

Esfuerzos cortante y de tensión paralelos a la fibra en madera tropical de crecimiento rápido

Israel González Ahumada¹, Miguel A. Cerón Cardeña², Luis E. Solís Rodríguez³

RESUMEN

Se analiza la influencia de la desviación de la fibra en la resistencia a la tensión paralela y la orientación de los anillos de crecimiento en la resistencia al cortante paralelo de dos especies de maderas tropicales de crecimiento rápido, conocidas regionalmente como chacá (*Bursera simarouba*) y pich (*Enterolobium cyclocarpum*), con el propósito de definir criterios de aceptación de estas características en la madera para fines estructurales. Para tal efecto, se llevó a cabo un programa de pruebas con probetas pequeñas libres de defectos considerando tres ángulos de inclinación de la fibra con respecto al sentido de la carga en tensión paralela (0° , 5° y 10°), y tres niveles de orientación de los anillos de crecimiento en cortante paralelo (0° , 45° y 90°). Los valores obtenidos fueron: Contenido de Humedad (CH), Densidad básica (Db) y los Esfuerzos de ruptura en Tensión (f_t) y Cortante (f_v), respectivamente. Asimismo, se revisan los valores de resistencia a partir del análisis de diferencias de medias y se discuten los criterios de aceptación o rechazo de las hipótesis establecidas. Los resultados obtenidos confirman la significativa influencia de la desviación de la fibra en la resistencia a la tensión, así como de la orientación de los anillos de crecimiento en la resistencia al cortante. Finalmente, se comparan los resultados con los de otros investigadores y se presentan las conclusiones.

Palabras clave: cortante paralelo, tensión paralela, desviación de la fibra, orientación de los anillos de crecimiento, maderas tropicales de crecimiento rápido.

INTRODUCCIÓN

La madera es un material de origen orgánico que posee propiedades físicas y mecánicas particulares que la hacen única. Una de las principales funciones de la madera, en el tronco y las ramas del árbol vivo, es la de soporte mecánico. Por lo tanto, una vez transformada la madera en algún producto, el soporte mecánico continúa desempeñando un papel esencial en una gran cantidad de usos. Son raras las aplicaciones de la madera en donde no se tomen en consideración sus propiedades mecánicas. Así, son éstas las que determinan si la madera es un material apropiado para su uso en estructuras, muebles, vehículos, embalajes, artículos deportivos, etc.

El conocimiento de las propiedades mecánicas se puede adquirir mediante pruebas de laboratorio realizadas con equipos e instrumentos especiales. Este tipo de pruebas es apropiado para tomar en cuenta la variabilidad de la madera. Cuando se llevan a cabo se pueden utilizar métodos estándar de ensaye, ya sea con probetas pequeñas libres de defectos o con piezas de tamaño comercial con defectos, y expresar los resultados obtenidos en unidades definidas, con lo que se facilita la comparación con pruebas similares realizadas en tiempos diferentes o por personas o instituciones distintas. Otra ventaja es que con dichas pruebas es posible controlar una serie de factores que de otra manera podrían causar variaciones importantes en los

¹ Tesista de la Maestría en Construcción, FIUADY

² Profesor Investigador del Cuerpo Académico de Estructuras y Materiales, FIUADY

³ Profesor Investigador del Grupo Disciplinario de Ciencias Básicas e Ingeniería, FIUADY

resultados, como son el contenido de humedad al momento del ensaye, la orientación de la fibra respecto al sentido de la carga y otros. Los valores que se obtienen siempre son variables dada la compleja naturaleza de la madera. Por lo tanto, lo que se hace es encontrar valores promedio y determinar la dispersión de los resultados respecto a éste. Siempre se debe tener presente que existe una variación considerable entre especies y dentro de una misma especie. Con base en lo anterior, se puede decir que la capacidad de la madera para resistir cargas depende de un número de factores; tales como, la especie, el tipo, la dirección y la duración de la carga; las condiciones ambientales de humedad y temperatura; así como, la presencia o ausencia de defectos como son los nudos, la desviación de la fibra y las rajaduras, entre otros.

