

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Ensayos de trabajabilidad de *Tectona grandis* L.f. de 11 años de edad proveniente de dos sitios de crecimiento en plantaciones del Atlántico y el Pacífico de Costa Rica

José Rafael Serrano Montero¹
Roy Eduardo Rodríguez Lizano²

Resumen

En este artículo se presentan los resultados de ensayos comparativos de trabajabilidad de la madera de teca (*Tectona grandis* L.f.) procedente de plantaciones forestales de 11 años de edad de dos regiones geográficas de Costa Rica (Atlántica y Pacífica). Tanto en la región Atlántica (Pococí) como en la región Pacífica (Parrita), se seleccionaron dos sitios, uno de mayor crecimiento (Sitio 1) y otro de menor crecimiento (Sitio 2). Los ensayos incluyeron cepillado, lijado, taladrado y torneado. Se utilizó la norma ASTM-D-1666-87, con modificaciones para ensayos con maderas tropicales, conocida como "Norma de trabajabilidad del acuerdo de Cartagena". Por procedencia, el porcentaje de área libre de defectos (ALD) promedio en cepillado de la región Atlántica fue significativamente mayor que la región Pacífica. El ALD tiende a ser mayor para la calidad del sitio 2, independientemente de la procedencia. El ALD del plano de corte tangencial fue significativamente mayor que del plano radial. En los ensayos de lijado, se determinó que la temperatura generada fue significativamente mayor para piezas procedentes del Pacífico en comparación con las del Atlántico. Al evaluar el espesor de viruta en taladrado, se encontró un valor significativamente mayor para el sitio 2 respecto al sitio 1 del Pacífico. En torneado no se presentaron diferencias significativas por procedencias o sitios. En general, la teca evaluada se consideró de fácil a moderadamente fácil de cepillar; de fácil a moderadamente fácil de desbastar en lijado; con regulares a buenas características de taladrado y de buenas a muy buenas propiedades para torneado.

Palabras clave: Trabajabilidad, Madera teca, *Tectona grandis*, Cepillado, Lijado, Taladrado, Torneado, Costa Rica.

Abstract

Comparative machining tests of 11 years old teak (*Tectona grandis* L.f.) from two geographic regions of Costa Rica (Atlantic and Pacific) are presented in this article. Two different plantation growing sites from both regions were selected; one fast growing (site 1) and one slow growing (site 2). Machining properties included; planing, sanding, boring and turning. Testing procedures of the American Society for Testing and Materials ASTM-D-1666-87, with modifications proposed for tests of tropical woods were used. According to teak provenance, the mean percentage of area free of defects

¹ Instituto Tecnológico de Costa Rica. jserrano@itcr.ac.cr

² Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones. roy.rodriguez@sinac.go.cr

(ALD) from the Atlantic was significantly greater than from the Pacific. ALD tends to be greater for site 2 (fast growing) independently of provenance. ADL for the tangential plane was significantly higher than the radial one. The effect of provenance over the temperature after sanding showed a value significantly larger for the pieces from the Pacific in comparison to the pieces from the Atlantic. When chip thickness after boring was evaluated separately by provenance, a significantly larger value was found for site 2 with respect to site 1 from the Pacific. The turning operation did not present significant differences either by provenance or site. In general, machining characteristics of the teak lumber indicate that this wood is easy to moderately easy to plane and it is easy to moderately easy to sand. Beside, this teak lumber has regular to good boring characteristics and it has well to very good turning properties.

Key words: Machining, Teak lumber, *Tectona grandis*, Planing, Sanding, Boring, Turning, Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

El entendimiento de las características de trabajabilidad de las maderas, permitirá conocer la calidad superficial que se obtendrá en las operaciones de maquinado (Serrano, 2000). Es importante considerar factores propios de la madera, como la dureza, la orientación del grano y la abrasividad, así como variables de trabajo tales como ángulo de corte, velocidad de corte y de avance, planos de corte, espesor de viruta, profundidad de corte y condición del filo, etc. También es relevante conocer diferencias de trabajabilidad de la madera de acuerdo a la edad de la madera, las procedencias y sitios de crecimiento, que permitan determinar el efecto de dichos factores en las operaciones de labrado. Por ejemplo, la madera de teca presenta una alta abrasividad que repercute directamente en un mayor desgaste de los filos de las herramientas de corte (Longwood, 1961; Altuve, 1987; Canessa *et al*, 2002). En el plano de corte radial, generalmente se presenta una menor área libre de defectos, dado que se tienen expuestos los radios (parénquima) y por lo tanto se dan mayores puntos de falla (Serrano, 2000).

En la industria de la ebanistería, usualmente se exige que un mueble de alta calidad presente una superficie sumamente plana y lisa. Este requerimiento influye de forma significativa en la calidad de tratamientos y acabados finales que se le apliquen al producto (Sáenz, 2001).

En estudios sobre las características de cepillado con teca (*Tectona grandis* L.f.) de raleos en Costa Rica con edades entre 3 y 12 años, el defecto predominante fue el grano arrancado asociado a los nudos (Mitchell, 1998), similares resultados han sido reportados en Venezuela (Altuve, 1987). En un estudio con teca con edades entre 15 y 32 años se reportaron como defectos predominantes el grano arrancado y rugoso; este último defecto está asociado, principalmente, con una mayor edad de la madera y la porosidad semicircular de la teca (Canessa *et al*, 2002). En varios estudios se indica que la madera de teca es de fácil a moderadamente fácil de cepillar (Longwood, 1961; Altuve, 1987; Mitchell, 1998).

