de 3179 mm/año con una máxima anual de 4549 mm y una mínima anual de 2183 mm. Las lluvias se concentran principalmente en los meses de octubre a marzo. La temperatura promedio anual es de 23 °C. Los suelos son de origen aluvial, de textura fina (francosos) en los primeros 20 cm, y arcillosos en el nivel sub-superficial entre los 20 y 50 cm de profundidad, muy ácidos, con más de 60% de saturación de aluminio y con una baja capacidad de suplir potasio, menos de 0.24 meq/100g (Macías, 1993).

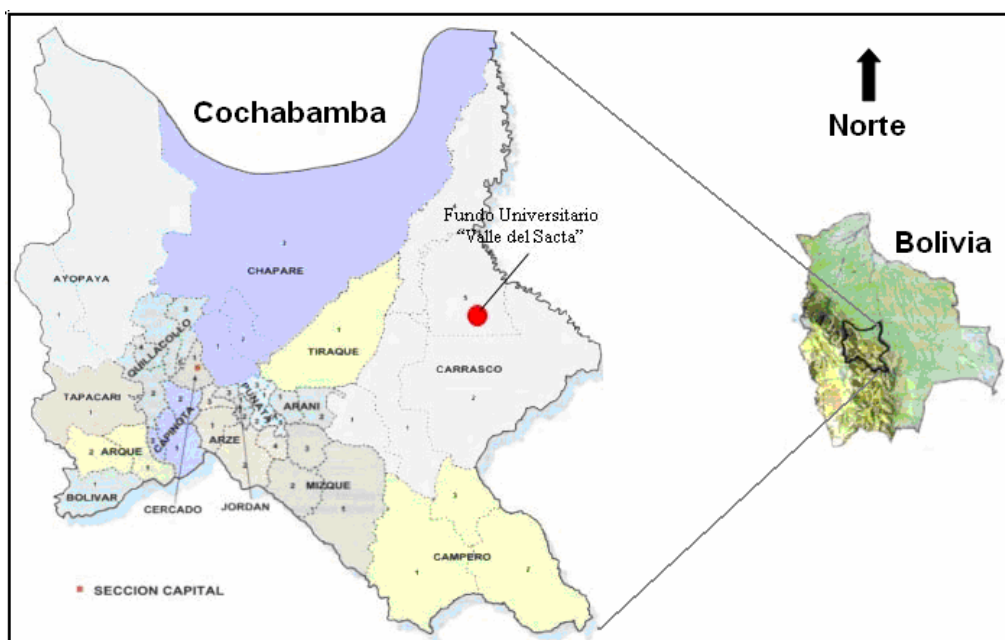


Figura 1. Ubicación del Valle del Sacta en Bolivia.

Los árboles se extrajeron de una plantación experimental de 2500 m² sobre una pendiente con ámbito de 0 a 20%, plantada en octubre del año 1995. En el establecimiento se utilizó semilla procedente de Costa Rica a un distanciamiento de 3 m entre árboles y 5 m entre hileras, para un total de 200 árboles. Se realizaron podas de formación a los 2 y 6 años y se realizaron limpiezas anuales de la vegetación arbustiva. En el momento del muestreo la plantación tenía una edad de 8 años (Figura 2) y presentaba las condiciones dasométricas presentadas en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características de la plantación de *Tectona grandis* Linn. F. utilizadas en el estudio.

Densidad actual de la plantación (árboles/ha)	Área basal/ha (m ² /ha)	Volumen comercial (m ³ /ha)	Altura total (m)	Diámetro altura pecho (cm)
469	20.86	176.4	20.6	23.8

(Vargas *et al*, 2003)



Figura 2. Plantación de *Tectona grandis* Linn. F. (teca) de 8 años, Valle de Sacta, Cochabamba, Bolivia

Obtención y preparación del material experimental

Se seleccionaron cinco árboles de la parcela experimental, con base en los siguientes criterios: árboles sanos, troncos rectos (lo más cilíndricos posible); y ser representativos de la plantación forestal en diámetro. Los árboles seleccionados se cortaron y se extrajo la primera troza a partir de la base del árbol, con una longitud de 2.5 m.

Posteriormente, cada una de ellas fue aserrada con la ayuda de un aserradero portátil de cinta. Debido a que se utilizaron normas de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM por sus siglas en inglés), la forma de corte de la troza fue fundamentada en su estándar D-5536-99

(ASTM, 1999a), que establece un método cruciforme para la preparación de muestras de madera aserrada, el método consiste en realizar cortes sistemáticos al tronco para obtener piezas de 6 cm x 6 cm y 3 cm x 3 cm en sección transversal (Figura 3); estas piezas suministrarán luego las piezas requeridas en los ensayos.