Es importante recalcar el origen biológico de la madera, que al igual que otros organismos, en apariencia muy parecida entre sí, exhibe una variabilidad y heterogeneidad en su estructura, lo cual se refleja de manera similar en sus propiedades mecánicas. Así, la madera puede verse como una serie de fibras tubulares o células cementadas que

constituyen la pared celular donde cada fibra está compuesta por varias cantidades de polímeros que, de manera conjunta, son las encargadas de definir sus propiedades físicas y mecánicas, por lo que la fuente de la resistencia y rigidez de la madera radica en sus fibras. Una de las razones más significativas de su respuesta mecánica radica en la orientación de sus fibras y por tal motivo puede idealizarse como un material ortotrópico (Criswell y Vanderbit, 1980), o sea que, la variación de sus propiedades en diferentes direcciones puede describirse dependiendo de un sistema tridimensional de ejes perpendiculares entre sí, tal como se indica en la figura 1, y son: el eje longitudinal (L) que se proyecta en sentido paralelo al tronco del árbol y, por lo tanto, también al eje longitudinal de las fibras de la madera. El eje tangencial (T) que corta tangencialmente los anillos de crecimiento y, el eje radial (R) que también es normal o perpendicular a los anillos de crecimiento. La resistencia mecánica de la madera depende de la dirección de la carga con respecto a los ejes o dirección de la fibra, por lo que, en rigor, sería necesario considerar tres juegos de propiedades mecánicas, uno por cada eje.

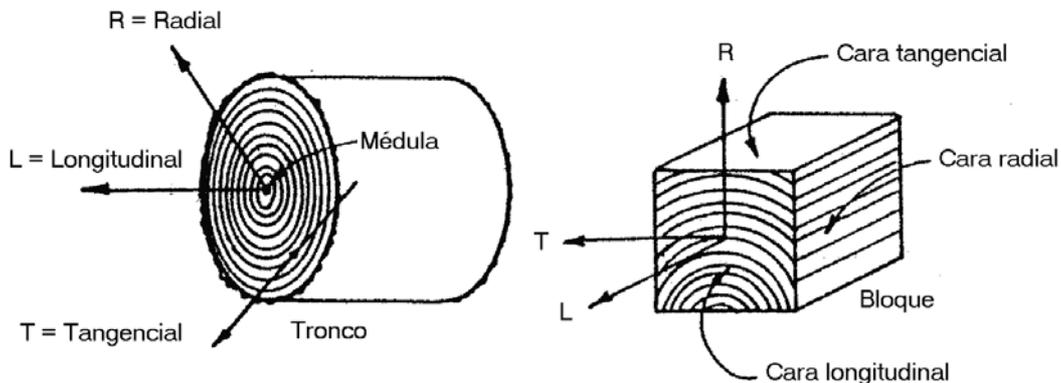


Figura 1. Ejes con respecto a la dirección de las fibras y los anillos de crecimiento

Por lo general, los esfuerzos últimos en tensión y cortante de una especie se deducen indirectamente como un porcentaje de su módulo de ruptura a flexión. Otra forma es someter probetas pequeñas de madera a pruebas destructivas a fin de obtener el esfuerzo máximo, lo cual genera, en ocasiones, un gran desperdicio de material al obtener las probetas.

Recientemente se concluyó en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán el proyecto denominado “Maderas tropicales mexicanas de crecimiento rápido para fines estructurales”; mismo

que fue financiado por Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). Los resultados que se presentan en este artículo forman parte de los estudios realizados en dicho proyecto, (González, 2003). Asimismo, en dicho proyecto se propuso el análisis de las propiedades de compresión paralela (Vargas, 2000) y cortante paralelo (García, 2002) a la fibra en madera seca de las especies denominadas regionalmente como pich y chacá.

Además, se han realizado diversas investigaciones relacionadas con los esfuerzos a cortante (Kretschmann, 1997; Liu y Ross, 1998; Riyanto y Gupta, 1996) y tensión (Antii *et. al.*, 2000; Green y Rosales, 1996) de la madera, tanto en

instituciones públicas como en privadas para madera sólida (aserrada), tablero estructural (plywood) y madera laminada (compuesta) para especies coníferas y tropicales.

Objetivo general. El objetivo de este estudio consiste en determinar la influencia de la desviación de la fibra con respecto a la dirección de la carga en la resistencia a la tensión paralela, así como la orientación de los anillos de crecimiento en la resistencia mecánica a cortante paralelo a las fibras de madera seca procedente de las especies tropicales de crecimiento rápido llamadas chacá (*Bursera simarouba*) y pich (*Enterolobium cyclocarpum*). Para tal efecto, se consideraron tres ángulos de desviación de la fibra con respecto al sentido de la carga en tensión paralela (0° , 5° y 10°) y tres niveles de orientación de los anillos de crecimiento en cortante paralelo (0° , 45° y 90°).