En ensayos de lijado, se ha determinado que la teca es de fácil a moderadamente fácil de desbastar por remoción (Canessa *et al*, 2002), no obstante, Longwood (1961) indica que la teca presenta una mala calidad superficial de lijado, debido a la presencia de ralladuras, por lo que recomienda granos abrasivos muy finos para poder eliminar dicho defecto. En otros ensayos, la teca presentó buenos resultados para la operación de taladrado y buenas características para el torneado (Canessa *et al*, 2002).

Como se ha indicado, en el procesamiento de la madera existen diversas variables que deben considerarse para lograr una optimización de las operaciones de trabajabilidad. Con base en el estudio de dichas variables, es posible recomendar la combinación apropiada de parámetros para el adecuado proceso de la madera (Leandro y Serrano, 2004). También, en el caso particular de la teca creciendo en las regiones Atlántica de Costa Rica y Pacífica de Panamá, se determinó preliminarmente que existen diferencias marcadas en el comportamiento en trabajabilidad y otras propiedades de teca con edades entre 15 y 32 años (Canessa *et al*,

2002). Por lo tanto, el presente estudio tiene como propósito realizar un análisis comparativo de las características de trabajabilidad de la madera de teca, de una edad intermedia del ciclo de rotación (11 años), procedente de dos regiones de Costa Rica (Pacífica y Atlántica), y de dos sitios de crecimiento diferentes por región. Esto para determinar posibles diferencias en operaciones de cepillado, lijado, taladrado y torneado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Regiones y descripción de los sitios

Para el presente estudio se seleccionaron dos fincas forestales que representan regiones y zonas de vida diferenciadas, a saber, bosque muy húmedo tropical (BMHT) y bosque húmedo tropical (BHT) de acuerdo con Holdridge (1982) y Bolaños *et al* (1999). La primera se encuentra situada en el distrito La Rita, cantón Pococí, provincia de Limón y representa la región Atlántica Norte de Costa Rica. La segunda procedencia se ubica en el distrito Parrita, cantón Parrita, provincia de Puntarenas, y representa la región del Pacífico Central de Costa Rica.

Tanto en la región Atlántica (Pococí) como en la región Pacífica (Parrita), se seleccionaron dos sitios, uno de mayor crecimiento (Sitio 1) y el otro de menor crecimiento (Sitio 2) (Jiménez y Corrales, 2004; Lujan y Corrales, 2004). La selección se basó en el análisis de datos de los diámetros y alturas presentadas por los árboles (Berrocal *et al*, 2006). Un resumen de dicha información se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Resumen comparativo de los diámetros a la altura del pecho (d), las alturas totales (h) y comerciales de los árboles de dos sitios en Pococí y Parrita, Costa Rica.

Variable y estadísticos	Lugar			
	Pococí (Zona Atlántica)		Parrita (Pacífico Central)	
	Sitio		Sitio	
	1	2	1	2
Número de árboles medidos (N)	20	20	23	38
Diámetro a la altura del pecho promedio (cm)	36.9	25.9	31.0	19.4
Desviación estándar (cm)	4.13	4.13	3.01	2.13
Coefficiente de variación (%)	11.2	16.0	9.7	11.0
Altura total promedio (m)	22.8	20.9	24.7	19.0
Desviación estándar (cm)	1.05	1.34	1.76	1.04
Coefficiente de variación (%)	4.6	6.4	7.1	5.5
Altura comercial promedio (m)	14.3	12.6	16.2	11.8
Desviación estándar (cm)	1.1	1.6	1.9	1.4
Coefficiente de variación (%)	8.0	12.4	11.9	11.7

El sitio 1 del Pacífico se ubicó cerca de la quebrada Jicote, finca propiedad del Sr. Carlos Monge manejada por la empresa Brinkman y Asociados Reforestadores de Centro América, S.A. (Barca S.A.). Es un terreno aluvial profundo, de topografía plana, con buen drenaje natural y de textura franco arenosa. El sitio 2, se situó cerca del aserradero propiedad de los señores Von Boos (Finca Von Boos) manejada por Barca S.A. Es un terreno pedregoso, formado por pequeñas colinas, con buen drenaje natural (Corrales Solís, 2006). Estos sitios se ubican en el cantón de Parrita, provincia de Puntarenas, entre las coordenadas N09°00' – N9°50' y O83° 30' – O84°50'. Los mismos presentan una precipitación media al año de 3630 mm y temperatura entre los 22 y 32°C, con estación seca bien definida entre los meses de diciembre a marzo, permitiendo que los sitios presenten déficit hídrico durante ese periodo.

Los sitios seleccionados de la región Atlántica, se encuentran localizados en una finca forestal propiedad de la Corporación Buen Precio S.A., situada en La Rita, cantón de Pococí, provincia

de Limón. Es un lugar de topografía plana, drenado mediante canales, con suelos profundos, de textura franco arenosa-arcillosa (Corrales Durán, 2006). La ubicación corresponde a las coordenadas N10°15' – N10°50' y O83°15' – O83°60' y presenta una precipitación media anual de 4000 mm y una temperatura que oscila entre 20 y 32°C, con disminución de la precipitación entre los meses de diciembre a abril, permitiendo que en este sitio haya un exceso de agua en el suelo durante todo el año. La escogencia del lugar donde se ubicaron las parcelas dentro de cada sitio, así como los árboles se realizó al azar. Cada uno de los sitios se dividió en dos parcelas de 500 m², con el propósito de seleccionar y medir los árboles representativos de cada sitio. Detalles adicionales de las parcelas y de los árboles pueden ser consultados en Berrocal *et al* (2006).

