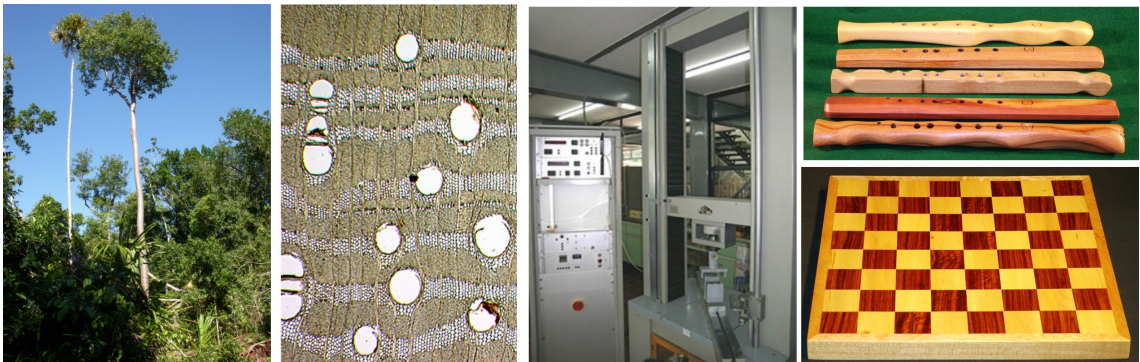




Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Capítulo 3



Proyecto ITTO PD 385/05 Rev.4 (I,F)

“Industrialización, Comercialización y Manejo Sostenible de diez Especies Nativas Mexicanas”

Capítulo 3. Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Proyecto PD 385/05 Rev. 4 (I,F)

Industrialización Comercialización y Manejo Sostenible de diez Especies
Nativas Mexicanas. Organización Internacional de las Maderas Tropicales.
Enero del 2009 - Marzo 2012.

Capítulo 3. Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Elaboración de Especímenes de Prueba

Raúl Rodríguez Anda y Hans G. Richter

Estructura y Calidad de la Madera

Hans G. Richter e Hilda Palacios Juárez

Propiedades Físicas

Francisco Javier Fuentes Talavera, José Guadalupe Hernández y Edna Suárez Patlan

Propiedades Mecánicas

Francisco Javier Fuentes Talavera, José Guadalupe Hernández y Edna Suárez Patlan

Durabilidad Natural

José Antonio Silva Guzmán y Paola Andrea Torres Andrade

Secado

Raúl Rodríguez Anda y Hans G. Richter

Trabajabilidad

Raúl Rodríguez Anda y Hans G. Richter

Ensayos de Encolado

Hans G. Richter y José Guadalupe Hernández Rodríguez

Usos

Hans G. Richter, José Antonio Silva Guzmán, Francisco Javier Fuentes Talavera y Raúl Rodríguez Anda

Fichas Tecnológicas

Hans G. Richter, José Antonio Silva Guzmán, Francisco Javier Fuentes Talavera, Raúl Rodríguez Anda y Paola Andrea Torres Andrade

Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Departamento de Madera, Celulosa y Papel.
Unidad Académica "Propiedades y Usos de la Madera"

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Capítulo 3 Caracterización tecnológica de las especies de madera	3-1
3.1 Resumen.....	3-1
3.2 Introducción.....	3-2
3.3 Elaboración de especímenes de prueba	3-5
3.3.1 Resumen.....	3-5
3.3.2 Introducción.....	3-5
3.3.3 Aserrío de las trozas	3-6
3.3.4 Seccionamiento de tablones	3-7
3.3.5 Secado de tablones.....	3-8
3.3.6 Corte de listones para la elaboración de probetas	3-8
3.3.7 Orientación anatómica de los listones.....	3-9
3.3.8 Elaboración de probetas de ensayo	3-10
3.3.9 Inspección de probetas para ensayos mecánicos.....	3-11
3.4 Estructura y calidad de la madera.....	3-13
3.4.1 Resumen.....	3-13
3.4.2 Introducción.....	3-13
3.4.3 Metodología.....	3-13
3.4.3.1 Ablandamiento	3-14
3.4.3.2 Microtomía y montaje de láminas.....	3-14
3.4.3.3 Medición y procesamiento de datos cuantitativos	3-14
3.4.3.4 Descripciones microscópicas	3-15
3.4.3.5 Muestras para xiloteca	3-16

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

3.4.3.6	Imágenes microscópicas	3-16
3.4.3.7	Números.....	3-16
3.4.3.8	Propiedades físico-químicas	3-16
3.4.4	Resultados	3-17
3.4.4.1	Observaciones microtomía.....	3-17
3.4.4.2	Descripciones macro y microscópicas de las maderas	3-18
3.4.4.2.1	Nombres botánicos adoptados	3-18
3.4.4.3	Datos cuantitativos	3-19
3.4.4.3.1	Vasos	3-19
3.4.4.3.2	Fibras	3-20
3.4.4.4	Ensayos físico-químicos.....	3-23
3.4.4.4.1	Fluorescencia de la superficie.....	3-23
3.4.4.4.2	Extracto acuoso y extracto en etanol	3-23
3.4.4.4.3	Prueba de saponificación.....	3-26
3.4.4.4.4	Extraíbles lavables en contacto con agua.....	3-26
3.4.4.4.5	Combustión de astilla.....	3-28
3.4.4.4.6	Variabilidad entre y dentro de árboles.....	3-29
3.4.5	Agradecimientos.....	3-30
3.4.6	Bibliografía	3-31
Anexo 3.4.1	Descripciones macro y microscópicas de las maderas....	3-32
Anexo 3.4.2	Datos cuantitativos (diámetro y número/mm ²) de los vasos	3-71

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Anexo 3.4.3	Análisis estadístico del largo de fibra	3-75
3.5	Propiedades físicas	3-77
3.5.1	Resumen	3-77
3.5.2	Introducción	3-77
3.5.3	Metodología	3-80
3.5.4	Resultados	3-82
3.5.4.1	Densidad de las maderas	3-82
3.5.4.2	Índices de hinchamiento y contracción	3-84
3.5.4.3	Estabilidad dimensional de las maderas	3-87
3.5.5	Bibliografía	3-89
	Agradecimientos	3-89
Anexo 3.5.1	Variación de la densidad de las maderas	3-91
3.6	Propiedades mecánicas	3-92
3.6.1	Resumen	3-92
3.6.2	Introducción	3-92
3.6.3	Metodología	3-93
3.6.3.1	Ensayo de compresión longitudinal	3-94
3.6.3.2	Ensayo de flexión tangencial	3-94
3.6.3.3	Ensayo de dureza Brinell	3-94
3.6.3.4	Resistencia al impacto (trabajo)	3-95
3.6.3.5	Resistencia al cizallamiento (corte)	3-95
3.6.4	Resultados	3-96

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

3.6.4.1	Resistencia a la compresión longitudinal	3-96
3.6.4.2	Resistencia a la flexión tangencial	3-97
3.6.4.3	Módulo de elasticidad.....	3-99
3.6.4.4	Dureza Brinell.....	3-101
3.6.4.5	Resistencia al impacto (trabajo)	3-104
3.6.4.5	Resistencia al cizallamiento (corte).....	3-106
3.6.5	Bibliografía	3-107
3.6.6	Agradecimientos.....	3-108
3.7	Durabilidad natural	3-109
3.7.1	Resumen	3-109
3.7.2	Introducción.....	3-109
3.7.3	Metodología.....	3-110
3.7.3.1	Preparación de especímenes.....	3-110
3.7.3.2	Hongos de prueba.....	3-111
3.7.3.3	Ensayos de durabilidad natural	3-112
3.7.4	Resultados	3-113
3.7.4.1	Pérdida de peso	3-113
3.7.4.2	Clasificación de la durabilidad natural	3-117
3.7.4.3	Variación de la durabilidad natural	3-118
3.7.5	Análisis e interpretación	3-121
3.7.6	Conclusiones y recomendaciones.....	3-122
3.7.7	Repercusiones en la práctica	3-123

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

3.7.8	Bibliografía	3-124
3.8	Secado.....	3-125
3.8.1	Resumen	3-125
3.8.2	Introducción.....	3-125
3.8.3	Contenido de humedad inicial	3-127
3.8.4	Secado natural bajo techo.....	3-128
3.8.5	Secado solar	3-131
3.8.6	Secado técnico-convencional.....	3-132
3.8.6.1	Tratamiento de acondicionamiento	3-133
3.8.6.2	Programas de secado recomendados.....	3-134
3.8.7.	Bibliografía	3-136
3.9	Trabajabilidad.....	3-137
3.9.1	Resumen	3-137
3.9.2	Introducción.....	3-137
3.9.3	Metodología.....	3-138
3.9.3.1	Descripción del equipo y herramientas utilizadas.....	3-140
3.9.3.1.1	Cepillado	3-140
3.9.3.1.2	Corte longitudinal con sierra circular	3-141
3.9.3.1.3	Corte transversal con sierra circular.....	3-142
3.9.3.1.4	Barrenado	3-143
3.9.3.1.5	Escopleado	3-145
3.9.4.1.6	Moldurado	3-146

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

3.9.4	Resultados	3-146
3.9.4.1	Chakté-viga	3-146
3.9.4.2	Chechén.....	3-149
3.9.4.3	Chicozapote	3-151
3.9.4.4	Granadillo.....	3-153
3.9.4.5	Jabín	3-155
3.9.4.6	Machiche.....	3-156
3.9.4.7	Primavera.....	3-159
3.9.4.8	Pukté.....	3-161
3.9.4.9	Ramón.....	3-163
3.9.4.10	Rosa morada	3-165
3.9.4.11	Tzalam.....	3-167
3.9.5	Agradecimientos.....	3-169
3.9.6	Bibliografía	3-169
3.10	Ensayos de Encolado.....	3-170
3.10.1	Resumen	3-170
3.10.2	Introducción.....	3-171
3.10.3	Materiales y métodos	3-172
3.10.3.1	Preparación de los especímenes de ensayo	3-172
3.10.3.2	Adhesivos	3-173
	Categoría D1.....	3-173
	Categoría D3.....	3-173

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Categoría D4.....	3-174
3.10.3.3 Condiciones de encolado	3-174
3.10.3.4 Acondicionamiento y tratamiento.....	3-174
3.10.4 Resultados	3-175
3.10.4.1 Ensayos de encolado con pegamentos categoría D1 (ensayos en seco).....	3-175
3.10.4.2 Ensayo de encolado con pegamentos categoría D3 (ensayos en seco y húmedo).....	3-177
3.10.4.3 Ensayos de encolado con pegamentos categoría D4 (ensayos en seco y húmedo)	3-179
Ensayos en seco	3-179
Ensayo en húmedo	3-180
3.10.5 Conclusiones y recomendaciones.....	3-183
3.10.5.1 Pegamentos categoría D1 (uso interior).....	3-183
3.10.5.2 Pegamentos categoría D3 (uso interior y parcialmente exterior)	3-184
3.10.5.3 Pegamentos categoría D4 (uso exterior).....	3-184
3.10.6 Agradecimientos.....	3-184
3.10.7 Bibliografía	3-185
Anexo 3.10.1 Glue-Line Strength of eight Yucatan wood-species compared to five Mexican and European reference species	3-186
1 Objectives	3-186
2 Automated Bonding Evaluation System (ABES)	3-186

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

3	Materials and Methods	3-188
3.1	Wood species used for glueing tests	3-188
3.2	ABES Testing Sample Material	3-189
3.3	Adhesives	3-190
3.4	ABES Testing Sequence	3-191
4	Results and Discussion	3-192
5	General Findings and Recomentations	3-201
	The following recommendations are given:	3-202
6	References.....	3-203
3.11	Usos	3-204
3.11.1	Introducción.....	3-204
3.11.2	Categorías de uso	3-205
3.11.2.1	Muebles de alta calidad	3-205
3.11.2.2	Pisos.....	3-206
3.11.2.3	Interiores (que no sean muebles)	3-206
3.11.2.4	Exteriores	3-206
3.11.2.5	Artículos decorativos para interiores.....	3-206
3.11.2.6	Instrumentos musicales	3-207
3.11.2.7	Marquetería	3-207
3.11.2.8	Artículos novedosos de artesanía.....	3-207
3.11.2.9	Joyería/Joyas	3-207
3.11.2.10	Otros productos	3-208

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

3.11.3	Las maderas y usos específicos recomendados.....	3-208
3.12	Anexo Fichas de propiedades tecnológicas.....	3-214

Capítulo 3 Caracterización tecnológica de las especies de madera

3.1 Resumen

Las maderas de Chakté-viga, Chechén, Chicozapote, Granadillo, Jabín, Machiche, Primavera, Pukté, Ramón, Rosa morada y Tzalam fueron caracterizadas tecnológicamente, con lo que se generaron conocimientos fundamentales y prácticos en lo que respecta a su estructura y calidad de la madera, propiedades físicas, mecánicas, biológicas así como su comportamiento al secado, trabajabilidad y respuesta frente a diferentes adhesivos.

Con base al perfil de sus propiedades tecnológicas, se hacen importantes recomendaciones para un procesamiento pertinente de cada una de las especies de madera.

Con respecto a usos potenciales, se establecieron categorías específicas y apropiadas al reto de incorporar productos de maderas poco conocidas en los mercados nacionales e internacionales, por lo que considerando sus propiedades estéticas, biológicas y físico-mecánicas se proponen usos para cada madera que puedan maximizar su valor agregado y sea viable también el aprovechamiento de piezas de pequeñas dimensiones mediante el uso de tecnologías adecuadas.

Todo el conocimiento del estudio de caracterización se sintetiza en la formulación de fichas de propiedades tecnológicas para cada una de las especies estudiadas, para que de una manera práctica puedan ser utilizadas.

3.2 Introducción

El conocimiento tecnológico del recurso forestal es fundamental para promover su mejor aprovechamiento asegurando también con ello la calidad de los productos, desempeño en uso y su rentabilidad. Por lo anterior, uno de los objetivos específicos del proyecto de investigación PD 385/05 Rev. 4 (I,F) fue el definir el potencial tecnológico e industrial de diez especies nativas maderables tropicales con alto potencial comercial.

Para cumplir con este objetivo se recolectaron de los estados de Campeche (Espujil, Chenes, Escarcega) y Quintana Roo (20 de noviembre, Tres Garantías, Caobas) 41 trozas de maderas de Chakté-viga (*Caesalpinia cf. platyloba*), Chechén (*Metopium brownei*), Chicozapote (*Manilkara zapota*), Granadillo (*Platymiscium cf. yucatanum*), Jabín (*Piscidia piscipula*), Machiche (*Lonchocarpus cf. castilloi*), Pukté (*Terminalia buceras*), Ramón (*Brosimum alicastrum*), y Tzalam (*Lysiloma latisiliquum*), y del estado de Chiapas 6 trozas de maderas de Primavera (*Roseodendron donnell-smithii*) y 6 de Rosa morada (*Tabebuia rosea*). En total un volumen de 18.7 m³ madera en rollo fue recolectado para la caracterización tecnológica.

Cada una de las trozas fue examinada mediante técnicas de identificación macroscópica y microscópica, con el objeto de validar que efectivamente se trataban de las especies de madera predefinidas en el proyecto de investigación. Inclusive, el trabajo de identificación de las especies permitió detectar la presencia de una especie no considerada inicialmente en el proyecto, la de Ramón, que finalmente también formó parte de las maderas investigadas. Detalles más particulares de esta actividad se indican en el apartado 3.4 de este capítulo.

La caracterización tecnológica requirió de un minucioso y laborioso trabajo de preparación de especímenes de ensayo, con el objeto de obtener resultados

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

representativos de las maderas en estudio, principalmente tomando en cuenta los diversos factores que pueden incidir en la variación de las propiedades tecnológicas de las maderas. Datos específicos del muestreo y preparación de especímenes son señalados en el apartado 3.3.

Del estudio de la estructura de las maderas se generaron descripciones macro y microscópicas de sus principales elementos estructurales, que se complementaron con pruebas de naturaleza físico-química (fluorescencia de extractos, saponificación, combustión de astilla). El conocimiento generado tiene la utilidad por un lado, de ayudar en la visualización y explicación de fenómenos que ocurren por ejemplo durante el proceso de secado de la madera, grado de dificultad para la impregnación, desgaste prematuro de las herramientas durante el maquinado, y por otro para la identificación y/o diferenciación de géneros y especies, aspectos indispensables para facilitar el mejor aprovechamiento de las maderas.

La determinación de las propiedades físicas y mecánicas, permitió conocer la densidad, la estabilidad dimensional y el comportamiento mecánico de las maderas, características relevantes para la definición de los diversos usos de las especies de madera, riesgos de deformaciones por cambios de su contenido de humedad y sus resistencias frente a diversos esfuerzos de carga que pueden ocurrir en el uso práctico de las maderas.

Otra propiedad importante en la caracterización tecnológica de las maderas, es la durabilidad natural, es decir, la resistencia a biodegradación por hongos que deterioran la madera y que por consiguiente, es indispensable conocer para determinar usos potenciales de manufacturas expuestas en exteriores. En este sentido, se realizó una evaluación por medio de los dos métodos utilizados en Norteamérica y Europa, con lo cual se tiene un conocimiento más preciso de la durabilidad natural de las maderas.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Con respecto al secado se describen las experiencias sobre el comportamiento de las maderas durante su secado por medio de horno solar y natural bajo techo. Se presentan observaciones empíricas y recomendaciones útiles para el secado de la madera, buscando reducir los riesgos de defectos por secado y la economía del proceso.

La caracterización tecnológica de las especies en estudio se complementa con dos evaluaciones importantes para la transformación de las maderas en diversas manufacturas. La trabajabilidad, es decir, la respuesta de la madera frente a las diversas herramientas de corte, y el encolado, o sea, la resistencia de uniones de piezas de madera mediante diversos adhesivos tanto de uso para interiores como exteriores. En ambos casos se especifican recomendaciones valiosas de manera particular para cada una de las especies, con el objeto de asegurar la calidad y mejor desempeño de las manufacturas de maderas.

Finalmente con base al conjunto de conocimientos generados de la caracterización tecnológica, también son señalados algunos de los usos potenciales para las especies de madera estudiadas, y en un anexo se incluyen las fichas de propiedades tecnológicas de cada una de las maderas.

3.3 Elaboración de especímenes de prueba

3.3.1 Resumen

Se recibieron 11 especies de árboles con un total de 53 trozas de 8 pies de largo. En la cara transversal de cada una de las trozas se trazaron las líneas de corte en cuadrantes para su aserrío y obtención de tablones radiales.. Posteriormente, cada tablón se seccionó a 90 cm a partir del tocón (sección a), luego 2 cortes consecutivos de 75 cm de longitud cada uno (Secciones B y C, respectivamente). Todos los tablones de las secciones a, b y c fueron secados hasta un 12% de contenido de humedad. De la sección a, se elaboraron probetas perfectamente orientadas en sus anillos anuales para las determinaciones de microscopía, propiedades físicas y durabilidad natural. De las secciones B y C se elaboraron las probetas para las determinaciones de las propiedades mecánicas de las maderas. En total se elaboraron 15600 probetas distribuidas en los ensayos de microscopía, hinchamiento y contracción, biodeterioro, cizallamiento, dureza, flexión, impacto, compresión y adhesividad.

3.3.2 Introducción

Durante el periodo de diciembre de 2009 y enero de 2010, procedentes de los estados de Quintana Roo, Campeche y Chiapas, se recibieron en nuestras instalaciones (Departamento de Madera, Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara) un total de 53 trozas de las especies de madera Chakté-viga (*Caesalpinia cf. platyloba*), Chechén (*Metopium brownei*), Chicozapote (*Manilkara zapota*), Granadillo (*Platymiscium cf. yucatanum*), Jabín (*Piscidia piscipula*), Machiche (*Lonchocarpus cf. castilloi*), Pukté (*Terminalia buceras*), Ramón (*Brosimum alicastrum*), Tzalam (*Lysiloma latisiliquum*), Primavera (*Roseodendron donnell-smithii*) y de Rosa morada (*Tabebuia rosea*), como se muestra parcialmente en la Figura 3.3.1.



Figura 3.3.1 Recepción de las trozas de madera en las instalaciones del Departamento de Madera, Celulosa y Papel.

3.3.3 Aserrío de las trozas

Previo a la recepción de trozas, se formuló un esquema de corte para su aserrío (Figura 3.3.2), en el cual se muestra la forma en que se programó el aserrío de las trozas, con el objetivo de obtener piezas radiales (tablones) de tres pulgadas de espesor. De acuerdo al esquema de la Figura 3.3.2, se obtuvieron 4 piezas (1,2,3 y 4), útiles para la elaboración posterior de las probetas de ensayo de acuerdo a los estándares internacionales específicos para cada caso.

Las partes restantes de cada troza, indicadas en la Figura 3.3.2 como 1/2, 2/3, 3/4 y 4/1 se aserraron posteriormente a espesores de 1 y 1.5 pulgadas de

espesor, y fueron de utilidad para la manufactura de diversos prototipos de manufacturas, ensayo de encolado y de trabajabilidad.

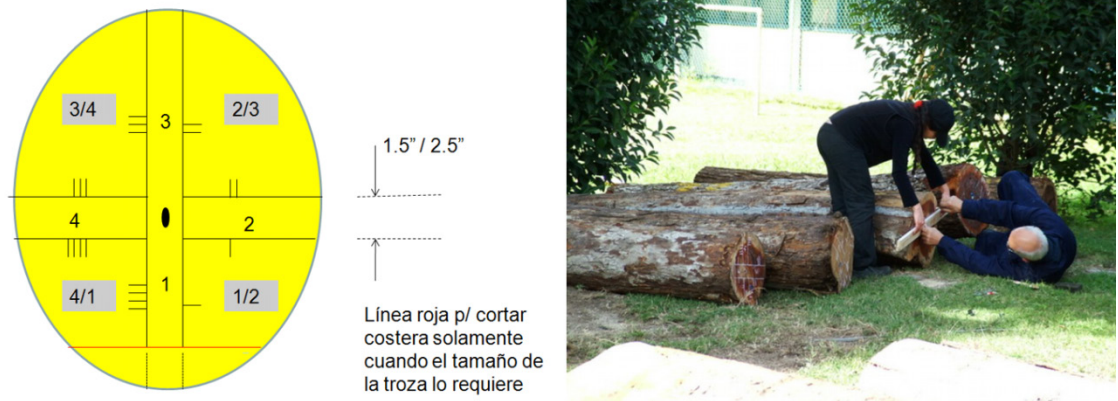


Figura 3.3.2 Esquema para el aserrío de las trozas y obtención de piezas radiales.

3.3.4 Seccionamiento de tablones

Posterior al aserrío de las trozas, los tablones obtenidos se seccionaron, primero a 90 cm (sección "a") con la finalidad de que las probetas de anatomía, estabilidad dimensional, y biodeterioro fueran extraídas al diámetro de altura de pecho (90 + 30 cm del tocón = 1.20 m). El resto del tablón fue cortado a 75 cm (secciones "b" y "c") de longitud como se muestra en la Figura 3.3.3, para su mejor manejo en la elaboración de probetas de ensayos mecánicos. La sección en azul representa la altura del tocón de aproximadamente 30 cm, que es la parte del tronco que queda unida a la raíz.

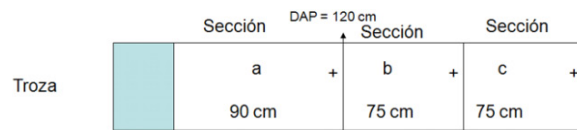


Figura 3.3.3 Seccionamiento de los tabloncillos obtenidos del aserrío de las trozas.

3.3.5 Secado de tabloncillos

El secado de los tabloncillos se realizó por medio de secado natural, secador solar y secador técnico convencional. Descripción de esta actividad se presenta en el apartado 3.8 de este capítulo.

3.3.6 Corte de listones para la elaboración de probetas

En uno de los extremos de los tabloncillos se marcaron "áreas" cuadradas de al menos 30 x 30 mm, cuidando que la orientación de los anillos anuales de crecimiento permitiera diferenciar perfectamente los ejes radial y tangencial. Obsérvese en la Figura 3.3.4, tres áreas cuadradas marcadas, que serán nombradas en lo sucesivo como posiciones: "i", para la zona más cercana a la médula; "m" para la zona entre la médula y la periferia exterior; "x" para la zona más cercana a la periferia exterior. Así como en algunos casos, solo se marcaron las posiciones "i" y "x", en algunos otros fue posible hacerlo por duplicado de alguna de las tres áreas.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Una vez marcadas las posiciones "i", "m" y "x", se procedió a cortar longitudinalmente los tablones para obtener listones individuales de cada una de las posiciones antes indicadas.

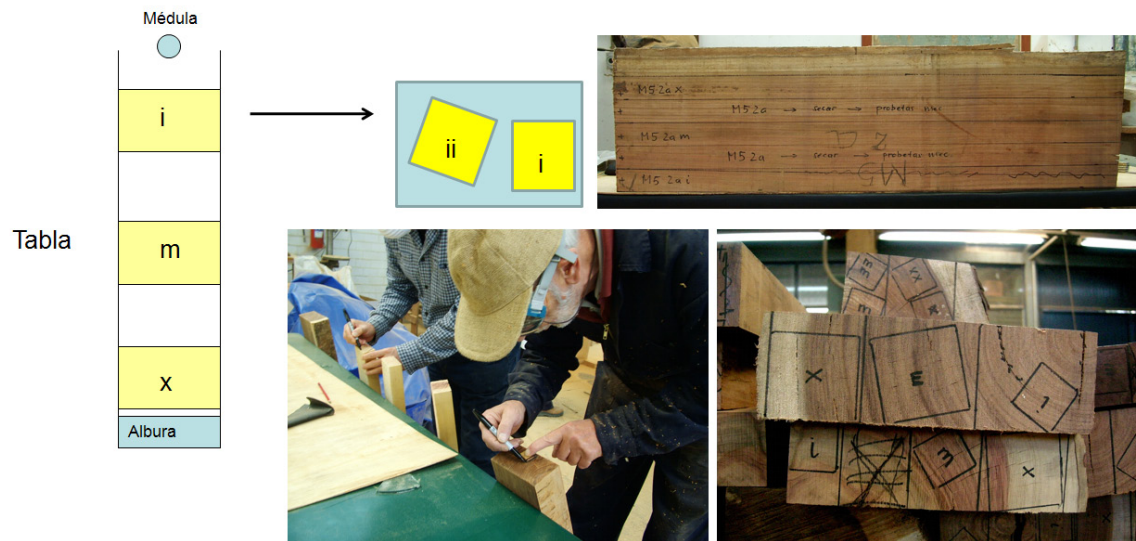


Figura 3.3.4. Marcado de áreas cuadradas ("i" = interna, "m" = intermedio, "x" = exterior) en el extremo de los tablones, para el corte individual de listones.

3.3.7 Orientación anatómica de los listones

Para obtener exclusivamente cada posición (orientada anatómicamente) marcada en los listones individuales, fueron necesarias etapas adicionales de procesamiento, tales como cepillado, reasierre, nuevamente cepillado para escuadrar, asierre en sierra cinta, cepillado y por último en sierra circular longitudinal, como se muestra en la Figura 3.3.5. De esta forma se obtuvieron listones perfectamente orientados en sus ejes anatómicos, apropiados para la elaboración de probetas de ensayos acordes a los estándares de evaluación de propiedades de la madera.

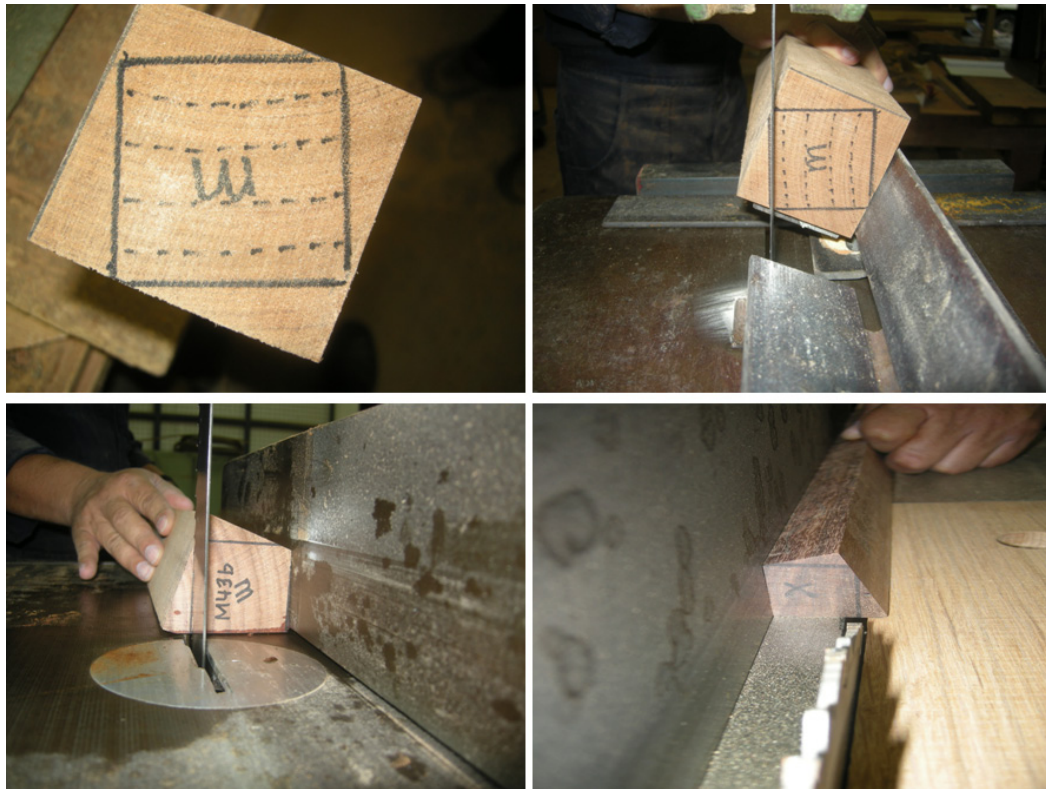


Figura 3.3.5. Orientación anatómica de los listones para la obtención de especímenes de ensayos.

3.3.8 Elaboración de probetas de ensayo

A partir de los listones orientados anatómicamente, se procedió a cortar las probetas de ensayo a las dimensiones correspondientes para cada caso. En la Figura 3.3.6 se muestra el esquema de corte de las diferentes probetas. Para ensayos de biodeterioro [(E, según norma EN) (A, según norma ASTM)], hinchamiento y contracción (D) y anatomía (M). Listones de las posiciones “xx”, “mm” y “ii” sirvieron como suplentes para casos necesarios de repetición.

La nomenclatura utilizada para diferenciar cada probeta fue compuesta de la siguiente forma, ejemplo 1a m E1: 1 = número de árbol, a = sección, m = listón

(tira) obtenido de la posición intermedia del tablón, E = probeta para biodeterioro acorde a la norma EN, 1 = número de probeta.

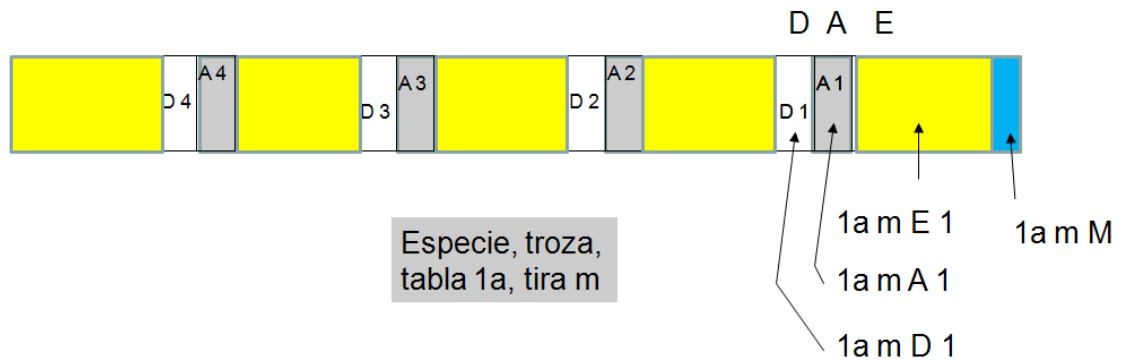


Figura 3.3.6. Esquema de cortes para las probetas de biodeterioro, anatomía e hinchamiento y contracción.

3.3.9 Inspección de probetas para ensayos mecánicos

Dada la influencia que ejerce cualquier defecto sobre las propiedades mecánicas, fue necesario inspeccionar cada una de los listones elaborados (Figura 3.3.7) para la elaboración de las probetas de ensayos mecánicos, y eliminar aquellos en que se encontraron defectos como los que se aprecian en la Figura 3.3.8.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera



Figura 3.3.7. Selección de listones para la elaboración de probetas de ensayos mecánicos.