METODOLOGÍA

Los métodos empleados en esta investigación comprenden pruebas destructivas estandarizadas en laboratorio para probetas (especímenes) pequeñas de madera limpia (sin defectos) a fin de obtener datos confiables para determinar las propiedades físicas y mecánicas del material estudiado. Cabe aclarar que, en lo posible, las probetas no deben sufrir alteraciones en su contenido de humedad durante el análisis, por lo que se protegieron introduciéndolas en bolsas de polietileno (durante el proceso de saturación) y tela de algodón (durante el proceso de secado), y fueron sustraídas al momento de ser requeridas en las pruebas a las que fueron sometidas. De igual forma, la temperatura y humedad ambientales al momento de la prueba fueron registradas como parte específica del registro de pruebas.

Identificación de los especímenes. A cada espécimen se le asignó un código que incluía la siguiente información: especie (C = chacá y P = pich); esfuerzo (V = cortante y T = tensión); inclinación de la fibra ($00 = 0^{\circ}$, $05 = 5^{\circ}$, $10 = 10^{\circ}$ en tensión paralela y $00 = 0^{\circ}$, $45 = 45^{\circ}$, $90 = 90^{\circ}$ en cortante paralelo); número del espécimen en cuestión ($00, 01, 02$ y así hasta llegar al total del grupo). Por ejemplo: CT0510 significa que se trata de la probeta 10 con inclinación de 5° , analizada a tensión de la especie chacá; PV4511 significa que se trata de la probeta 11 con inclinación de 45° , analizada a cortante de la especie pich.

Cortante paralelo a la fibra. Se seleccionaron suficientes probetas de madera limpia (figura 2) de porciones no usadas de diversas vigas secadas al aire (condición ambiental), con sección transversal de 15×15 cm y con una longitud de 3 m, adquiridas de la línea de producción de un aserradero comercial en la ciudad de Mérida, Yucatán. Se analizaron tres diferentes direcciones del plano tangencial a los anillos de crecimiento para establecer la influencia de ellos en la resistencia a cortante. Dichos planos fueron: 0° (superficie de falla tangencial), 45° (superficie de falla diagonal) y 90° (superficie de falla radial). Para la realización de las pruebas se utilizó una prensa universal (figura 3) siguiendo las especificaciones de la *American Society for Testing and Materials* (ASTM D-143). La falla se registró en el formato establecido para la prueba. Se rechazaron las pruebas en aquellos casos en que la falla en la base de las probetas se extendió hasta la superficie de soporte. Los datos reportados fueron: código de identidad, dimensiones de la probeta y carga máxima de ruptura. La porción de la pieza que se desprendió después de la prueba se requirió para determinar el contenido de humedad de la probeta y la densidad básica.

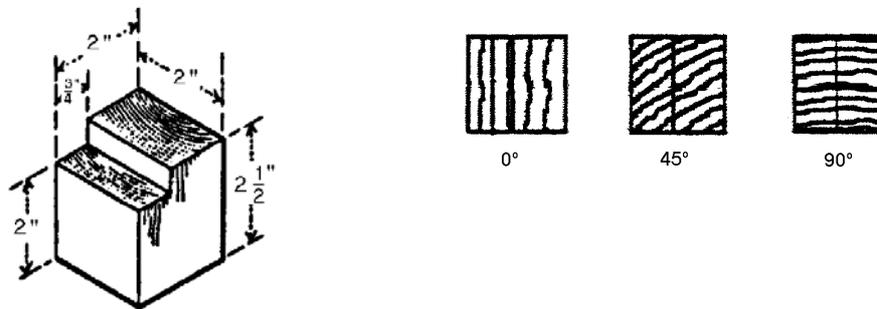


Figura 2. Probeta para cortante paralelo y direcciones analizadas

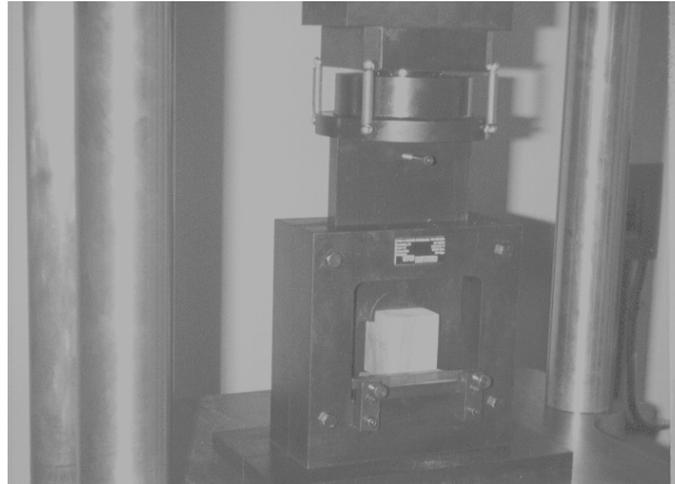
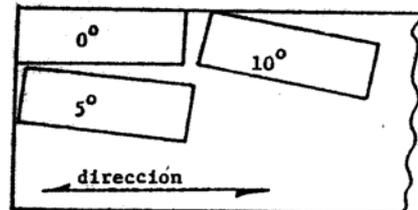
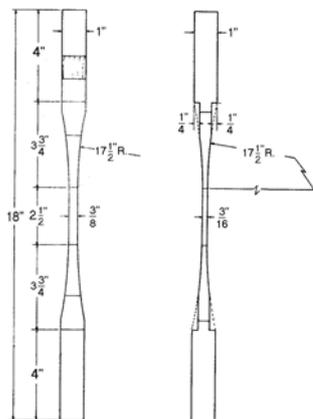