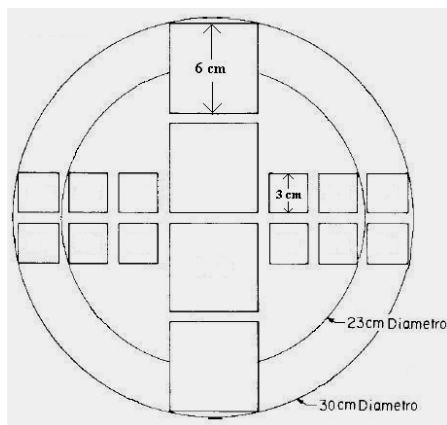


Figura 3. Método cruciforme secundario utilizado en el corte de la trozas (ASTM D-5536-99). (ASTM, 1999).

Determinación de las propiedades

Porcentaje de albura y duramen

Antes del aserrío de las trozas se midió el diámetro total y el diámetro de duramen en cada uno de los extremos de las trozas. El duramen fue fácilmente distinguible, debido a su color más oscuro que la madera de albura (Figura 4). Cada uno de los diámetros en los extremos de las trozas fue medido en dos sentidos: uno en la dirección del diámetro más largo y el segundo, en sentido perpendicular a esta, de tal manera que se forme un sistema de ejes cartesianos. Estas mediciones fueron utilizadas para calcular la relación de volumen del duramen en relación al volumen total de la troza.



Figura 4. Diferencia entre duramen y albura en *Tectona grandis* Linn. F. (teca) de 8 años, Valle de Sacta, Cochabamba, Bolivia.

Ensayos de propiedades físicas

Se contempla la determinación de las siguientes propiedades: densidad; contenido de humedad en condición verde, peso específico, contracciones volumétricas, contracción tangencial, contracción radial y la relación de contracción tangencial-radial. La densidad de la madera fue establecida en condición verde, al 12% de contenido de humedad y en condición anhidra; el peso específico que se determinó fue el básico (peso seco y volumen verde) y las contracciones determinadas fueron las normales (contracción de verde a seco al 12% de C.H.) y total (de verde a seco al horno), en tanto que la relación de contracciones fue calculada para dos condiciones de humedad de la madera (al 12% de C.H. y anhidra).

Para determinar estas propiedades se utilizaron cinco probetas libres de defectos para cada uno de los árboles muestreados (25 probetas en total) de 2.5 cm x 2.5 cm x 10 cm. Las propiedades se determinaron según los estándares ASTM en su designación 2395-93 y D-4442-92 (ASTM, 1999b; ASTM, 1999c). Para la determinación del peso, volumen y dimensiones en las tres condiciones (húmeda, al 12% de C.H. y anhidra), se utilizó una balanza digital con una precisión de 0.01 gramos; un calibrador con una precisión de 0.01 mm y un horno eléctrico a 103°C, respectivamente. Para conseguir estabilizar las probetas a un 12 % de contenido de humedad, se adaptó a un horno eléctrico un humidificador y un controlador de humedad, con el propósito de mantener la humedad relativa del aire dentro de la cámara a un 70% y la temperatura en 43°C. Para el punto de saturación de la fibras (PSF) se utilizó la fórmula de cálculo propuesta por Serrano, *et al* 2000 y detallado en la fórmula (1).

$$PSF = \frac{Ct * CHsa}{Ct - Csa} \quad (\%) \quad (1)$$

Siendo:

Ct = Coeficiente de contracción volumétrica total (de verde a seco al horno), en porcentaje.

Csa = Coeficiente de contracción hasta seco al aire (de verde a seco al aire), en porcentaje.

CHsa = Contenido de humedad seco al aire, en porcentaje.

Propiedades mecánicas

Estas propiedades son: flexión estática, compresión paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra, dureza axial (extremos) y lateral (lados), cizallaje paralelo al grano y extracción de clavos en las caras transversal, radial y tangencial. Todos los ensayos se realizaron con cinco probetas, secas aproximadamente al 12% de contenido de humedad. Las dimensiones y condiciones del ensayo fueron definidas por la norma D-198, de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM, 1999d). Para estos ensayos se utilizó una máquina universal de ensayo marca AMSLER, con una capacidad de hasta 20 toneladas, perteneciente al Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Mayor de San Andrés (La Paz, Bolivia).