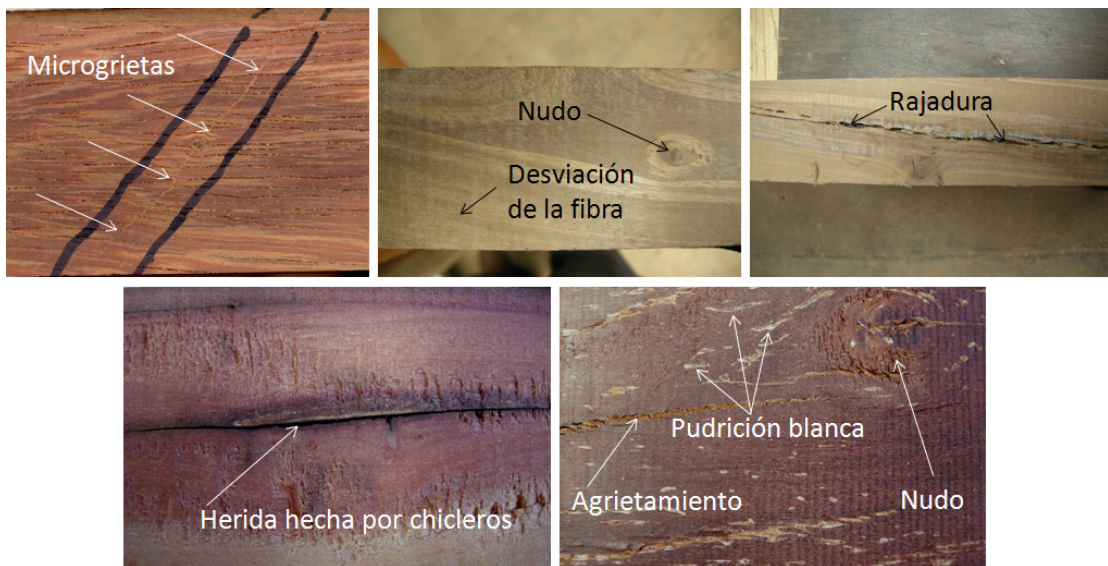


Figura 3.3.8. Defectos típicos encontrados en algunos de los listones de madera.

3.4 Estructura y calidad de la madera

3.4.1 Resumen

En este capítulo se presenta los resultados del estudio de la estructura macro y microscópica y de las pruebas físico-químicas de 11 maderas del Sureste de México, como fue especificado en el objetivo 2.2, actividad 2.2.2 (Caracterización de la estructura anatómica, propiedades físico-mecánicas, estructura química, durabilidad natural, encolado y trabajabilidad).

3.4.2 Introducción

Las descripciones de las 11 maderas tienen el propósito principal de facilitar su identificación correcta con base en sus caracteres macro y microscópicos, requerimiento imprescindible para la comercialización de productos manufacturados de estas maderas, teniendo como guía los diversos decretos y leyes vigentes o planeados por EUA y la Comunidad Europea, para monitorear y controlar el comercio en especies protegidas a nivel internacional (CITES) o nacional y/o provenientes de la tala ilegal (“illegal logging”). Además, el conocimiento de la estructura de la madera permite previsualizar propiedades como la permeabilidad (incide en el comportamiento de su secado y tratamiento de preservación) y formular recomendaciones en lo que respecta a seleccionar las herramientas adecuadas para trabajar estas maderas.

3.4.3 Metodología

La metodología aplicada sigue los patrones internacionales establecidos. Las probetas para el estudio microscópico fueron obtenidas del duramen de la sección “a” a altura de pecho (120 cm) en las posiciones “x” (exterior), “m” (intermedia) e “i” (interior). Fueron marcadas identificando la especie, número del árbol, sección, sector y posición y posteriormente guardadas en congelador. No en todos los casos fue posible obtener probetas de las 3 posiciones para

todos los sectores. Un registro de las probetas obtenidas está disponible pero no incluido en este informe.

3.4.3.1 Ablandamiento

El método tradicional de ablandar bloques de madera para microtomía hirviéndolos en agua a presión atmosférica o en olla de presión, fue descartado dado que las maderas más duras requirieron de hasta 37 horas de ebullición, un proceso antieconómico en términos de costo y tiempo. Los bloques fueron ablandados en autoclave a temperatura de 115°C y presión de 2.1 atm, por períodos entre 1 y 7 horas, de acuerdo a la densidad y permeabilidad de la madera.

3.4.3.2 Microtomía y montaje de láminas

De los bloques ablandados fueron preparados cortes entre 18 y 30 micras usando un micrótopo SPENCER (AO) y navajas LEICA, filo tipo "C". Los cortes fueron deshidratados en alcohol 96% y montados permanentemente en resina EUPARAL soluble en alcohol. Cinco láminas permanentes fueron elaboradas: 1 con tinción doble (safranina-azul-astral en solución alcohólica 0.5%) y 4 en su estado natural. Además, un corte radial fue blanqueado con cloro comercial, deshidratado y montado en aceite de clavo para facilitar la observación de contenidos minerales en la madera.

3.4.3.3 Medición y procesamiento de datos cuantitativos

Diámetro de los vasos: La medición del diámetro tangencial de los vasos se realizó mediante un sistema de análisis de imágenes (Microscopio LEICA DMLB con cámara JVC TK-C1380 y el software LEICA Q5001W) midiendo 50 objetos (vasos solitarios) por cada lámina en el corte transversal.

Numero de los vasos/mm²: La sumatoria de los vasos por unidad de área se llevo a cabo usando un aumento bajo (4x), mediante un sistema de análisis de imágenes (Microscopio LEICA DMLS con cámara LEICA DFC 320 y el software LEICA QWin Pro V3). Fueron contados por cada lámina todos los vasos (solitarios y múltiples individualmente) en 10 campos consecutivos de 1 mm² (IAWA 1989).

El largo de las fibras: fue determinado solamente con las dos maderas blandas (Primavera, Rosa morada) ya que las otras maderas estudiadas no se consideran factibles para la producción de pulpa y papel debido a su alta densidad y contenido de extraíbles. De todos los árboles (6 por especie) y posiciones (interior, intermedia, exterior) fueron tomadas probetas a la altura del pecho (DAP). El procesamiento del material leñoso siguió la práctica común de laboratorio: Maceración del tejido en solución FRANKLIN (ácido acético y H₂O₂, 1:2) >> lavado >> tinción de las fibras en dispersión con safranina >> montaje en glicerina sobre porta objetos para microscopía. Por cada probeta se midió el largo de 30 fibras mediante un microscopio WILD con una cámara video HITACHI, medición con el software Arc View GIS 3.2. Fueron calculados el promedio, mínimo, máximo y desviación estándar. Los análisis estadísticos al respecto fueron realizados mediante ANOVA con el software Statgraphics Plus vs. 5.0.

3.4.3.4 Descripciones microscópicas

Para la descripción macro y microscópica de las maderas en cuestión se siguió el padrón establecido por IAWA (1989) transcrito al sistema DELTA (DEscription Language of TAXonomy) por Richter & Trockenbrodt (1993). Los datos descriptivos cualitativos y cuantitativos fueron incorporados en la base de datos “Maderas Comerciales” (Richter & Dallwitz 2000; consultar www.delta-intkey.com).

3.4.3.5 Muestras para xiloteca

De cada troza se elaboró una muestra representativa para la xiloteca científica del Departamento de Madera Celulosa y Papel (DMCyP) y un número variable de muestras para la colección de enseñanza e intercambio con otras xilotecas, nacional e internacional. Cada muestra es acompañada por un par de láminas microscópicas debidamente etiquetadas las cuales fueron incorporadas en la laminoteca del DMCyP.

3.4.3.6 Imágenes microscópicas

Las imágenes microscópicas acompañando las descripciones fueron tomadas mediante un microscopio ZEISS Axioskop 40 equipado con una cámara digital ZEISS AxioCam MR2 y un analizador de Imágenes usando el software ZEISS Axiovision vs. 4.6. Muestran los planos transversal, tangencial y radial en aumentos adecuados para captar los detalles estructurales de las respectivas maderas. Además se prepararon imágenes (tamaño natural) de la superficie apreciándose la variación en color y veteado encontrada, y algunas fotos a mayor aumento ilustrando detalles característicos de la madera en cuestión.

3.4.3.7 Números

53 trozas, 3 posiciones por troza, 6 láminas por posición, resulta en un total de (53x3x6) 954 láminas microscópicas elaboradas para el estudio y descripción de la estructura microscópica de las 11 especies investigadas. Además fueron elaboradas 72 láminas con la dispersión de fibras.

3.4.3.8 Propiedades físico-químicas

Fueron determinados los siguientes parámetros conforme el padrón establecido por IAWA (1989):

Superficie: Fluorescencia (color, intensidad).

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Extracto acuoso: Color, fluorescencia (color, intensidad).

Extracto en etanol: Color, fluorescencia (color, intensidad).

Prueba se saponificación: Intensidad, permanencia.

Combustión astilla: ceniza completa, parcial; carbón.

Color de ceniza.

Para los ensayos de fluorescencia se usó una lámpara BIB-150P produciendo radiación ultravioleta concentrada a 365 nm de intensidad, con 4,500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ a una distancia de 15 pulgadas (38 cm). Los resultados de los ensayos físico-químicos fueron incorporados en la base de datos “Maderas Comerciales” mediante el software DELTA-INTKEY (Richter & Dallwitz 2000 en adelante).

3.4.4 Resultados

3.4.4.1 Observaciones microtomía

Las maderas más livianas (Primavera y Rosa morada) se cortaron con gran facilidad y sin mayores defectos (paredes de los vasos ocasionalmente rotas).

Las maderas de Chechén, Jabín y Machiche de densidad mayor también se cortaron con facilidad y con pocos defectos, si estaban ablandadas adecuadamente.

El Tzalam, a pesar de tener una densidad similar a las maderas anteriores, presentó mayores dificultades de corte en las posiciones “m” e “i”, principalmente por desintegración mecánica (grietas causadas por tensiones internas residuales) de los tejidos causando muchos problemas para obtener cortes enteros libre de defectos.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Entre las maderas muy pesadas (densidad alrededor de 1.00 g/cm³), el Chicozapote, que a pesar de ser una madera muy compacta y dura, rindió muy buenos resultados de corte en el micrótopo. Mayores dificultades causaron las maderas de Chakté-viga, Granadillo y Ramón, principalmente por su alta densidad y heterogeneidad de su estructura.

La madera más difícil de cortar fue el Pukté, tanto por su alta densidad como por su abundante contenido de cristales muy grandes, los cuales tuvieron un severo efecto abrasivo en los filos de las navajas.

3.4.4.2 Descripciones macro y microscópicas de las maderas

3.4.4.2.1 Nombres botánicos adoptados

Como no se dispuso de material de herbario para la identificación de las 53 trozas recolectadas, estas fueron identificadas con base en su estructura macro y microscópica hasta el nivel de género, confirmando la presencia de las 10 maderas especificadas en la propuesta del proyecto y una madera adicional (Ramón = *Brosimum alicastrum*), la que fue posteriormente incluida en todas las investigaciones planeadas por el proyecto. Mediante estudios bibliográficos se consiguió confirmar el nivel de especie para las siguientes maderas: Chechén (*Metopium brownei*), Chicozapote (*Manilkara zapota*), Jabín (*Piscidia piscipula*), Primavera (*Roseodendron donnell-smithii*), Pukté (*Terminalia buceras*), Rosa morada (*Tabebuia rosea*), Tzalam (*Lysiloma latisiliquum*). Por otro lado, las maderas de Granadillo y Machiche no pueden ser atribuidas con seguridad a una determinada especie de los respectivos géneros (*Platymiscium* y *Lonchocarpus*) debido a la presencia de varias especies de cada género en la región, las cuales no pueden ser diferenciadas solamente con base en su estructura anatómica. Los nombres específicos acompañando estas dos maderas están precedidos por el acrónimo "cf." (abreviatura de la palabra latina

“confere” que significa “compara bien con”) tal como *Platymiscium* cf. *yucatanum* o *Lonchocarpus* cf. *castilloi*. Finalmente, las dos trozas de Chakté-viga pertenecen según sus características anatómicas a dos especies diferentes del género *Caesalpinia*, una de las cuales (C2) corresponde a *Caesalpinia platyloba*, la otra (C3) a una especie de *Caesalpinia* no determinada (sp.).

Las descripciones individuales para cada una de las maderas se incluyen en el Anexo 3.4.1.

3.4.4.3 Datos cuantitativos

3.4.4.3.1 Vasos

Los datos cuantitativos determinados están incorporados en las descripciones de las maderas estudiadas. En el Anexo 3.4.2 se encuentra las gráficas mostrando las tendencias del diámetro y del número/mm² de los vasos a lo largo del radio (posiciones interior, intermedia y exterior) para todas las especies y árboles investigados. Hay dos factores que influyen en la correlación diámetro/frecuencia de los vasos en maderas latifoliadas de porosidad difusa:

- a) **Disposición genética.** Es una necesidad fisiológica del árbol de formar un área de vasos mínima para la conducción de agua. Si lo logra mediante muchos vasos pequeños o pocos vasos grandes es una cuestión de su disposición genética. Por eso, la relación entre diámetro y número de vasos siempre es inversamente proporcional. Estas diferencias se manifiestan claramente en las maderas estudiadas (ver gráficas en el anexo II) entre las cuales se destacan el Chicozapote con muchos vasos pequeños ($\sim 26/\text{mm}^2$; $\sim 90 \mu\text{m}$) y el Jabín con pocos vasos grandes ($\sim 3/\text{mm}^2$; $\sim 240 \mu\text{m}$).

b) **Posición radial.** Los vasos formados durante los primeros años de vida del árbol (madera juvenil) tienden a diferir significativamente de los formados durante la fase adulta del árbol, generalmente son de menor diámetro y número/mm². Se supone que en los primeros años el árbol sostiene sus funciones vitales con una menor área de conducción de agua. Considerando la distancia entre las posiciones interior (madera juvenil) y intermedia (ya considerada madera adulta en árboles maduros) la tendencia de incrementar el diámetro y disminuir el número/mm² se observa en la mayoría de los árboles y especies estudiadas (ver gráficas en el anexo 3.4.2). Sin embargo, los datos llevan a la conclusión de que la resolución del muestreo a lo largo del radio no es suficientemente fina para poder interpretarlos en el sentido de una clara delimitación entre madera juvenil y madera adulta.

3.4.4.3.2 Fibras

El promedio, mínimo, máximo y desviación estándar del largo de las fibras de las dos especies estudiadas por troza y posición (interior, intermedia, exterior) se presenta en la tabla 3.4.1, los promedios por especie y posición en la tabla 3.4.2.

Tabla 3.4.1 Largo de las fibras de las especies Rosa morada y Primavera por troza y posición (interior, intermedia, exterior).

Rosa morada	Min-Promedio-Max (Desv. est.) [μm]	Primavera	Min-Promedio-Max (Desv. est.) [μm]
R11ai*	707- 989 -1239 (151)	V11ai*	603- 861 -1088 (112)
R11am	707- 979 -1387 (136)	V11am	688- 932 -1466 (151)
R11ax	869- 1028 -1182 (98)	V11ax	793- 1023 -1341 (149)
R21ai	817- 1074 -1333 (159)	V23ai	635- 893 -1138 (131)
R21am	753- 1058 -1329 (159)	V23am	741- 960 -1232 (131)
R21ax	741- 1021 -1282 (151)	V23ax	606- 1018 -1331 (167)
R31ai	610- 1176 -1504 (187)	V33ai	641- 870 -1163 (144)
R31am	806- 1152 -1498 (172)	V33am	769- 1002 -1238 (138)
R31ax	819- 1126 -1483 (157)	V33ax	729- 1021 -1271 (144)
R42ai	672- 935 -1211 (175)	V41ai	641- 873 -1282 (115)
R42am	792- 1020 -1331 (152)	V41am	729- 987 -1244 (158)
R42ax	704- 998 -1490 (193)	V41ax	724- 880 -1032 (92)
R51ai	688- 1027 -1351 (157)	V51ai	592- 720 -1010 (90)
R51am	653- 1000 -1346 (156)	V51am	580- 772 -970 (113)
R51ax	673- 1089 -1675 (210)	V51ax	568- 730 -1010 (101)
R61ai	500- 1001 -1367 (218)	V61ai	616- 819 -1021 (112)
R61am	774- 1066 -1372 (163)	V61am	602- 815 -1191 (128)
R61ax	789- 1192 -1589 (166)	V61ax	590- 794 -1045 (97)

Tabla 3.4.2 Promedio del largo de las fibras por especie (Rosa morada, Primavera) y posición (interior, intermedia, exterior).

Maderas	Promedio Interior [μm]	Promedio intermedia [μm]	Promedio exterior [μm]
Rosa morada	1034*	1046	1077*
Primavera	840*	911*	911

Rosa morada: Considerando el promedio de la especie (6 trozas) se observa un ligero incremento de la posición interior hacia la exterior, diferencia estadísticamente significativa a 95% de confiabilidad* (Tabla 3.4.2, gráfico 3.4.A1 en Anexo 3.4.3). A nivel de trozas individuales el largo de las fibras de las trozas R1, R2, R3, R4, y R5 no muestra una tendencia clara de un

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

incremento desde la posición interior hacia la posición exterior. Tal tendencia es evidente solamente en la troza R6 que muestra una diferencia estadísticamente significativa a 95% de confiabilidad entre las posiciones interior y exterior (gráfico 3.4.A2 Anexo 3.4.3). Según la clasificación propuesta por la Asociación Internacional de Anatomistas de Madera (IAWA 1989) el largo de la fibra de Rosa morada se ubica en las categorías de “muy cortas” ($\leq 900 \mu\text{m}$) a “cortas” (900–1600 μm).

Primavera: Considerando el promedio de la especie (6 trozas) se observa un incremento de la posición interior hacia la intermedia, diferencia estadísticamente significativa a 95% de confiabilidad* (Tabla 3.4.2, gráfico 3.4.A3 en Anexo 3.4.3). No hay diferencia entre las posiciones intermedia y exterior. A nivel de trozas individuales el largo de las fibras de las trozas V1 (gráfico 3.4.A4 en Anexo 3.4.3), V2, V3 y V4, muestra un padrón de incremento de la posición interior a la intermedia sin que las diferencias observadas sean estadísticamente significativas. Para las trozas V5 y V6 el largo de las fibras no sigue un padrón claro, las diferencias entre las posiciones interior, intermedia y exterior no son estadísticamente significativas. Según la clasificación propuesta por la Asociación Internacional de Anatomistas de Madera (IAWA 1989) el largo de la fibra de Primavera se ubica también en las categorías de “muy cortas” ($\leq 900 \mu\text{m}$) a “cortas” (900–1600 μm).

Las fibras de las dos especies muestran características morfológicas (largo, espesor de la pared) similares a las de las principales especies de Eucalipto aprovechadas mundialmente para la producción de papel. Sin embargo, considerando que se trata de maderas preciosas cuyo aprovechamiento principal deberá ser el uso de la madera sólida en la fabricación de muebles, solamente los residuos resultantes de la transformación primaria y secundaria proporcionarían pequeños volúmenes de materia prima, insuficiente para poder

contribuir significativamente al abastecimiento de una industria papelera. Por otro lado, los residuos de la producción industrial podrían ser aprovechados por talleres pequeños en la región (Chiapas y estados vecinos) que se dedican a la producción casera de papeles especiales hechos a mano.

3.4.4.4 Ensayos físico-químicos

3.4.4.4.1 Fluorescencia de la superficie

De las 11 maderas comerciales investigadas las siguientes mostraron una fluorescencia amarilla o tonalidades de amarillo bajo luz ultravioleta: Chechén, Jabín, Machiche y Tzalam. Las demás maderas no mostraron fluorescencia perceptible de la superficie.

3.4.4.4.2 Extracto acuoso y extracto en etanol

Los resultados de las pruebas de fluorescencia de extractos acuosos y en etanol se presentan en la tabla 3.4.3, mientras que en la Figura 3.4.1 se ilustra la fluorescencia a la luz ultravioleta de los extractos acuosos y en etanol de la madera de granadillo.

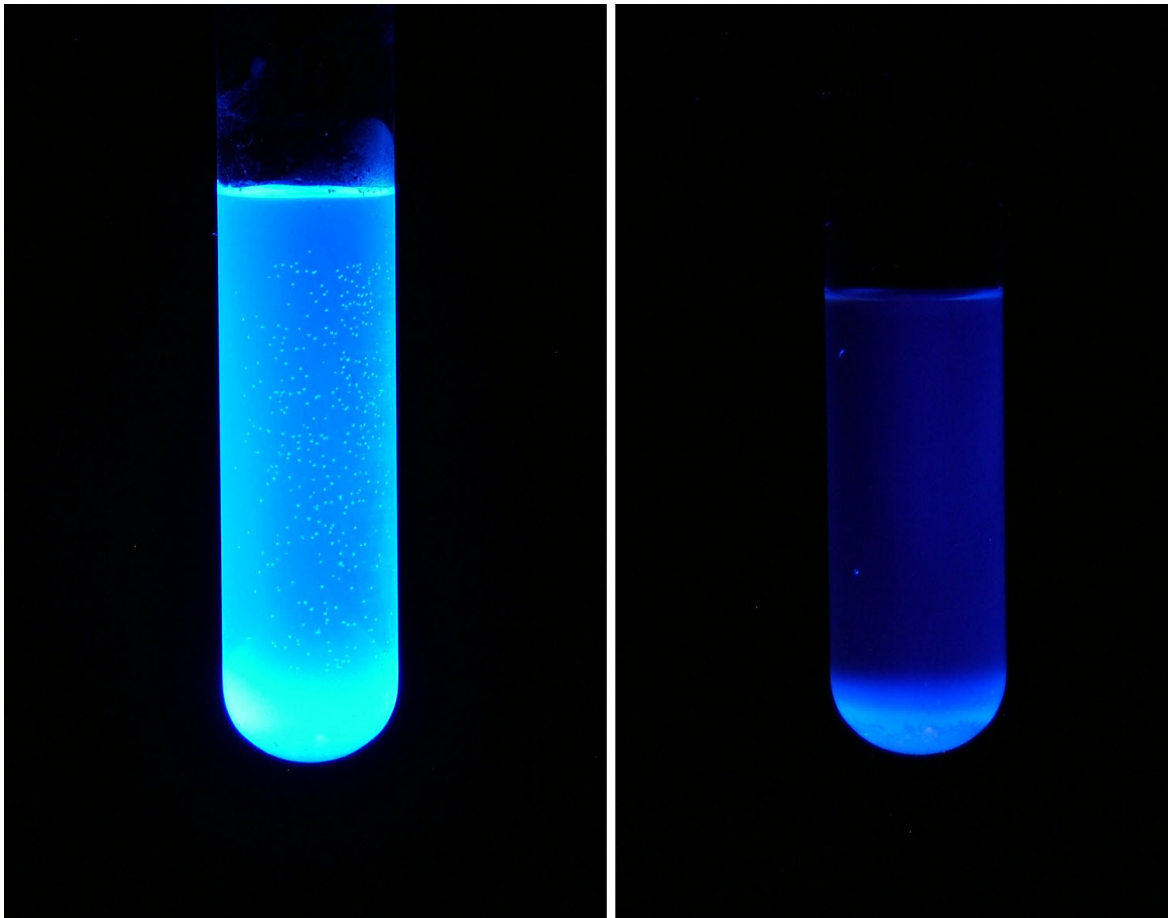


Figura 3.4.1 Fluorescencia bajo luz ultravioleta del extracto acuoso (izquierda) y en etanol (derecha) de la madera de Granadillo (*Platymiscium cf. yucatanum*). Foto: Raúl Rodríguez Anda.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Tabla 3.4.3 Color y fluorescencia de los extractos acuoso y en alcohol (ver Figura. 3.4.1 en página anterior).

Especie	No. de Árbol	No. de Probetas	Extracto acuoso			Extracto en etanol		
			Color	Fluorescencia	Color fluorescencia	Color	Fluorescencia	Color fluorescencia
Chakté-viga (C2)	1	2	incoloro	positivo	azul claro	incoloro a anaranjado claro	positivo	azul grisáceo
Chakté-viga C3)	1	2	amarillo claro	positivo	amarillo claro (color maíz)	anaranjado claro	positivo	amarillo anaranjado
Chechén	6	18	Caramelo a café rojizo oscuro	negativo	-----	café oscuro	positivo	azul verdoso (B1, B2); amarillo (B3, B6); amarillo verdoso(B4, B5)
Chicozapote	5	9	café rojizo	negativo	-----	café rojizo fuerte	negativo	-----
Granadillo	5	7	incoloro	positivo	azul claro brillante (fuerte)	café oscuro	positivo	azul violeta (fuerte)
Jabín	2	2	café claro	negativo	-----	incoloro	positivo	amarillo
Machiche	6	8	incoloro	negativo	-----	incoloro	positivo	amarillo
Primavera	6	6	incoloro	negativo	-----	incoloro	positivo	azul tenue
Pukté	6	16	verde olivo tenue	negativo	-----	Incoloro	positivo	lila (P1, P2, P3, P6); azul (x) y lila (m, i) en P4, P5
Ramón claro (RA)	1	3	Incoloro	negativo	-----	incoloro	positivo	azul claro tenue
Ramón colorado (C4, C5)	2	6	café claro a amarillento	positivo	azul claro brillante (fuerte)	amarillo claro anaranjado (C4) a café rojizo (C5)	positivo	azul violeta (fuerte)
Rosa morada	6	6	incoloro	negativo	-----	incoloro	positivo	azul tenue
Tzalam	6	11	incoloro	negativo	-----	incoloro a café caramelo	positivo	amarillo

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

3.4.4.4.3 Prueba de saponificación

Las saponinas son una serie de productos naturales ampliamente distribuidos en el reino vegetal, con características físicas y químicas biológicas comunes. Con agua producen espuma persistente por bajar la tensión superficial, y los vegetales que contienen saponinas, se han usado profusamente en muchas partes del mundo por sus propiedades detergentes. Además pueden ser tóxicas para animales e irritantes de la mucosa nasal y de la faríngea. Su presencia o no en la madera es una característica frecuentemente usada en la identificación de la misma. Entre las maderas estudiadas se destacan por un lado la madera del Machiche (ausencia de saponinas) y por otro lado las de Chicozapote, Jabín, Ramón colorado y Tzalam con abundantes saponinas provocando una reacción fuerte con la formación de espuma persistente (Tabla 3.4.4).

Tabla 3.4.4. Resultados - Prueba de saponificación.

Maderas	Resultados
Chakté-viga (C2)	Positivo, mediana
Chakté-viga (C3)	Positivo, baja a mediana
Chechén	Positivo, mediana
Chicozapote	Positivo, muy fuerte y persistente
Granadillo	Positivo, mediana
Jabín	Positivo, fuerte y persistente
Machiche	Negativo
Primavera	Positivo, mediana
Pukté	Positivo, mediana a fuerte
Ramón claro (RA)	Positivo, mediana
Ramón colorado (C4, C5)	Positivo, fuerte y persistente
Rosa morada	Positivo, mediana
Tzalam	Positivo, fuerte y persistente

3.4.4.4.4 Extraíbles lavables en contacto con agua

Si una madera contenía extraíbles solubles en contacto con el agua, no se le había dado mucha importancia hasta la introducción en el mercado de una

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

gama de acabados (tintes, lacas, barnices) base agua, generalmente acrílicos y desarrollados bajo el concepto de reducir los riesgos a la salud y los peligros de contaminación del ambiente. Sin embargo, su aplicación apropiada requiere conocimiento detallado sobre color e intensidad de los extraíbles hidrosolubles que puedan incidir en la calidad del terminado superficial de la madera. En la Tabla 3.4.5 se muestran los resultados de este tipo de prueba.

Tabla 3.4.5 Resultados de la prueba extraíbles lavables en contacto con agua.

Maderas	Resultados
Chakté-viga (C2)	Negativo excepto algunas rayas (de color rosado, intensidad mediana).
Chakté-viga (C3)	Positivo (de color anaranjado-rosado, intensidad mediana).
Chechén	Positivo, de color café amarillento, intensidad fuerte.
Chicozapote	Negativo (mayor parte); positivo en la zona de transición entre duramen y albura y en zonas de heridas, de color café, intensidad mediana.
Granadillo	Negativo.
Jabín	Positivo (de color amarillo, intensidad mediana).
Machiche	Positivo (de color café, intensidad mediana).
Primavera	Negativo
Pukté	Positivo, de color verde amarillento, intensidad mediana a fuerte
Ramón claro (RA)	Negativo (en la parte blanca), débilmente positivo en la madera oscura (una raya); de color café rojizo.
Ramón colorado (C4, C5)	Positivo, de color café rojizo, intensidad baja.
Rosa morada	Negativo.
Tzalam	Positivo, de color café, intensidad mediana.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

3.4.4.4.5 Combustión de astilla

La prueba “Combustión de astilla” fue desarrollada en los años treinta del siglo pasado en Australia, con la finalidad de facilitar la identificación y diferenciación de las numerosas especies del género *Eucalyptus* que no pueden ser separadas mediante su estructura de la madera. Su valor diagnóstico es limitado pero esta prueba ha sido muy útil en algunos casos problemáticos de identificación donde las características estructurales no rindieron resultados confiables (Niermann & Richter 1989).

Tabla 3.4.6 Resultados de la prueba de combustión de astilla.

Especie	Ceniza completa	Ceniza parcial	Carbón	Color
Chakté-viga (C2)	X			Gris; difícil de prender; exuda resina.
Chakté-viga (C3)	X			Gris; difícil de prender; exuda resina.
Chechén (B1, B2, B4)	X			Blanco a gris; crepita; difícil de prender.
Chechén (B3, B5, B6)		X		Gris oscuro a casi negro; crepita; difícil de prender.
Chico zapote	X			Gris oscuro; difícil de prender; crepita (solo duramen).
Jabín	X			Blanco grisáceo.
Machiche	X			Blanco; algunas muestras emiten humo negro.
Primavera		X		Casi negro; forma hilos coherentes.
Pukté	X			Blanco.
Ramón claro	X			Blanco grisáceo.
Ramón colorado	X			Blanco grisáceo; difícil de prender.
Rosa morada		X		Gris oscuro a negro; forma hilos coherentes.
Tzalam	X			Gris.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

3.4.4.4.6 Variabilidad entre y dentro de árboles

Superficie: En la fluorescencia de la superficie (Chechén, Jabín, Machiche, Tzalam) no hay variación cualitativa (amarillo en todos los árboles y las posiciones exterior (x), intermedia (m) e interior (i)). Hay cierta variación en la intensidad de la fluorescencia entre y dentro de los árboles y posiciones.

Extracto acuoso: En la fluorescencia del extracto acuoso de Granadillo y Ramón colorado no se observó variación entre y dentro de árboles. Por otro lado, se observó diferencia significativa entre los dos árboles de Chakté-viga (C2 diferente de C3).

Extracto en etanol: En la fluorescencia de extracto en etanol no se observó variación cualitativa ni cuantitativa entre y dentro de árboles de Granadillo, Jabín, Machiche, Ramón claro, Ramón colorado, Rosa morada, Tzalam y Primavera. Por otro lado, hubo diferencia significativa entre los dos árboles de Chakté-viga (C2 y C3). El Chechén mostró ligera variación de color entre árboles, de amarillo (B3, B6), amarillo verdoso (B4, B5) y azul claro verdoso (B1, B2). La variación dentro del árbol fue despreciable. El Pukté muestra una fluorescencia en etanol muy uniforme (color lila) entre y dentro de los árboles P1, P2, P3, P6. Por otro lado, en los árboles P4 y P5 se observó una variación apreciable conforme la posición de la muestra: las obtenidas de la posición exterior (x) fluorescencia de color azul claro, las de las posiciones intermedia (m) e interior (i) de color lila.

Combustión de astilla: Generalmente, el comportamiento bajo combustión de astilla se mostró muy uniforme entre árboles y posiciones de una especie. En casi todas las especies la astilla quema a ceniza completa con poca variación del color de la ceniza.

Un caso especial son las dos maderas pertenecientes a la familia Bignoniaceae, Primavera y Rosa morada, cuyas astillas queman a formar hilos coherentes de color casi negro (Primavera) o gris oscuro (Rosa morada). No se

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

trata de carbón. El Chechén muestra variación notable entre árboles; las astillas de los árboles B3, B5, B6 se reducen a formas coherentes casi negros; las de B1, B2 y B4 quemar a ceniza completa casi blanca.

Se observó crepitación durante la combustión en las probetas de Chechén y Chicozapote.

3.4.5 Agradecimientos

Parte de los datos cuantitativos (diámetro y número/mm²) de vasos se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Morfología, Depto. de Medicina Veterinaria, del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), bajo la responsabilidad del Dr. Jacinto Bañuelos Pineda. Otra parte se realizó en el laboratorio de Neurobiología Celular, Depto. de Biología Celular y Molecular Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), bajo la responsabilidad del Dr. Alfredo I. Feria Velasco.

La toma de las imágenes microscópicas se realizó en el Laboratorio de Microbiología, Depto. de Botánica, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), bajo la responsabilidad de la Dra. Laura Guzmán Dávalos.

Los ensayos de fluorescencia fueron realizados en un cuarto oscuro del Laboratorio de Embriología experimental, Depto. de Medicina Veterinaria, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), bajo la responsabilidad del Dr. Juan Jesús Roa Vidal.