Figura 3. Prueba de cortante paralelo

Tensión paralela a la fibra. Se eligieron probetas (figura 4), siguiendo los mismos criterios de obtención y cuidado de la prueba anterior. Se analizaron tres diferentes direcciones de la fibra para establecer la influencia de ésta en la resistencia a tensión: 0°, 5° y 10°. Fueron sometidas a las pruebas destructivas de tensión paralela en la máquina universal (figura 5). Los datos reportados fueron:

código de identidad, dimensiones de la probeta y carga máxima de ruptura. Una sección de aproximadamente 3” de longitud fue cortada de la zona cercana a la falla para determinar el contenido de humedad de la probeta y la densidad básica.



Desviación de la fibra:

- 0° = 1:∞
- 5° = 1:12
- 10° = 1:6

Figura 4. Probeta para tensión paralela e inclinaciones analizadas

Densidad básica y contenido de humedad. Siguiendo las normas (ASTM D-2395, método III), primero se pesó cada espécimen para obtener su peso inicial en el aire (PIA, en g) y posteriormente se sumergieron las piezas en agua hasta su completa saturación. Una vez saturadas se midió el peso

saturado en el aire (PSA, en g) para cada una, se sumergieron en un recipiente con agua (figura 6) y se determinó el peso del lastre en el agua (PLA, en g) y de éste con el espécimen sumergidos (PSALA, en g). Después cada pieza fue secada en horno hasta lograr el peso anhidro en el aire (PAA, en g).

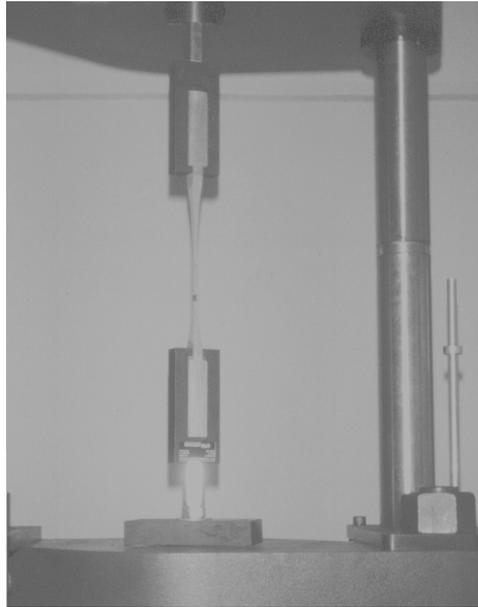


Figura 5. Prueba de tensión paralela

Densidad básica y contenido de humedad. Siguiendo las normas (ASTM D-2395, método III), primero se pesó cada espécimen para obtener su peso inicial en el aire (PIA, en g) y posteriormente se sumergieron las piezas en agua hasta su completa saturación. Una vez saturadas se midió el peso

saturado en el aire (PSA, en g) para cada una, se sumergieron en un recipiente con agua (figura 6) y se determinó el peso del lastre en el agua (PLA, en g) y de éste con el espécimen sumergidos (PSALA, en g). Después cada pieza fue secada en horno hasta lograr el peso anhidro en el aire (PAA, en g).

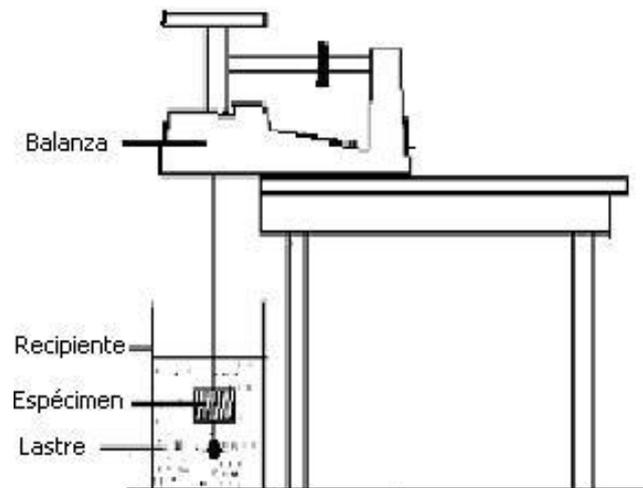


Figura 6. Pesaje del espécimen sumergido

La densidad del agua a 4^o C es conocida ($\rho_{\text{agua}} = 1 \text{ g/cm}^3$), y con los datos anteriores se obtuvo el volumen verde (VV), en cm^3 y a partir de ahí la