Los ensayos de trabajabilidad efectuados fueron: cepillado, lijado, taladrado y torneado. La madera utilizada para los ensayos se seleccionó en forma aleatoria dentro de los árboles. Las probetas utilizadas se acondicionaron a un contenido de humedad del 12%. Seguidamente se describe brevemente la metodología de los cuatro ensayos (Rodríguez, 2006). Se utilizó como base la norma de la "American Society for Testing and Materials ASTM-D-1666-87; Standard methods of conducting machining test of wood and wood-base materials" (ASTM, 1999), con modificaciones propuestas para efectos de ensayos de maderas tropicales conocida como "Norma de trabajabilidad del acuerdo de Cartagena" (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1976).

Ensayo de cepillado

Para este ensayo se utilizó una cepilladora molduradora, marca Weinig, modelo Profimat 22 N, con las funciones de cepillado, moldurado y machihembrado. Las dimensiones de las probetas utilizadas fue de 2.18 x 2.51 x 104.9 cm. Para este ensayo se utilizó un ángulo de corte de 10° con cuchilla de HSS de doble bisel; y de 30° con cuchillas de carburo de tungsteno. Además se trabajó con dos velocidades de alimentación o avance de la madera: 6 y 12 metros por minuto.

Después de cada pasada de cepillado (profundidad de corte de 1.5 mm), se calificaron los defectos midiendo el área que representa cada uno de los mismos: grano arrancado (GA), grano rugoso (GR) y grano vellosa (GV) en tres diferentes grados: grado 1 (leve), grado 2 (moderado), grado 3 (severo). Se utilizó una cuadrícula (con cuadrados de 1 cm²) para determinar el área cubierta por cada defecto.

En el modelo experimental (factorial cruzado) de cepillado se evaluaron los efectos de los siguientes factores: procedencia (Pacífica y Atlántica); calidad de sitio (mayor crecimiento y menor crecimiento), plano de corte (tangencial y radial); ángulo de corte (10 y 30 grados); velocidad de avance de la madera (6 y 12 m/min), se probaron 32 condiciones (experimentos). Se cuantificaron 3 defectos de cepillado (grano arrancado, vellosa y rugoso) y por diferencia se obtuvo el área libre de defectos para un total de 736 datos.

Ensayo de lijado

Para el ensayo de lijado se utilizaron las mismas probetas del cepillado y se utilizó una lijadora de banda ancha de dos cabezas (Marca SCM, modelo Sandya), con una velocidad de la lija de 16 m/seg y una velocidad de avance de 4.5 m/min. Se utilizó lija de óxido de aluminio N°80 y N°100 en cada pasada (la lijadora tiene las dos bandas integradas en cada pasada). El ensayo consiste en medir la temperatura que se genera en la operación, para lo cual se utilizó un medidor de temperatura del tipo láser (Marca: Raytec, modelo Raynger ST). La medición de la temperatura se realizó en tres puntos de la pieza conforme esta salía de la lijadora.

En el modelo experimental de lijado se evaluaron los efectos de los siguientes factores: procedencia (Pacífica y Atlántica); calidad de sitio (mayor crecimiento y menor crecimiento) y plano de corte (tangencial y radial), con lo cual se probaron 8 experimentos. Se midió la temperatura generada (variable de respuesta) para un total de 46 datos.

Ensayo de taladrado

Para el ensayo de taladrado se elaboraron probetas de 1.55 x 6.5 x 30 cm, orientadas en los dos planos (radial y tangencial) para cada procedencia y calidad de sitio.

Se utilizó un taladro de columna de 38.1 cm (15") de capacidad, y se utilizó una broca de 1.9 cm (3/4" pulgada) de diámetro. Esta broca tiene dos hélices. Se ensayó con 500 rpm y con una carga de 11 kg y se midió el tiempo requerido para perforar el espesor (1.55 cm) de la probeta. El ensayo consiste en determinar el espesor de viruta.

En el modelo experimental de taladrado se evaluaron los efectos de los siguientes factores: procedencia (Pacífica y Atlántica); calidad de sitio (mayor crecimiento y menor crecimiento) y plano de corte (tangencial y radial) con lo cual se ensayaron 8 experimentos. Se determinó el espesor de viruta en milímetros para un total de 46 datos.

Ensayo de torneado

Para este ensayo se utilizaron probetas con las dimensiones de 2 x 2 x 12.5 cm. Se utilizó un torno manual a una velocidad de giro constante de 2500 rpm. Se utilizó una gubia de 2 cm (lado cóncavo) y curvatura de filo de 1 cm de radio con afilado en el lado convexo con un ángulo de hierro de 30° y se hicieron cortes a un ángulo fijo de 15°, utilizando una guía portaherramientas.

Se efectuaron determinaciones de corte para observaciones paralelas al grano. Se evaluaron cinco grados asociados a una calificación, considerando los defectos de grano arrancado y la vellosidad en el fondo paralelo a las fibras.

En el modelo experimental de torneado se evaluaron los efectos de los siguientes factores: procedencia (Pacífica y Atlántica); calidad de sitio (mayor crecimiento y menor crecimiento) con lo cual se probaron cuatro condiciones con 10 repeticiones por condición. Se calificó cada probeta (variable de respuesta) para un total de 40 datos.

El procesamiento de los datos de los ensayos de trabajabilidad se realizó con el programa de análisis estadístico MINITAB® (Minitab, 1996).

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Ensayo de cepillado

En el cuadro 2 se presenta un resumen de los defectos de cepillado de la madera de teca por procedencias y calidad de sitios. Se observa que el área libre de defectos (ALD) promedio de la región Pacífica estuvo entre 86.94% y 88.83% y no se presentaron diferencias significativas de acuerdo con los sitios (1 y 2). Igualmente, el ALD promedio de la región Atlántica fue entre 90.32% y 92.78%, y tampoco se presentaron diferencias significativas de acuerdo con los sitios. En dicho cuadro se muestran también los porcentajes de los defectos de grano arrancado, grano vellosos y grano rugoso.