Expresamos nuestro agradecimiento por permitirnos utilizar los equipos que se encuentran a su digno cargo, así como el apoyo técnico que nos brindaron sus colaboradores.

3.4.6 Bibliografía

- IAWA 1989. List of microscopic features for hardwood identification (ed. E.A. Wheeler, P. Baas, P.E. Gasson). IAWA Bull. n.s. 10(3): 219-332.
- Niermann, H.-H. & Richter, H.G. 1989. Balau / Bangkirai / Selangan Batu No.1 - eine wichtige Holzartengruppe auf dem deutschen Markt. Holz-Zentralblatt 114, Heft 154, 2397/2400.
- Richter, H.G. & Dallwitz, M. J. 2000 onwards. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. In English, French, German, Portuguese and Spanish. Version: 4th May 2008.
- Richter, H.G. & Trockenbrodt, M. 1995. Computergestützte Holzartenbestimmung unter Einsatz des DELTA/INTKEY Programmpaketes. Holz als Roh- und Werkstoff 52,4: 1-6.

Anexo 3.4.1 Descripciones macro y microscópicas de las maderas

CHAKTÉ-VIGA

***Caesalpinia* cf. *platyloba*., *Caesalpinia* sp., FABACEAE- CAESALPINIOIDEAE**

Los dos árboles recibidos con la denominación de “chakté-viga” pertenecen con alta probabilidad a dos especies diferentes del género *Caesalpinia*, una de las cuales se atribuye a la especie *C. platyloba*. Se distinguen significativamente en el color del duramen y también en la fluorescencia de los extractos acuoso y en etanol. Sin embargo, su estructura anatómica no muestra diferencias apreciables, razón por la cual se describen ambas especies apuntando diferencias cuando sea apropiado.

Otros nombres: Las diversas especies comerciales de *Caesalpinia* que ocurren en la península yucateca llevan nombres comunes muy variados conforme la región y lengua indígena. No son incluidos aquí porque las maderas investigadas no se pueden atribuir con seguridad a una especie determinada debido a la falta de material de herbario.

Región de distribución geográfica: México (península yucateca y posiblemente otras regiones).

Características de la madera

- *Caesalpinia* cf. *platyloba*: Duramen de color naranjo, con transición abrupta a la albura delgada de color crema amarillento (Figura 1a).
- *Caesalpinia* sp.: Duramen de color café claro rosado, distinto de la albura de color crema (sin imagen).

Límites de anillos de crecimiento macroscópicamente distintos, marcados por bandas muy finas de parénquima marginal. Veteado de acentuado (*Caesalpinia*

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

cf. *platyloba*) a suave (*Caesalpinia* sp.), textura fina a mediana, hilo entrecruzado. Madera seca sin olor distintivo.

Vasos. Madera de porosidad difusa. Vasos agrupados, generalmente en grupos radiales cortos de 2–3. *Caesalpinia* cf. *platyloba*: Diámetro tangencial 60–120–145 μm . Número de vasos/ mm^2 : 16–20–22 (–29). Largo de los elementos vasculares: 240–300 μm . *Caesalpinia* sp.: Diámetro tangencial 50–90–120 μm . Número de vasos/ mm^2 : 10–16–18 (–24). Largo de los elementos vasculares: 240–320 μm .

Placas de perforación simples. Punteaduras intervasculares alternas, diámetro (vertical) 6–8 μm , ornamentadas. Punteaduras radiovasculares con aréolas distintas, similares a las punteaduras intervasculares. Depósitos orgánicos de color ámbar a naranja (*Caesalpinia* cf. *platyloba*) o café amarillento (*Caesalpinia* sp.) presentes pero poco frecuentes.

Fibras. Fibras de paredes gruesas. Punteaduras de las fibras en su mayoría restringidas a las paredes radiales, simples o con aréolas minúsculas. Fibras no septadas.

Parénquima axial. En bandas finas marginales (Figura 1b), hasta 3 células de ancho. También presenta parénquima paratraqueal aliforme en forma de rombo raramente confluyente o unilateral. Parénquima axial en series de 2–4 células.

Radios. Multiseriados con 2–3 células de ancho. Altura de los radios grandes menor de 500 μm . Radios homocelulares, compuestos de células procumbentes.

Estratificación. Estructura estratificada presente (Figura 1c). Todos los radios, el parénquima axial, y los elementos de vasos estratificados. Número de estratos por mm axial: 4.

Estructuras secretoras. No observadas.

Sustancias minerales. Cristales presentes, prismáticos, localizados en células de los radios y células del parénquima axial (Figura 1e,f). Células cristalíferas de los radios ligeramente alargadas, ocasionalmente en cadenas radiales. Células cristalíferas del parénquima axial septadas. Número de cristales por célula o cámara: uno. Sílice no observada.

Pruebas físicas y químicas.

- *Caesalpinia* cf. *platyloba*: Extracto acuoso fluorescente (amarillo blanquecino), de color amarillo claro. Extraíbles no lavables en contacto con agua. Extracto en etanol fluorescente (amarillo anaranjado). Color del extracto en etanol amarillo claro. Prueba de saponificación positiva (débil). Combustión de astilla a ceniza completa, color de ceniza gris.
- *Caesalpinia* sp.: Extracto acuoso fluorescente (azul claro); prácticamente incoloro a café muy claro. Extraíbles no lavables en contacto con agua. Extracto en etanol fluorescente (azul grisáceo). Color del extracto en etanol café claro ligeramente anaranjado. Prueba de saponificación positiva (débil). Combustión de astilla a ceniza completa, color de ceniza gris. Las astillas exudan resina durante la combustión.

Bibliografía

- IAWA 1989. List of microscopic features for hardwood identification (ed. E.A. Wheeler, P. Baas, P.E. Gasson). IAWA Bull. n.s. 10(3): 219-332.
- Pennington, T.D. y Sarukhán, J. 1998. Árboles tropicales de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica. 521 pp.
- Vester, H.F.M. y Navarro Martínez, A. 2007. Árboles maderables de Quintana Roo. Fichas ecológicas. CONACYT y Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Q. Roo. 139 pp.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

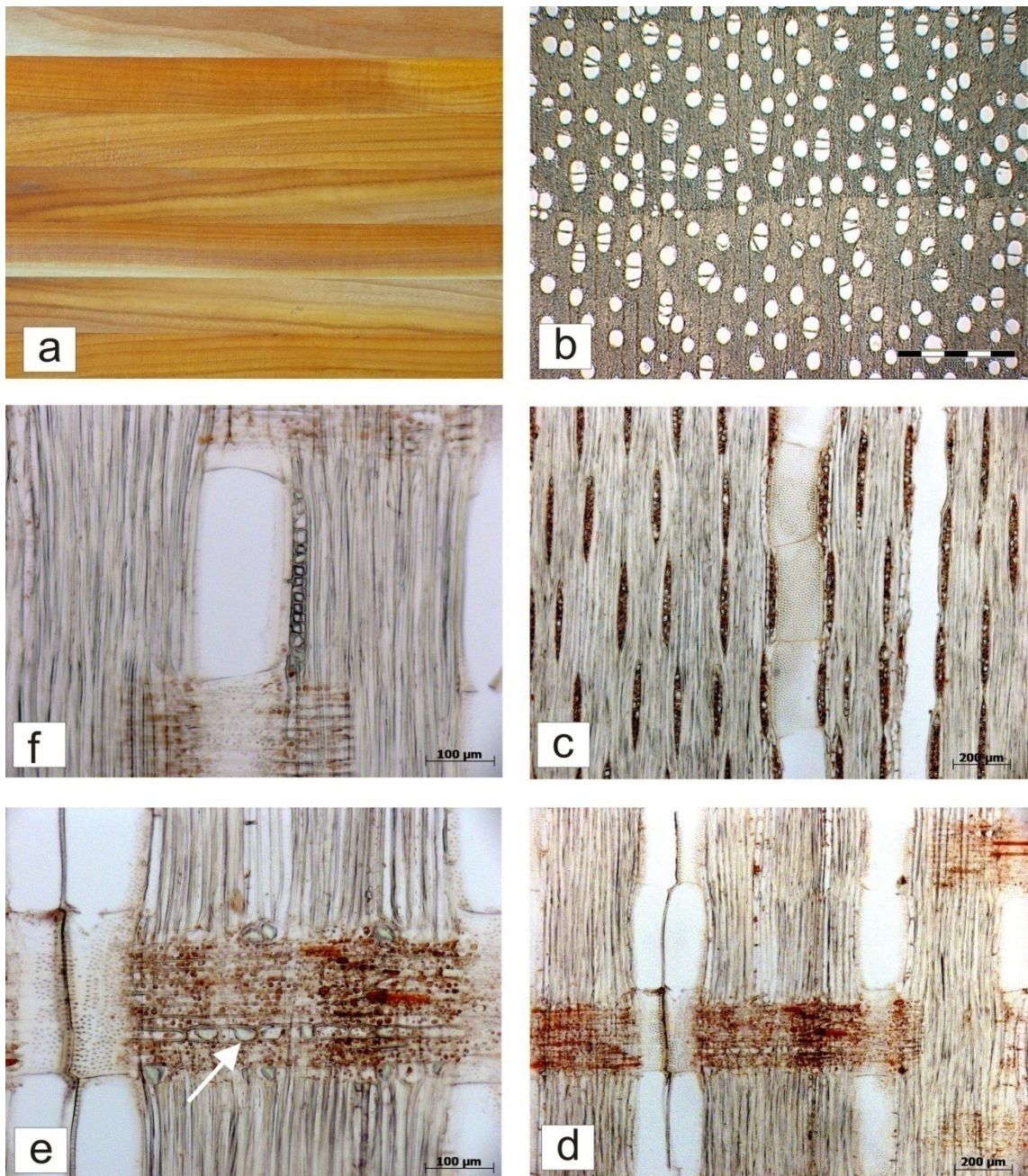


Figura 1 a. Variación en color y vetado de *Caesalpinia* cf. *platyloba* (tamaño natural); b. Corte transversal; c - d. Cortes tangencial y radial; e. cristales romboides en células de radio no septadas, en cadenas radiales (flecha); f. Cristales en células septadas del parénquima axial.

CHECHÉN

***Metopium brownei* (Jacq.) Urban, ANACARDIACEAE**

Sinónimos: *Terebinthus brownei* Jacq., *Amyris toxifera* L.

Otros nombres: boxcheché, kabal-chechen, palo de rosa (MX).

Región de distribución geográfica: México, Centroamérica (Belice, Guatemala), Caribe.

Árbol de hasta 25 m de altura y un diámetro (d.a.p.) de hasta 60 cm (Vester y Navarro M., 2007). Tronco derecho con las ramas ascendentes y la copa irregular. Produce una resina cáustica que puede causar afecciones dérmicas en personas sensibles (Pennington y Sarukhán, 1998).

Características de la madera. Duramen de color café rojizo amarillento, con vetas pronunciadas de tinte pardo a naranja o rojizo oscuro (Figura 1a); distinto de la albura de color café crema rosado. Límites de anillos de crecimiento macroscópicamente distintos, marcados por bandas muy finas de parénquima marginal. Veteado acentuado muy atractivo, textura de mediana a gruesa, hilo recto a entrecruzado. Madera seca sin olor específico.

Vasos. Madera de porosidad difusa. Vasos agrupados, generalmente en grupos radiales cortos de 2–3. Diámetro tangencial de los vasos: 70–100–150 μm (–190). Número de vasos/ mm^2 : 6–12–15 (–24). Largo de los elementos vasculares: 300–500 μm . Placas de perforación simples. Punteaduras intervasculares alternas, diámetro (vertical) 8–10 μm . Punteaduras radiovasculares con aréolas reducidas o aparentemente simples, redondeadas o angulares. Tíldes en los vasos abundantes, de paredes finas (Figuras 1b,c,d,e).

Fibras. Paredes de espesor mediano. Punteaduras restringidas a las paredes radiales, simples o con aréolas minúsculas. Depósitos orgánicos de color café oscuro presentes frecuentemente en los lúmenes.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Parénquima axial. En bandas finas marginales, hasta 3 células de ancho (Figura 1b). Presenta también parénquima axial paratraqueal vasicéntrico o aliforme en forma de rombo, ocasionalmente confluyente. Parénquima axial en series de. (2–)3–6(–8) células.

Radios. Multiseriados con 2–3(–4) células de ancho. Altura de los radios grandes comúnmente menor de 500 µm, algunos hasta 1000 µm. Radios homocelulares compuestos de células procumbentes, mezclados con radios heterocelulares compuestos de células procumbentes generalmente con una hilera de células cuadradas y erectas (Figura 1d).

Estructuras secretoras. Canales intercelulares en los radios presentes (Figuras 1c,e).

Estratificación. Ausente.

Sustancias minerales. Cristales presentes, prismáticos, localizados en células de los radios y del parénquima axial. Cristales en los radios son localizados casi exclusivamente en las hileras marginales erectas y/o cuadradas (Figura 1d). Células cristalíferas del parénquima axial no septadas. Número de cristales por célula uno. Sílice no observada.

Pruebas físicas y químicas. Duramen fluorescente (amarillo). Extracto acuoso no fluorescente; de color café oscuro, ocasionalmente también de color caramelo. Extraíbles lavables en contacto con agua(fuerte). Extracto en etanol fluorescente (variable de árbol a árbol, generalmente amarillo verdoso o azul verdoso, ocasionalmente amarillo). Color del extracto en etanol café oscuro intenso, ocasionalmente de color caramelo. Prueba de saponificación positiva. Combustión de astilla a ceniza completa, color de ceniza variable de árbol a árbol, de blanco grisáceo a blanco brillante o gris.

Bibliografía

- Pennington, T.D. y Sarukhán, J. 1998. Árboles tropicales de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica. 521 pp.
- Vester, H.F.M. y Navarro Martínez, A. 2007. Árboles maderables de Quintana Roo. Fichas ecológicas. CONACYT y Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Q. Roo. 139 pp.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

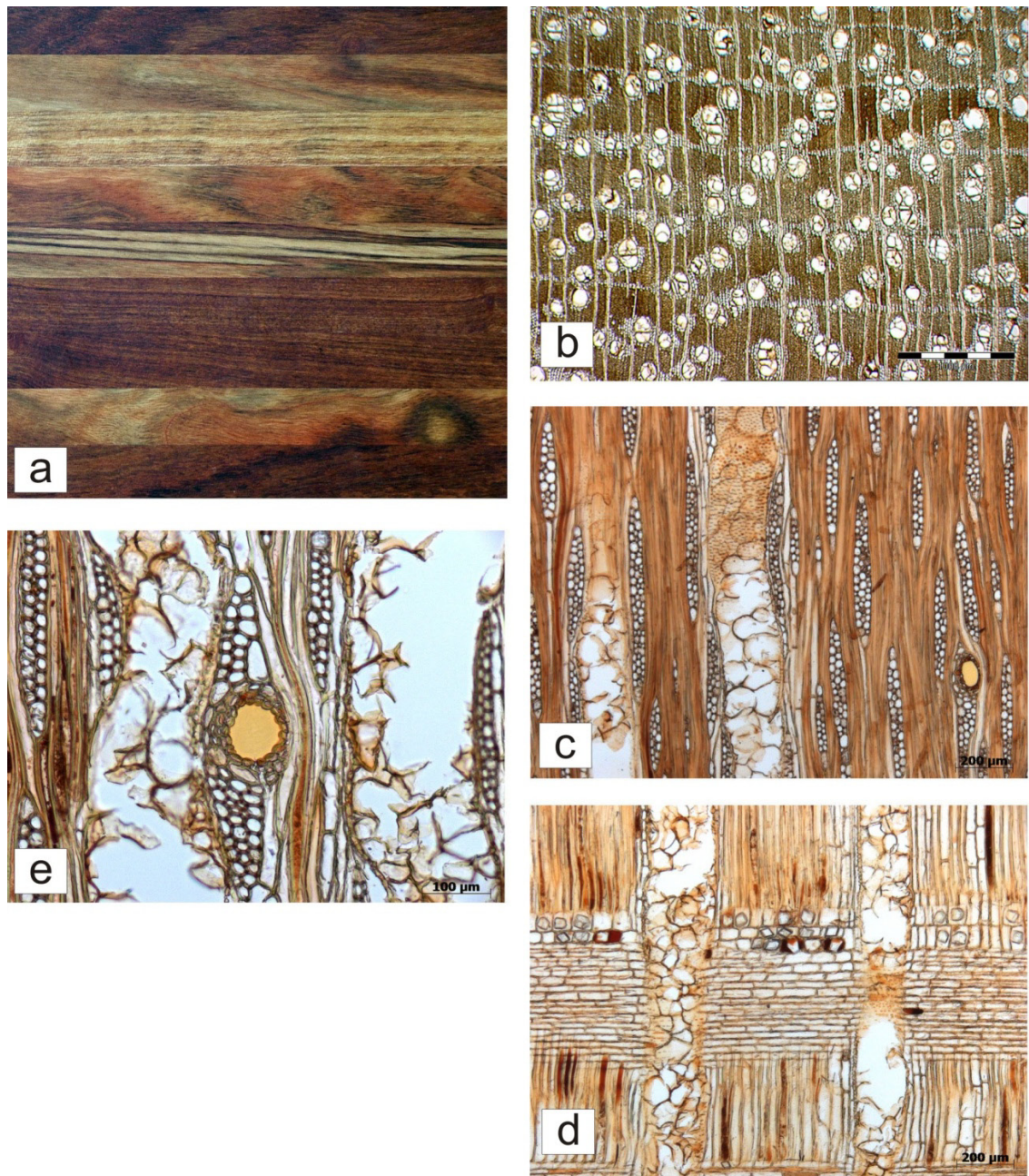


Figura 1 a. Variación en color y vetado (tamaño natural); b. Corte transversal; c - d. Cortes tangencial y radial; e. Canal intercelular (resinífero) radial rodeado por células epiteliales.

CHICOZAPOTE

***Manilkara zapota* (L.) P. Royen, SAPOTACEAE**

Sinónimos: *Achras zapota* L., *Manilkara zapotilla* (Jacq.) Gilly

Otros nombres: chapote, peruétano (MX).

Región de distribución geográfica: Sureste de México y Centroamérica (Guatemala).

Árbol de hasta 27 m de altura y diámetro (d.a.p.) de hasta 120 cm (Vester y Navarro M., 2007). Tronco recto, acanalado en la parte inferior. Ramificación simpodial, copa irregular y amplia (Pennington y Sarukhán, 1998).

Características de la madera. Duramen de color uniforme café rojizo oscuro o morado (Figura 1a), nítidamente diferenciado de la albura de color café claro rosado. Límites de anillos de crecimiento no perceptibles macroscópicamente. Veteado muy suave, textura fina y uniforme, hilo recto o entrecruzado. Madera seca sin olor distinto.

Vasos. Madera de porosidad difusa. Vasos dispuestos en cadenas oblicuas y/o radiales, generalmente en grupos radiales cortos (2–3) y largos de 4 vasos o más. Diámetro tangencial de los vasos: 50–90–105 μm (–140). Número de vasos/ mm^2 : 11–18–34 (–48). Largo de los elementos vasculares: 360–500 μm . Placas de perforación simples. Punteaduras intervasculares alternas, diámetro (vertical) 5–6 μm . Punteaduras radiovasculares con aréolas reducidas (aparentemente simples), redondeadas, horizontales o verticales, frecuentemente de diferentes tamaños y tipos en el mismo campo de cruzamiento. Tíldes presentes en gran cantidad (Figura 1c), de paredes finas y esclerotizadas. Depósitos orgánicos de color café rojizo presentes.

Fibras y traqueidas. Traqueidas vasicéntricas comúnmente presentes. Fibras de paredes gruesas. Punteaduras de las fibras restringidas a las paredes radiales, simples o con aréolas minúsculas. Fibras no septadas.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Parénquima axial. Parénquima axial en finas bandas marginales (Figura 1b), hasta 3 células de ancho. Parénquima axial apotraqueal difuso y difuso en agregados formando líneas finas y discontinuas entre los radios. Parénquima axial en serie, número de células por serie: (5–)7–9.

Radios. Multiseriados, con (1–)2 células de ancho (pocos 3-seriados), algunos con la parte multiseriada de igual ancho como la cola uniseriada. Altura de los radios grandes menor de 500 µm. Radios heterocelulares, la parte multiseriada compuesta por células procumbentes y las colas uniseriadas de 2–4 (o más) hileras de células cuadradas y erectas (Figura 1d).

Estratificación. Ausente.

Estructuras secretoras. No observadas.

Sustancias minerales. Cristales presentes, prismáticos, localizados en células de los radios, en las células del parénquima axial y en las tílides. Células cristalíferas de los radios generalmente erectas y/o cuadradas, frecuentemente septadas (Figura 1e). Células cristalíferas del parénquima axial septadas (Figura 1f). Número de cristales por célula o cámara uno o varios, de diferentes tamaños. Sílice no observada.

Pruebas físicas y químicas. Duramen no fluorescente. Extracto acuoso no fluorescente, de color café tenue a café rojizo oscuro. Extraíbles no lavables en agua menos en zonas de tejido traumático (heridas causadas por las incisiones de los chicleros). Extracto en etanol no fluorescente. Color del extracto en etanol café rojizo intenso. Prueba de saponificación positiva (muy fuerte). Combustión de astilla a ceniza completa, color de la ceniza gris oscuro, casi negro. Durante la combustión la astilla crepita continuamente.

Bibliografía

Pennington, T.D. y Sarukhán, J. 1998. Árboles tropicales de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica. 521 pp.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Vester, H.F.M. y Navarro Martínez, A. 2007. Árboles maderables de Quintana Roo. Fichas ecológicas. CONACYT y Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Q. Roo. 139 pp.

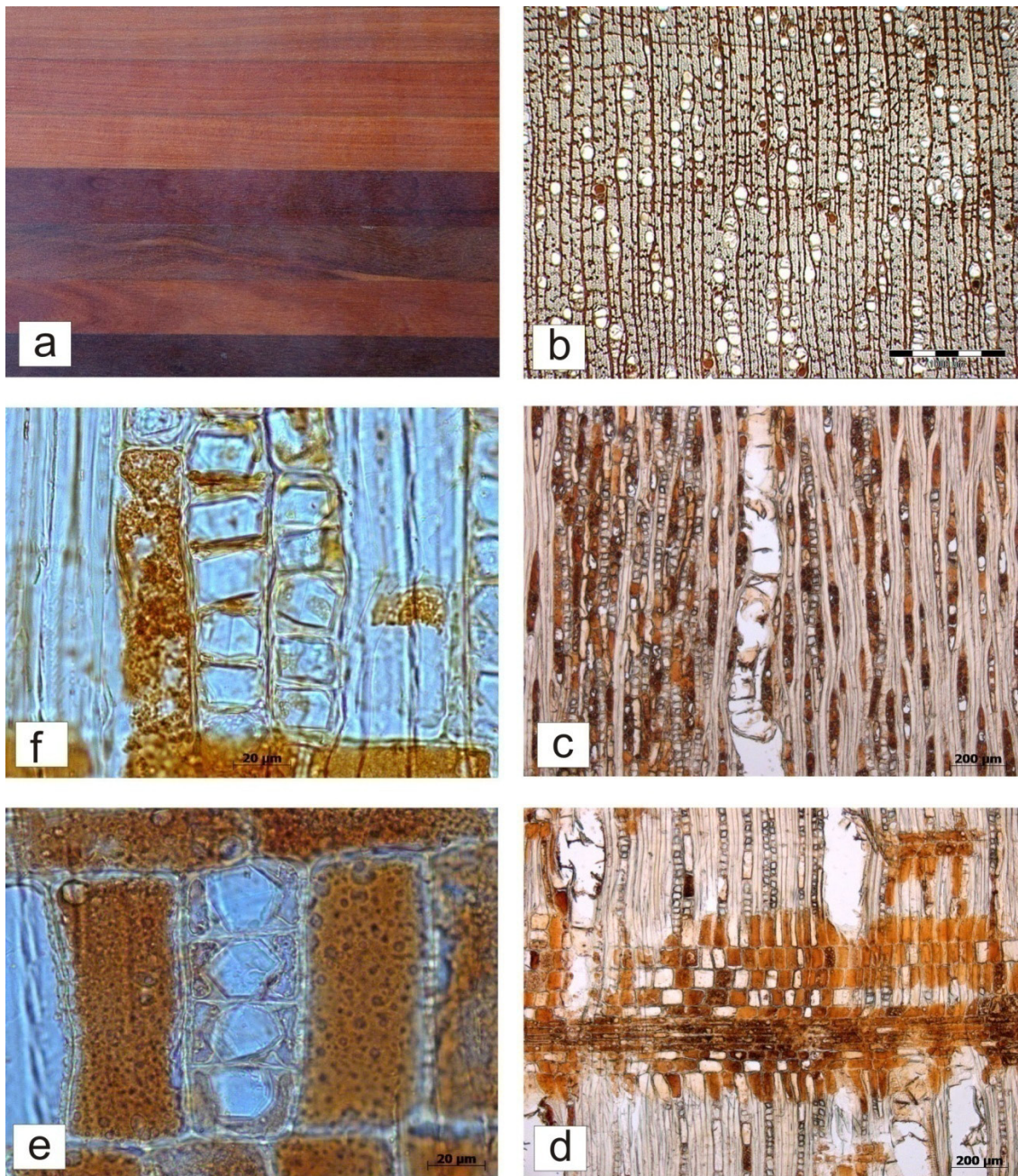


Figura 1 a. Variación en color y veteado (tamaño natural); b. Corte transversal; c – d. Cortes tangencial y radial; e – f. Cristales romboides en células septadas del parénquima radial (e) y axial (f).

GRANADILLO

Platymiscium cf. yucatanum Standl., FABACEAE-FABOIDEAE.

Otros nombres: chulul, grenadillo, subin`ché, hormiguillo (MX).

Región de distribución geográfica: Sureste de México y Centroamérica (Guatemala).

Árbol de hasta 30 m y diámetro a altura de pecho (d.a.p.) de hasta 55 cm (Vester y Navarro M., 2007); tronco recto, ramas ascendentes y copa irregular (Pennington & Sarukhán, 1998).

Características de la madera. Duramen de color café-rojizo oscuro con matiz morado, con vetas pronunciadas (Figura 1a). Albura de color crema amarillento, de 3-4 cm de ancho. Límites de anillos de crecimiento microscópicamente distintos, marcados por bandas muy finas de parénquima marginal. Veteado acentuado, textura mediana, hilo entrecruzado. La madera recién trabajada tiene un olor dulce.

Vasos. Madera de porosidad difusa. Vasos agrupados, generalmente en grupos radiales cortos (de 2–3 vasos). Diámetro tangencial: 80–150–160 μm (–210). Número de vasos/ mm^2 : 4–7–10 (–13). Largo de los elementos vasculares: 160–280 μm . Placas de perforación simples. Punteaduras intervasculares alternas, ornamentadas, diámetro (vertical) 6–8 μm . Punteaduras radiovasculares con aréolas distintas, similares a las punteaduras intervasculares. Depósitos orgánicos presentes de color café anaranjado.

Fibras. Fibras de paredes gruesas. Punteaduras de las fibras en su mayoría restringidas a las paredes radiales, simples o con aréolas minúsculas. Fibras no septadas.

Parénquima axial. En bandas finas marginales, hasta 3 células de ancho. Parénquima axial paratraqueal aliforme en forma de rombo y apotraqueal

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

difuso (series de células cristalíferas aisladas). Parénquima axial en series de 2–4 células, y también fusiforme en muestras con estructura estratificada.

Radios. Exclusivamente uniseriados en algunas muestras o multiseriados (1–2 células de ancho) en otras. Altura de los radios grandes menor de 500 μm . Radios homocelulares compuestos por células procumbentes.

Estratificación. Estructura estratificada presente en la mayoría de las muestras (Figura 1c). Todos los radios estratificados (en función del árbol la estratificación es más o menos conspicua), parénquima axial estratificado o no estratificado, elementos de vasos estratificados, fibras estratificadas o no estratificadas. Disposición de los estratos regular, irregular en algunas muestras. Número de estratos por mm axial: 4–5.

Estructuras secretoras. No observadas.

Sustancias minerales. Cristales presentes, prismáticos, localizados esporádicamente en células procumbentes de los radios (Figura 1f) y de mayor frecuencia en células del parénquima axial (Figura 1e). Células cristalíferas del parénquima axial septadas, predominantemente localizadas en los extremos de bandas y del parénquima aliforme. Número de cristales por célula uno. Sílice no observada.

Pruebas físicas y químicas. Duramen no fluorescente. Extracto acuoso fluorescente (azul claro brillante); de color básicamente incoloro a café o tonalidades de café. Extraíbles no lavables en contacto con agua. Extracto en etanol fluorescente (azul violeta brillante), color del extracto en etanol en tonalidades de café-rojizo. Prueba de saponificación positiva. Combustión de astilla a ceniza completa, ceniza de color blanco grisáceo.

Bibliografía

Pennington, T.D. y Sarukhán, J. 1998. Árboles tropicales de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica. 521 pp.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Vester, H.F.M. y Navarro Martínez, A. 2007. Árboles maderables de Quintana Roo. Fichas ecológicas. CONACYT y Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Q. Roo. 139 pp.

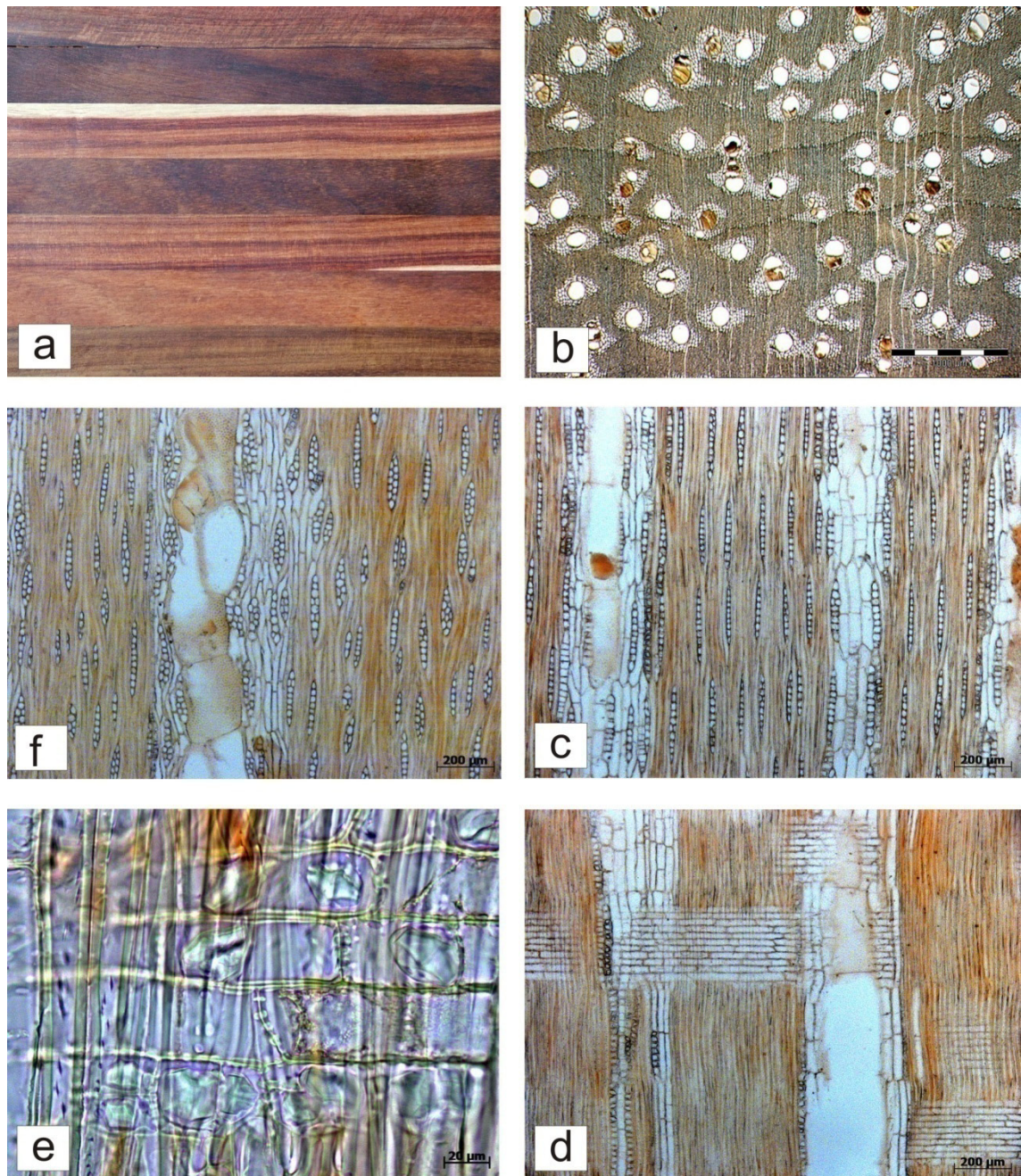


Figura 1 a. Variación en color y veteado (tamaño natural); b. Corte transversal; c. Corte tangencial (radios estratificados); d. Corte tangencial (radios no estratificados); e. Corte radial; f. Cristales romboides en células del radio (muy raros).