densidad básica (Db), en g/cm^3 . También se obtuvo el contenido de humedad inicial (CHI), en %:

$$VV = (PSA + PLA - PSALA) / \rho_{\text{agua}}$$

$$Db = PAA / VV$$

$$CHI = (PIA - PAA)100 / PAA$$

Las razones por las cuales se eligió la densidad básica como parámetro de referencia del material estudiado es porque representa las dos condiciones críticas de la madera y otra es la imposibilidad de obtener el contenido de humedad original del árbol al momento de ser obtenida.

RESULTADOS

Esfuerzos cortante y tensión paralelos. Para obtener el valor de esfuerzo (f) de cortante paralelo de una probeta se tomó el valor de la carga máxima (P), valor registrado por el equipo y el área (A) de aplicación de la carga. El esfuerzo resistente de cortante se calculó dividiendo la carga máxima actuante registrada entre el área de resistencia mediante la fórmula $f = P/A$. Los esfuerzos en cortante paralelo calculados se agruparon según la especie y la orientación de los anillos y se ajustaron a un contenido de humedad para poder obtener un esfuerzo promedio para cada grupo.

Una vez ajustados los esfuerzos se procedió a establecer el tamaño de la muestra de cada grupo (n) y se calculó el promedio (\bar{x}), valor empleado en las investigaciones, la desviación estándar o típica (σ), el coeficiente de variación ($C_v = \sigma / \bar{x}$) y el quinto percentil ($5p = \mu - 1.645\sigma$), valor empleado para estimar el valor característico de resistencia de cada grupo. Cabe aclarar que el quinto percentil considera un valor mínimo teórico de resistencia a fin de realizar cálculos con el “menor valor” o el “resultado más pesimista”.

De esta manera se procedió a calcular los valores de los esfuerzos corregidos por humedad para cortante y tensión paralelos, los cuales se expresan en las tablas 1 y 2.

Cálculo de la densidad básica. Mediante cálculos similares se obtuvieron las densidades básicas de cada especie, los cuales se expresan en la tabla 3

Tabla 1. Esfuerzos de cortante paralelo (kg/cm²)

Grupo	Especie	Dirección	n	\bar{x}	σ	C_v	5p
CV00	Chacá	0	25	65.81	10.17	0.15	49.08
CV45	Chacá	45	27	52.59	3.06	0.06	47.55
CV90	Chacá	90	27	48.55	5.60	0.12	39.33
PV00	Pich	0	20	73.01	10.74	0.15	55.35
PV45	Pich	45	25	69.71	11.28	0.16	51.16
PV90	Pich	90	25	62.61	10.38	0.17	45.54

Tabla 2. Esfuerzos de tensión paralela (kg/cm²)

Grupo	Especie	Dirección	n	\bar{x}	σ	C_v	5p
CT00	Chacá	0	40	469.35	109.59	0.23	289.08
CT05	Chacá	5	23	361.31	79.26	0.22	230.92
CT10	Chacá	10	13	241.52	36.81	0.15	180.96
PT00	Pich	0	32	597.95	148.10	0.25	354.32
PT05	Pich	5	16	454.00	86.76	0.19	311.28
PT10	Pich	10	12	280.86	57.84	0.21	185.72

Tabla 3. Densidades básicas (g/cm³)

Especie	n	\bar{x}	σ	C_v	5p
Chacá	128	0.29	0.04	0.12	0.23
Pich	130	0.37	0.04	0.12	0.30