Cuadro 2. Resumen de características de cepillado para la madera de teca y diferencias significativas por calidad de sitio y procedencia.

Procedencia y variables	Promedio por calidad de sitio (%)		Valor p^*
	Sitio		
	1	2	
Pacífica			
Grano arrancado	4.91	6.07	0.417
Grano velloso	2.57	0.86	0.051
Grano rugoso	7.10	4.24	0.17
Área libre de defectos	85.42	88.83	0.464
Atlántica			
Grano arrancado	6.42	3.95	0.210
Grano velloso	0.86	0.98	0.832
Grano rugoso	2.40	2.29	0.907
Área libre de defectos	90.32	92.78	0.313

*Estadístico que permite determinar diferencias significativas en los valores promedios. Ningún valor presenta diferencia significativa.

En el cuadro 3 se presenta una valoración en términos porcentuales del grado de severidad mostrado en los defectos de grano arrancado, velloso y rugoso de la madera de teca. Este cuadro presenta el grado de severidad de los defectos de cepillado (leve, moderado y severo), la información es un promedio para ambas procedencias. En general se puede observar que los porcentajes de dichos defectos son relativamente bajos y de grado leve. Los defectos con mayores magnitudes fueron el grano rugoso y el grano arrancado.

Cuadro 3. Porcentaje promedio de la severidad para ambas procedencias de los defectos manifestados en el ensayo de cepillado para la madera de teca.

Tipo de defecto	Grado		
	1 (leve)	2 (moderado)	3 (severo)
Grano velloso	1.14	0.19	0
Grano arrancado	2.94	1.63	0.73
Grano rugoso	3.53	0.08	0

Estos resultados son similares a los que se presentaron en el estudio de Canessa *et al* (2002); sin embargo, los porcentajes de grano rugoso en esta referencia fueron mucho más altos. Es importante indicar que el defecto de grano rugoso es un defecto relativamente fácil de eliminar con un lijado posterior. El grano rugoso es característico de maderas con porosidad anular circular y semicircular, que es el caso de la teca (Serrano, 2000). La edad es otro factor importante, dado que este defecto tiende a presentarse en madera de teca más vieja y es poco frecuente en la madera de los primeros raleos (Mitchell, 1998).

Área libre de defectos para el modelo factorial

En la figura 1 se presenta el porcentaje de área libre de defectos (ALD) por procedencia, los valores de la procedencia Atlántica son significativamente mayores ($p=0.025$) que la Pacífica.

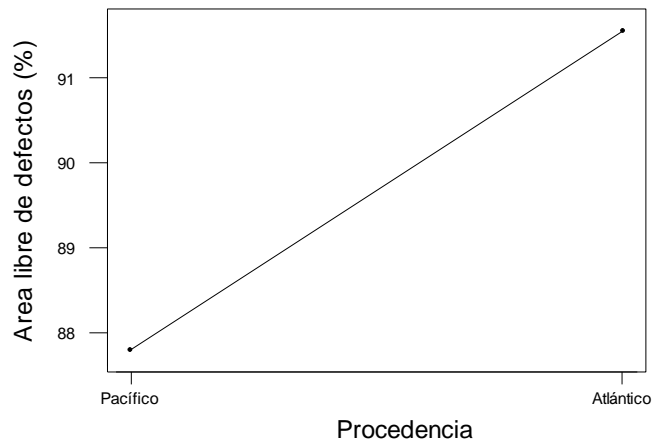


Figura 1. Efecto de la procedencia de teca sobre el área libre de defectos (%).

En la figura 2 se exhibe el ALD por plano de corte, los valores de ALD para el plano de corte tangencial son significativamente mayores ($p = 0.022$) que los del plano de corte radial.

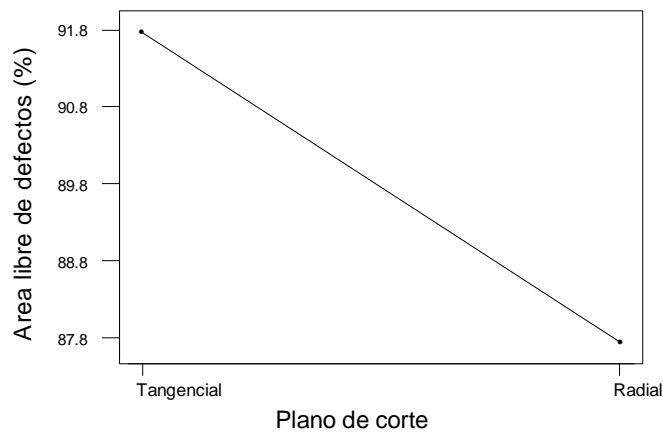


Figura 2. Efecto del plano de corte de la madera de teca sobre el área libre de defectos (%).

En la figura 3 se muestra el ALD para la interacción del sitio y la velocidad de avance, los valores de ALD para la velocidad de 6 m/min son significativamente ($p = 0.046$) mayores que para la velocidad de 12 m/min. Además los valores de ALD siempre son mayores para el sitio 2 de ambas procedencias.

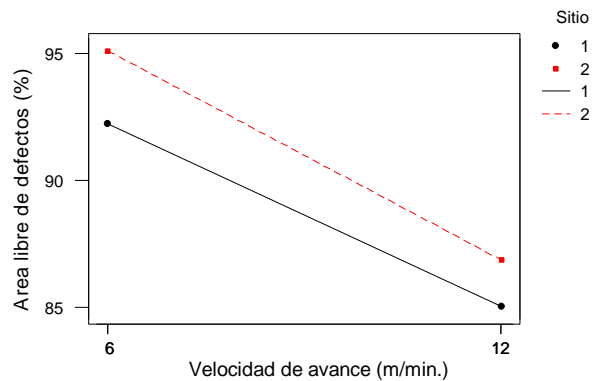


Figura 3. Efecto de la interacción entre el sitio y la velocidad de avance sobre el área libre de defectos (%) para la madera de teca.