JABÍN

***Piscidia piscipula* (L.) Sarg., FABACEAE-FABOIDEAE**

Sinónimos: *Erythrina piscipula* L., *Ichthyomethia piscipula* Hitchc. Ex Sarg., *Robinia alata* Mill.

Otros nombres: barbasco, flor de papagallo, haabi, jabi, matapiojo (MX); fish-poison-tree (US); Jamaica dogwood (JM).

Región de distribución geográfica: Norteamérica (EUA-Florida), México y Centroamérica, Caribe.

Árbol de 15 hasta 26 m de altura y diámetro (d.a.p.) de 35 a 60 (hasta 80) cm (Vester y Navarro 2007). Tronco derecho, ramas escasas ascendentes, copa densa (Pennington y Sarukhán 1998).

Características de la madera. Duramen de color café castaño amarillento con matiz verdusco, con vetas aisladas de color olivo oscuro (Figura 1a); poco distinto de la albura de color crema amarillento. Límites de anillos de crecimiento macroscópicamente distintos, marcados por bandas muy finas de parénquima marginal. Presenta un veteado en relieve muy atractivo alternando capas de diferentes colores entresacadas. Textura gruesa, hilo entrecruzado. Madera seca sin olor distinto.

Vasos. Madera de porosidad difusa. Vasos agrupados, generalmente en grupos radiales cortos de 2–3, de menor frecuencia de 4 o más. Diámetro tangencial de los vasos: 150–245–340 μm . Número de vasos/ mm^2 : 1–2–4 (–7). Largo de los elementos vasculares: 200–260 μm . Placas de perforación simples. Punteaduras intervasculares alternas, diámetro (vertical) 7–10 μm , ornamentadas. Punteaduras radiovasculares con aréolas distintas, similares a las punteaduras intervasculares. Depósitos orgánicos de color amarillo o ámbar presentes.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Fibras. Espesor de las paredes de mediano a grueso. Punteaduras de las fibras restringidas a las paredes radiales, simples o con aréolas minúsculas. Fibras no septadas.

Parénquima axial. En bandas finas marginales de hasta 3 células de ancho; además en numerosas bandas no marginales, conspicuas y gruesas de hasta 10 células de ancho (Figura 1b). Parénquima axial paratraqueal aliforme en forma de rombo, confluyente. Parénquima axial en series de generalmente 2 células (Figura 1c).

Radios. Multiseriados, con 2–4 células de ancho. Altura de los radios grandes menor de 500 μm , algunos hasta 1000 μm . Radios homocelulares, compuestos de células procumbentes (Figura 1d).

Estratificación. Estructura estratificada presente. Algunos radios estratificados, otros no; parénquima axial y elementos de vasos estratificados. Disposición de los estratos regular o irregular en algunas muestras; número de estratos por mm axial: 5.

Sustancias minerales. Cristales presentes, prismáticos, localizados en células del parénquima axial. Células cristalíferas septadas, localizadas predominantemente pegadas a los márgenes de las bandas de parénquima y del parénquima paratraqueal. Número de cristales por célula o cámara: uno. Sílice no observada.

Pruebas físicas y químicas. Duramen fluorescente (amarillo). Extracto acuoso no fluorescente, de color café claro. Extraíbles poco lavables en contacto con agua. Extracto en etanol fluorescente (amarillo), color del extracto en etanol con tonalidades de amarillo. Prueba de saponificación positiva. Combustión de astilla a ceniza completa, color de la ceniza blanco grisáceo.

Bibliografía

Pennington, T.D. y Sarukhán, J. 1998. Árboles tropicales de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica. 521 pp.

Vester, H.F.M. y Navarro Martínez, A. 2007. Árboles maderables de Quintana Roo. Fichas ecológicas. CONACYT y Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Q. Roo. 139 pp.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

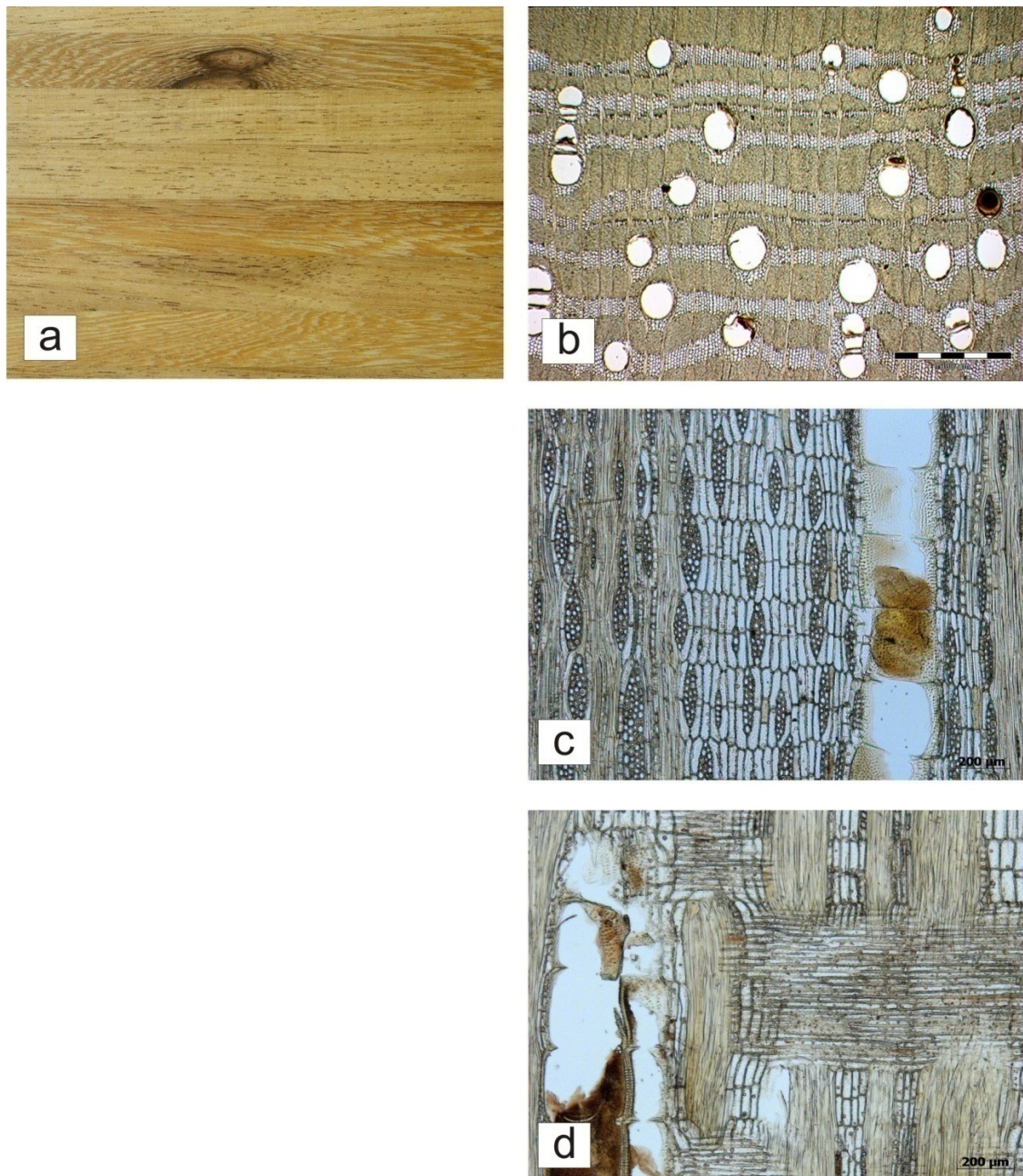


Figura 1 a. Variación en color y vetado (tamaño natural); b. Corte transversal; c. - d. Cortes tangencial y radial.

MACHICHE

***Lonchocarpus cf. castilloi* Standl., FABACEAE-FABOIDEAE**

Otros nombres: Balché, chacté, chashté, canazin, manchiche, matachiche (MX).

Región de distribución geográfica: Sureste de México y Centroamérica

Árbol de hasta 25 m de altura y diámetro (d.a.p.) de hasta 60 cm (Vester y Navarro M., 2007). Tronco derecho, copa redondeada y densa, con las ramas ascendentes (Pennington y Sarukhán, 1998).

Características de la madera: Duramen de color café cobrizo a rojizo ocasionalmente con vetas oscuras (Figura 1a), nítidamente diferenciada de la albura de color crema a café claro. Límites de anillos de crecimiento visibles macroscópicamente, marcados por finas bandas de parénquima marginal. Veteado acentuado en las caras tangenciales, textura gruesa, hilo fuertemente entrecruzado, ocasionalmente muy irregular. Madera seca sin olor característico.

Vasos. Madera de porosidad difusa. Vasos agrupados, generalmente en grupos radiales cortos de 2–3. Diámetro tangencial: 85–190–250 μm (–340). Número de vasos/ mm^2 : 1–3–5 (–9). Largo de los elementos vasculares: 200–240 μm . Placas de perforación simples. Punteaduras intervasculares alternas, diámetro (vertical) 5–7 μm , ornamentadas. Punteaduras radiovasculares con aréolas distintas, similares a las punteaduras intervasculares. Depósitos orgánicos presentes (color ámbar).

Fibras. Paredes de espesor mediano. Punteaduras de las fibras restringidas a las paredes radiales, simples o con aréolas minúsculas. Fibras no septadas.

Parénquima axial. En bandas marginales finas, hasta 3 células de ancho, junto con numerosas bandas no marginales, conspicuas, fuertemente onduladas y gruesas (Figura 1b). Parénquima paratraqueal aliforme en forma

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

de rombo, con frecuente confluencia. Parénquima axial en serie, número de células por serie 2–4.

Radios. Radios multiseriados, (2–)3(–4) células de ancho. Altura de los radios grandes menor de 500 μm . Radios homocelulares, compuestos por células procumbentes (Figura 1d).

Estratificación. Estructura estratificada presente (Figura 1c). Todos los radios, el parénquima axial y los elementos de vasos estratificados; las fibras estratificadas o no estratificadas. Número de estratos por mm axial (3–)4.

Estructuras secretoras. No observados

Sustancias minerales. Cristales presentes, prismáticos, en series de células septadas del parénquima axial (Figura 1e) localizadas predominantemente pegadas a los márgenes de las bandas de parénquima y del parénquima paratraqueal. Número de cristales por célula uno, raramente más de uno. Cristales dentro de una célula del mismo tamaño. Sílice no observado.

Pruebas físicas y químicas. Duramen fluorescente (amarillo). Extracto acuoso no fluorescente; prácticamente incoloro. Extraíbles no lavables en contacto con agua. Extracto en etanol fluorescente (amarillo). Color del extracto en etanol incoloro. Prueba de saponificación negativa. Combustión de astilla a ceniza completa, color de la ceniza blanco brillante. Algunas astillas arrojan humo fuerte durante la combustión.

Bibliografía

- Pennington, T.D. y Sarukhán, J. 1998. Árboles tropicales de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica. 521 pp.
- Vester, H.F.M. y Navarro Martínez, A. 2007. Árboles maderables de Quintana Roo. Fichas ecológicas. CONACYT y Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Q. Roo. 139 pp.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

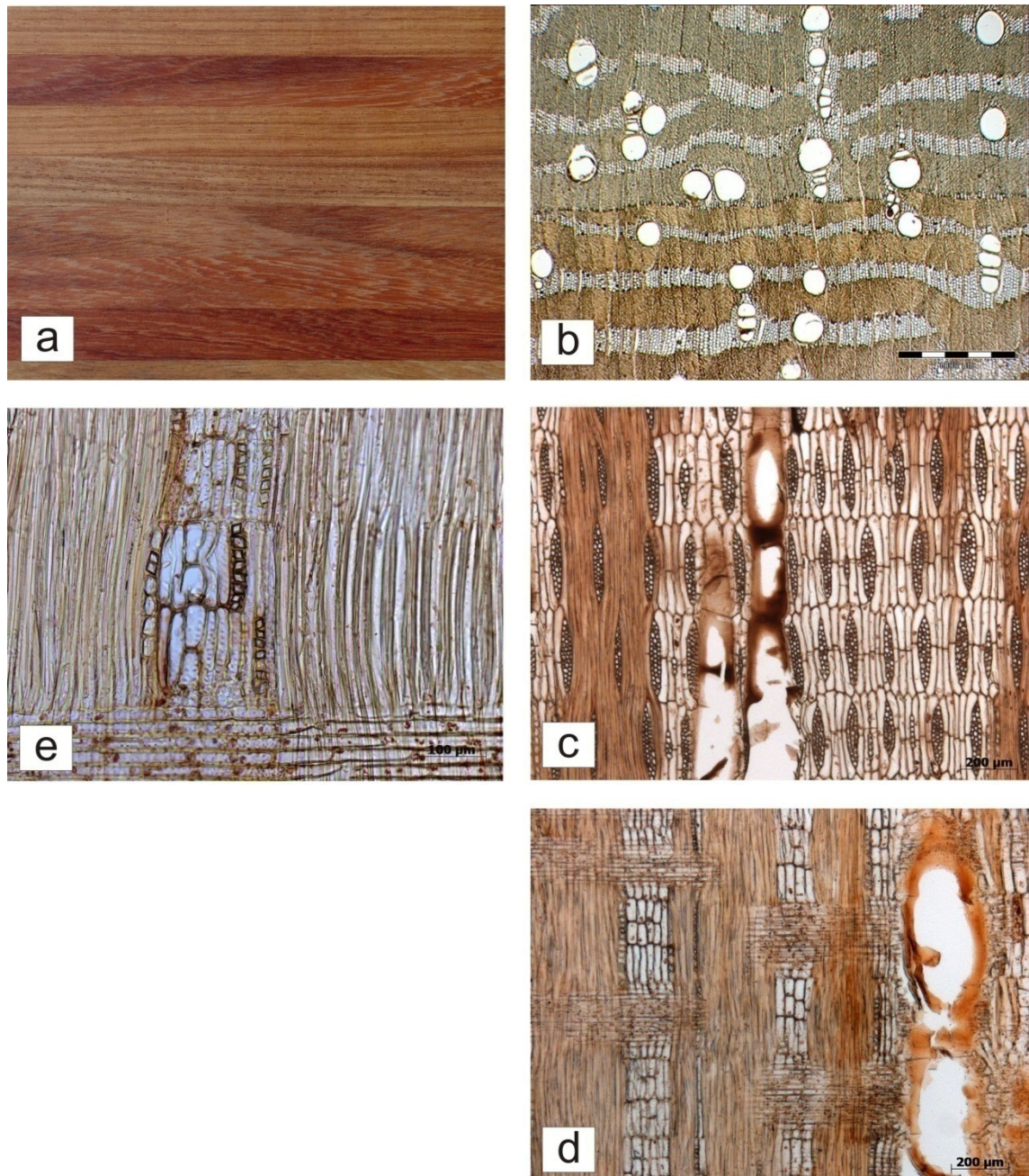


Figura 1 a. Variación en color y veteado (tamaño natural); b. Corte transversal; c - d. Cortes tangencial y radial; e. Detalle de los cristales romboides en células septadas del parénquima axial.

PRIMAVERA

***Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda, BIGNONIACEAE**

Sinónimos: *Cybistax donnell smithii* (Rose) Seibert, *Tabebuia donnell-smithii* Rose

Otros nombres: Palo blanco (MX); white mahogany, gold tree (US, trade)

Región de distribución geográfica: México y Centroamérica.

Árbol de hasta 30 m de altura y diámetro (d.a.p.) de hasta 70 cm. Tronco recto, ligeramente acanalado; ramas ascendentes, copa alargada (Pennington y Sarukhán, 1998).

Características de la madera. Duramen de color crema blanquecino a amarillento uniforme sin diferencia en color apreciable entre duramen y albura (Figura 1a). Límites de anillos de crecimiento macroscópicamente distintos, marcados por fajas oscuras de madera tardía acompañadas por bandas muy finas de parénquima marginal.

Vasos. Madera de porosidad semi-anular a difusa. Vasos agrupados, generalmente en grupos radiales cortos de 2–3. Diámetro tangencial de los vasos: 75–125–150 μm (–190). Número de vasos/ mm^2 : 4–6–13 (–17). Largo de los elementos vasculares: 200–440 μm . Placas de perforación simples. Punteaduras intervasculares alternas, diámetro (vertical) 4–6 μm . Punteaduras radiovasculares con aréolas distintas, similares a las punteaduras intervasculares, de tamaño y tipo uniforme. Pocas tílides de paredes finas presentes en los vasos (Figura1d).

Fibras. De paredes finas a medianas. Largo: (610–)700–1000(–1190) μm . Punteaduras de las fibras restringidas a las paredes radiales, simples o con aréolas minúsculas. Fibras no septadas.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Parénquima axial. En bandas finas marginales (Figura 1b), hasta 3 células de ancho. Parénquima paratraqueal escaso a vasicéntrico. Parénquima axial en serie, número de células por serie 2–4(–6).

Radios. Multiseriados con (2–)3–4 células de ancho. Altura de los radios grandes menor de 500 μm . Radios homocelulares compuestos células procumbentes (Figura 1d).

Estratificación. Presente de expresión muy tenue en pocas muestras, ausente en otras. Si presente, involucra más bien el parénquima axial y los vasos, raramente también los radios.

Estructuras secretoras. No observados.

Sustancias minerales. No observadas.

Pruebas físicas y químicas. Duramen no fluorescente. Extracto acuoso incoloro, no fluorescente. Extraíbles no lavables en contacto con agua. Extracto en etanol fluorescente (azul claro). Color del extracto en etanol de café claro. Prueba de saponificación positiva. Combustión de astilla a ceniza parcial (quema formando un hilo fino y cohesivo), color de la ceniza de gris oscuro a casi negro.

Bibliografía

Pennington, T.D. y Sarukhán, J. 1998. Árboles tropicales de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica. 521 pp.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

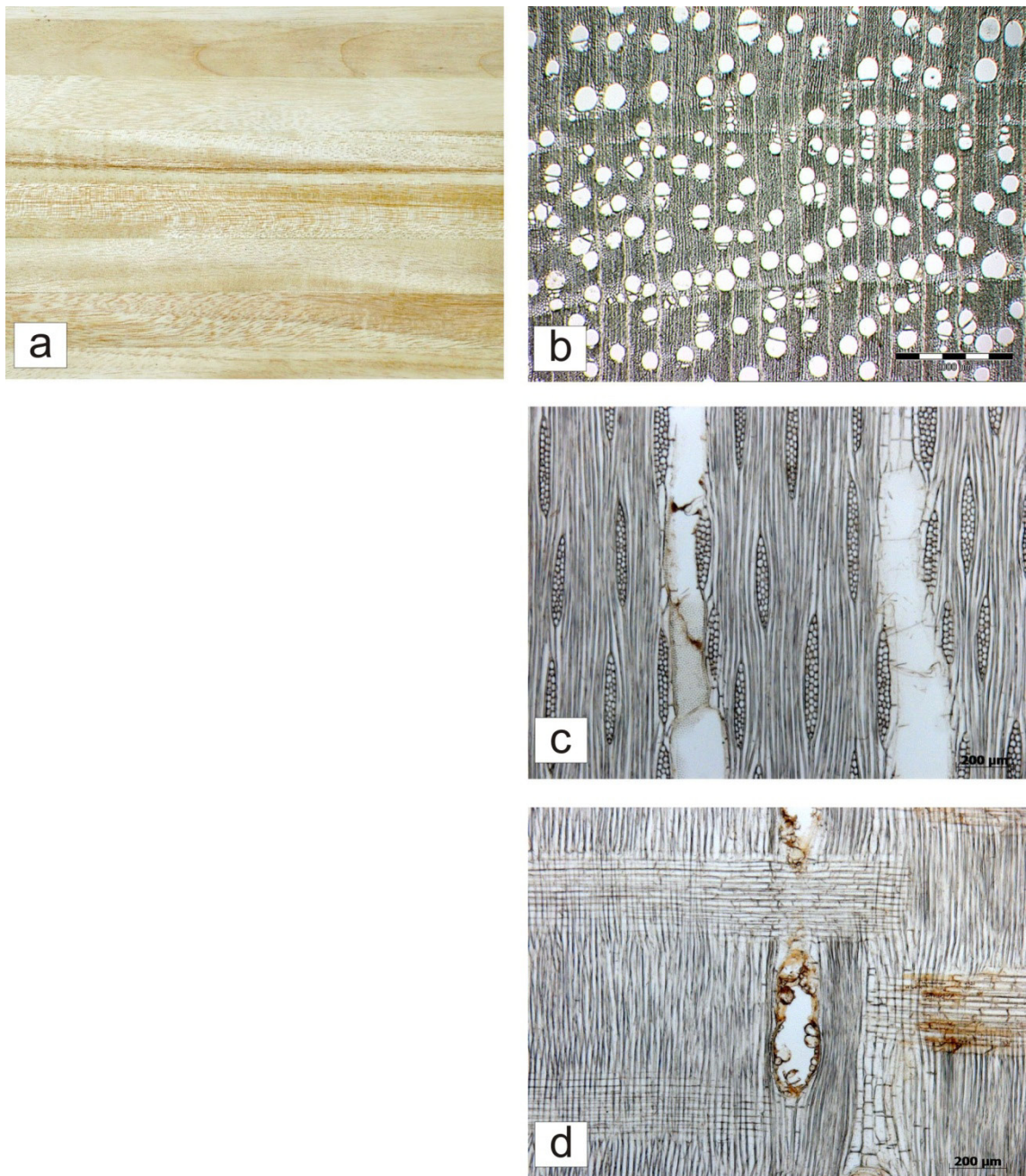


Figura 1 a. Variación en color y vetado (tamaño natural); b. Corte transversal; c. – d. Cortes tangencial y radial.

PUKTÉ

***Terminalia buceras* (L.) C. Wright, COMBRETACEAE**

Sinónimo: *Bucida buceras* L.

Otros nombres: Cacho de toro, olivo negro, pucté (MX); pocte (GT); mareón (PA); búcaro, júcaro (VE); úcar (PR); bullet tree (BZ); bois gris-gris, b. margot, grignon (FR); black olive, gregory wood, oxhorn, "shady lady" (US).

Región de distribución geográfica: Sureste de México y Centroamérica, Caribe, norte de Sudamérica tropical (Venezuela).

Árbol de hasta 35 m de altura, con diámetro (d.a.p.) de hasta 80 cm, con tronco derecho. Ramificación simpodial, ramas gruesas y ascendentes u horizontales, copa redondeada o estratificada (Pennington y Sarukhán, 1998).

Características de la madera. Duramen de color variable en función del árbol, desde pardo o gris verdusco a café a olivo oscuro (Figura 1a), generalmente distinto de la albura de color café claro grisáceo. Límites de anillos de crecimiento macroscópicamente distintos, marcados por bandas finas de parénquima marginal. Veteado suave, textura mediana, hilo entrecruzado. En la madera de algunos árboles se observa manchas o vetas de color muy claro (casi blanco) que corresponden a zonas de madera de tensión (Figura 1f). Madera seca sin olor distintivo.

Vasos. Madera de porosidad difusa. Vasos agrupados, generalmente en grupos radiales cortos de 2–3. Diámetro tangencial: 50–120–135 μm (–180). Número de vasos/ mm^2 : 4–7–11 (–18). Largo de los elementos vasculares: 220–400 μm . Placas de perforación simples. Punteaduras intervasculares alternas, diámetro (vertical) 6–8 μm , ornamentadas. Punteaduras radiovasculares con aréolas distintas, similares a las punteaduras intervasculares. Depósitos orgánicos en vasos de duramen presentes, de color miel a café.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Fibras. De paredes medianas a predominantemente gruesas. Punteaduras en su mayoría restringidas a las paredes radiales, simples o con aréolas minúsculas. Fibras no septadas.

Parénquima axial. En bandas marginales finas (Figura 1b), hasta 3 células de ancho. Parénquima axial paratraqueal aliforme y confluyente en forma de rombo, o unilateral. Parénquima axial en series de (3–)4–9 células.

Radios. Multiseriados, con (1–)3–5 células de ancho. Altura de los radios grandes hasta 500 µm, algunos pocos hasta 1000 µm. Radios homocelulares (Figura 1d) compuestos por células procumbentes.

Estratificación. Ausente

Estructuras secretoras. No observadas

Sustancias minerales. Cristales presentes, estiloides o alargados, localizados en células de los radios, frecuentemente en cadenas radiales, y del parénquima axial. Células cristalíferas de los radios y del parénquima axial no septadas. Número de cristales por célula o cámara: uno (raramente 2), los dentro de una célula de diferentes tamaños. Células cristalíferas algo alargadas horizontal y verticalmente (Figura 1d), sin embargo no se les considera idioblastos. Sílice no observada.

Pruebas físicas y químicas. Duramen no fluorescente. Extracto acuoso no fluorescente, de color básicamente incoloro a verde claro. Extraíbles lavables en contacto con agua. Extracto en etanol fluorescente (predominantemente de color lila, en dos árboles azul claro). El color del extracto en etanol muestra tonalidades café o verde (con matiz amarillento o verdoso). Prueba de saponificación positiva. Combustión de astilla a ceniza completa, color de ceniza blanco brillante.

Bibliografía

Pennington, T.D. y Sarukhán, J. 1998. Árboles tropicales de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica. 521 pp.

Vester, H.F.M. y Navarro Martínez, A. 2007. Árboles maderables de Quintana Roo. Fichas ecológicas. CONACYT y Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Q. Roo. 139 pp.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

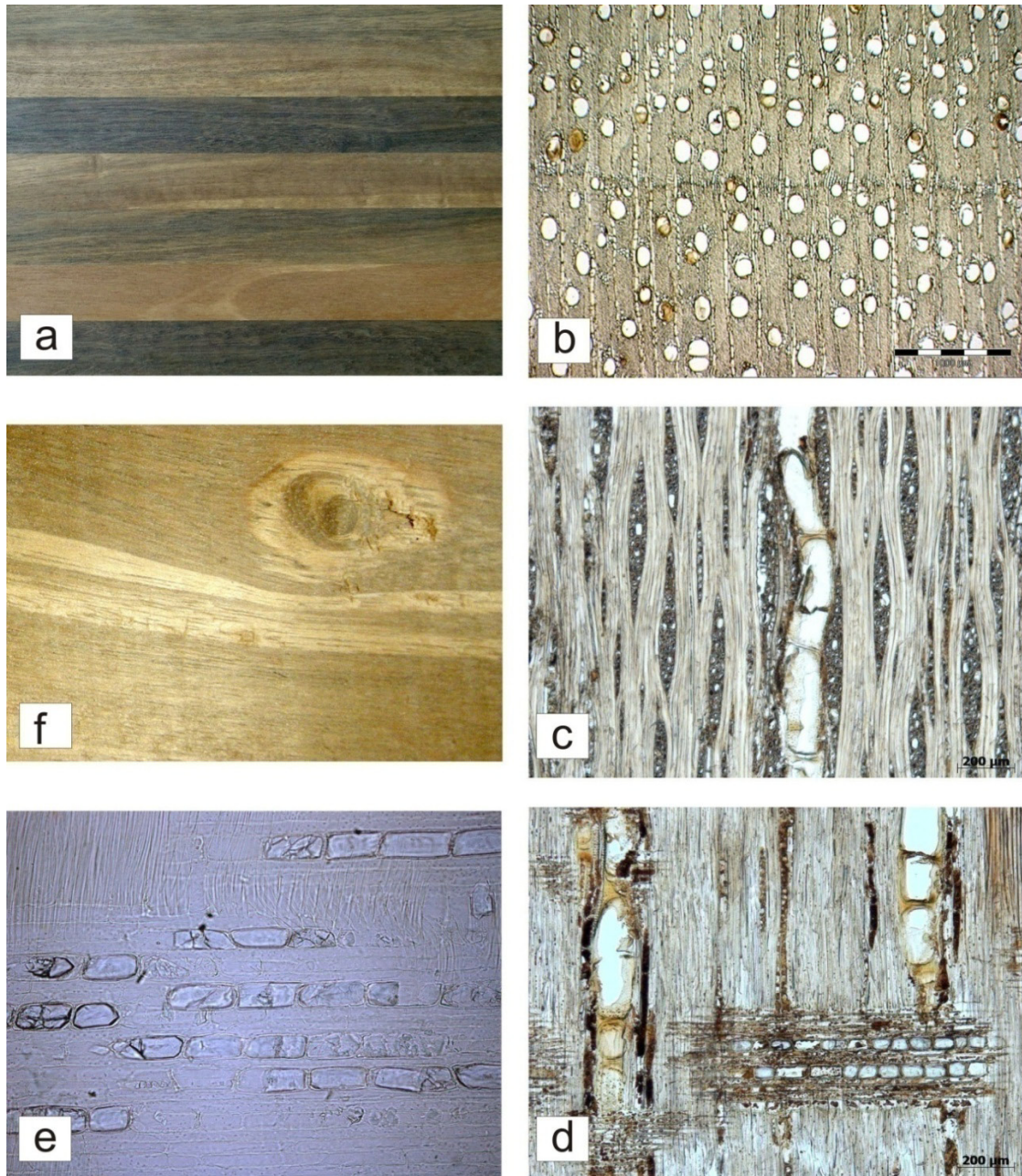


Figura 1 a. Variación en color y veteado (tamaño natural); b. Corte transversal; c - d. Cortes tangencial y radial; e. Corte radial blanqueado mostrando cristales estiloides grandes en células de radio, en cadenas radiales; f. Zonas de madera de tensión (de color claro), un defecto frecuentemente observado en madera de Pukté.

RAMÓN

***Brosimum alicastrum* Swartz, MORACEAE.**

Otros nombres: Capomo, ojoche, ramón blanco, ramón colorado (MX); guaímaro (CO); congoña, machinga (PE); tillo (EC); inharé, mururé, muiratinga (BR); masica (HN); breadnut (JM).

Región de distribución geográfica: México y Centroamérica, Caribe, Sudamérica tropical.

Árbol de hasta 40 m y diámetro a altura de pecho (d.a.p.) de 35-70 (hasta 150) cm. Tronco derecho con contrafuertes grandes y bien formados, ramas ascendentes y luego colgantes, copa piramidal y densa (Pennington & Sarukhán, 1998). En la península yucateca suelen distinguir entre dos variedades, “ramón blanco” y “ramón colorado”.

Características de la madera

- Ramón blanco: Madera de color crema amarillenta sin diferencia apreciable entre duramen y albura. En el centro y alrededor de nudos o heridas las trozas ocasionalmente muestran pequeñas proporciones de un duramen oscuro.
- Ramón colorado: Duramen de color café anaranjado a cobrizo, frecuentemente con vetas oscuras pronunciadas (Figura 1a).

En función de la variedad la proporción del duramen colorido puede ocupar entre 5 y 80% del tronco. Veteado suave en el ramón blanco, acentuado en el ramón colorado. Textura fina y uniforme, hilo entrecruzado. Madera seca sin olor característico.

Vasos. Madera de porosidad difusa. Vasos agrupados, predominantemente en grupos radiales cortos de 2–4 vasos. Diámetro tangencial de los vasos: 40–83–112 (–145) μm . Número de vasos/ mm^2 : 12–20–37 (–46). Largo de los elementos vasculares: 220–640 μm . Placas de perforación simples.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Punteaduras intervasculares alternas, con diámetro (vertical) de 5–7 μm . Punteaduras radiovasculares con aréolas distintas similares a las punteaduras intervasculares, ocasionalmente con aréolas reducidas, horizontales a verticales, y de diferentes tamaños y tipos en el mismo campo de cruzamiento. Tíldes abundantes, de paredes finas o esclerotizadas (Figuras c,d,f). Depósitos orgánicos de color ámbar presentes (abundantes solamente en el duramen colorido).

Fibras. Fibras de paredes medianas a gruesas, largo de las fibras: 940–1710 μm . Punteaduras de las fibras en su mayoría restringidas a las paredes radiales, simples o con aréolas minúsculas. Fibras no septadas.

Parénquima axial. Paratraqueal aliforme a confluyente (Figura 1b), en forma de alas finas; también del tipo unilateral. Parénquima axial en serie, de 3–4 células por serie.

Radios. Multiseriados, de 3–5 células de ancho, número de radios por mm: 6–12. Altura de los radios comúnmente de 500 hasta 1000 μm . Radios heterocelulares (Figura 1d), la parte multiseriada compuesta por células procumbentes con colas uniseriadas de células cuadradas y/o erectas formando 2–4, ocasionalmente hasta 10 hileras marginales (frecuentemente cristalíferas).

Estructura estratificada. Ausente.

Estructuras secretoras. Laticíferos presentes en los radios (Figura 1e).