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ajuste por contenido de humedad. La madera es un material higroscópico y la cantidad de humedad absorbida depende principalmente de la humedad relativa y la temperatura. Muchas propiedades mecánicas de la madera aumentan significativamente si el contenido de humedad del material disminuye por debajo del punto de saturación de la fibra (aproximadamente un 30%), basado en el peso anhidro, por lo que es conveniente expresar los esfuerzos respecto a un contenido de humedad determinado (por ejemplo, 12% ó 18%) para madera seca. Para tal efecto, se consideró el modelo de ajuste propuesto por Bodig y Jayne, 1982 en el que se considera que el porcentaje de incremento en propiedades mecánicas (resistencia) debido a la disminución del 1% en el contenido de humedad de la madera para cortante paralelo sea de 3% y para tensión paralela sea de 4%. Esto es, si el esfuerzo de cortante paralelo de un espécimen es 500 kg/cm² para un contenido de humedad del 12%, será de 515 kg/cm² para un 11%, y de 485 kg/cm² para un 13%. Por otro lado, si se tiene un esfuerzo de tensión paralela de 200 kg/cm² para un contenido de humedad del 12%, será de 208 kg/cm² para un 11%, y de 192 kg/cm² para un 13%. Por razones prácticas se consideró una variación lineal tanto en el aumento

como en la disminución del esfuerzo respecto a la humedad. Los esfuerzos de cortante y tensión paralelos que se presentan en las tablas 1 y 2 respectivamente, fueron ajustados a un contenido de humedad del 18%.

Comprobación de la hipótesis de trabajo. Fue necesaria una adecuada comparación de las medias obtenidas a fin de determinar si existe o no influencia de la dirección analizada respecto al esfuerzo estudiado, por lo que se recurrió a un análisis comparativo de las mismas en una distribución “t” con un cierto intervalo de confianza.

Para ello se estableció la hipótesis de trabajo o nula denotada H₀ (a fin de aceptarla o rechazarla después de haber hecho el análisis correspondiente) y una hipótesis alternativa H₁ (opuesta a la nula). Ahora bien, se puede cometer el error de aceptar una hipótesis cuando es falsa, por lo que fue necesario limitar una probabilidad máxima de tomar una decisión equivocada a la que llamamos nivel de significación, el cual puede limitarse a un 0.05 = 5% teniendo una confianza del 95% de no errar. Los valores críticos para dicho intervalo dependen del grado de libertad (v) analizado y corresponden a unas -z_c y z_c determinadas (fig. 7).



Figura 7. Zonas de aceptación y rechazo en la distribución estadística

Para el caso de los esfuerzos promedio correspondientes a cada parámetro de inclinación de la fibra en la madera de chacá la hipótesis nula fue:

$$H_0: \mu_{CV00} = \mu_{CV45} = \mu_{CV90}$$

H₁: Cualquier desigualdad $\mu_{CV00} \neq \mu_{CV45}$, $\mu_{CV45} \neq \mu_{CV90}$, ó $\mu_{CV00} \neq \mu_{CV90}$

Donde $\mu_{CV00} = \bar{x}_{CV00}$, $\mu_{CV45} = \bar{x}_{CV45}$, $\mu_{CV90} = \bar{x}_{CV90}$.

Se obtuvo $v_{CV00-CV45} = (n_{CV00} + n_{CV45}) - 2 = (25 + 27) - 2 = 50$, y se calculó:

$$\sigma_{CV00-CV45} = \sqrt{\frac{n_{CV00} S_{CV00}^2 + n_{CV45} S_{CV45}^2}{v_{CV00-CV45}}} = \sqrt{\frac{25(10.17)^2 + 27(3.06)^2}{50}} = 7.54$$

$$T_{CV00-CV45} = \frac{\mu_{CV00} - \mu_{CV45}}{\sigma_{CV00-CV45} \sqrt{1/n_{CV00} + 1/n_{CV45}}} = \frac{65.81 - 52.59}{7.54 \sqrt{1/25 + 1/27}} = 6.32$$

Donde $T_{CV00-CV45}$ es un valor estadístico que se debió encontrar en el intervalo establecido entre los valores críticos para cierto nivel de confianza. Para una confianza de 90% y $v_{CV00-CV45} = 50$, dichos valores son $-z_c = -1.68$ y $z_c = 1.68$, esto es $-t_{.95} < T < t_{.95}$. Pero resultó que $T_{CV00-CV45} > z_c$ (el valor calculado quedó fuera de dicho intervalo), por lo tanto se puede decir que hubo diferencia significativa entre ambos esfuerzos promedio para 0° y 45° .

Siguiendo el mismo criterio de análisis se procedió a calcular los valores obtenidos de la comparación de medias y los valores críticos del límite (interpolando cuando fue necesario) para cada especie, esfuerzo y dirección; y verificar si para cada caso T cumple (está en el intervalo) para diversos niveles de confianza. Estos se expresan en la tabla 4.

Por lo tanto, se rechazó la hipótesis nula, o lo que es lo mismo: se comprobó que existe una significativa influencia de la dirección de las fibras en ambas propiedades mecánicas analizadas (cortante y tensión paralelos) de las dos especies (chacá y pich) sometidas a estudio.