Antes de iniciar el ensayo se determinó en cada una de las probetas su peso y dimensiones, luego de ensayadas las muestras fueron introducidas en un horno a 103°C, para determinar su peso seco y así poder calcular el contenido de humedad en el cual fue ensayada la muestra. Para realizar estas mediciones, se precisa de una balanza analítica con precisión de 0.01 gramos, un calibrador con una precisión de 0.01 milímetros y de un horno eléctrico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de albura y duramen

El contraste entre albura y duramen es claramente notorio en la madera aserrada, debido principalmente a la diferenciación en el color. La albura presenta un color blanco a amarillo pálido, mientras que el duramen es color café a castaño (Figura 5a). Ya en la condición seca artificialmente por medio de horno, esta diferencia es menos notoria a simple vista (Figura 5b). Aunque la literatura hace referencia a una marcada diferencia entre la madera de albura y duramen en la teca, en el caso de este estudio esta diferencia no es tan marcada (Figuras 5a y 5b); esta situación es atribuida a que la madera proviene de árboles muy jóvenes, los cuales presentan un color de duramen más claro que los que se presentan en árboles de mayor edad (Bhat, 2000) y a la decoloración por efecto del secado en horno (Basri, *et al* 2003).

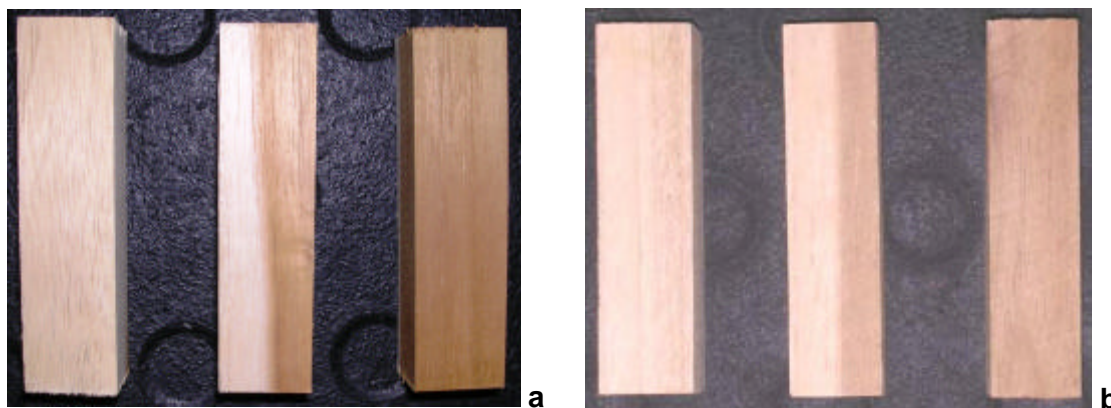


Figura 5. Color de la madera de albura y duramen de *Tectona grandis* Linn. F. en el Valle de Sacta, Cochabamba, Bolivia. **a:** Albura y duramen en madera recién cortada; **b:** Albura y duramen en madera secada en horno.

Se obtuvo un porcentaje de duramen de 27.89% (Cuadro 2). Este bajo porcentaje se debe principalmente a que los árboles son muy jóvenes y la madera aún se encuentra en proceso de maduración (Weaver, 1993).

Cuadro 2. Valores de albura y duramen en las trozas de *Tectona grandis* Linn. F. utilizadas para el muestreo de las propiedades físicas y mecánicas.

Troza	Largo (m)	Diámetro (cm)				Volumen			
		Mayor (cm)		Menor (cm)		Duramen		Albura	
		Total	Duramen	Total	Duramen	(m ³)	(%)	(m ³)	(%)
1	2.5	24	14	18	11	0.03	35.43	0.06	64.57
2	2.5	21	11	19	9	0.02	25.00	0.06	75.00
3	2.5	23	12	16	9	0.02	28.99	0.05	71.01
4	2.4	20	10	17	8	0.02	23.67	0.05	76.33
5	2.5	23	11	14	8	0.02	26.37	0.05	73.63
Promedio	2.48	22	12	17	9	0.02	27.89	0.05	72.11

Según el Cuadro 1, la plantación evaluada mide 176.4 m³/ha, de los cuales 49.2 m³/ha son de madera de duramen y 127.2 m³/ha son de madera de albura. Si se contempla un rendimiento mínimo del 50% del volumen de fuste (MDSMA, 1997) de madera aserrada con un precio de venta en el mercado local de 212 \$US/m³ para madera fina (correspondiente al duramen) y de 132 \$US/m³ como madera semi-dura (correspondiente a la albura), se tendría un valor total actual de alrededor de 26800 \$US/ha (Rivero, 2002).

En estudios de variación del porcentaje de albura y duramen de teca, se tiene que los porcentajes de estos dos tipos de madera son similares ó menores a los encontrados en el presente estudio. Víquez y Pérez (2005) citan un porcentaje de duramen de 14 a 25% en árboles de entre 7 y 8 años de edad en Costa Rica; en tanto que Moya (2001) en este mismo país, reporta una disminución del porcentaje de duramen con la altura del árbol de 40% en la base a 15% en la parte alta del árbol. También dicho autor, menciona que los árboles de 7 y 9 años presentaban un espesor de albura de 3.05 y 2.79 cm, respectivamente. Al comparar esta cifra con las obtenidas en este estudio se observa que el espesor de la albura es de entre 4 y 5 cm, siendo mayor que los reportados por Moya (2001) para Costa Rica.