Sustancias minerales. Cristales presentes, prismáticos, localizados en células de los radios (Figura 1d) y del parénquima axial (pocos), también se observa cristales prismáticos grandes en las tíldes (Figura 1f). Células cristalíferas de los radios no septadas, cristales predominantemente en células erectas y/o cuadradas (colas uniseriadas), raramente en células procumbentes. Células cristalíferas del parénquima axial no septadas. Número de cristales por célula o

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

cámara uno, raramente más de uno. Cristales dentro de una célula pueden o no ser del mismo tamaño. Sílice no observada.

Pruebas físicas y químicas. Duramen no fluorescente. Extracto acuoso fluorescente (azul claro), su color varia de amarillo claro (ramón blanco) a café anaranjado (ramón colorado). Extraíbles del ramón colorado ligeramente lavable en contacto con agua. Extracto en etanol fluorescente (azul violeta), su color es de café claro amarillento. La información referente a fluorescencia de los extractos se refiere solamente a la madera de duramen colorido (ramón colorado); la madera del ramón blanco no muestra más que una débil fluorescencia azul del extracto en etanol. Prueba de saponificación positiva. Combustión de astilla a ceniza completa, color de la ceniza blanco grisáceo.

Bibliografía

- IAWA 1989. List of microscopic features for hardwood identification (ed. E.A. Wheeler, P. Baas, P.E. Gasson). IAWA Bull. n.s. 10(3): 219-332.
- Pennington, T.D. y Sarukhán, J. 1998. Árboles tropicales de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica. 521 pp.
- Vester, H.F.M. y Navarro Martínez, A. 2007. Árboles maderables de Quintana Roo. Fichas ecológicas. CONACYT y Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Q. Roo. 139 pp.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

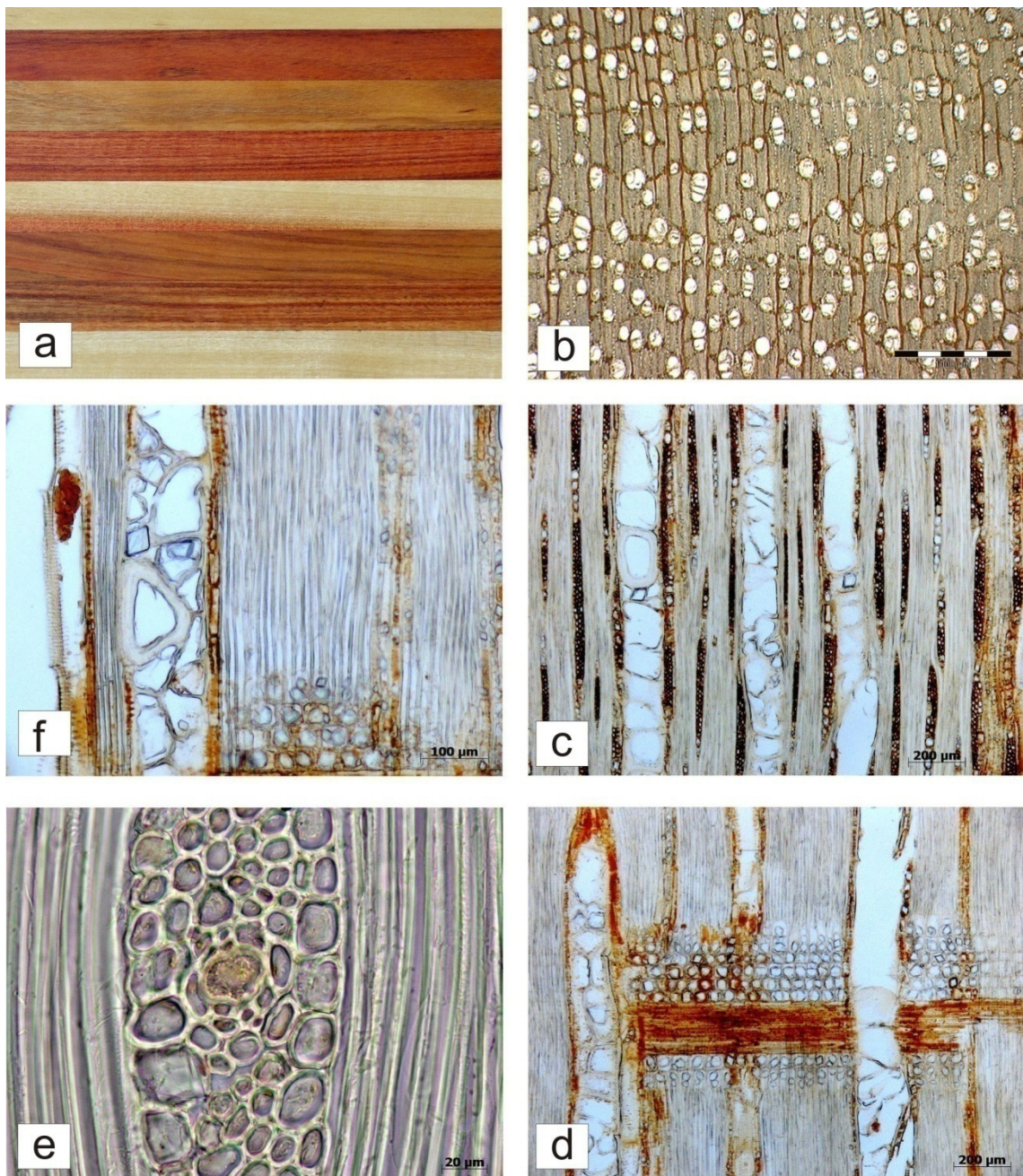


Figura 1 a. Variación en color y veteado (tamaño natural); b. Corte transversal; c - d. Cortes tangencial y radial; e. Tubo taninífero en un radio (con contenido café amarillento); f. Cristales romboides en células no septadas de los radios (hileras marginales), del parénquima axial y en los tílides de los vasos (de tamaño mayor).

ROSA MORADA

Tabebuia rosea (Bert.) DC., BIGNONIACEAE

Sinónimos: *Tecoma rosea* Bertol.; *Couralia rosea* (Bertol.) Donnell-Smithii; *Sparattosperma rosea* (Bertol.) Miers.

Otros nombres: Apamate, maculis, palo de rosa, roble prieto (MX); roble de sabana (CR, MX); coralibe, guayacán rosado, roble, r. morado (CO); maquilishuat (SV); orumo (VE);

Región de distribución geográfica: México y Centroamérica y Sudamérica tropical (Venezuela, Colombia y regiones costeras del Ecuador).

Árbol de hasta 20 metros de altura y diámetro (d.a.p.) de hasta 88 cm (Vester y Navarro M., 2007). Tronco derecho, a veces ligeramente acanalado, con pocas ramas gruesas y horizontales. Ramificación simpodial, copa estratificada (Pennington y Sarukhán, 1998).

Características de la madera. Duramen de color café claro rosado o morado (Figura 1a), poco distinto de la albura algo más clara. Límites de anillos de crecimiento visibles macroscópicamente, marcados por finas bandas de parénquima marginal acompañadas por fajas oscuras (madera tardía). Veteado acentuado y atractivo en la cara tangencial debido a la alternancia de tejidos claros (bandas de parénquima) y oscuros (fibras); textura mediana, hilo recto a entrecruzado. Madera seca sin olor distinto.

Vasos. Madera de porosidad difusa (Figura 1b), ocasionalmente con tendencia a semi-anular. Vasos agrupados, generalmente en grupos radiales cortos de 2–3, en algunos especímenes también en grupos radiales de 4 (o más) y en nidos (racimos). Diámetro tangencial de los vasos: 65–130–180 μm (–220). Número de vasos/ mm^2 : 4–7–16 (–22). Largo de los elementos vasculares: 280–400 μm . Placas de perforación simples. Punteaduras intervasculares alternas, diámetro

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

(vertical) 4–6 μm . Punteaduras radiovasculares con aréolas distintas, similares a las punteaduras intervasculares.

Fibras. Con paredes de espesor mediano. Largo de las fibras: (610–)935–1190(–1590) μm . Punteaduras de las fibras en su mayoría restringidas a las paredes radiales, simples o con aréolas minúsculas. Fibras no septadas.

Parénquima axial. Principalmente en bandas (Figura 1b), tanto marginales (finas, de hasta 3 células de ancho) como bandas más anchas (hasta 6 células) entre las marginales, algo irregular y frecuentemente discontinuas. Parénquima paratraqueal vasicéntrico o aliforme en forma de rombo confluyente. Parénquima axial en serie, número de células por serie: (2–)4(–6).

Radios. Multiseriados con 2–4 células de ancho. Número de radios por mm: 8–9. Altura de los radios grandes menor de 500 μm . Radios homocelulares (Figura 1d), compuestos por células procumbentes.

Estratificación. Estructura estratificada presente (Figura 1c), todos los radios, el parénquima axial, los elementos de vasos y las fibras estratificadas. Disposición de los estratos regular (horizontal o recto), en pocos especímenes irregular. Número de estratos por mm axial 3–4.

Sustancias minerales. Cristales no observados. Sílice presente en células de radios en algunas muestras, en forma de pequeñas partículas (Figura 1e). En otras muestras no se observó sílice.

Pruebas físicas y químicas. Duramen no fluorescente. Extracto acuoso no fluorescente; prácticamente incoloro o con tonalidad de amarillo claro. Extraíbles no lavables en contacto con agua. Extracto en etanol fluorescente (azul tenue). Color del extracto en etanol de café claro. Prueba de saponificación positiva. Combustión de astilla a ceniza parcial (quema formando un hilo fino cohesivo), el color de la ceniza varía de gris oscuro a casi negro.

Bibliografía

- Pennington, T.D. y Sarukhán, J. 1998. Árboles tropicales de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica. 521 pp.
- Vester, H.F.M. y Navarro Martínez, A. 2007. Árboles maderables de Quintana Roo. Fichas ecológicas. CONACYT y Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Q. Roo. 139 pp.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

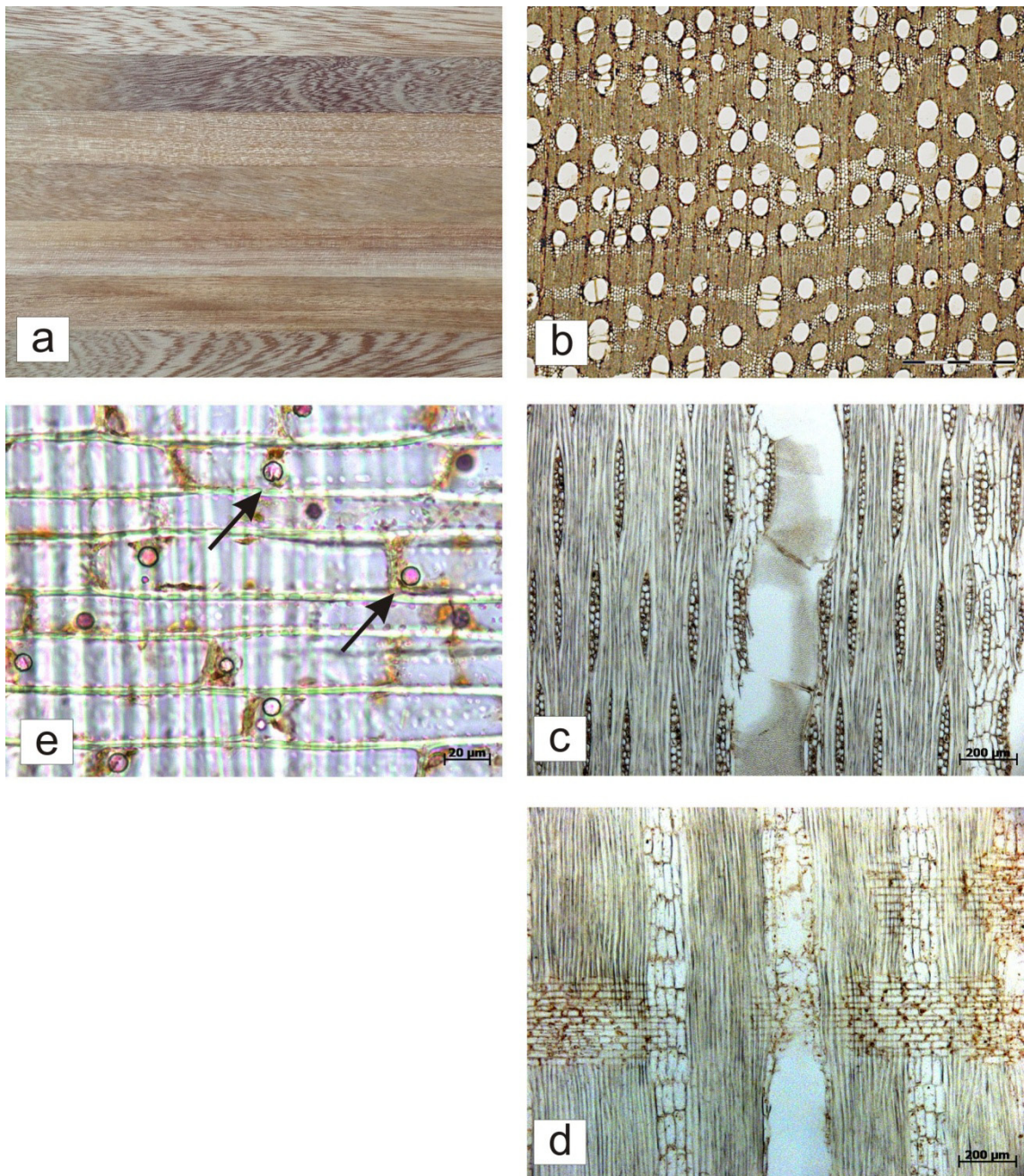


Figura 1 a. Variación en color y veteado (tamaño natural); b. Corte transversal; c - d. Cortes tangencial y radial; e. Partículas pequeñas de sílice en células del radio (flechas).

TZALAM

Lysiloma latisiliquum (L.) Benth., FABACEAE-MIMOSOIDEAE

Sinónimos: *Lysiloma bahamense* Benth., *L. sabicu* Benth.

Otros nombres: Tzalan, tzukté, zalam, dzalám (MX); wild tamarind, Bahamas tamarind (US); salám (BZ); t`zalám (GT); abey, sabicú (CU); tavernon (HT).

Región de distribución geográfica: Sureste de México, norte de Centroamérica (Belice, Guatemala), Caribe.

Árbol de hasta 20 m de altura y un diámetro (d.a.p.) de hasta 70 cm. Tronco derecho, ocasionalmente con contrafuertes; ramas ascendentes y luego horizontales y péndulas, copa redondeada (Pennington y Sarukhán 1998).

Características de la madera. Duramen de color café a café rojizo con tonalidades de morado (Figura 1a), similar al del nogal americano (*Juglans nigra*); con vetas pronunciadas o de color uniforme. Transición abrupta a la albura de color crema blanquecina a amarillenta. Límites de anillos de crecimiento macroscópicamente distintos, marcados por bandas finas de parénquima marginal. Veteado de suave o acentuado, textura mediana a gruesa, hilo entrecruzado. Madera seca sin olor distintivo.

Vasos. Madera de porosidad difusa. Vasos agrupados, generalmente en grupos radiales cortos de 2–3, ocasionalmente en grupos de 4 o más. Diámetro tangencial de los vasos: 72–135–190 μm (–270). Número de vasos/ mm^2 : 3–5–9 (–13). Largo de los elementos vasculares: (160–) 240–400 μm . Placas de perforación simples. Punteaduras intervasculares alternas, diámetro (vertical) 4–5 μm , ornamentadas. Punteaduras radiovasculares con aréolas distintas, similares a las punteaduras intervasculares. Depósitos orgánicos presentes, de color ámbar y café oscuro (Figuras 1b,c).

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Fibras. De paredes medianas a gruesas. Punteaduras de las fibras en su mayoría restringidas a las paredes radiales, simples o con aréolas minúsculas. Fibras no septadas.

Parénquima axial. En bandas finas marginales (Figura 1b), hasta 3 células de ancho. Parénquima apotraqueal difuso (series de células cristalíferas aisladas) y paratraqueal aliforme en forma de rombo. Parénquima axial en serie, número de células por serie de 2 a 4.

Radios. Multiseriados, con (1–) 2–3 células de ancho. Altura de los radios grandes generalmente menor de 500 μm . Radios homocelulares (fig. 1d), compuestos células procumbentes.

Estratificación. Ausente.

Estructuras secretoras. No observadas.

Sustancias minerales. Cristales presentes, prismáticos, localizados en células parenquimatosas septadas (Figura 1e), en parte asociadas con el parénquima paratraqueal, en parte aisladas entre las fibras. Número de cristales por célula o cámara: uno. Sílice no observada.

Pruebas físicas y químicas. Duramen fluorescente (amarillo). Extracto acuoso generalmente no fluorescente; prácticamente incoloro o con ligero matiz café o amarillo. Extraíbles ligeramente lavables en contacto con agua. Extracto en etanol fluorescente (predominantemente azul violeta de variable intensidad, ocasionalmente con matiz amarillo). Color del extracto en etanol incoloro a café caramelo. Prueba de saponificación positiva (fuerte). Combustión de astilla a ceniza completa, color de la ceniza blanco grisáceo.

Bibliografía

- IAWA 1989. List of microscopic features for hardwood identification (ed. E.A. Wheeler, P. Baas, P.E. Gasson). IAWA Bull. n.s. 10(3): 219-332.
- Pennington, T.D. y Sarukhán, J. 1998. Árboles tropicales de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica. 521 pp.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Vester, H.F.M. y Navarro Martínez, A. 2007. Árboles maderables de Quintana Roo. Fichas ecológicas. CONACYT y Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, Q. Roo. 139 pp.

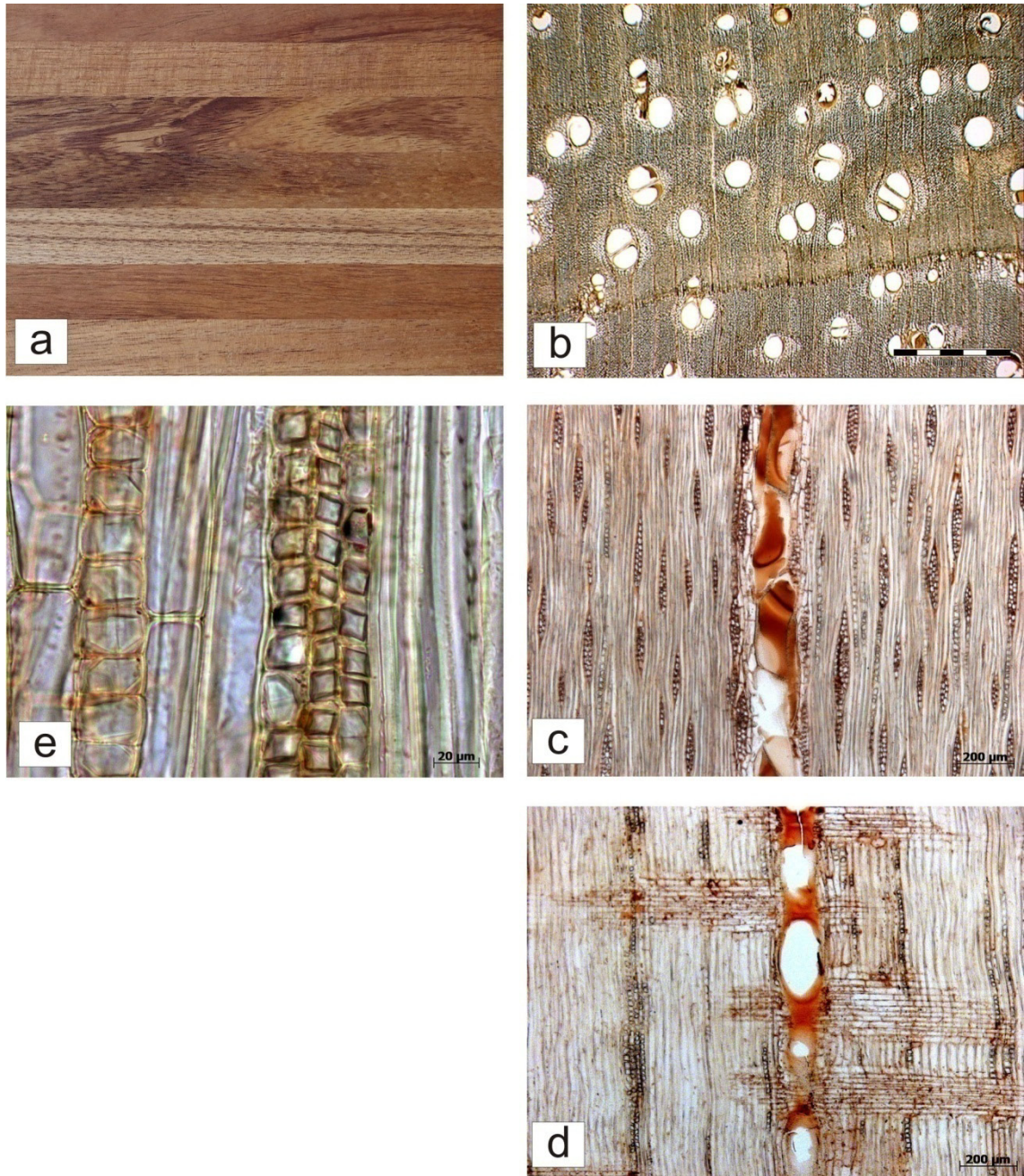
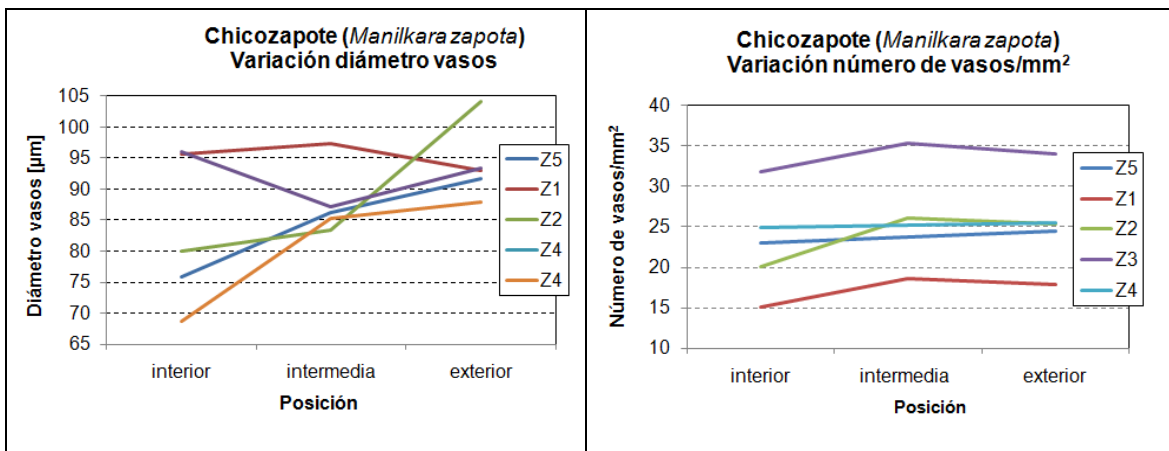
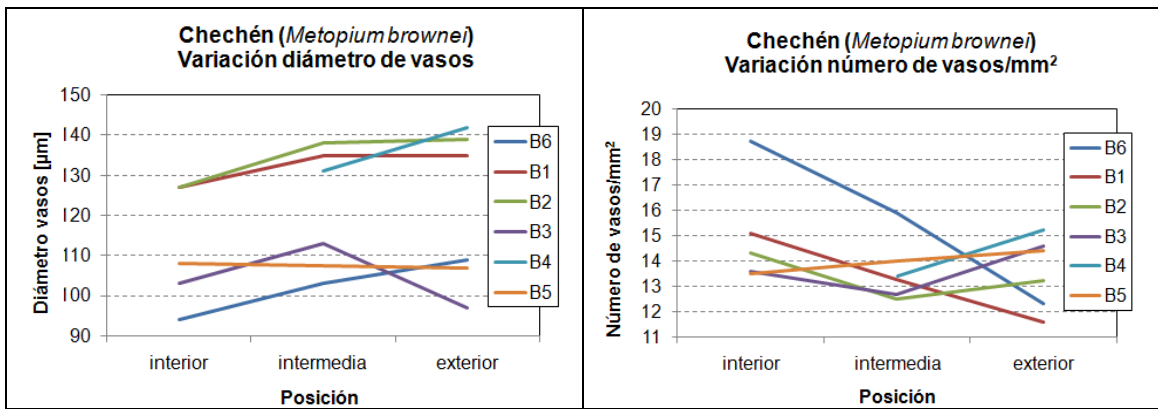
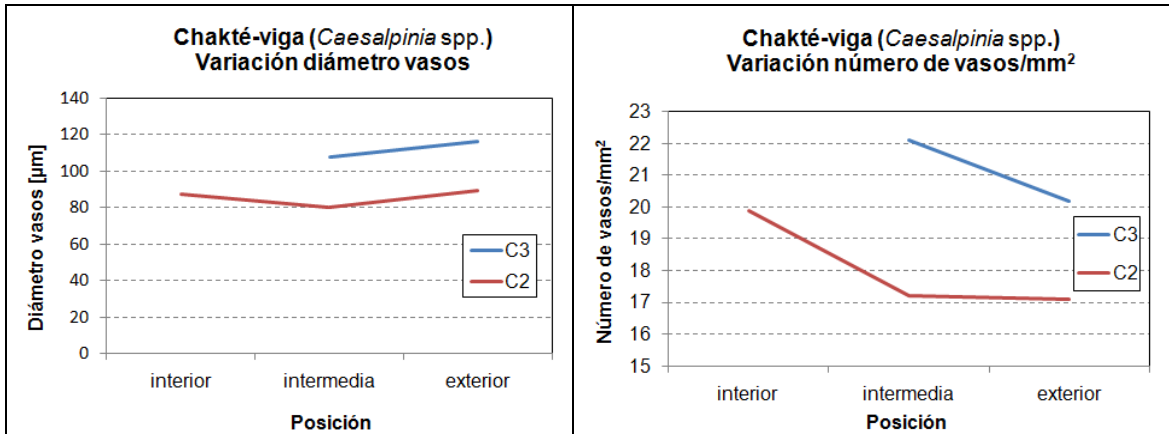


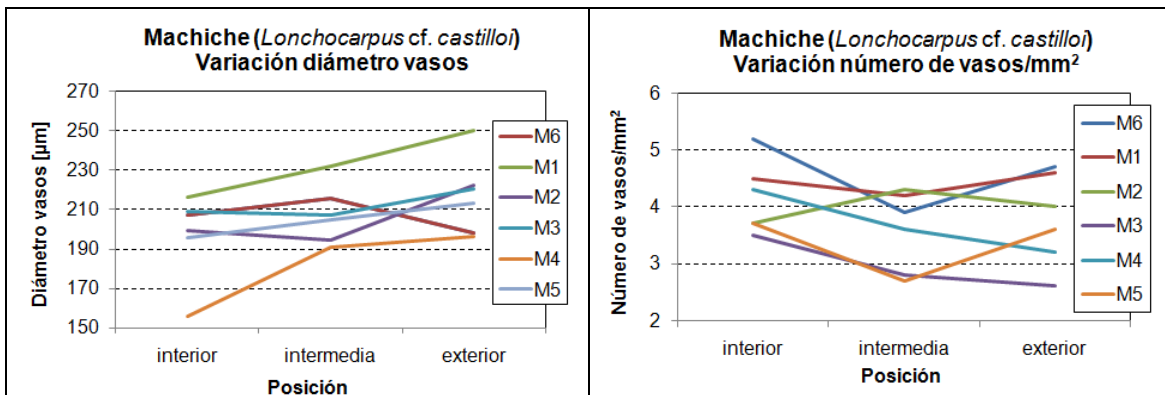
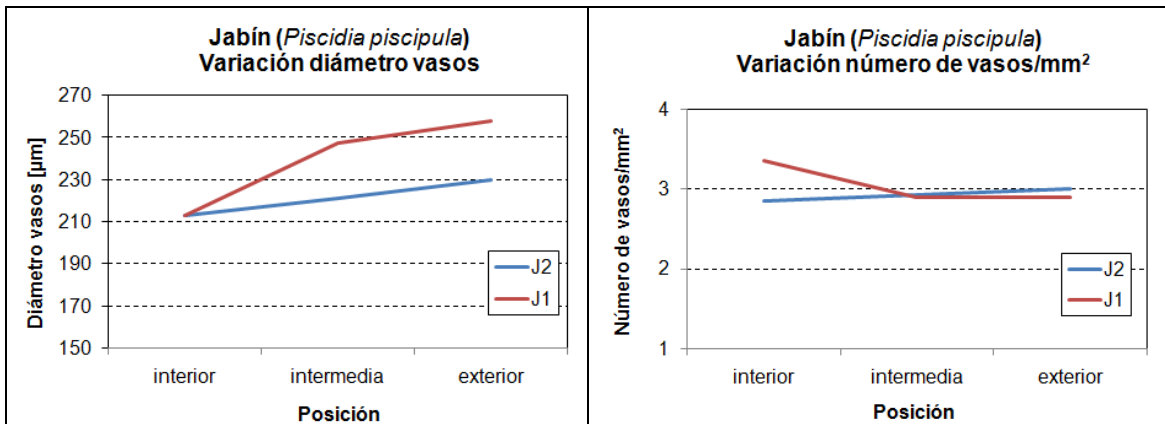
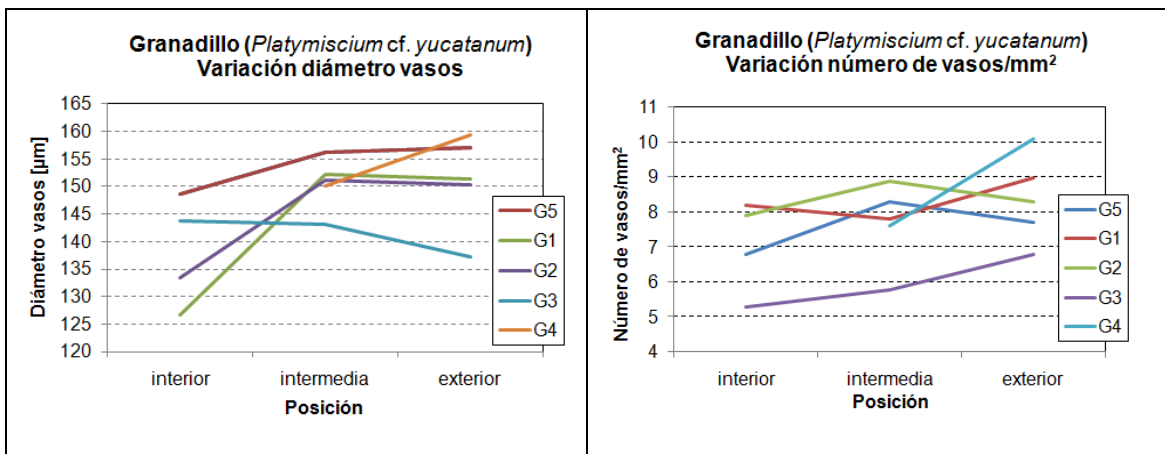
Figura 1 a. Variación en color y vetado (tamaño natural); b. Corte transversal; c - d. Cortes tangencial y radial; e. Cristales romboides en células septadas de parénquima axial, grandes en parénquima paratraqueal, pequeños en bandas marginales.