Tabla 4. Análisis de diferencia de medias

Grupos	v	σ	T	Valores			Cumple		
				90% (t _{.95})	95% (t _{.975})	99% (t _{.995})	90% (t _{.95})	95% (t _{.975})	99% (t _{.995})
CV00-CV45	50	7.54	6.32	1.68	2.01	2.68	No	No	No
CV45-CV90	52	4.60	3.23	1.67	2.01	2.68	No	No	No
CV00-CV90	50	8.29	7.50	1.68	2.01	2.68	No	No	No
PV00-PV45	43	11.29	0.97	1.68	2.02	2.69	Si	Si	Si
PV45-PV90	48	11.06	2.27	1.68	2.01	2.68	No	No	Si
PV00-PV90	43	10.78	3.22	1.68	2.02	2.69	No	No	No
CT00-CT05	61	101.21	4.08	1.67	2.00	2.66	No	No	No
CT05-CT10	34	69.05	5.00	1.69	2.03	2.73	No	No	No
CT00-CT10	51	98.82	7.22	1.67	2.01	2.68	No	No	No
PT00-PT05	46	133.70	3.52	1.68	2.01	2.69	No	No	No
PT05-PT10	26	78.59	5.77	1.71	2.06	2.78	No	No	No
PT00-PT10	42	132.92	7.05	1.68	2.02	2.70	No	No	No

Análisis de esfuerzos en cortante paralelo a la fibra. Se compararon los promedios y las variaciones de los esfuerzos obtenidas en esta

investigación con los valores establecidos por otros investigadores (tabla 5).

Tabla 5. Comparación de esfuerzos de cortante paralelo (kg/cm²) ajustados a un CH = 18%

Grupo	Especie	Dirección	\bar{x}		C _v	
			Encontrado	Bodig y Jayne	Encontrado	Green <i>et. al.</i>
CV00	Chacá	0	65.81	56.24	0.15	0.14
CV45	Chacá	45	52.59	56.24	0.06	0.14
CV90	Chacá	90	48.55	56.24	0.12	0.14
PV00	Pich	0	73.01	-	0.15	0.14
PV45	Pich	45	69.71	-	0.16	0.14
PV90	Pich	90	62.61	-	0.17	0.14

Cabe aclarar que los valores promedio obtenidos por otros investigadores (Bodig y Jayne, 1982; Green *et. al.*, 1999) corresponden a un esfuerzo obtenido de la madera del árbol de chacá originario de Costa Rica a una dirección promedio y un contenido de humedad del 12%. Se puede observar que dichos valores son semejantes al correspondiente para 45° en esta investigación y que los coeficientes de variación son similares o inferiores a los establecidos por otros investigadores, por lo que se puede deducir que los resultados obtenidos en este estudio son confiables. No se hallaron datos relacionados con la madera del

árbol de pich en la bibliografía consultada, por lo que no pudo hacerse comparación alguna; sin embargo, debido a que sus coeficientes de variación son cercanos al de la otra referencia, se puede tener confianza en tales valores.

Análisis de esfuerzos de tensión paralela a la fibra. Se hizo también un análisis comparativo entre los valores de tensión paralela y los esfuerzos máximos de ruptura a flexión de otras investigaciones. Dicho análisis se presenta en la tabla 6.

Tabla 6. Comparación de esfuerzos de tensión paralela (kg/cm²)

Grupo	Especie	Dirección	\bar{x}			C_v	
			Encontrado	Bodig y Jayne	Forest Products Laboratory	Encontrado	Green <i>et. al.</i>
CT00	Chacá	0	469.35	390.90	216.54	0.23	0.25
CT05	Chacá	5	361.31	390.90	216.54	0.22	0.25
CT10	Chacá	10	241.52	390.90	216.54	0.15	0.25
PT00	Pich	0	597.95	-	344.50	0.25	0.25
PT05	Pich	5	454.00	-	344.50	0.19	0.25
PT10	Pich	10	280.86	-	344.50	0.21	0.25

Puede observarse que los valores correspondientes encontrados para una dirección de 0° son mayores a los esfuerzos de ruptura en flexión (considerado por algunos como el esfuerzo máximo de resistencia en tensión) encontrados por otros investigadores para la madera de chacá (Bodig y Jayne, 1982), y para chacá y pich por el *Laboratorio de Productos Forestales del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (FPL-USDA-FS, por su siglas en inglés)*; sin embargo, puede observarse que los coeficientes de

variación encontrados son iguales o menores a los obtenidos por otros investigadores (Green *et. al.*, 1999), por lo tanto se puede deducir que tales valores son confiables.