Debido a que son árboles de diámetros pequeños (aproximadamente 25 cm), separar la albura del duramen para su uso diferenciado, es una tarea muy complicada y excesivamente costosa, por lo que no estaría justificada. Este aspecto tiene que ser tomado en cuenta, según el tipo de uso final que se le dé a la madera aserrada, pues sus propiedades de durabilidad pueden ser influenciadas negativamente, en caso que se use la madera a la intemperie ó en contacto directo con agentes como agua, suelo, insectos, etc. Una tasa de crecimiento muy acelerada, particularmente en las etapas tempranas de crecimiento, puede disminuir su durabilidad de manera apreciable (Weaver, 1993). Al estar mezclada la madera de albura con la de duramen en las piezas finales de madera, su característica principal, que es el color, se ve influenciada negativamente, quitándole en parte el valor decorativo que tiene esta especie. En caso de ser utilizada en aplicaciones donde se buscan sus cualidades de resistencia al ataque de hongos o insectos, el contenido de aceite natural y la resistencia natural que tiene el duramen ante estos patógenos, también se ven disminuidos (Lamprecht, 1990).

Propiedades físicas

La madera de teca presenta un peso específico básico de 0.50, que la clasifica como una madera moderadamente pesada; tiene una densidad seca al aire de 0.58 y puede ser categorizada como medianamente pesada según su densidad anhidra de 0.54 (Cuadro 3). Respecto a las propiedades relacionadas con cambios dimensionales de la madera, los valores obtenidos para las contracciones volumétrica, tangencial y radial, así como para el punto de saturación de las fibras, clasifican a la madera de teca como una madera moderadamente estable en sus dimensiones,

tanto al 0% como al 12% de contenido de humedad; con una contracción volumétrica total muy baja (8.01%) y con un punto de saturación de las fibras de 26.4%, que la clasifica como normal a bajo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Propiedades físicas de la madera de *Tectona grandis* Linn. F., creciendo en el Valle de Sacta, Cochabamba, Bolivia.

Propiedad		Prom.	Máx.	Mín.	Coef. de variación (%)	Clasificación ¹
Contenido de Humedad (C.H.) (%)		106.68	125.43	83.22	11.18	*
Densidad	al 12% de C.H (g/cm ³)	0.58	0.63	0.54	4.26	Mediana
	Anhídrica (g/cm ³)	0.54	0.60	0.50	4.56	Mediana
Peso específico	Básico **	0.50	0.55	0.46	4.80	Moderadamente pesada
	al 12% de C.H. **	0.52	0.58	0.48	4.65	Moderadamente pesada
Contracción total	Radial (%)	2.57	3.60	2.00	11.18	*
	Tangencial (%)	5.33	6.35	3.98	11.20	*
	Longitudinal (%)	0.27	0.30	0.20	17.72	*
	Volumétrica (%)	8.01	9.25	6.98	6.53	Muy baja
	T/R (%)	2.12	2.50	1.11	17.31	Moderadamente estable
Contracción normal	Radial (%)	1.28	1.63	1.20	12.08	*
	Tangencial (%)	2.91	3.31	2.43	10.25	*
	Longitudinal (%)	0.12	0.20	0.10	35.28	*
	Volumétrica (%)	4.35	5.05	3.77	8.01	Muy baja
	T/R (%)	2.31	2.75	1.75	13.99	Moderadamente estable
Punto de saturación de fibras	Volumétrico (%)	26.40	34.74	20.42	13.21	Normal

¹ La clasificación en los diferentes parámetros se hizo según Aróstegui (1975) para la densidad seca al aire y anhídrica; IAWA (1989) en el peso específico; Vargas (1987) en la contracción volumétrica y Gutiérrez y Silva (1999) relación de estabilidad T/R y punto de saturación de las fibras.

* Sin clasificación

** Número adimensional.

A pesar de que los valores relacionados con la densidad de esta madera, presentan coeficientes de variación inferiores al 5%, los valores relacionados con los cambios dimensionales y estabilidad presentan coeficientes de variación de entre 6 a 17%, esto puede estar asociado con la presencia de madera juvenil, cantidad de madera de albura en cada probeta y razón de secado artificial de la madera, debido a su gran influencia en las propiedades físicas de la madera (Arroyo, 1983; Kollman y Côté, 1984).