El área libre de defectos es empleada para determinar la facilidad y calidad de cepillado de una madera en particular. El objetivo primordial de la operación de cepillado es generar una superficie limpia y plana. De acuerdo a la procedencia de la teca, el porcentaje de ALD promedio de la región Atlántica fue significativamente mayor en comparación con la del Pacífico.

Con relación al plano de corte, la investigación ha revelado que en el plano tangencial el ALD es significativamente mayor que en el plano radial. Esta conclusión es congruente con los resultados expresados por Canessa *et al* (2002). El plano de corte radial generalmente presenta un menor ALD, dado que tiene expuestos los radios (parénquima) y por lo tanto se dan mayores puntos de falla (Serrano, 2000). Consecuentemente, para los efectos de la obtención de madera de mayor calidad en cepillado, es preferible tener material de cortes tangenciales.

El efecto de la velocidad de avance en la madera de teca de 11 años respecto al ALD es significativo, pues los resultados del ensayo de cepillado muestran que a menor velocidad de avance (6 m/min) se presenta una mayor ALD. En el presente caso el ALD tiende a ser mayor para la calidad de sitio 2, independientemente de la procedencia.

Para plantaciones de madera de teca entre 10 y 20 años se determinó que el cepillado es fácil y se obtienen superficies lisas, sin embargo se requiere utilizar herramientas calzadas debido al silicio de la teca (Trockenbrondt y Josue, 1999). De acuerdo con Castro (1998), la madera de teca de 17 años se clasifica como fácil de cepillar. Similarmente, Pearson y Brown (1932) califican la madera de teca de bosque natural como fácilmente trabajable, esto no solo en cepillado sino también con herramientas manuales o con máquinas.

Grano arrancado para el modelo factorial

En la figura 4 se presenta el porcentaje de grano arrancado (GA) de acuerdo a las velocidades de avance, los valores de GA para la velocidad de 12 m/min, son significativamente mayores ($p = 0.00$) que para la velocidad de 6 m/min.

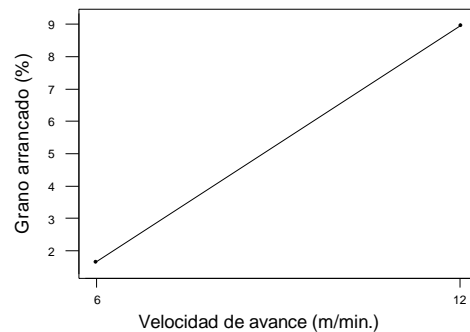


Figura 4. Efecto de la velocidad de avance de la madera de teca sobre el grano arrancado.

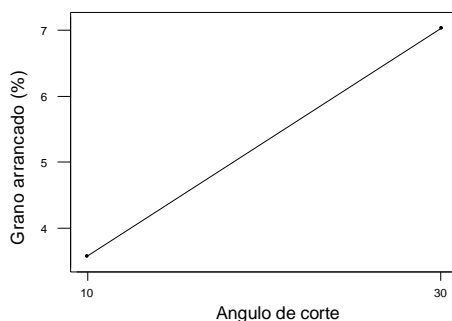


Figura 5. Efecto del ángulo de corte de la cuchilla sobre el grano arrancado (%).

En la figura 5 se presenta el porcentaje de GA de acuerdo al ángulo de corte de la cuchilla, los valores de GA para el ángulo de corte de 10 grados son significativamente menores ($p = 0.002$) que para el ángulo de corte de 30 grados.

En la figura 6 se muestra la interacción significativa de la procedencia y el plano de corte ($p = 0.011$) sobre el porcentaje de grano arrancado (GA). Se puede observar que no existe mayor diferencia en la generación de GA para el plano de corte tangencial y radial de la teca procedente del Pacífico, mientras que la teca del Atlántico tiende a presentar un mayor valor de GA para el plano de corte radial.

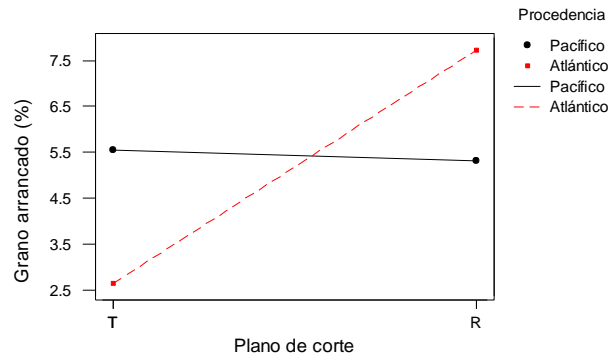


Figura 6. Efecto de la interacción de la procedencia y el plano de corte sobre el grano arrancado (%).

El ángulo de corte en los ejes portacuchillas que tienen las máquinas (cepilladoras y molduradoras) representa un factor importante que incide en la obtención de madera de una alta calidad superficial (Serrano, 2000). En el presente estudio se ha determinado que a menor ángulo de corte (10°) se obtiene menor porcentaje de grano arrancado, en comparación con el ángulo de corte de 30° . El estudio demuestra el efecto de la interacción de la procedencia y el plano de corte sobre la producción de GA, dado que para la madera procedente de la región Pacífica (en el plano tangencial y radial) prácticamente no existe diferencia, sin embargo para la madera de teca procedente de la región Atlántica en el plano radial, se incrementa este defecto en comparación con el plano de corte tangencial.