Análisis de densidades básicas. También se hizo un análisis comparativo (medias y coeficientes de variación) de las densidades básicas obtenidas en este estudio y las obtenidas por otros investigadores. Los resultados comparativos se expresan en la tabla 7.

Tabla 7. Comparación de densidades básicas (g/cm³)

Especie	\bar{x}		C_v	
	Encontrado	Forest Products Laboratory	Encontrado	Green <i>et. al.</i>
Chacá	0.29	0.29	0.12	0.10
Pich	0.37	0.34	0.12	0.10

Se observa que los valores promedio y los coeficientes de variación son semejantes o ligeramente superiores a los obtenidos de otras investigaciones en el *Forest Products Laboratory* para chacá y pich (Reyes *et. al.*, 1992; Green *et. al.*, 1999), lo cual hace pensar que las densidades básicas de dichas especies son similares en las diversas zonas geográficas donde crecen dichos árboles.

CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados obtenidos en este estudio se pueden resumir en los siguientes puntos:

- La dirección de los anillos de crecimiento afecta significativamente el esfuerzo en cortante paralelo para las especies estudiadas.

- La dirección de las fibras afecta significativamente el esfuerzo en tensión paralela para las especies estudiadas.
- La obtención de los esfuerzos máximos de tensión a partir de los valores de ruptura en la prueba de flexión, no son siempre un criterio confiable.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al personal técnico del laboratorio de Materiales y Estructuras de la Facultad de Ingeniería, especialmente a los ingenieros Mario Chan Martín y Manuel Azueta García, por la colaboración prestada en el desarrollo del presente estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Antti, Lena, Jönhnsson y Nilsson. (2000). “*The effect of drying method on the mechanical properties of wood: Comparisons between conventional kiln and microwave dried Scots pine*” en COST Action E15 Advances in the drying of wood (1999 – 2003), 3rd Workshop on wood drying: softwood drying to specific end-uses, Helsinki, junio 2000, 9 pp.
- ASTM, (1986). “*Annual Book of ASTM Standards*”, American Society for Testing and Materials, 771 pp. Philadelphia.
- Bodig. J. y Jayne B. (1982). “*Mechanic of wood and wood composites*”. 712 pp. Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Criswell, Marvin E., y Vanderbilt. (1980) “*Laboratory testing of wood and structural wood products*” en Dietz, A.G.H., E.L. Schaffer y D.S. Gromala (ed.). Wood as structural material, 2nd Clark C. Heritage memorial workshop on wood, Forest Products Laboratory, Madison, pp. 97 - 143.
- García C. J. (2002). “*Valores de diseño en cortante paralelo a la fibra de maderas tropicales de crecimiento*”, 88 pp. Tesis inédita, UADY.
- González A. I. (2003). “*Estudio de los esfuerzos cortante y tensión paralelos a la fibra en madera tropical de crecimiento rápido*”, 92 pp. Tesis inédita, UADY.
- Green D. W. y Rosales A. (1996) “*Property relationships for tropical hardwoods*” en Vijaya K.A. Gopu (Ed.). Proceedings of the international wood engineering conference, Louisiana State University, Baton Rouge, vol. 3, pp. 516 - 521.
- Green D. W., Winandy, J. y Kretschmann, D. E. (1999). “*Mechanical properties of wood*” en Wood handbook—Wood as engineering material, Forests Products Laboratory, Madison, 1999, pp. 4-1 - 4-45.
- Kretschmann D. E. (1997) “*Effect of juvenile wood on shear parallel and compression perpendicular-to-grain strength of loblolly pine*” en Timber management toward wood quality and end-product value, pp. VI-23 – VI-30.
- Liu, J.Y., Ross, R.J. (1997). “*Shear modulus variation with grain slope*”. Ed. Mechanics of Cellulosic Materials. American Society of Mechanical Engineers. Vol.77 :107-111.
- Reyes, Gisel, Brown S. Chapman J. y Lugo A. (1992). “*Wood densities of tropical tree species*” en General technical report SO-88, Forest Products Laboratory, Madison. p. 15.
- Riyanto D. S. y Gupta R. (1996) “*Effect of ring angle on shear strength parallel to the grain of wood*” en Wood engineering, Forest Products Laboratory, núms. 7-8, pp. 87 - 92.
- Robles F-V. F. y Echenique-Manrique R. (1986) “*Estructuras de madera*”. Ed. Limusa, México.
- Vargas S. A. (2000). “*Clasificación estructural de maderas tropicales de crecimiento rápido y sus valores de diseño en compresión paralela*”. tesis inédita, UADY, 93 pp.