Los datos reportados en la bibliografía consultada (Cuadro 4), presentan valores de peso específico básico que oscilan entre 0.40 a 0.63 con un promedio de 0.56, siendo este valor ligeramente superior a 0.50 que fue el obtenido en el presente trabajo. No obstante, es importante hacer notar que en este estudio se utilizaron árboles con una edad inferior a 8 años. Bhat, *et al* (2001), establecieron que en árboles creciendo en La India, el periodo de formación de madera juvenil se extiende hasta 15-20 años, sugiriendo con ello que los árboles utilizados en el presente estudio están compuestos en su totalidad de madera juvenil, la cual se caracteriza por su bajo peso específico, altas contracciones y alto punto de saturación de las fibras, en relación a la madera madura (Zobel y Sprague, 1998). Los bajos resultados obtenidos en los árboles creciendo en Bolivia confirman esta afirmación, ya que solamente se encontraron propiedades físicas inferiores en una plantación de Costa Rica de 5 años de edad, la cual reporta un peso específico de 0.40

(Cuadro 4). No obstante, es de esperar que con el envejecimiento de los árboles, el peso específico aumente y las contracciones disminuyan, como sucede en todos los estudios en los cuales se determinaron estas propiedades con árboles de plantaciones forestales en Costa Rica, Panamá, Honduras y La India (Cuadro 4).

Cuadro 4. Propiedades físicas para madera de *Tectona grandis* Linn. F. en diferentes regiones del mundo.

Procedencia	Edad (años)	Peso específico básico	Contracción total (%)			Relación contracción	Punto de saturación de fibras (%)		
			Vol.	Tang.	Rad.	Tang./Rad.	Vol.	Tang.	Rad.
Bolivia	8	0.50	8.01	5.33	2.57	2.12	26.40	26.86	24.69
Costa Rica	15	0.57	6.41	7.51	3.21	2.35	21.87	26.05	21.74
	20	0.53	6.55	4.92	2.43	2.04	22.09	23.21	20.81
	25	0.57	6.09	4.14	2.17	1.93	22.11	21.90	21.28
	15 - 18	0.52	5.64	4.27	2.46	1.93	26.54	25.87	22.65
	17	0.58	6.20	3.90	2.20	1.80			
	10	0.51	6.69	4.60	3.52	1.35			
	11	0.56	9.74	5.34	3.54	1.50			
	25 - 30	0.61	5.70	5.20	2.30	2.30		23.00	22.50
	18	0.63	6.23	3.99	2.86	1.41	19.48	18.88	18.35
	5	0.4	6.00	5.00	2.00	2.50			
9	0.6	14.00	10.50	6.00	1.75				
Asia (BN)		0.55		5.80	2.50				
Honduras (PI)		0.56	5.10	4.60	2.10				
Chiriquí, Panamá	18 - 20	0.63	5.49	4.64	2.38	1.97	18.35	20.46	20.73
	23 - 25	0.61	6.67	5.90	2.62	2.25	19.67	19.93	19.59
	27 - 32	0.63	5.34	3.91	2.10	1.87	20.39	20.64	21.20
Trinidad (PI)		0.55	6.20	3.80	2.10				
India (BN)		0.57		4.00	2.20				
Burma (BN)		0.57	6.80	4.20	2.30				
Tres localidades de Kerala, India	63 ¹	0.56							
	63 ²	0.57							
	63 ³	0.57							
	63 ⁴	0.54							

(Serrano *et al*, 2000).

BN: bosque natural, PI: árboles de plantación.

Vol.: volumen, Tang.: tangencial, Rad.: radial.

1: madera juvenil de crecimiento rápido, 2: madera juvenil de crecimiento lento, 3: madera madura de crecimiento rápido, 4: Madera madura de crecimiento lento.

Propiedades mecánicas

Según los valores obtenidos en las propiedades mecánicas, se puede clasificar esta madera de la siguiente manera:

- Su módulo de ruptura (MOR) en flexión estática es de mediana resistencia (963 kg/cm²).

- El módulo de elasticidad en flexión estática es de baja resistencia (105313 kg/cm^2).
- Presenta una alta resistencia a la compresión paralela al grano (460 kg/cm^2).
- Tiene una mediana resistencia a la compresión perpendicular al grano (71 kg/cm^2).
- Según su dureza se le puede denominar como muy blanda en el sentido perpendicular (358 kg/cm^2) y como blanda en el sentido axial (415 kg/cm^2).
- El esfuerzo al cizallamiento es alto en los sentidos radial y tangencial (122 y 125 kg/cm^2).
- Tiene una resistencia a la extracción de clavos de 58 y 54 kg en los sentidos perpendicular y axial, respectivamente.

Cuadro 5. Propiedades mecánicas de la madera de *Tectona grandis* Linn. F. al 12% de contenido de humedad, creciendo en el Valle de Sacta, Cochabamba, Bolivia.