De acuerdo con Serrano (2000), la velocidad de avance de la madera y el ángulo de corte representan las variables que más influencia tienen sobre la producción de grano arrancado. La generación de GA se incrementa conforme aumente la velocidad de avance y el ángulo de corte. Sin embargo, en una línea de producción se debe encontrar un balance entre la calidad que se quiera obtener o sea un bajo porcentaje de GA y una mayor producción por hora. La presente investigación refleja que esta afirmación es congruente con lo indicado por Serrano (2000), esto por cuanto a mayor velocidad y ángulo de corte se incrementa la presencia de GA. La selección adecuada de la velocidad y ángulo de corte mejorará el balance en dicha operación.

Otro elemento a destacar en la producción de GA es el incremento del mismo en la vecindad de los nudos (debido a las inclinaciones severas de las fibras), situación común en la madera de teca juvenil que no ha recibido podas oportunas. El defecto predominante en el presente estudio fue el grano arrancado asociado a los nudos que puede alcanzar un grado máximo. Desafortunadamente, este defecto es el más difícil de eliminar en una operación posterior de lijado. Fuera de las áreas con nudos, la teca se cepilla bastante bien y solo presenta defectos ocasionales de menores magnitudes.

Ensayo de lijado

En el cuadro 4 se presentan las temperaturas en grados centígrados generadas en el ensayo de lijado por calidad de sitio (1 y 2), tanto para la región Pacífica como para la región Atlántica. Se observa que los valores promedio de temperatura del sitio 1 de la región Pacífica son significativamente superiores ($p = 0.05$) que los del sitio 2. En el caso de la región Atlántica, las diferencias de temperatura generadas por sitio no son significativas.

Cuadro 4. Resumen de temperatura de la madera de teca y diferencias significativas en lijado por calidad de sitio y procedencia.

Procedencia	Promedio de temperatura por calidad de sitio (°C)		Valor p	Diferencia significativa
	Sitio			
	1	2		
Pacífica	30.13	29.707	0.050	Si
Atlántica	29.00	29.09	0.623	No

La figura 7 muestra la temperatura por procedencia de la madera de teca, los valores de la procedencia de la región Pacífica en general son significativamente mayores ($p = 0.000$) que los de la región Atlántica.

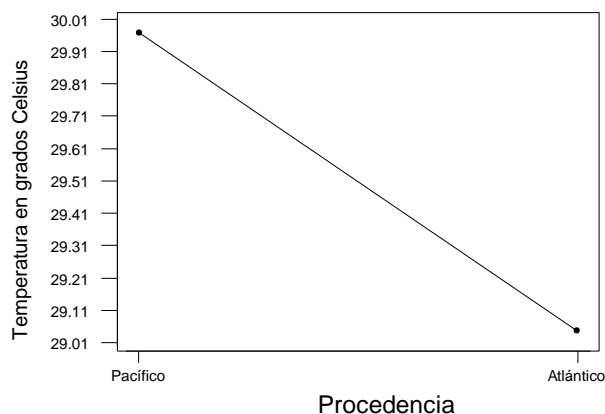


Figura 7. Efecto de la procedencia de la madera de teca sobre la temperatura de lijado.

Esta mayor temperatura en las piezas del Pacífico podría estar explicada por una mayor dureza lateral, lo cual se evidenció en otro estudio donde se obtuvieron durezas laterales significativamente menores para la teca del Atlántico en comparación con la teca del Pacífico, para edades entre 15 y 18 años (535.40 kg y 644.12 kg, respectivamente) (Canessa *et al*, 2002).

A pesar de estos resultados, la temperatura no ofrece mayores problemas dado que esta madera se considera de fácil remoción y la temperatura generada es baja (alrededor de 30°C). Esto concuerda con los resultados obtenidos en otras investigaciones (Serrano, 2000; Canessa *et al*, 2002).

Con lija N° 40 las probetas de madera de teca de siete años presentaron ralladuras en un grado cercano al 4 (regular), pero este defecto se confunde con la textura gruesa del grano. Se estima que con lijas finas de acabado superficial (granos 60, 80, 100 y 120), dichas ralladuras deben pasar desapercibidas. La teca en general presenta buenas características de lijado (Altuve, 1987). De acuerdo con Longwood (1961), para madera de teca de plantaciones de Puerto Rico (edad no especificada) se requiere una lija con abrasivos muy finos para eliminar las rayas visibles, comportamiento similar al del presente estudio. De acuerdo con Trockenbrondt y Josue (1999), la madera de teca de plantación de 10 a 20 años de edad es fácil de lijar.

Ensayo de taladrado

En el cuadro 5 se presenta el espesor de viruta generado por calidad de sitio (1 y 2), tanto para la región Atlántica como para la región Pacífica. Se puede notar que los valores promedios de espesor de viruta del sitio 1 del Pacífico son significativamente menores ($p= 0,015$) que los del sitio 2. En el caso del Atlántico las diferencias del espesor de viruta por sitio no son significativas.

Cuadro 5. Resumen del espesor de viruta de la madera de teca y diferencias significativas en taladrado por calidad de sitio y procedencia.

Procedencia	Promedio de espesor de viruta por calidad de sitio (mm)		Valor p	Diferencia significativa
	Sitio			
	1	2		
Pacífica	0.058	0.079	0.001	Si
Atlántica	0.0449	0.051	0.222	No

En la figura 8 se exhibe el espesor de viruta por plano de corte promedio para las dos procedencias, los valores del plano radial son significativamente mayores ($p= 0.03$) que los del plano tangencial.