Anexo 3.4.2 Datos cuantitativos (diámetro y número/mm²) de los vasos

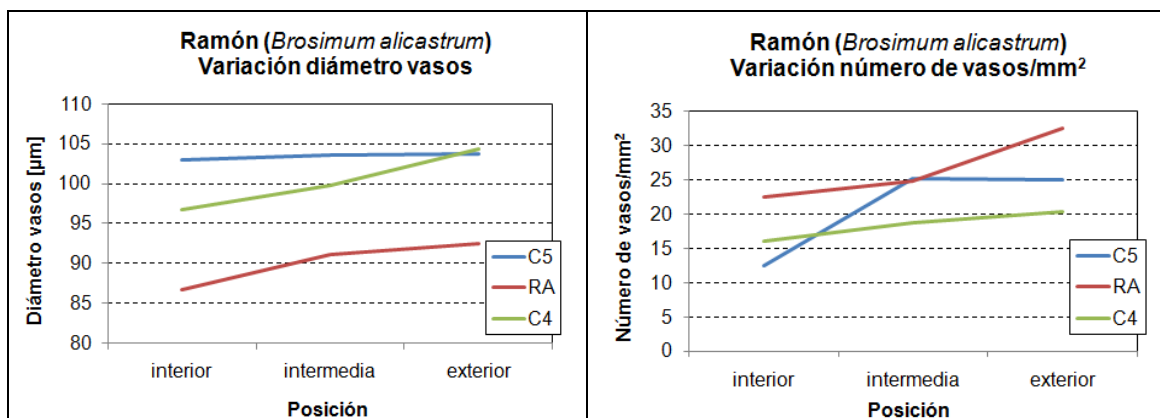
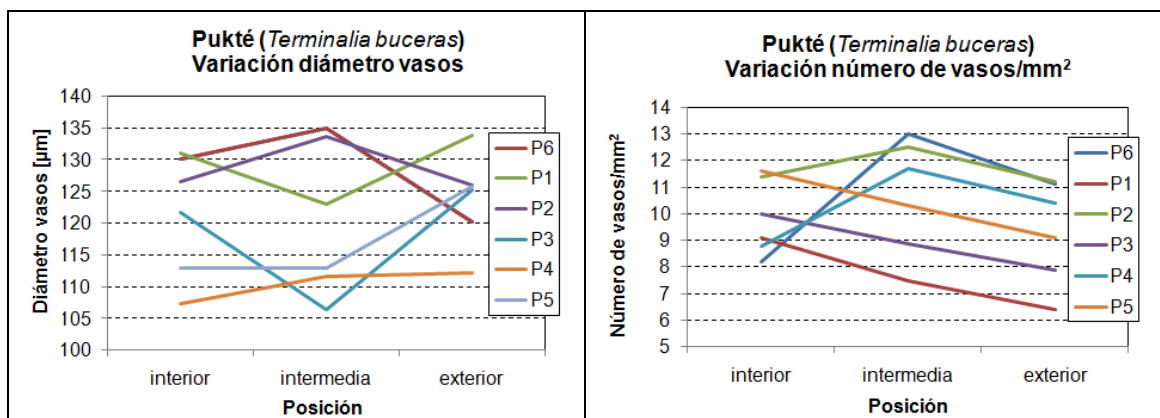
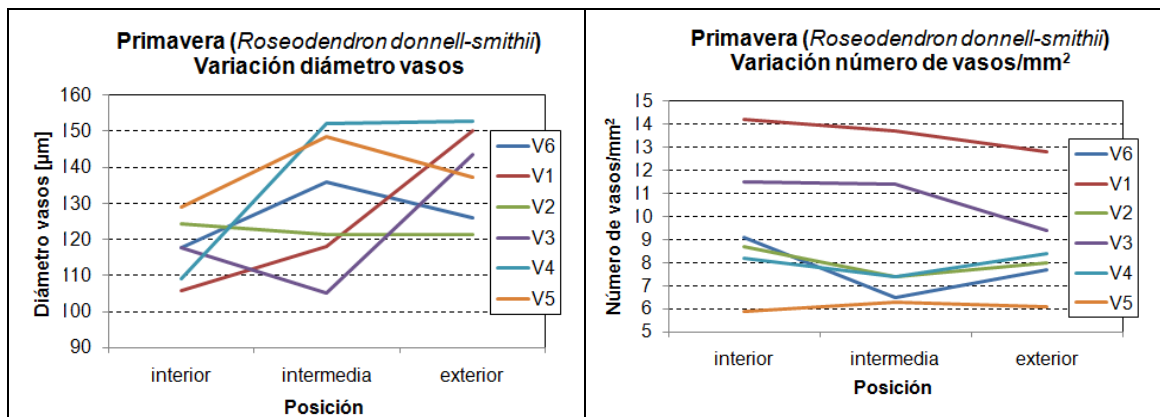
Variación a lo largo del radio entre las posiciones interior, intermedia y exterior



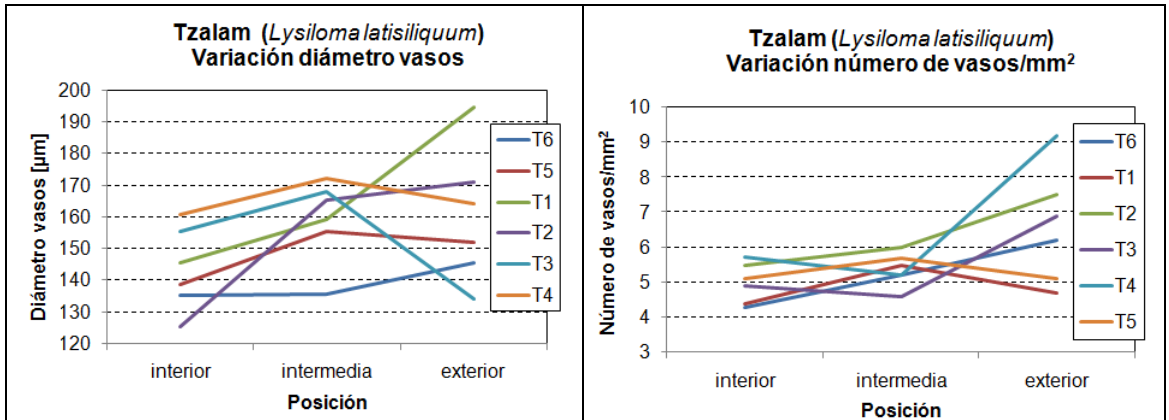
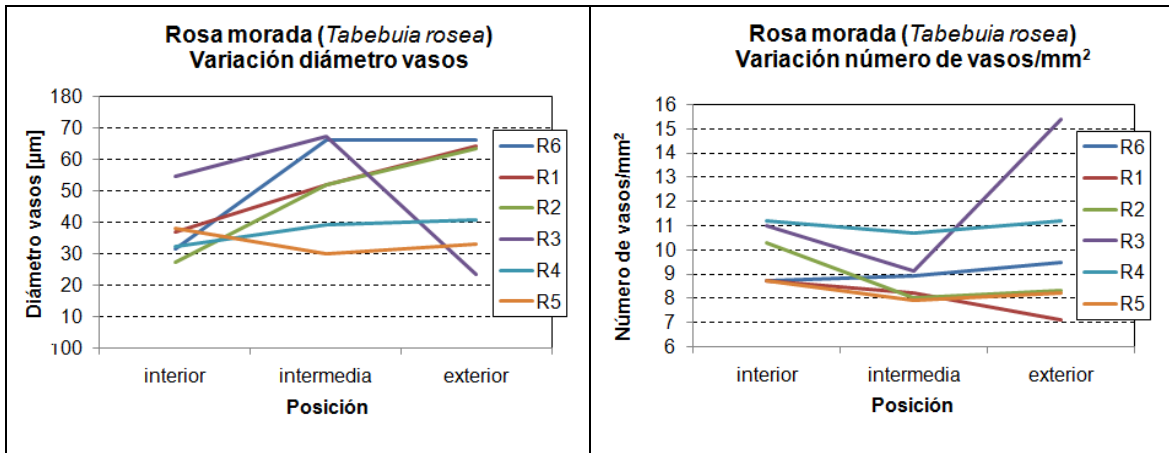
Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera



Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera



Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera



Anexo 3.4.3 Análisis estadístico del largo de fibra

Promedios e intervalos a 95% de confiabilidad

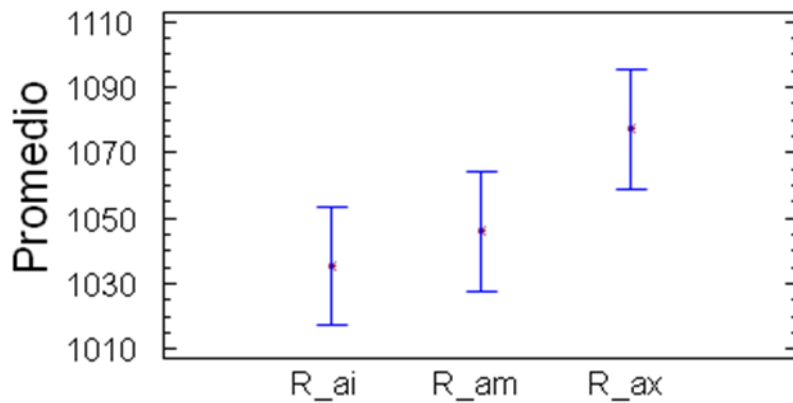


Figura 3.4.A1 Rosa morada. Análisis estadístico de la especie (6 trozas): Promedio e intervalos a 95% de confiabilidad.

Promedios e intervalos a 95% de confiabilidad

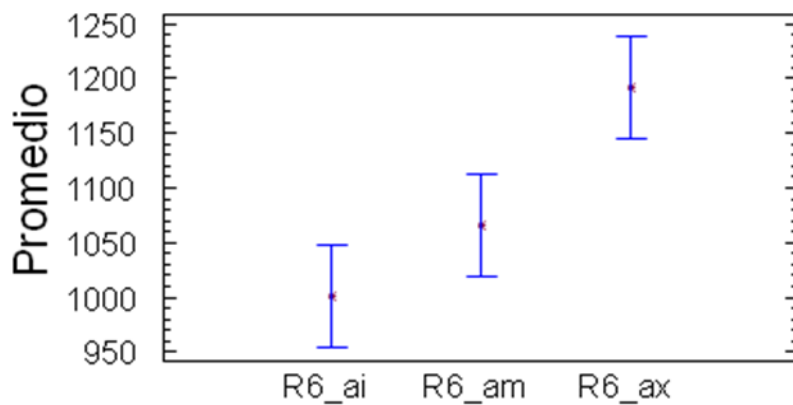


Figura 3.4.A2 Rosa morada. Análisis estadístico de la troza R6: Promedio e intervalos a 95% de confiabilidad.

Promedios e intervalos a 95.0% de confiabilidad

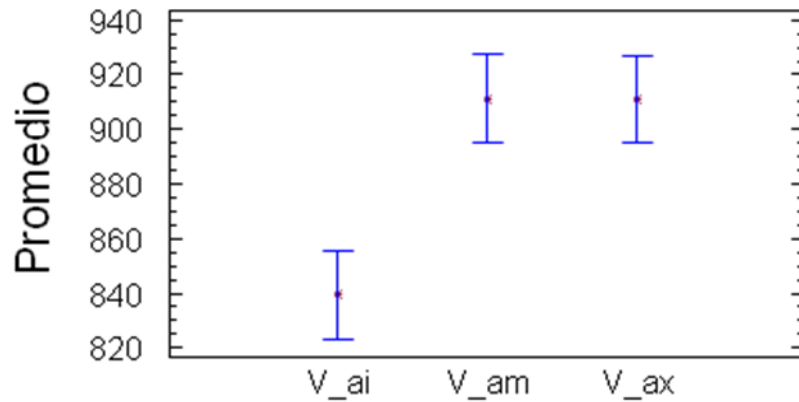


Figura 3.4.A3 Primavera. Análisis estadístico de la especie (6 trozas): Promedio e intervalos a 95% de confiabilidad.

Promedios e intervalos a 95.0% de confiabilidad

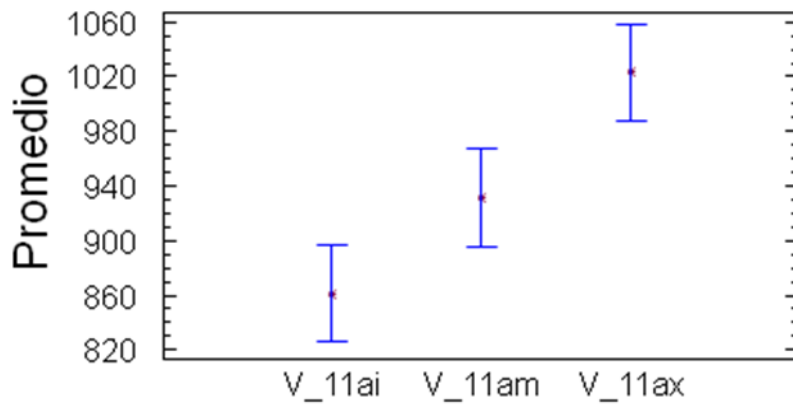


Figura 3.4.A4 Primavera. Análisis estadístico de la troza V1: Promedio e intervalos a 95% de confiabilidad.

3.5 Propiedades físicas

3.5.1 Resumen

Se presentan los resultados de las determinaciones de la densidad y de estabilidad dimensional de las maderas en estudio. Propiedades físicas fundamentales dentro del objetivo 2.2 del proyecto y de la actividad 2.2.2 correspondiente a la caracterización físico-mecánica. Respecto a la densidad, los resultados mostraron que las maderas de Machiche, Jabín, Chakté-viga, Granadillo, Ramón, Pukté y Chicozapote se ubican en la categoría de muy alta densidad (0.870 - 1.131 g/cm³); por su parte las maderas de Tzalam y Chechén en la de alta densidad (0.726 - 0.807 g/cm³); Rosa morada en la de media densidad (0.596 g/cm³) y la Primavera en la de baja densidad (0.476 g/cm³).

En lo que concierne al movimiento dimensional de las maderas, se determinaron los índices de hinchamiento máximo, hinchamiento diferencial, contracción por secado y sus correspondientes anisotropías, con lo cual se dictaminó su estabilidad dimensional. En este sentido, las maderas de Granadillo y Chicozapote resultaron con muy buena estabilidad dimensional; Primavera, Rosa morada, Machiche, Jabín y Ramón con buena estabilidad; Tzalam y Chakté-viga con regular estabilidad dimensional y la madera de Pukté con mala estabilidad dimensional.

3.5.2 Introducción

Dentro del contexto de las propiedades físicas de la madera, la densidad, el contenido de humedad y los cambios dimensionales ocurridos por cambio en el contenido de humedad de la madera, son consideradas como propiedades de relevancia para la transformación del recurso forestal en diversas manufacturas.

En el caso de la densidad, es una propiedad que incide significativamente sobre el resto de las propiedades de la madera, así por ejemplo, existe una

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

relación directa con las propiedades mecánicas, donde se establece que a mayor densidad de la madera, mejores serán las propiedades de resistencia mecánica, inclusive se han llegado a formular ecuaciones algebraicas basadas en la densidad, con las cuales se puede inferir a manera de aproximación cualquiera de las propiedades mecánicas de la madera, (Wood Handbook, 2011).

De igual forma también el conocimiento de la densidad de una madera, es de utilidad para inferir sobre su posible comportamiento durante el proceso de secado, donde a mayor densidad se espera una mayor dificultad para su secado (Fuentes et al., 1996).

Respecto al procesamiento de la madera con herramientas de corte (trabajabilidad), también a mayor densidad mayor dificultad al requerirse distancias de paso de diente más pequeñas, velocidades de alimentación y de corte más lentas para evitar sobre calentamiento y quemado de la superficie, lo que obligaría a corregir este hecho, repercutiendo en mayores tiempos y costos de producción.

Otro aspecto importante tiene que ver con el comportamiento al encolado de piezas de madera, donde también la densidad de la madera tiene un papel relevante, ya que el fenómeno de adhesión es dependiente de la suma de fuerzas cohesivas y adhesivas. Las primeras son dependientes de la resistencia propia del adhesivo, mientras que las segundas se basan en la capacidad de generar un anclaje en la superficie de la madera. Maderas con alta densidad, por tener un espacio poroso menor, tienen menor posibilidad de generarse buenos "anclajes" superficiales, por lo que la resistencia de uniones con adhesivos pudiera ser menos resistente.

De igual forma se podría relacionar la densidad con otras propiedades de la madera como es el caso de la permeabilidad, donde en conjunto con el

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

conocimiento de la estructura de la madera, es posible visualizar el grado de dificultad para su impregnación, absorción o pérdida de humedad.

A manera de conclusión, el conocimiento de la densidad de la madera, permite visualizar un panorama de su comportamiento tecnológico, de ahí la importancia de su determinación.

Por su parte el movimiento dimensional de la madera es producto del cambio de su contenido de humedad. La madera es un material higroscópico, lo que le permite que su contenido de humedad se "ajuste" a las condiciones climáticas de humedad relativa del aire y temperatura en donde se ubique su uso. Esto provoca que la madera se encuentre en un estado de intercambio (absorción-desorción) permanente de humedad, que dependiendo de su magnitud y de la especie de madera, será también su cambio dimensional (The Nature of Wood and Wood Products, 1998)

La combinación del cambio dimensional y el carácter anisotrópico de la madera (dependencia de las propiedades de la dirección anatómica) pueden generar cambios de forma en piezas o manufacturas de madera, los cuales van desde muy leves a drásticos, se dice entonces que la madera es estable o muy inestable, respectivamente.

Para conocer la estabilidad dimensional de la madera frente a cambios en su contenido de humedad, fue necesario determinar sus índices de hinchamiento y contracción, y sus anisotropías. Para el caso particular de este proyecto, se determinaron el hinchamiento máximo, el hinchamiento volumétrico, la contracción normal por secado y sus respectivas anisotropías, como los parámetros más importantes para dictaminar su estabilidad dimensional.

3.5.3 Metodología

Para la determinación de las propiedades físicas se utilizaron los métodos especificados en las normas DIN (Deutsche Institut für Normen). Para el caso de la densidad la DIN 52 182, para los índices de hinchamiento y contracción la DIN 52 184 y para las determinaciones del contenido de humedad la DIN 52 183. Todas las anteriores determinaciones se realizaron en los mismos especímenes de prueba.

Las dimensiones de las probetas fueron de 25 x 25 x 10 mm³, obtenidas de los tablones de la sección “a” y de las posiciones denominadas como “i”, “m”, “x” con el objeto de conocer la variabilidad de estas propiedades en la dirección radial de la madera. Más detalles del muestreo se encuentran descritos en el apartado 3.3 de este mismo capítulo.

Para la determinación de los índices de hinchamiento y contracción, se tuvo cuidado de que los especímenes de prueba conservaran el máximo contenido de humedad posible, por lo menos que fuera similar al punto de saturación de la fibra (30%), por lo que durante su elaboración se cuidó minimizar la pérdida de humedad. Siempre se manejaron en bolsas de plástico cerradas y guardadas en refrigeración. Todas las probetas estaban libres de defectos.

El diagrama experimental para la determinación de los índices de hinchamiento y contracción se muestra en la Figura 3.5.1 y el equipo en la Figura 3.5.2. En cada una de las etapas, una vez acondicionadas las probetas, se determinaron peso y dimensiones radial, tangencial y longitudinal; al final de la experimentación se calculó la contracción normal por secado (β_N), hinchamiento diferencial (q), hinchamiento máximo ($\alpha_{m\acute{a}x}$), anisotropía de la contracción por secado ($A_{\beta N}$) y anisotropía del hinchamiento diferencial (A_q).

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

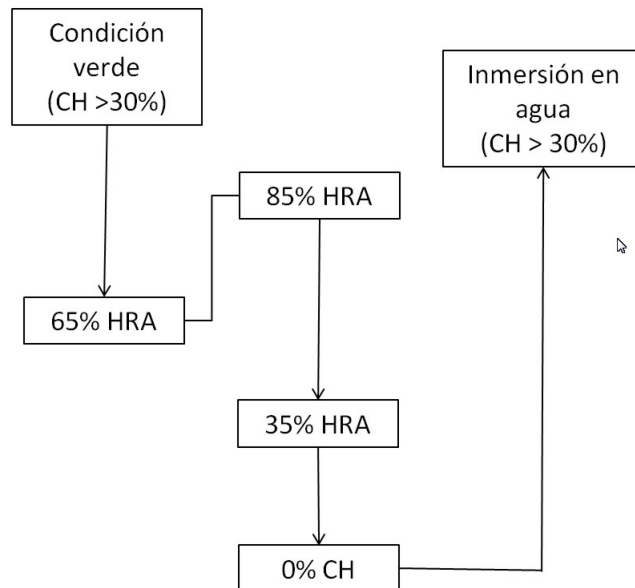


Figura 3.5.1 Diagrama experimental para el acondicionamiento de las probetas y determinación del hinchamiento y contracción de las maderas.

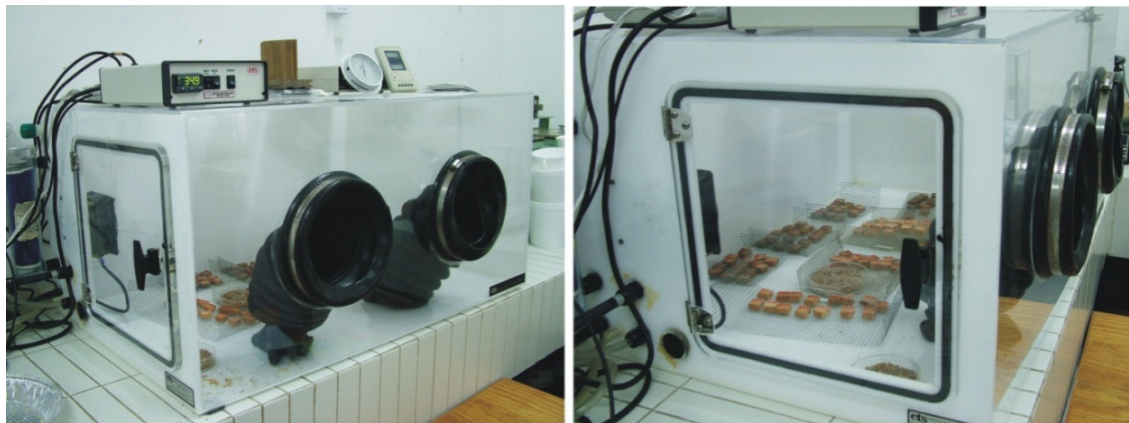


Figura 3.5.2 Cámara de acondicionamiento climático para la determinación del hinchamiento y contracción de la madera.

En la Tabla 3.5.1 se indican el total de probetas para las determinaciones de densidad e índices de hinchamiento y contracción que fueron evaluadas, por especie de madera y troza recibida. En el caso de Chakté-viga solo una troza fue pertinente para este tipo de determinaciones, de igual forma para el

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Chechén solo 4 de las 6 sus características fueron apropiadas para la elaboración de las probetas.

Tabla 3.5.1 Número de probetas para la determinación de densidad e índices de hinchamiento y contracción de las maderas.

Maderas	Trozas						Total
	1	2	3	4	5	6	
	Número de probetas						
Chakté-viga		16					16
Chechén		16	18	5	18		57
Chicozapote	23	24	22	10	8		87
Granadillo	22	22	20	14	16		94
Jabín	14	16					30
Machiche	20	22	20	24	23	24	133
Primavera	22	18	20	22	18	24	124
Pukté	14	10	18	24	16	22	104
Ramón	22			18	14		54
Rosa morada	24	18	22	16	16	16	128
Tzalam	24	22	16	20	20	20	142

3.5.4 Resultados

3.5.4.1 Densidad de las maderas

En la Tabla 3.5.2 se presentan los valores de densidad de las maderas para un contenido de humedad de 12%. 7 de las 11 especies se ubican en la clasificación muy alta (Machiche, Jabín, Chakté-viga, Granadillo, Ramón, Pukté, Chicozapote), 2 como alta (Tzalam y Chechén), 1 como media (Rosa morada) y otra como baja (Primavera).

La clasificación de la densidad señalada en la Tabla 3.5.2 ha sido adaptada de la propuesta del Oxford Forestry Institute en la base de datos Prospect, ver. 2.1 (1997) para especies de otros países, se consideró más apropiado ajustarla para las características particulares de las maderas tropicales mexicanas.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Tabla 3.5.2 Densidad de las maderas a un contenido de humedad de 12%.

Maderas	Densidad [g/cm ³]	Coef. de variación [%]	Clasificación
Chakté-viga	0.891 - 0.958 - 1.014	4.0	Muy alta
Chechén	0.725 - 0.807 - 0.890	9.0	Alta
Chicozapote	1.087 - 1.131 - 1.212	4.3	Muy alta
Granadillo	0.955 - 0.984 - 1.021	4.0	Muy alta
Jabín	0.883 - 0.930 - 0.973	5.0	Muy alta
Machiche	0.824 - 0.870 - 0.911	4.4	Muy alta
Primavera	0.417 - 0.476 - 0.539	10.6	Baja
Pukté	0.984 - 1.027 - 1.062	3.9	Muy alta
Ramón	0.883 - 0.986 - 1.038	5.3	Muy alta
Rosa morada	0.558 - 0.596 - 0.642	7.1	Media
Tzalam	0.657 - 0.726 - 0.796	8.4	Alta

Si bien en todas las especies, el análisis de varianza para la densidad por especie de madera, mostró que existían diferencias estadísticas de densidad entre al menos alguna troza con respecto a otras ($P < 0.05$), el coeficiente de variación resultante para la mayoría de las especies, se encuentra dentro del límite máximo (10%) reportado para la densidad de la madera, de acuerdo al Wood Handbook (2011).

Por lo que respecta a la variación de la densidad en función de la posición a lo largo del radio ($i =$ interna, $m =$ media, $x =$ externa), las maderas mostraron un comportamiento indistinto. La densidad de las maderas de Chechén, Granadillo, Machiche, Primavera y Tzalam, tendió a incrementarse de la posición “i” a la “x”, existiendo diferencia estadística significativa ($P < 0.05$).

Independiente de la tendencia de la densidad, no se observó diferencia estadística significativa ($P > 0.05$) para las maderas de Chicozapote, Jabín, Pukté y Rosa morada. En el Anexo 3.5.1 se muestra gráficamente la variación de la densidad para 8 de las 11 maderas. Para las maderas de Chakté-viga, Jabín y Ramón, no se realizó este tipo de análisis estadístico por insuficiencia de datos.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Dado que la densidad de la madera, es dependiente de su contenido de humedad, es importante también señalar esta propiedad en función del contenido de humedad, por lo que en la Tabla 3.5.3 se presentan los valores de densidad expresadas como densidad anhidro (peso y volumen a CH = 0%), densidad básica (peso anhidro y volumen verde), y densidad verde (peso y volumen verde).

La utilidad de la densidad anhidro es más propia para efectos de cálculos de espacio poroso de las maderas, la densidad básica para comparación de densidades entre diferentes especies sin efecto del contenido de humedad e inferir propiedades tecnológicas, y la densidad verde para calcular peso de material cuando se pretende transportar madera en estado verde.

Tabla 3.5.3 Densidad de las maderas en función de su contenido de humedad.

Maderas	Densidad anhidro [g/cm ³]	Densidad básica [g/cm ³]	Densidad verde [kg/m ³]
Chakté-viga	0.920	0.807	1247
Chechén	0.779	0.698	1226
Chicozapote	1.09	0.906	1331
Granadillo	0.945	0.850	1246
Jabín	0.888	0.802	1225
Machiche	0.820	0.827	1146
Primavera	0.399	0.399	1098
Pukté	0.991	0.848	1288
Ramón	0.950	0.812	1267
Rosa morada	0.557	0.509	1140
Tzalam	0.680	0.617	1199

3.5.4.2 Índices de hinchamiento y contracción

En la Tabla 3.5.4 se muestran los principales índices de hinchamiento y contracción de las maderas, con lo cual por una parte es posible calcular el movimiento dimensional de una madera o manufactura de madera, y por otro

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

juzgar la estabilidad dimensional de la misma, entendiéndose estabilidad, como el riesgo potencial de que ocurra una distorsión en la madera o manufactura de madera debido al cambio en su contenido de humedad por su secado o por modificación de la humedad relativa del aire y temperatura donde se encuentre en uso la manufactura de madera, respectivamente.

El hinchamiento máximo ($\alpha_{\text{máx}}$) que se reporta en la Tabla 3.5.4 corresponde al cambio dimensional porcentual que ocurre en la madera al pasar de un estado anhidro (CH = 0%) a un estado igual o mayor al punto de saturación de la fibra (CH \geq 30%), y puede ser utilizado de manera equivalente para el caso de una contracción máxima ($\beta_{\text{máx}}$), es decir, cuando se reduce el CH de un nivel igual o mayor al 30% a un estado anhidro. Su aplicación práctica radica en los usos donde la madera estará en contacto directo y permanente con el agua y por consiguiente se alcanza su máximo nivel de hinchamiento lineal y volumétrico.

Producto de la suma del hinchamiento máximo radial y tangencial se calcula el hinchamiento volumétrico. Este índice resultó muy grande para las maderas de Chicozapote, Pukté, Ramón y Chakté-viga, para el resto de las maderas se considera pequeño, lo que es más favorable para la mayoría de los usos en que las maderas están en contacto directo y constante con el agua.

Por su parte el hinchamiento diferencial (q) representa el cambio dimensional porcentual que ocurre en la madera por cada 1% de cambio de su contenido de humedad, dentro del rango de humedad relativa del aire del 35% (CH \approx 7%) al 85% (CH \approx 18%), donde precisamente se ubican la mayoría de los usos prácticos de la madera, y por consiguiente es uno de los índices de movimiento dimensional de gran importancia. Este índice puede ser utilizado tanto cuando ocurren incrementos de contenido de humedad (hinchamiento) como cuando se trata de decrementos (contracción).

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Los índices de hinchamiento diferencial (radial y tangencial) son útiles para estimar el movimiento dimensional de la madera en el rango de CH señalado anteriormente, con lo cual se pueden determinar factores de tolerancia y evitar problemas graves por cambio dimensional en las manufacturas de madera, ejemplo en pisos, lambrines, ensambles, uniones, puertas, ventanas, cajones, etc.

Tabla 3.5.4 Índices de hinchamiento y contracción de las maderas.

Maderas	Hinchamiento					Contracción normal	
	máximo		volumétrico	diferencial		Rad	Tang
	Rad	Tang		Rad	Tang		
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Chakté-viga	3.9	9.0	12.9	0.22	0.46	1.1	2.7
Chechén	3.3	7.5	10.8	0.15	0.30	0.9	2.6
Chicozapote	7.9	10.9	18.8	0.33	0.41	2.7	3.9
Granadillo	4.0	6.7	10.7	0.28	0.42	1.1	1.7
Jabín	3.6	6.8	10.4	0.26	0.40	1.1	2.0
Machiche	3.4	6.9	10.3	0.19	0.34	1.1	2.4
Primavera	3.3	6.2	9.5	0.14	0.24	1.3	2.5
Pukté	4.1	11.9	16.0	0.21	0.56	1.4	4.4
Ramón	5.2	10.3	15.5	0.26	0.44	2.0	3.9
Rosa morada	3.0	6.2	9.2	0.15	0.29	0.9	1.8
Tzalam	3.4	6.9	9.5	0.16	0.32	1.0	2.6

Respecto a la contracción normal por secado (β_N), su utilidad práctica estriba en que permite calcular el cambio dimensional porcentual que ocurre en la madera (espesor y ancho de las tablas) por efecto del proceso de secado, es decir de un CH por arriba del 30% hasta un CH = 12%. De esta forma se calcula la contracción que ocurrirá y se planea el ancho y espesor a que se deberán aserrarse las tablas, para que después de su secado tengan las dimensiones comerciales.

3.5.4.3 Estabilidad dimensional de las maderas

La Tabla 3.5.5 contiene los valores de anisotropía calculados con base al hinchamiento máximo ($\alpha_{\text{máx}}$), hinchamiento diferencial (q) y contracción por secado (β_N), así como una calificación general de su estabilidad dimensional. Los valores de anisotropía representan el cociente del movimiento dimensional tangencial y radial de cada uno de los índices de hinchamiento y contracción. La utilidad práctica de los valores de anisotropía se debe a que posibilita visualizar la estabilidad dimensional de las maderas. De manera general se establece que, a mayor anisotropía menor estabilidad dimensional y por consiguiente mayor riesgo de distorsiones o agrietamientos pueden ocurrir ya sea al hincharse o contraerse la madera.

Tabla 3.5.5 Anisotropías y estabilidad dimensional general de las maderas.

Maderas	Anisotropía del			Estabilidad dimensional general
	Hinchamiento máximo	Hinchamiento diferencial	Contracción por secado	
Chakté-viga	2.3	2.1	2.5	Regular
Chechén	2.3	2.0	3.0	Regular
Chicozapote	1.4	1.3	1.5	Muy buena
Granadillo	1.7	1.5	1.6	Muy buena
Jabín	1.9	1.6	1.8	Buena
Machiche	1.8	1.8	2.2	Buena
Primavera	1.9	1.7	2.0	Buena
Pukté	3.0	2.7	3.2	Mala
Ramón	2.0	1.7	1.9	Buena
Rosa morada	2.1	2.0	2.1	Buena
Tzalam	2.4	2.1	2.8	Regular

Para calificar la estabilidad dimensional de la madera, Silva et al., (2010) establecieron cuatro niveles cualitativos: muy buena (< 1.7), buena (>1.7 a 2.1), regular (>2.1 a 2.5) y mala (>2.5), que son los que se utilizaron en este caso.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

La calificación de estabilidad dimensional general que se indica en la Tabla 3.5.5, se definió en función de la consideración de los 3 valores de anisotropía. Sin embargo, esta calificación puede cambiar, si se califica utilizando solo uno de los tres valores, lo cual permite ser más específico y representativo del caso que se trate de analizar.

Por ejemplo, en la Tabla 3.5.6 se hace una calificación de la estabilidad dimensional de las maderas en función particular de cada uno de sus valores de anisotropía. Si el campo de uso de la madera será para estar en contacto directo y permanente con el agua, utilizar la calificación definida por la anisotropía del hinchamiento máximo (A_{α}); si se trata de una manufactura que estará en uso en el rango de humedades relativas del aire del 35% al 85%, se recomienda utilizar la calificación definida por la anisotropía del hinchamiento diferencial (A_{ρ}); si se trata de visualizar posibles distorsiones de la madera (tablas) que puedan ocurrir durante el proceso de secado, utilizar la anisotropía de la contracción por secado (A_{β}).

Tabla 3.5.6 Estabilidad dimensional específica de las maderas para cada anisotropía.