Propiedad	Unidad ¹	Prom.	Máx.	Mín.	Coef. de variación (%)	Clasific. ²
Flexión estática	MOR (kg/cm^2)	963.60	1150.00	783.45	14.38	Medio
	MOE x100 (kg/cm^2)	105313.2	123069	77346.41	17.64	Bajo
Compresión paralela al grano	MOR (kg/cm^2)	460.59	494.37	429.72	5.44	Alta
Compresión perpendicular al grano	ELP (kg/cm^2)	70.92	97.86	55.34	25.07	Mediana
Dureza	Axial (kg)	415.16	476.28	335.66	15.32	Blanda
	Perpendicular (kg)	357.60	447.93	267.62	19.80	Muy blanda
Resistencia al cizallaje	Tangencial (kg/cm^2)	125.15	144.93	101.71	15.92	Alta
	Radial (kg/cm^2)	122.65	125.05	117.65	2.53	Alta
Extracción de clavos	Axial (kg)	58.00	70.00	50.00	14.43	Alta
	Perpendicular (kg)	54.00	61.25	47.50	12.18	Alta

¹ MOR: Módulo de ruptura; MOE: Módulo de elasticidad; ELP: Esfuerzo en el límite proporcional.

² La clasificación es efectuada con el valor de la media de cada ensayo realizado, según las tablas propuestas por Gutiérrez y Silva (1999) para la flexión estática; Vargas, (1987) en compresión paralela y perpendicular al grano y resistencia al cizallaje; Kollman y Côté (1968) en dureza y NZFRI (s.f.) en la extracción de clavos.

* Sin clasificación.

** Número adimensional.

Los valores del coeficiente de variación calculados para los diferentes ensayos de propiedades mecánicas, están acordes a los presentados por UNIDO (1985).

Al hacer una comparación con los resultados obtenidos por diferentes autores, se tiene que las propiedades mecánicas de flexión estática, compresión paralela al grano y cizallaje son similares a las encontradas en otros países y diferentes edades, aún cuando fue encontrado un bajo peso específico. Por ejemplo, árboles de plantaciones de 18-20 años en Panamá, de 2-3, 9, 5 y 18 años en Costa Rica, árboles de edad no especificada en Honduras y árboles creciendo en bosques naturales de La India y Burma reportan un módulo de ruptura y un módulo de elasticidad en flexión, inferior al encontrado para Bolivia (Cuadro 5), aún cuando estas presentan un menor peso específico en la madera y el hecho de que son árboles, en muchos casos, más jóvenes que los evaluados en los anteriores estudios. Sin embargo, la propiedad mecánica de dureza se encuentra por debajo de los valores reportados en los otros estudios.

Cuadro 6. Valores promedio de propiedades mecánicas para madera de *Tectona grandis* al 12% de contenido de humedad de diferentes regiones.

Procedencia	Edad (años)	Peso específico básico	Flexión estática *		Compresión paralela (kg/cm ²)	Cortante paralelo (kg/cm ²)	Dureza	
			MOR (kg/cm)	MOE (kg/cm ²)			Axial (kg)	Lateral (kg)
Bolivia-Sacta	8	0.50	938.43	113.584.97	460.59	125.15	415.16	357.60
Costa Rica	15	0.57	1.015.52	122.181.35	491.32	152.91	569.24	535.40
	20	0.53	935.87	115.404.25	491.78	156.14	606.25	576.65
	25	0.57	984.76	121.042.75	546.39	152.63	563.64	562.67
	15 - 18	0.52	932.79	123.051.03	447.95	153.98	445.11	381.40
	17	0.58	991.00	112.000.00	492.00	123.00	543.00	661.00
	25 - 30	0.61	1.190.00	151.000.00	552.00	121.00	515.00	557.00
	18	0.63	930.50	102.124.43	423.04	110.85	678.84	698.83
	5	0.4	906.75		415.00	106.94		434.03
	9	0.6	989.70		452.00	137.91		476.82
2 - 3	0.57	776.12		298.52	173.46	642.83	595.01	
Asia (BN)		0.55	1.026.51	108.978.41	591.30	132.88		453.59
Honduras (PI)		0.56	935.80	97.729.00	476.00	112.50	517.00	503.40
Panamá	18 - 20	0.63	775.72	110.402.39	512.83	194.04	620.78	644.12
	23 - 25	0.61	1.064.91	129.421.95	586.73	177.43	581.03	605.97
	27 - 32	0.63	917.80	111.899.95	527.45	178.09	542.41	582.53
Trinidad (PI)		0.55	1.115.00	110.806.00	604.65		153.40	157.40
India (BN)		0.57	898.50	111.790.00	499.90	104.06		467.12
Burma		0.57	930.89	104.760.00	471.80	97.00	430.80	489.80
Tres localidades de Kerala, India	63 ¹	0.56	983.00	125.950.00	450.00			
	63 ²	0.57	1.140.00	144.600.00	540.00			
	63 ³	0.57	1.242.00	157.460.00	470.00			
	63 ⁴	0.54	1.346.00	162.200.00	530.00			

(Serrano *et al*, 2000).