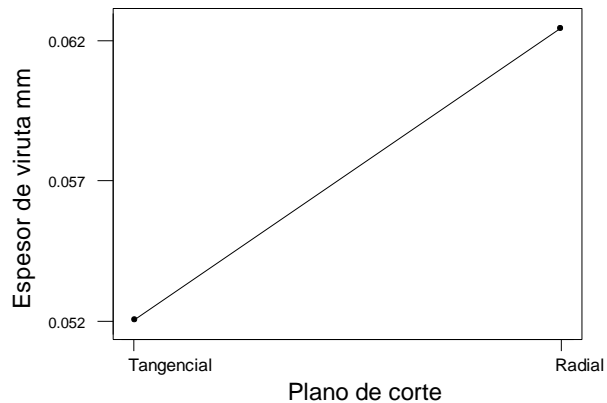


Figura 8. Efecto del plano de corte sobre el espesor de viruta en taladrado.

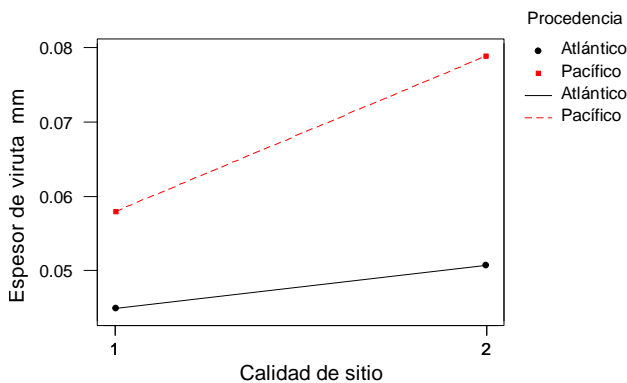


Figura 9. Efecto de la interacción de la procedencia y la calidad de sitio sobre el espesor de viruta en taladrado.

En la figura 9 se muestra una interacción significativa de la procedencia y la calidad de sitio ($p = 0,028$) sobre el espesor de viruta. Se puede observar que estos valores tienden a aumentar del sitio 1 al sitio 2 para ambas procedencias, sin embargo la procedencia de la región Pacífica presenta valores mayores que los de la región Atlántica, especialmente para el sitio 2.

El objetivo de la operación de taladrado es lograr una penetración eficiente especialmente con el tipo de broca empleada (para metal adaptada para madera).

El efecto del taladrado (espesor de viruta en milímetros) por plano de corte fue significativo; en el plano tangencial se presentó un valor significativamente menor que el obtenido en el plano radial. Desde esta perspectiva, el taladrado en el plano de corte radial será más eficiente en cuanto a la penetración (mayor espesor de viruta). De acuerdo con Castro (1998), en taladrado la madera de teca de 17 años de Abangares, Costa Rica presentó una penetración muy eficiente y calidad final buena. Longwood (1961), califica la madera de teca de plantaciones de Puerto Rico (edad no especificada) como buena en taladrado. Para plantaciones de madera de teca entre 10 y 20 años se determinó el taladrado como fácil (Trockenbrondt y Josue, 1999)

Ensayo de torneado

En el cuadro 6 se presenta la calificación (nota) obtenida por las probetas en el ensayo de torneado por calidad de sitio (1 y 2), tanto para la región Atlántica como para la región Pacífica. Se puede observar que los valores promedios de calificación del sitio 1 y del sitio 2 no son significativas en ambas procedencias.

Cuadro 6. Resumen de la calificación de la madera de teca y diferencias significativas en torneado por calidad de sitio y región.

Procedencia	Promedio de calificación de la madera por calidad de sitio (nota)		Valor <i>p</i>	Diferencia significativa
	Sitio			
	1	2		
Pacífica	85.10	83.40	0.215	No
Atlántica	85.20	86.40	0.477	No

En cuanto al torneado no se presentaron diferencias significativas respecto a la calificación de las probetas de ambas procedencias y sus respectivos sitios. Es de resaltar que dicha calificación indica que esta teca presenta buenos resultados de torneado, lo cual es congruente con lo encontrado por Canessa *et al* (2002). De acuerdo con Altuve (1987), con teca de 7 años se probaron diferentes ángulos de corte, el mejor resultó ser el de 20°, generalmente con buenas virutas y la mejor calidad. En estado verde o cercano al punto de saturación de las fibras, la teca se tornea en forma bastante aceptable y fácil. En estado seco al aire, no se puede decir que pertenezca al grupo de las buenas maderas para el torneado; esto es por razones de su abrasividad y a la vez para obtener buenas calidades de corte geoméricamente difíciles con eficiencia elevada. La teca presenta una cierta tendencia a las astilladuras y el grano arrancado. Según Trockenbrondt y Josué (1999) la teca es de fácil torneado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a la procedencia de la madera de teca, el porcentaje de área libre de defectos (ALD) en cepillado de madera de teca de la región Atlántica fue significativamente mayor en comparación a la región Pacífica. El ALD tiende a ser mayor para la calidad de sitio de menor crecimiento, independientemente de la procedencia. Con relación al plano de corte, el ALD en el plano tangencial fue significativamente mayor que en el plano radial.

El porcentaje de grano arrancado (GA), se incrementa con el ángulo de corte, a mayor ángulo de corte (30°) se obtiene mayor GA en comparación con el ángulo de corte de 10°. Se debe tener presente que el GA es el defecto más difícil de eliminar en una operación posterior de lijado. Se determinó también, que para una mayor velocidad de avance se presentan más defectos de cepillado. En particular, el incremento del GA sucede al aumentar tanto la velocidad de avance de la madera como el ángulo de corte, especialmente en la vecindad de los nudos del plano radial. La selección adecuada de la velocidad y ángulo de corte mejorará la calidad de cepillado. Para disminuir la aparición de GA, es recomendable realizar podas oportunas en las plantaciones de teca.