Maderas	Estabilidad dimensional		
	A_{α}	A_{ρ}	A_{β}
Chakté-viga	Regular	Buena	Regular
Chechén	Regular	Buena	Mala
Chicozapote	Muy buena	Muy buena	Muy buena
Granadillo	Muy buena	Muy buena	Muy buena
Jabín	Buena	Muy buena	Buena
Machiche	Buena	Buena	Regular
Primavera	Buena	Muy buena	Buena
Pukté	Mala	Mala	Mala
Ramón	Buena	Buena	Buena
Rosa morada	Buena	Buena	Buena
Tzalam	Regular	Buena	Mala

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Con base a la estabilidad dimensional definida por la anisotropía del hinchamiento diferencial (A_q), la mayoría de las maderas se considera de estable a muy estable, a excepción de la madera de Pukté que resultó inestable. Sin embargo, para esta madera, dada su excepcionalmente alta densidad y su mala permeabilidad, la absorción de humedad puede ser muy lenta, lo que favorece a que el cambio dimensional no ocurra tan drásticamente, principalmente para uso en interiores.

3.5.5 Bibliografía

- DIN 52 182. Prüfung von Holz. Bestimmung der Rohdichte. DIN-Taschenbuch 31. Normen für Holz. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag GmbH, Berlin. 7. Auflage. April 2000, 56-58.
- DIN 52 183. Prüfung von Holz. Bestimmung der Feuchtigkeitsgehaltes. DIN-Taschenbuch 31. Normen für Holz. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag GmbH, Berlin. 7. Auflage. April 2000, 59-60.
- DIN 52 184. Prüfung von Holz. Bestimmung der Quellung und Schwindung. DIN-Taschenbuch 31. Normen für Holz. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag GmbH, Berlin. 7. Auflage. April 2000, 61-64.
- Fuentes T.F.J., Silva G.J.A., Montes R.E. Manual del secado técnico convencional de la madera. Universidad de Guadalajara. 1996. p. 36.
- Silva G.J.A., Fuentes T.F.J., Rodríguez A.R., Torres A. P.A., Lomelí R.M.G., Ramos Q.J., Waitkus C., Richter H.G. Fichas de propiedades tecnológicas y usos de maderas nativas de México e Importadas. 2010, p.11.
- The Nature of Wood and Wood Products, CD Rom. 1998. University of Minnesota and The Forest Products Management Development Institute.
- Wood Handbook. Wood as an Engineering Material. 2010 Edition. Forest Products Society. Madison Wisconsin. 2011, 5-26 y 5-29.

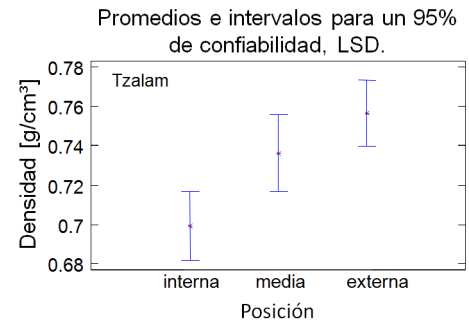
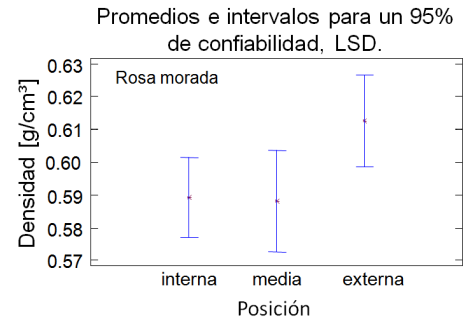
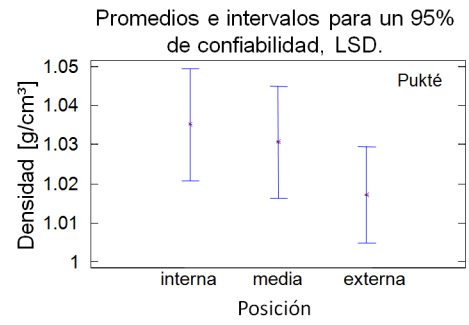
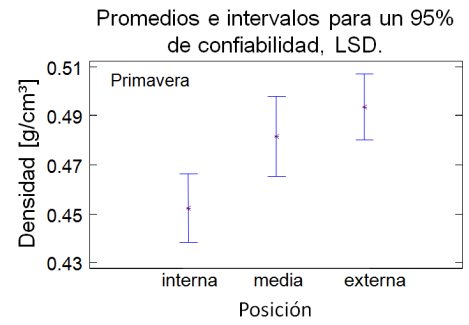
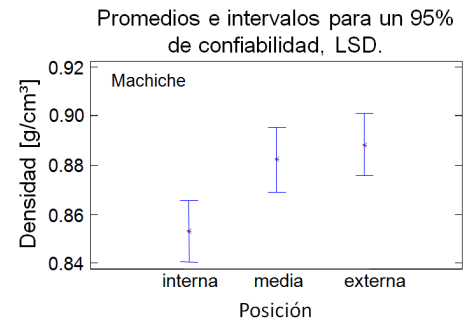
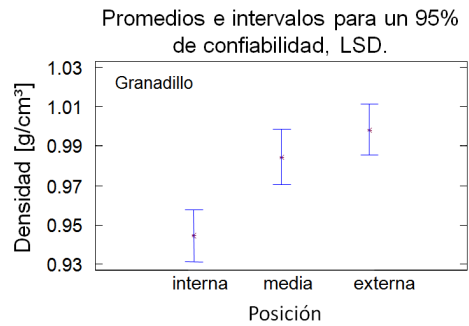
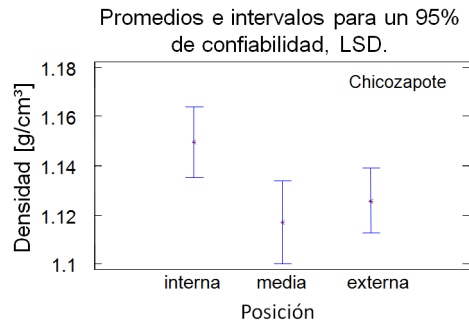
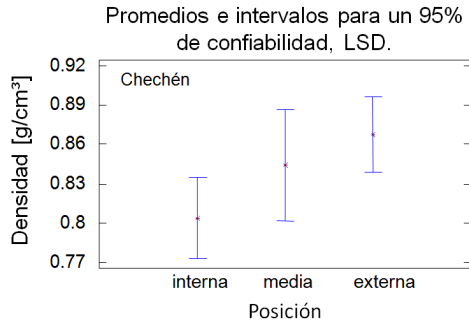
Agradecimientos

Para la realización de esta parte del proyecto fue muy importante el apoyo recibido por parte de las siguientes personas: Sr. Francisco Orozco Córdova

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

(servicios generales del DMCyP) por mantenimiento de equipo de carpintería y habilitamiento de listones; M. en C. Raúl Rodríguez Anda y Dr. Hans G. Richter (Profesores investigadores del DMCyP), por asumir la tarea de habilitar y supervisar el muestreo así como la elaboración de probetas de ensayo; Al Dr. Juan Ramos Quirarte (Jefe del DMCyP) por las facilidades brindadas para solventar los diversos imponderables surgidos durante la ejecución del proyecto.

Anexo 3.5.1 Variación de la densidad de las maderas



3.6 Propiedades mecánicas

3.6.1 Resumen

Se presentan los resultados del estudio de las propiedades mecánicas de las 11 especies de maderas comprometidas en el objetivo 2.2, actividad 2.2.2 referente a la determinación de las propiedades físico-mecánicas. Todas las maderas fueron ensayadas mecánicamente a compresión longitudinal, flexión tangencial, dureza Brinell, cizallamiento e impacto, utilizando las especificaciones de las normas DIN (Deutsches Institut für Normen). Para cada ensayo y con base a sus respuestas mecánicas se califican las maderas y se indica su pertinencia ante esfuerzos de los usos prácticos probables.

3.6.2 Introducción

Las propiedades mecánicas de la madera representan su respuesta a fuerzas externas que inciden sobre ella y que en función de su naturaleza y del tipo de fuerza que se trate, será también tal respuesta. En el uso práctico la madera suele estar expuesta a fuerzas de compresión, de tensión, de corte e incluso combinación de todas las anteriores. Ante cada una de estas fuerzas, la resistencia de la madera será distinta.

La primera respuesta que se genera por acción de cualquier tipo de fuerza sobre la madera, es un cambio de forma, es decir, una deformación. La deformación puede ser de carácter elástica, lo que significa que al retirar la fuerza que la provocó, la madera recupera su forma original. En el caso contrario, cuando la fuerza aplicada es tan grande provoca una deformación de carácter plástica, lo que significa que aún retirando la fuerza que la originó, quedará una deformación permanente y la madera no recuperará su forma original. En este último hecho se dice entonces que se ha rebasado el límite elástico de la madera, también conocido como límite de proporcionalidad. El extremo ocurre cuando se rebasa la capacidad de resistencia de la madera y se presenta su rompimiento. Por lo anterior, el conocimiento mecánico de la

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

madera requiere de la determinación tanto de sus constantes elásticas como de sus resistencias.

Diversos factores inciden sobre el comportamiento mecánico de la madera. Al respecto se sabe por ejemplo que la densidad, el contenido de humedad, la anisotropía, el tipo de ensayo, tiempo de aplicación de la fuerza y los defectos presentes en la madera, son factores importantes a considerar en la caracterización de su comportamiento mecánico (Panshin and Zeeuw ,1980). A mayor densidad, mayores serán las propiedades de resistencia, a mayor contenido de humedad, menores serán las propiedades de resistencia; la dirección en que se aplique la fuerza (longitudinal, radial, tangencial) determina también su resistencia. Las mejores propiedades mecánicas se tienen en la dirección longitudinal, seguida de la radial y tangencial, respectivamente; por su parte la presencia de nudos, microagrietamientos, dirección de fibra irregular y la biodegradación por hongos e insectos, son causas que originan una disminución de las propiedades mecánicas de la madera.

Para el estudio de las propiedades mecánicas de las maderas del proyecto en referencia, se investigaron su resistencia y módulo de elasticidad a ensayos de compresión longitudinal y flexión tangencial, la dureza Brinell, la resistencia al impacto (trabajo por impacto) y su resistencia al cizallamiento, con lo cual se logró tener un panorama claro sobre sus comportamiento mecánico y su potencial uso en diversos elementos expuestos a cargas. Todas las determinaciones se realizaron bajo normas reconocidas internacionalmente y utilizando especímenes de prueba libre de defectos.

3.6.3 Metodología

La determinación de las propiedades mecánicas se realizó con base a las normas DIN (Deutsches Institut für Normen). Los especímenes para los ensayos mecánicos se obtuvieron de las secciones "b" y "c" de cada una de las

trozas e indistintamente de las áreas "i", "m" y "x", como fue explicado en el apartado 3.3 de este capítulo.

A continuación se describe brevemente aspectos importantes del procedimiento y de los especímenes de prueba para cada uno de los ensayos.

3.6.3.1 Ensayo de compresión longitudinal

La determinación de la resistencia y módulo de elasticidad a compresión paralela a la fibra (eje longitudinal) se efectuó de acuerdo a la norma DIN 52 185. Se utilizaron probetas libres de defectos y perfectamente orientadas en sus anillos de crecimiento, con dimensiones de 60 x 20 x 20 mm³. La aplicación de la carga se realizó a una velocidad constante que permitió que la ruptura ocurriera en un lapso de tiempo de 60 a 90 segundos.

3.6.3.2 Ensayo de flexión tangencial

La resistencia y módulo de elasticidad a flexión se determinó con base a la norma DIN 52 186. Las dimensiones de las probetas fueron de 360 x 20 x 20 mm³, libres de defectos, perfectamente orientadas en sus anillos anuales de crecimiento. La aplicación de la carga fue al centro del claro entre soportes (300 mm) en la dirección del eje tangencial de la probeta, a una velocidad constante que permitió que la ruptura ocurriera en un lapso entre 60 y 90 segundos después de iniciado el ensayo.

3.6.3.3 Ensayo de dureza Brinell

La determinación de la dureza de la madera se realizó con base en las especificaciones del método de Brinell, similar a la norma DIN-EN 1534. Se utilizaron probetas en forma de cubo de 40 y 50 mm de lado, perfectamente orientados sus anillos, libres de defectos y aplicando la fuerza al centro de cada una de las caras del cubo: cara transversal (eje longitudinal), cara radial (eje tangencial) y cara tangencial (eje radial).

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

El procedimiento consistió en aplicar lentamente una fuerza concentrada sobre la superficie de la madera mediante un balón de acero de 10 mm de diámetro, durante un periodo de tiempo de 15 segundos. Al concluir este periodo, se detuvo el movimiento del cabezal de la máquina universal, y se mantuvo la fuerza aplicada (F) por 30 segundos adicionales. Después de este segundo periodo, se retiró la carga y se procedió a medir el diámetro de la huella dejada por el balón en la superficie de la madera. El diámetro de la huella del balón se utilizó para calcular el área de penetración (A) en la superficie de la madera. Posteriormente, al relacionar la fuerza aplicada con el área de penetración, se obtuvo la dureza de la madera.

3.6.3.4 Resistencia al impacto (trabajo)

La resistencia al impacto o más correctamente denominada como trabajo por impacto, se determinó bajo el procedimiento señalado en la norma DIN 52 189 en probetas de 300 x 20 x 20 mm³, perfectamente orientadas en sus anillos anuales y libres de defectos. El ensayo se realizó en un péndulo de golpe "Karl Frank" tipo 53580, se utilizó un claro de 210 mm, el golpe se aplicó al centro de la probeta siguiendo el eje tangencial a los anillos de crecimiento.

3.6.3.5 Resistencia al cizallamiento (corte)

Para la evaluación de la resistencia al cizallamiento o corte se utilizaron probetas en forma de cubos de 40 y 50 mm de lado, todas libres de defectos y perfectamente orientadas con respecto a sus anillos de crecimiento. La aplicación de la carga fue en la cara transversal de la probeta, perpendicular a los anillos de crecimiento, es decir, en dirección longitudinal-radial. La ruptura de la probeta se generó dentro del lapso de 60 a 90 segundos estipulado por la norma DIN 52 187.

3.6.4 Resultados

Las propiedades mecánicas (compresión, flexión, dureza y cizallamiento) se reportan para un 12% de contenido de humedad de los especímenes de prueba, solo las correspondientes al ensayo de impacto se reportan para un contenido de humedad entre el 9 y 11%. La clasificación de las resistencias y módulos de elasticidad se realizaron acorde a las categorías propuestas por el Oxford Forestry Institute en la base de datos Prospect ver. 2.1 (1997). Para la dureza, las categorías fueron adaptadas acorde a la respuesta de las maderas en estudio.

3.6.4.1 Resistencia a la compresión longitudinal

En la Figura 3.6.4.1 se muestran los resultados de la determinación de la resistencia a la compresión longitudinal de las especies de madera. Esta propiedad es fundamental para determinar si las maderas ofrecen una capacidad de carga apropiada para utilizarse como polines en el sector constructivo.

Las especies de Primavera, Rosa morada y Tzalam se ubican en una resistencia **media** (36 - 55 N/mm²), acorde a su valor de densidad; por su parte Chechén, Chicozapote, Granadillo, Jabín, Machiche, Pukté y Ramón en la de **alta resistencia** (56 - 85 N/mm²). Se destaca la madera de Chakté-viga que alcanzó la categoría de **muy alta resistencia** (> 85 N/mm²), superando maderas de mayor densidad como Ramón, Granadillo, Pukté y Tzalam.

Por el valor de su densidad, se esperaba una resistencia a la compresión longitudinal mayor de las maderas de Chicozapote y Chechén, sin embargo, se observa que si bien alcanzaron la categoría de alta resistencia, su nivel es inferior al valor medio de ese rango, principalmente Chechén. Probablemente es debido a características de su crecimiento y su alto contenido de extraíbles, que tienden a incrementar la densidad pero no contribuyen a la resistencia.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

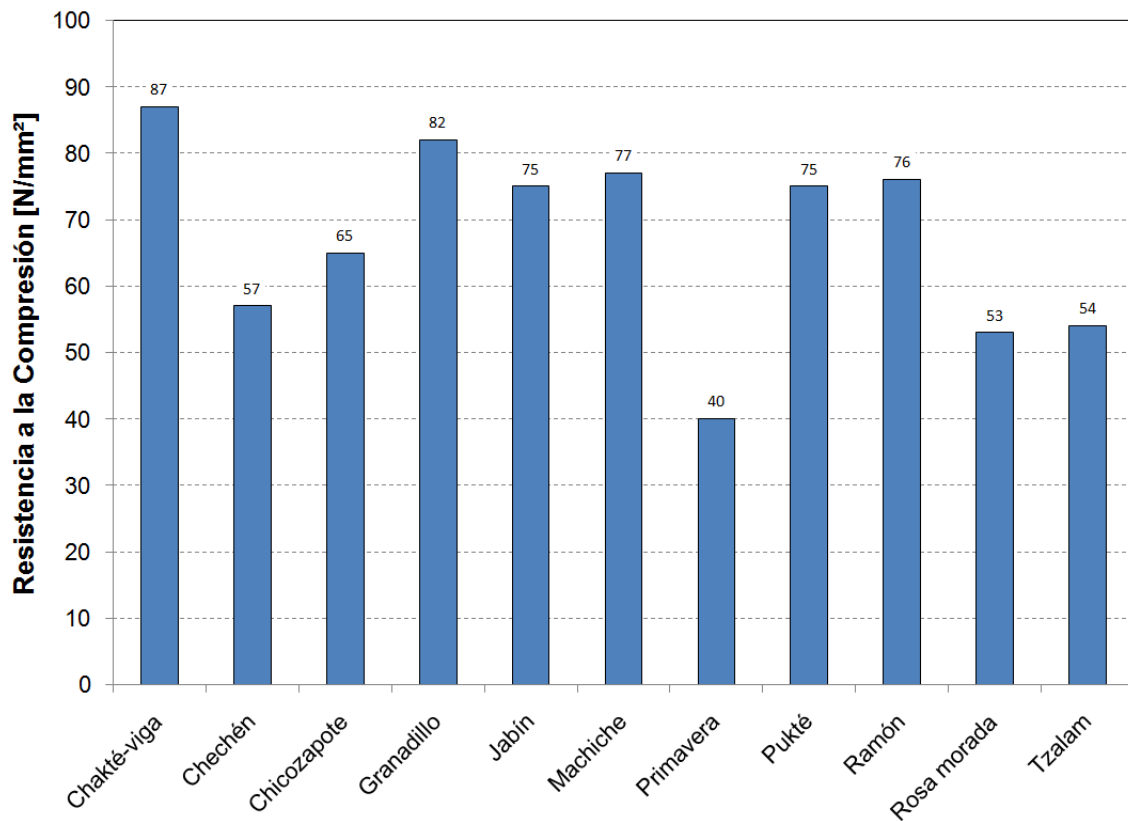


Figura 3.6.4.1 Resistencia a la compresión longitudinal de las maderas a un 12% de contenido de humedad.

3.6.4.2 Resistencia a la flexión tangencial

La resistencia a la flexión de las maderas se presenta en la Figura 3.6.4.2. En este caso, a través de este ensayo se indaga la capacidad de soportar esfuerzos para elementos constructivos como vigas, viguetas o duelas para pisos, u otros donde la madera es sujeta a este tipo de carga.

La respuesta a la flexión de las maderas tuvo similitud con su comportamiento a compresión; la madera de Chakté-viga superó a todas al ubicarse en la categoría de **muy alta resistencia** ($> 175 \text{ N/mm}^2$), seguida de 6 maderas con **alta resistencia** ($121 - 175 \text{ N/mm}^2$): Chicozapote, Granadillo, Jabín, Machiche,

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Pukté y Ramón. De este grupo sobresale la madera de Machiche por tener una densidad menor que las maderas antes mencionadas.

En la categoría de **resistencia media** (86 - 120 N/mm²) se encuentran las maderas de Chechén, Rosa morada y Tzalam); la madera de Chechén con un bajo desempeño en relación con su densidad. Dentro de este categoría, sobresale la resistencia de la madera de Rosa morada al estar muy cercana a la del Tzalam (T) y por arriba a la del chechén (B), a pesar de una menor densidad.

Finalmente en el nivel de **baja resistencia** (< 85 N/mm²) se clasifica la madera de Primavera, lo cual se considera dentro de lo esperado ya que es la madera con la densidad más baja de todas debido a sus características de crecimiento.

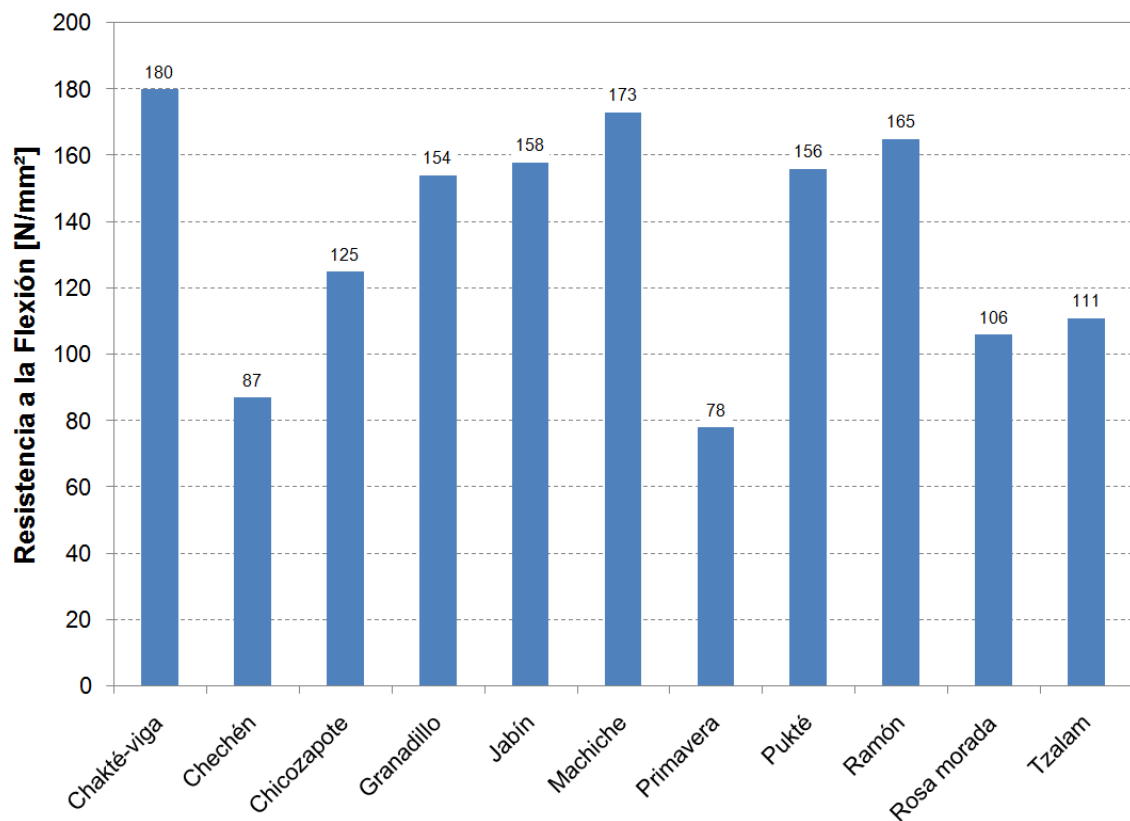


Figura 3.6.4.2 Resistencia a la flexión tangencial de las maderas a un 12% de contenido de humedad.

3.6.4.3 Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad (MOE) es una propiedad que permite dictaminar que tan rígido es un material, es decir, que tanta resistencia opone a ser deformado, por lo que para efectos de construcción, entre más alta sea esta propiedad, menos deformable es el material y más apropiado es para soportar cargas en el uso constructivo. De igual forma en la manufactura de instrumentos musicales, para algunos componentes como arcos de violín, suelen ser requeridos altos módulos de elasticidad.

El MOE en las maderas puede ser determinado tanto por ensayos de tensión como de compresión y flexión, los valores resultantes tienden a ser similares o muy cercanos entre sí cuando son determinados por ensayo de tensión o compresión y ligeramente menores por ensayo de flexión.

Para el caso de las maderas aquí estudiadas, el MOE se determinó tanto por ensayo de flexión tangencial como de compresión longitudinal, por ser los ensayos más comúnmente utilizados para determinar esta propiedad. En las Figuras 3.6.4.3 y 3.6.4.4 se muestran los resultados de la indagación del MOE a flexión y compresión, respectivamente. Para efecto de análisis, solo se hará mención al MOE a flexión por ser más comúnmente utilizado en los cálculos ingenieriles de elementos constructivos, adicionalmente la tendencia de los resultados fue similar.

Obsérvese en la Figura 3.6.4.3 que las maderas de Chakté-viga, Granadillo, Machiche y Pukté se destacan por su **alto módulo de elasticidad** (>15100 - 20000 N/mm²), siendo muy meritorio el desempeño de la madera de Machiche. Chicozapote, Jabín y Ramón con un **módulo de elasticidad medio** (12100 - 15000 N/mm²), Rosa morada (R) y Tzalam en el rango de **módulo de elasticidad bajo** (10100 - 12000 N/mm²) y en el escalón más bajo de la clasificación las maderas de Chechén y Primavera con **muy bajo módulo de elasticidad** (<10100 N/mm²).

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

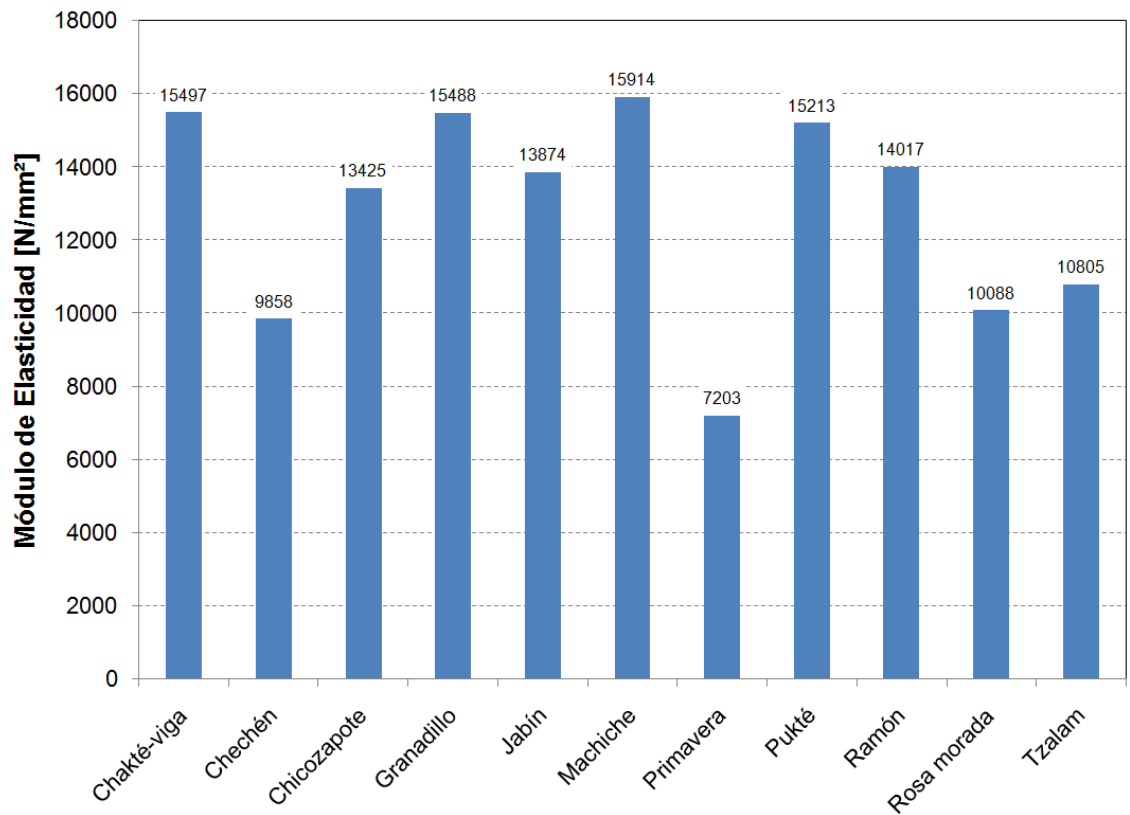


Figura 3.6.4.3 Módulo de elasticidad a la flexión tangencial de las maderas a un 12% de contenido de humedad.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

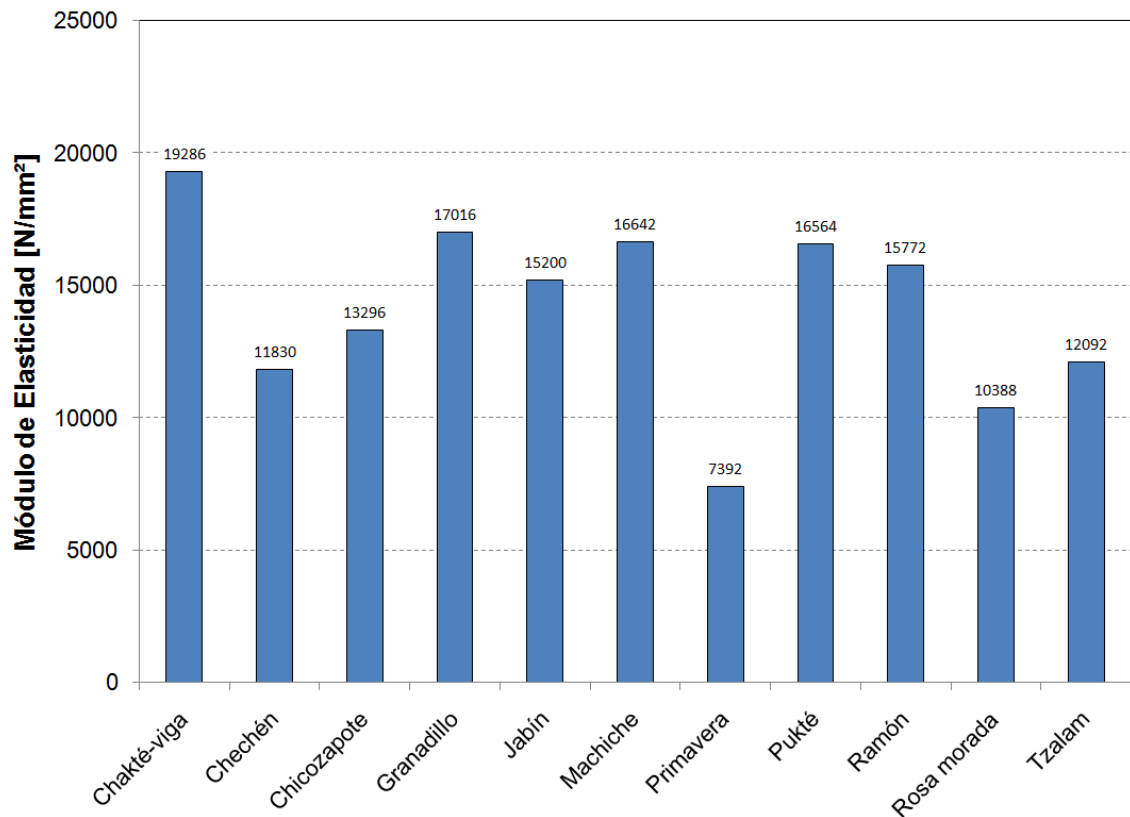


Figura 3.6.4 Módulo de elasticidad a la compresión longitudinal de las maderas a un 12% de contenido de humedad.

3.6.4.4 Dureza Brinell

La determinación de la dureza de la madera permite dictaminar su capacidad para soportar esfuerzos de compresión concentrados en un área superficial pequeña, similar al fenómeno que ocurre cuando la madera es utilizada en pisos (duela, parquet) e inclusive en cubiertas de distintas manufacturas. Obviamente, entre mayor sea la oposición a ser deformada por este tipo de esfuerzo, se dice entonces que la madera tiene una mayor dureza y por consiguiente es más pertinente para este tipo de aplicaciones.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Para efectos prácticos la dureza de la madera es valorada con base a su dureza lateral, entendiéndose por dureza lateral la correspondiente a los ejes en sentido perpendicular a la dirección de la fibra, o sea, la dureza radial y tangencial que son los que están expuestos cuando es usada en pisos o cubiertas. Por lo anterior, el análisis del comportamiento de las maderas frente a este tipo de ensayo se realiza con base exclusivamente de la dureza lateral, no obstante que en la Figura 3.6.4.5 se reporta también la dureza de las maderas en el eje longitudinal, la cual siempre será muy superior a la dureza lateral.

De la Figura 3.6.4.5 se observa que la dureza lateral de las maderas de Chakté-viga, Chicozapote, Jabín y Pukté se ubicaron en la categoría de **muy alta dureza** ($> 60 \text{ N/mm}^2$), Granadillo, Machiche y Ramón con **alta dureza** ($45 - 60 \text{ N/mm}^2$), Chechén (B) con **dureza media** ($36 - 45 \text{ N/mm}^2$), Rosa morada y Tzalam con **baja dureza** ($>26 - 35 \text{ N/mm}^2$) y Primavera con **muy baja dureza** ($< 25 \text{ N/mm}^2$).