BN: bosque natural, PI: árboles de plantación.

MOR: Módulo de ruptura; MOE: Módulo de elasticidad; ELP: Esfuerzo en el límite proporcional.

1: madera juvenil de crecimiento rápido, 2: madera juvenil de crecimiento lento, 3: madera madura de crecimiento rápido, 4: madera madura de crecimiento lento.

CONCLUSIONES

El porcentaje de madera de albura es muy elevado, puesto que supera el 70% del volumen total de las trozas. Este aspecto tiene que ser tomado en cuenta según el tipo de uso final que se le da a la madera aserrada.

De acuerdo al peso específico básico obtenido, la madera de los árboles de teca de 8 años de edad creciendo en el Valle de Sacta se clasifica como moderadamente pesada. Las propiedades relacionadas con cambios dimensionales de la madera, los valores obtenidos para las contracciones volumétrica, tangencial y radial, así como para el punto de saturación de las fibras, la clasifican como moderadamente estable dimensionalmente; con una contracción volumétrica total muy baja.

Según las propiedades mecánicas obtenidas, se puede clasificar a esta madera de la siguiente manera: su módulo de ruptura (MOR) en flexión estática es mediano; el módulo de elasticidad en flexión estática es bajo; tiene una alta resistencia a la compresión paralela al grano; tiene una mediana resistencia a la compresión perpendicular al grano; según su dureza se le puede denominar como muy blanda en los sentidos tangencial y radial, y como blanda en el sentido axial; el esfuerzo al cizallamiento es alto en los sentido radial y tangencial y tienen una resistencia a la extracción de clavos alta en los tres sentidos.

Los valores de densidad al 12% de contenido de humedad y peso específico básico determinado para la madera de teca, son inferiores a los reportados en la literatura con madera de otras procedencias y edades, mientras que el valor obtenido para la densidad verde es superior, debido a un mayor contenido de humedad. En el caso de las propiedades mecánicas estudiadas, los resultados comparados con la literatura citada son similares para la flexión estática y para la compresión paralela, mientras que son menores para la dureza y el cizallaje.

En términos generales, se puede concluir que la madera de teca, de ocho años de edad, proveniente de plantaciones experimentales del Valle de Sacta (Cochabamba, Bolivia), presenta propiedades físico-mecánicas ligeramente inferiores a las reportadas por otros autores en diferentes países, lo cual permite inferir que a esta madera no se le podrían dar los mismos usos que los señalados en la bibliografía; es conveniente hacer más estudios cuando la plantación tenga mayor edad. Así también, cabe resaltar que los resultados obtenidos aplican principalmente para la zona Valle del Sacta del Subtrópico de Cochabamba y las condiciones de plantación y manejo anteriormente estudiadas, ya que la cantidad de duramen y las propiedades físicas pueden ver afectadas por otras condiciones, como clima, suelo y manejo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aróstegui, A. 1975. Estudio tecnológico de maderas del Perú. Características tecnológicas y usos de la madera de 40 especies del Bosque Nacional Alexander von Humboldt, Lima, PE, Universidad Nacional Agraria / Ministerio de Agricultura. Vol. 3, 184 p.
- Arreola, M. 1980. Algunos aspectos de la protección forestal en el campo experimental forestal "El Tormento". Ciencia Forestal 5(24):49-58.
- Arroyo, J. 1983. Propiedades físico-mecánicas de la madera. Mérida, VE, Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. 197 p.
- ASTM (American Society for Testing and Materials, US). 1999a. Standard practice for sampling forest trees for determination of clear wood properties. Standard test methods for direct moisture content measurement of wood and wood-base materials. ANSI/ASTM D-5536-99. Pennsylvania, US, ASTM. Vol. 04-10. 15 p. (Revised 1992).