En los ensayos de lijado, se determinó que la temperatura generada fue significativamente mayor para piezas procedentes del Pacífico en comparación con las del Atlántico. Sin embargo, los promedios de temperatura generados en los ensayos de lijado para ambas procedencias y calidades de sitio, califican a la teca como de baja resistencia a la remoción por lijado.

En general, la teca evaluada se consideró de fácil a moderadamente fácil de cepillar; de fácil a moderadamente fácil de desbastar en lijado; con regulares a buenas características de taladrado y de buenas a muy buenas propiedades para torneado.

Finalmente, se debe indicar que la madera de teca presenta una alta abrasividad que repercute directamente en un mayor desgaste de los filos de las herramientas de corte, especialmente cuando está en condición seca, por lo que se recomienda procesar esta madera con puntas y filos reforzados con carburo de tungsteno o materiales similares.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su agradecimiento a las empresas BARCA (Brinkman y Asociados Reforestadores de Centro América, S. A.) y la Corporación Buen Precio, por el suministro de los árboles necesarios para los ensayos, la colaboración para la selección de los sitios, para la corta, extracción y transporte de las trozas utilizadas en esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Altuve, LF. 1987. Estudio exploratorio y promocional de la teca de aclareos (*Tectona grandis*). Mérida, VE, Comodato Universidad de los Andes-Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. 83 p.
- ASTM (American Society for Testing and Materials, US). 1999. Standard methods of conducting machining test of wood and wood-base materials. Designation D-1666-87; Reapproved 1999. West Conshohocken, PA, US, ASTM. 19 p.
- Berrocal, A; González, G; Moya, R; Serrano, R. 2006. Propiedades, características y utilidades de la madera de árboles jóvenes de teca (*Tectona grandis* L.f.) procedentes de plantaciones en Costa Rica. Cartago, CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, Centro de Investigación en Integración Bosque-Industria. 266 p.
- Bolaños, R; Watson, V; Tosi, J. 1999. Mapa ecológico de Costa Rica (zonas de vida). San José, CR. Centro Científico Tropical. Sistemas de información geográfica. Escala 1:750,000. 1 mapa a colores.
- Canessa, E; Córdoba, R; Sáenz, M; Serrano, R. 2002. Evaluación de características y propiedades tecnológicas para madera de teca (*Tectona grandis* L.f.) de plantación. Cartago, CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. Centro de Investigación en Integración Bosque-Industria, Ecos S.A. 189 p.
- Castro, F. 1998. Propiedades tecnológicas de la madera de teca procedente de Colorado de Abangares. Informe de Práctica de Especialidad. San José, CR, Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil. 109 p.
- Corrales Durán, E. 2006. Ubicación de la finca La Rita (correo electrónico). San José, CR, Corporación Buen Precio (ecorrales@buenprecio.com).
- Corrales Solís, J. 2006. Ubicación de la finca Quebrada Jicote y finca Von Boss (entrevista). Parrita, Puntarenas, CR, Brinkman y Asociados Reforestadores de Centro América (Barca S.A.). (Tel: 506-2779 9534).
- Holdridge, LR. 1982. Ecología basada en zonas de vida. San José, CR, IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CR). 216 p.
- Jiménez, G; Corrales, E. 2004. Establecimiento y manejo de las plantaciones muestreadas de teca de Pococí (entrevista). San José, CR, Corporación Buen Precio. (Tel: 506-2272-1111).
- Junta del Acuerdo de Cartagena. 1976. Normas y metodología para las actividades tecnológicas. Norma de trabajabilidad de la madera. Lima, PE. 41 p.
- Leandro, L; Serrano, R. 2004. Trabajabilidad de la madera de melina (*Gmelina arborea*) proveniente de plantaciones forestales de Costa Rica. Informe # 14. Proyecto FC-0011-2000. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, Centro de Investigación en Integración Bosque-Industria, Cámara Costarricense Forestal, Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Ministerio de Ciencia y Tecnología. 128 p.

- Longwood, FR. 1961. Puerto Rican woods their machining, seasoning and related characteristics. Madison, US, United States Department of Agriculture. 97 p. (Agriculture Handbook No. 205).
- Luján, R; Corrales, J. 2004. Establecimiento y manejo de las plantaciones muestreadas de teca de Parrita (entrevista). Parrita, Puntarenas, CR, Barca S.A. (Tel: 506-2779 9534).
- Minitab. 1996. User's guide. Pennsylvania, US, State College. 260 p.
- Mitchell, LA. 1998. Características de cepillado, taladrado, lijado y torneado de tres especies de plantación, de dos zonas geográficas del país y en tres ámbitos de edades. Informe de Práctica de Especialidad. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. 56 p.
- Pearson, RS; Brown, HP. 1932. Comercial timbers of India. Calcuta, IN, Central Publication Branco, Government of India. Vol.2. p 785-796 p.
- Rodríguez, R. 2006. Aspectos comparativos de la trabajabilidad de madera de teca (*Tectona grandis* L.f.) de 11 años proveniente de plantaciones forestales de las regiones Atlántica y Pacífica de Costa Rica. Tesis Lic. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. 67 p.
- Sáenz, M. 2001. Posibilidades de trabajabilidad y diseño de productos con madera de *Terminalia ivorensis*. Informe Práctica de Especialidad. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Diseño Industrial. 116 p.
- Serrano, R. 2000. Trabajabilidad de la madera. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Nacional de Aprendizaje, Núcleo de Tecnología de los Materiales, Industria de la madera y afines. 49 p.
- Trockenbrondt, M; Josue, J. 1999. Wood properties and utilization potential plantation of teak (*Tectona grandis*) in Malasia a critical review. Journal of Tropical Forest Products 5(1):58-70.