- _____. 1999b. Standard test methods for direct moisture content measurement of wood and wood-base materials. ANSI/ASTM D-143-94. Pennsylvania, US, ASTM. Vol. 04-10. 15 p. (Reproved 1992).
- _____. 1999c. Test methods for specific gravity of wood and wood-base materials. ANSI/ASTM D-2395-93. Pennsylvania, US, ASTM. Vol. 04-10. 15 p. (Reproved 1993).
- _____. 1999d. Standard methods of: small clear specimens of timber. ANSI/ASTM D-143-94. Pennsylvania, US, ASTM. Vol. 04-10. 31 p. (Reproved 2000).
- Basri, E; Rohadi, D; Priadi, T; Wahyudi, I. 2003. The alleviation of discoloration in Teak (*Tectona grandis*) wood through drying and chemical treatments. In International IUFRO Wood Drying Conference. (8th, Brasov, RO). Proceedings. Bogor, ID, Forest Products Technology Research and Development Center. p. 319-323.
- 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.
- Devato, F. 1942. La teca. Mundo Maderero 3(25):5-7.
- FAO (Food and Agriculture Organization, IT). 2006. Country Profiles. (en línea). Consultado 01 set- 2006. Disponible en http://www.fao.org/forestry/o/country/nav_world.jsp?lang_id=3
- Gutiérrez, VH; Silva, J. 1999. Información técnica para el procesamiento industrial de 134 especies maderables de Bolivia. La Paz, BO, FAO – PAFBOL. Serie Técnica No. 12:372 p. (Proyecto de Apoyo a la Coordinación e Implementación del Plan de Acción Forestal para Bolivia).
- IAWA (International Association of Wood Anatomists, NL), 1989. List of microscopic features for hardwood identification. Repr. IAWA Journal 10:219-332.
- Kaosa-Ard, A. 1998. Overview of problems in teak plantation establishment. In Teak of the future. Regional Seminar on teak, (2nd. Yangon, MM). Proceedings. Eds. M. Kashio; K. White. Yangon, MM, RAP PUBLICATION 1998/5, TEAKNET Publication No.1. p.irr.
- Kollman, F; Côté, W. 1968. Principles of wood science and technology. Munich, DE. Springer-Verlag Vol.2 Solid wood. 592 p. (Reprinted 1984).
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Eschborn, DE, Instituto de Silvicultura de la Universidad de Göttingen. 250 p. (Cooperación Técnica Alemana).
- Macías, M. 1993. Estudio de suelos: Fundo de la Universidad Mayor de San Simón Valle Sacta. Cochabamba, BO, Programa de Desarrollo Alternativo Regional, Dpto. Planificación y Proyectos. 53 p.
- MDSMA (Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, BO), 1997. Norma técnica sobre programa de abastecimiento y procesamiento de materia prima. La Paz, BO, BOLFOR. 45 p.
- Moya, R. 2001. Características de la madera de Teca (*Tectona grandis*) de 5, 7 y 9 años de edad creciendo en el Atlántico de Costa Rica. In Congreso Forestal Centroamericano (4^{to}, Managua, NI). Resúmenes de ponencias, Managua, NI. p.130.
- Notes on the growing of teak (*Tectona grandis* Linn) in Trinidad. 1938. British West Indies, TT, Forest Department Leaflet No.7:14 p.
- NZFRI (New Zealand Forest Research Institute). s.f. A comparative study of New Zealand pine and selected South East Asian species. Rotorua, NZ. 24 p.



- Programa Forestal. 2001. Programa forestal para el trópico de Cochabamba. Cochabamba, BO, Prefectura del Departamento. s.p.
- Rivero, J. 2002. Recolección de información de precios referenciales de madera simplemente aserrada. Cochabamba, BO, BOLFOR. 50 p. (Informe de consultoría).
- Serrano, R; Canessa, R; Córdoba, R; Sáenz, M. 2000. Evaluación de características y propiedades tecnológicas para la madera de teca (*Tectona grandis*) de plantación. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal, Centro en Investigación Bosque Industria. Proyecto: Melina y Teca. Informe Técnico No.4, 193 p. (Determinación de las propiedades básicas para determinar posibles usos industriales).
- UNIDO (United Nations Industrial Development Organization, AU). 1985. Timber engineering for developing countries: Part 1, Introduction to wood and timber engineering. p. 73.
- Vargas, J. 1987. Anatomía y tecnología de la madera. Manual del Técnico Forestal. Cochabamba, BO, Escuela Técnica Superior Forestal - Cooperación Técnica Alemana. 119 p.
- Vargas, J; López, R; Quezada, H. 2003. Cultivo de teca (*Tectona grandis* L.F.) en el Valle de Sacta. In Reunión Nacional sobre Investigaciones forestales. (2da, Cochabamba, BO). Cochabamba, BO, BOLFOR; Fundación CETEFOR; Escuela de Ciencias Forestales. p.78.
- Viquez, E; Pérez, D. 2005. Effect of pruning on tree growth, yield, and wood properties of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Silva Fennica* 39(3):381–390.
- Weaver, P. 1993. *Tectona grandis* L.f. Teak. New Orleans, US, Department of Agriculture. Forest Service, Southern Forest Experiment Station. SO-ITF-SM-64. 18 p.
- Zobel, B; Sprague, JR. 1998. Juvenile wood. New York, US, Spring-Verlag. 363 p.