Los resultados muestran que la dureza de 8 de las 11 maderas las acredita para su uso en la manufactura de diferentes tipos de pisos (duela, parquet, madera de ingeniería) o cubiertas. Obviamente se debe utilizar el criterio de selección de especie, relacionando su dureza con la intensidad de peso y tráfico a que estará sometida, para obtener el mejor desempeño y rentabilidad.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

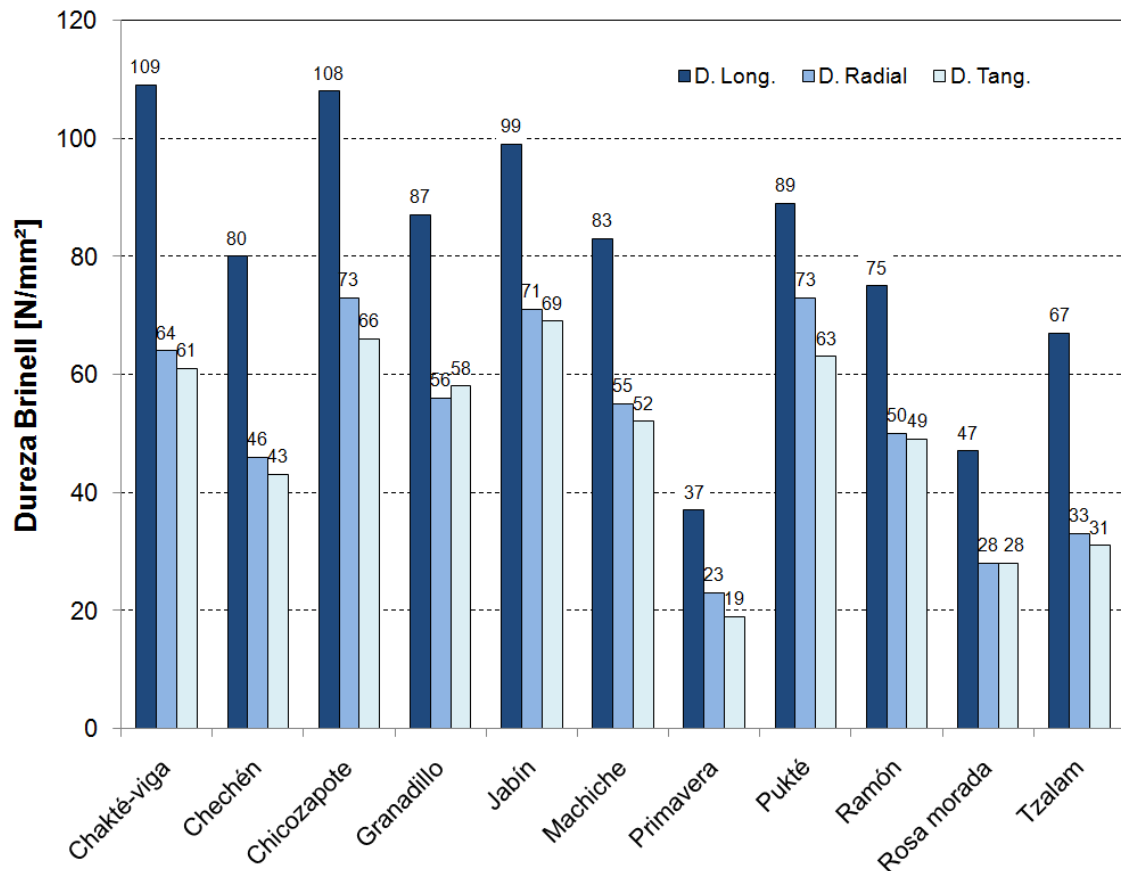


Figura 3.6.4.5 Dureza Brinell de cada uno de los ejes de las maderas a un 12% de contenido de humedad.

Un análisis de regresión lineal de los resultados de la densidad y dureza de las maderas permitió corroborar la estrecha correlación entre ambas propiedades. Obsérvese gráficamente en las Figuras 3.6.4.6 y 3.6.4.7 la clara influencia de la densidad sobre la dureza longitudinal y transversal, respectivamente.

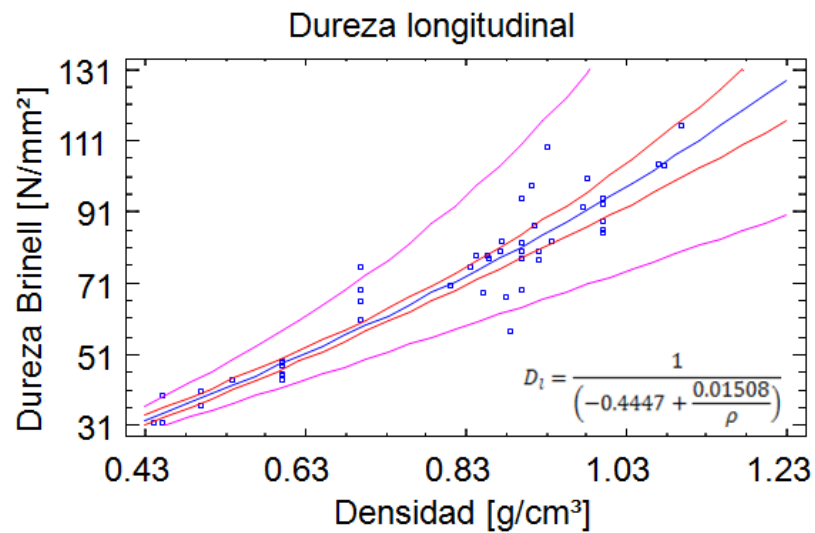


Figura 3.6.4.6 Influencia de la densidad sobre la dureza longitudinal de la madera. R² = 93%.

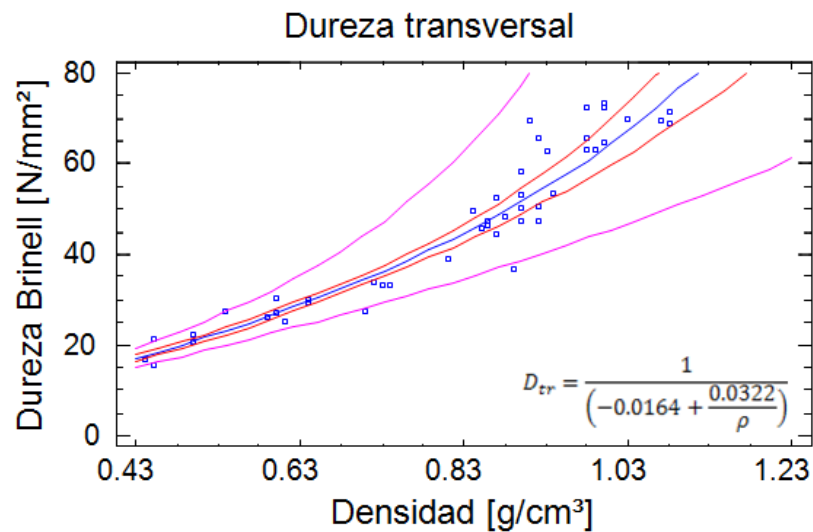


Figura 3.6.4.7 Influencia de la densidad sobre la dureza transversal de la madera. R² = 93%

3.6.4.5 Resistencia al impacto (trabajo)

El trabajo por impacto también suele ser denominado como resistencia al impacto, y lo que en realidad expresa es la energía (kJ/m²) requerida para

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

romper una madera cuando es sometida a un esfuerzo dinámico (golpe) perpendicular a su eje longitudinal. A mayor capacidad de absorción de energía de las maderas, mayor será su resistencia al impacto, y por consiguiente más apropiadas para ser utilizadas en aplicaciones donde son expuestas a fuerzas de choque, por ejemplo herramientas de mano, objetos de percusión y algunos artículos deportivos.

Para el caso particular de este estudio, obsérvese en la Figura 3.6.4.7, que las maderas de Chakté-viga, Jabín, Machiche y Pukté se ubican en el nivel de **alta resistencia** (102 - 128 kJ/m²), Granadillo, Ramón y Tzalam en el nivel de **resistencia media** (46 - 101 kJ/m²), Rosa morada con **baja resistencia** (46 – 73 kJ/m²) y Chechén y Primavera con **muy baja resistencia** (≤ 45 kJ/mm²).

Si bien la resistencia promedio al impacto de las maderas de Chakté-viga, Jabín, Machiche y Pukté las ubicó en la categoría de alta resistencia, su viabilidad de uso para herramientas de mano no se recomienda, ya que por sus características estructurales y dirección irregular de su hilo, el coeficiente de variación de sus resistencia fue hasta del 39%, lo cual es una desventaja importante en comparación con otras especies de madera empleadas para este tipo de producto, como son Hickory, Robinia y Fresno.

La resistencia al impacto es fuertemente dependiente de la dirección de la fibra, motivo por el cual la mayoría de las maderas muestran coeficientes de variación superiores al 25% (Wood Handbook 2011).

De las maderas que se encuentran en los niveles de **media** y **baja**, se destaca la madera de Rosa morada, ya que teniendo una densidad mucho más baja que la madera de Chechén y Chicozapote, mostró una muy mayor capacidad de absorción de energía.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

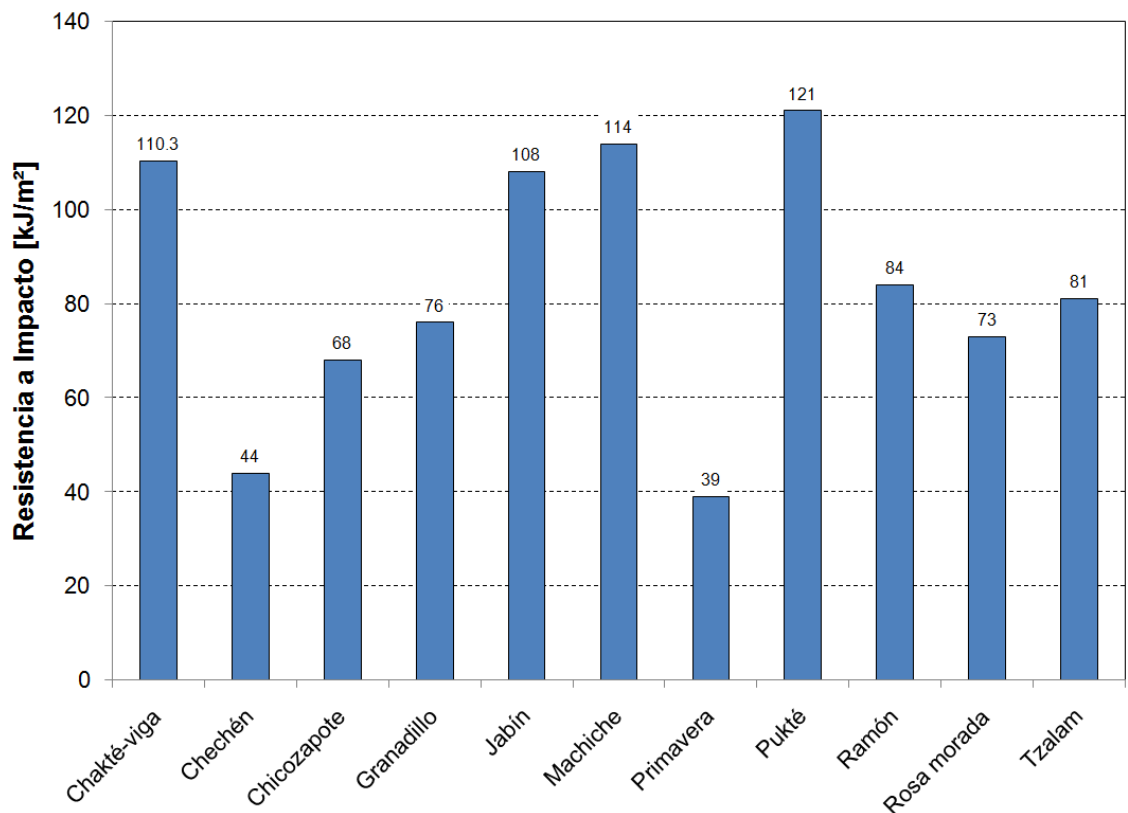


Figura 3.6.4.6 Representación gráfica del comportamiento al trabajo por impacto de las maderas.

3.6.4.5 Resistencia al cizallamiento (corte)

Se trata de una resistencia interna que desarrolla la madera como respuesta a una fuerza cortante paralela a la superficie sobre la que actúa. También es conocida como resistencia al corte, y su utilidad práctica se enfoca como un complemento importante para la evaluación de elementos de madera cuando son sujetos a esfuerzos de flexión y también de utilidad para conocer la resistencia de las capas internas que conforman elementos estructurales de vigas laminadas bajo esfuerzo de flexión.

Las maderas de Primavera y Rosa morada mostraron una **baja** resistencia (9.1 -13 N/mm²), Chakté-viga, Chechén, Chicozapote, Granadillo, Jabín, Pukté,

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Ramón y Tzalam se ubicaron en la categoría de resistencia **media** (13.1 - 18 N/mm²), destacándose por su **alta** resistencia (>18 N/mm²) al corte la madera de Machiche (M). En términos generales satisfacen suficientemente este criterio de evaluación conforme a su densidad.

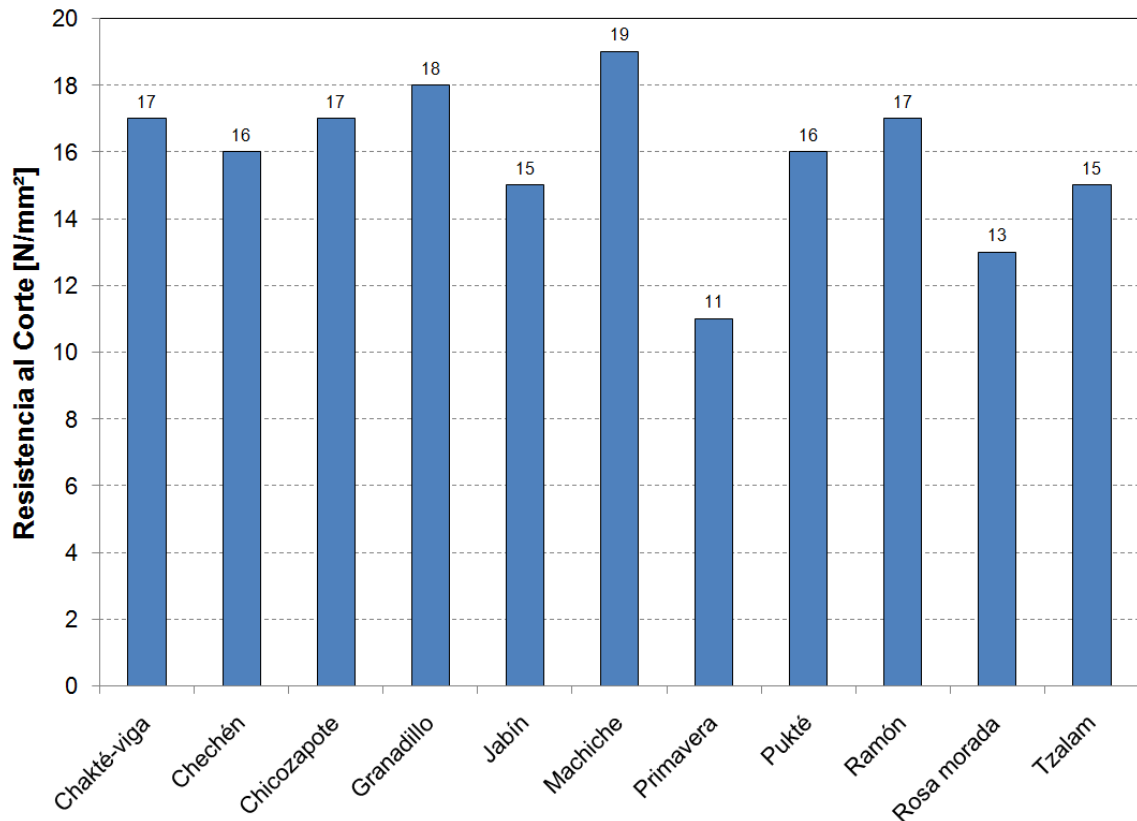


Figura 3.3.4.7 Resistencia al cizallamiento de las maderas a un 12% de contenido de humedad.

3.6.5 Bibliografía

DIN 52 185. Prüfung von Holz. Bestimmung der Druckfestigkeit parallel zur Faser. DIN-Taschenbuch 31. Normen für Holz. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag GmbH, Berlin. 7. Auflage. April 2000, 65-66.

DIN 52 186. Prüfung von Holz. Biegeversuch. DIN-Taschenbuch 31. Normen für Holz. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag GmbH, Berlin. 7. Auflage. April 2000, 67-70.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

DIN 52 187. Prüfung von Holz. Bestimmung der Scherfestigkeit in Faserrichtung. DIN-Taschenbuch 31. Normen für Holz. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag GmbH, Berlin. 7. Auflage. April 2000, 71-73.

DIN 52 189. Prüfung von Holz. Schlagbiegeversuch. DIN-Taschenbuch 31. Normen für Holz. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag GmbH, Berlin. 7. Auflage. April 2000, 77-79.

DIN-EN 1534. Parkett und andere Holzfussböden. Bestimmung des Eindruckwiderstandes (Brinell). Prüfmethode. Deutsche Fassung. DIN-Taschenbuch 31. Normen für Holz. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag GmbH, Berlin. 7. Auflage. April 2000, 419-423.

Panshin A.J. and de Zeeuw C. Textbook of Wood Technology. Structure, Identification, Properties, and Uses of the Commercial Woods of the United States and Canada. McGraw-Hill Book Company.

Wood Handbook. Wood as an Engineering Material. 2010 Edition. Chapter 5. Mechanical properties of wood. Forest Products Society. 2011. P. 5-26.

3.6.6 Agradecimientos

Para la realización de esta parte del proyecto fue muy importante el apoyo recibido por parte de las siguientes personas: Sr. Francisco Orozco Córdova (servicios generales del DMCyP) por mantenimiento de equipo de carpintería y habilitamiento de listones; M. en C. Raúl Rodríguez Anda y Dr. Hans G. Richter (Profesores investigadores del DMCyP), por asumir la tarea de habilitar y supervisar el muestreo así como la elaboración de probetas de ensayo; Al Dr. Juan Ramos Quirarte (Jefe del DMCyP) por las facilidades brindadas para solventar los diversos imponderables surgidos durante la ejecución del proyecto.

3.7 Durabilidad natural

3.7.1 Resumen

Se realizaron ensayos acelerados de resistencia natural de once especies tropicales nativas del sureste mexicano al ataque de hongos de pudrición mediante pruebas de laboratorio de acuerdo a los estándares internacionales de bloque suelo (ASTM 2017-05) y bloque agar (EN 350-1). Se determinó el porcentaje de peso perdido de los especímenes de madera expuestos durante 16 semanas a hongos reconocidos por su agresividad en maderas de latifoliadas y coníferas.

Tanto en el ensayo de bloque suelo como en bloque agar cinco de las especies (Chakté-viga, Chicozapote, Granadillo, Machiche y Pukté) se clasificaron en clase 1 (muy durables o altamente resistentes), otras tres especies (Jabín, Ramón y Tzalam) en clase 1 (muy resistente) en los ensayos de bloque suelo y en clase 2 (durable) en los ensayos de bloque agar; las tres especies restantes (Chechén, Primavera y Rosa morada) en ambos ensayos en clases de 2 a 4.

Se encontró que el hongo de pudrición influye en el porcentaje de pérdida de peso de las especies evaluadas y por lo tanto incide en la durabilidad natural de las mismas. Entre las diferentes posiciones del duramen (i = interna, m = intermedia, x = externa) no se presentó variación significativa en las pérdidas de peso producidas, lo que indica que la durabilidad natural es igual en todas las posiciones del duramen.

3.7.2 Introducción

La importancia de determinar la durabilidad natural de las maderas radica en la necesidad de definir las condiciones de riesgo al ataque de hongos en que pueden ser usadas. De acuerdo con Zabel y Morrell (1992); Haygreen y Bowyer (1996), el biodeterioro producido por los hongos de pudrición causa

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

grandes pérdidas económicas al tener que reemplazar grandes volúmenes de madera degradada en condiciones regulares de uso. La evaluación de la durabilidad natural de la madera empleando normas internacionales además de incrementar el nivel de competitividad de las especies en la industria forestal también contribuye a la apropiada utilización de las mismas.

Pocos trabajos han reportado anteriormente la durabilidad natural de maderas tropicales mexicanas. Torrelli y Cufar (1994) evaluaron la durabilidad natural de 42 especies de maderas tropicales mexicanas poco conocidas. En dicho trabajo evaluaron solamente cuatro de las especies que se estudiaron en la presente investigación: Chicozapote, Granadillo Machiche y Ramón, registrando alta resistencia natural para las tres primeras y moderada resistencia para Ramón. En Chudnoff (1984), únicamente se reporta la durabilidad natural de Tzalam y Pukté, catalogadas con reputación de ser altamente resistentes.

Con el propósito de contribuir a la caracterización tecnológica de once especies de maderas tropicales del sureste mexicano, se evaluó la durabilidad natural de las mismas frente a hongos de pudrición empleando estándares europeos y norteamericanos. También, se determinó la variación de la durabilidad natural de las maderas evaluadas en función de las zonas del duramen y hongos de pudrición, con el objetivo de sugerir usos adecuados en condiciones de exposición a los hongos.

3.7.3 Metodología

3.7.3.1 Preparación de especímenes

Se evaluaron 6 árboles de las maderas de Machiche, Primavera, Pukté, Rosa morada y Tzalam; 5 árboles de las maderas de Chicozapote y Granadillo; 4 árboles de Chechén; 2 árboles de Jabín y Ramón y 1 árbol de Chakté-viga. En

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

total, se evaluaron 1544 especímenes en el ensayo de bloque agar y 1542 en el ensayo de bloque suelo. Para los detalles respecto a la toma de las probetas consultar el apartado 3.3 (Elaboración de especímenes de prueba) de este informe.

Se seleccionaron 192 especímenes del duramen (posiciones interna "i", media "m" y externa "x") de cada una de las especies. El total de especímenes seleccionados de cada especie se dividió en tres grupos donde 48 especímenes se sometieron a cada uno de los tres hongos de pudrición y 16 especímenes se emplearon como control. Se realizó un análisis de varianza para establecer las variaciones que se producen en la durabilidad natural dependiendo de la especie de madera, el hongo y posición respecto al duramen en las pérdidas de peso registradas.

3.7.3.2 Hongos de prueba

Se emplearon tres especies de hongos de pudrición reconocidos por su agresividad hacia la madera, *Phanerochaete chrysosporium* (CDBB-H-298) y *Trametes versicolor* (L: Fr.) Pilat. (Stamm CTB 863A) de pudrición blanca y *Gloeophyllum trabeum* (Pers. ex. Fr) Murr (BAM Ebw. 109) de pudrición café. Los hongos se sembraron en cajas de Petri con extracto de malta agar (EMA) al 3.6% una semana antes de ser inoculados en los frascos destinados para los ensayos de durabilidad natural (Tabla 3.7.1).

Tabla 3.7.1 Procedencia de las cepas de hongos de pudrición empleadas para los ensayos de durabilidad natural de la madera realizados de acuerdo a las normas EN 350-1 y ASTM D 2017-05.

Pudrición blanca	Pudrición parda
<i>Phanerochaete chrysosporium</i> Burdvall Cepa CDBB-H-298, Colección Nacional de cepas microbianas y cultivos celulares, México D.F.	<i>Gloeophyllum trabeum</i> (Pers. ex Fries) Murr Cepa BAM Ebw.109, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg, Alemania.
<i>Trametes versicolor</i> (L.: Fries) Pilát Cepas Stamm CTB 863A, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg, Alemania.	

3.7.3.3 Ensayos de durabilidad natural

Las evaluaciones de durabilidad natural fueron realizadas de acuerdo a los procedimientos para ensayos acelerados de resistencia natural a la pudrición descritos en las normas ASTM D 2017-05 y EN-350-1, bloque-suelo y bloque-agar respectivamente.

El porcentaje de pérdida de peso (%PP) de los especímenes de madera expuestos durante 16 semanas a los hongos, es la determinación empleada para establecer la categoría de durabilidad o resistencia natural de la madera tanto en el método bloque-agar como en el método de bloque-suelo (Tabla 3.7.2).

Tabla 3.7.2 Clasificación de la durabilidad natural o resistencia natural de la madera a los hongos de pudrición de acuerdo a las normas EN 350-1 y ASTM D 2017-05.

Categoría	Norma EN 350-1 Bloque-Agar		Norma ASTM D 2017-05 Bloque-Suelo	
	Clase de durabilidad natural	Promedio pérdida de peso [%]	Clase de resistencia natural	Promedio pérdida de peso [%]
1	Muy durable	$0 \leq 5$	Altamente resistente	0 a 10
2	Durable	$5 \leq 10$	Resistente	11 a 24
3	Moderadamente durable	$10 \leq 20$	Moderadamente resistente	25 a 44
4	Ligeramente durable	$20 \geq 30$	Ligeramente resistente o no resistente	45 o >
5	No durable	> 30	-----	

3.7.4 Resultados

3.7.4.1 Pérdida de peso

En el ensayo de bloque agar los mayores promedios de pérdidas de peso se produjeron en los especímenes de Rosa morada (25%), Primavera (19%) y Chechén (11%). En el ensayo de bloque suelo, también se produjeron las pérdidas de peso promedio más altas en las maderas de Rosa morada (42%), Primavera (34%) y Chechén (18%).

Los valores promedio de pérdida de peso más bajos frente al hongo más agresivo, en el ensayo de bloque agar se presentaron en las maderas de Granadillo (0.3%), Chakté-viga (0.7%) y Machiche (1.3%). Igualmente, en el ensayo de bloque suelo, los valores promedio más bajos se presentaron en Granadillo (0.9%), Chakté-viga (2.1%) y Machiche (2.6%), ver Tablas 3.7.3 y 3.7.4.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Tabla 3.7.3 Valores promedio (Prom), mínimo (Min), máximo (Max), desviación estándar (Desv est) y coeficiente de variación (CV) de las pérdidas de peso de las 11 maderas expuestas a hongos de pudrición en el ensayo de bloque agar (EN 350-1).

Madera	Nombre científico	Hongo	Pérdidas de peso [%]				
			Prom	Min	Max	Desv. est.	CV
Chakté-viga	<i>Caesalpinia sp. (C2)</i>	<i>G.trabeum</i>	0.5	0.0	0.9	0.5	1.1
		<i>P. chrysosporium</i>	0.9	0.7	1.1	0.1	0.1
		<i>T. versicolor</i>	0.7	0.8	1.0	0.1	0.1
Chechén	<i>Metopium brownei</i>	<i>G.trabeum</i>	2.5	1.0	8.3	1.6	0.6
		<i>P. chrysosporium</i>	1.8	0.8	9.4	2.1	1.1
		<i>T. versicolor</i>	11.2	1.2	30.7	9.4	0.8
Chicozapote	<i>Manilkara zapota</i>	<i>G.trabeum</i>	2.4	0.0	5.6	0.9	0.5
		<i>P. chrysosporium</i>	1.2	0.5	2.3	16.1	3.9
		<i>T. versicolor</i>	2.1	0.3	3.4	0.8	0.4
Granadillo	<i>Platymiscium cf. yucatanum</i>	<i>G. trabeum</i>	0.7	0.3	6.5	1.0	1.5
		<i>P. chrysosporium</i>	0.2	0.5	0.7	0.2	0.8
		<i>T. versicolor</i>	0.3	0.0	1.5	0.2	0.7
Jabín	<i>Piscida piscipula</i>	<i>G. trabeum</i>	4.1	2.9	5.2	0.7	0.2
		<i>P. chrysosporium</i>	5.2	3.4	7.3	1.4	0.3
		<i>T. versicolor</i>	4.4	2.0	13.5	3.0	0.7
Machiche	<i>Lonchocarpus cf. castilloi</i>	<i>G.trabeum</i>	1.5	0.7	2.0	0.3	0.2
		<i>P. chrysosporium</i>	1.7	0.9	7.1	0.9	0.5
		<i>T. versicolor</i>	1.3	0.8	2.6	0.3	0.3
Primavera	<i>Roseodendron donnell-smithii</i>	<i>G. trabeum</i>	0.6	1.8	10.0	1.8	2.9
		<i>P. chrysosporium</i>	1.7	1.2	27.8	5.2	3.0
		<i>T. versicolor</i>	19.5	0.7	51.0	15.7	0.8
Pukté	<i>Terminalia buceras</i>	<i>G. trabeum</i>	2.0	2.3	11.5	3.3	1.6
		<i>P. chrysosporium</i>	1.3	0.6	7.7	1.2	0.9
		<i>T. versicolor</i>	1.8	0.0	12.0	2.4	1.3
Ramón	<i>Brosimum alicastrum</i>	<i>G. trabeum</i>	0.8	0.1	3.3	0.9	1.1
		<i>P. chrysosporium</i>	1.2	0.2	5.6	1.5	1.3
		<i>T. versicolor</i>	7.3	0.6	39.0	12.6	1.7
Rosa Morada	<i>Tabebuia rosea</i>	<i>G. trabeum</i>	6.8	4.1	12.1	2.2	0.3
		<i>P. chrysosporium</i>	9.4	3.6	25.5	5.3	0.6
		<i>T. versicolor</i>	25.4	6.8	42.7	10.1	0.4
Tzalam	<i>Lysiloma latisiliquum</i>	<i>G. trabeum</i>	1.4	0.1	2.8	0.6	0.4
		<i>P. chrysosporium</i>	1.8	0.5	9.5	1.3	0.7
		<i>T. versicolor</i>	7.6	1.6	21.4	4.0	0.5

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Tabla 3.7.4 Valores promedio (Prom), mínimo (Mín), máximo (Máx), desviación estándar (Desv est) y coeficiente de variación (CV) de las pérdidas de peso de las 11 maderas expuestas a hongos de pudrición en el ensayo de bloque suelo (ASTM D 2107-05).

Madera	Nombre científico	Hongo	Pérdidas de peso [%]				
			Prom	Mín	Máx	Desv. est.	CV
Chakté-viga	<i>Caesalpinia sp. (C2)</i>	<i>G. trabeum</i>	2.2	0.8	6.0	1.6	0.7
		<i>P. chrysosporium</i>	0.8	0.5	1.3	1.6	0.3
		<i>T. versicolor</i>	2.1	1.0	5.7	1.7	0.8
Chechén	<i>Metopium brownei</i>	<i>G. trabeum</i>	4.0	2.2	13.8	2.2	0.6
		<i>P. chrysosporium</i>	3.5	2.3	7.7	2.2	0.3
		<i>T. versicolor</i>	18.2	4.1	46.5	11.7	0.6
Chicozapote	<i>Manilkara zapota</i>	<i>G. trabeum</i>	1.5	0.2	2.3	0.4	0.3
		<i>P. chrysosporium</i>	1.9	3.7	5.7	1.5	0.3
		<i>T. versicolor</i>	7.4	0.5	8.2	1.2	0.3
Granadillo	<i>Platymiscium cf. yucatanum</i>	<i>G. trabeum</i>	-	-	-	-	-
		<i>P. chrysosporium</i>	0.8	0.2	1.1	0.0	0.3
		<i>T. versicolor</i>	0.9	0.1	5.1	0.9	1.0
Jabín	<i>Piscidia piscipula</i>	<i>G. trabeum</i>	8.0	6.6	10.3	1.0	0.1
		<i>P. chrysosporium</i>	4.9	2.3	7.1	1.0	0.3
		<i>T. versicolor</i>	6.1	4.2	9.1	1.6	0.3
Machiche	<i>Lonchocarpus cf. castilloi</i>	<i>G. trabeum</i>	1.9	1.7	3.9	0.9	0.5
		<i>P. chrysosporium</i>	1.2	0.8	3.3	0.9	2.5
		<i>T. versicolor</i>	2.6	1.3	7.2	1.1	0.4
Primavera	<i>Roseodendron donnell-smithii</i>	<i>G. trabeum</i>	1.4	0.2	2.9	0.7	0.5
		<i>P. chrysosporium</i>	3.0	3.3	21.8	0.7	1.4
		<i>T. versicolor</i>	34.0	0.3	77.7	16.7	0.5
Pukté	<i>Terminalia buceras</i>	<i>G. trabeum</i>	2.0	1.1	3.3	0.5	0.3
		<i>P. chrysosporium</i>	1.6	0.8	3.2	0.5	0.3
		<i>T. versicolor</i>	3.5	0.9	23.7	3.9	1.1
Ramón	<i>Brosimum alicastrum</i>	<i>G. trabeum</i>	1.6	0.0	4.8	1.2	0.7
		<i>P. chrysosporium</i>	6.2	0.6	39.6	1.2	1.9
		<i>T. versicolor</i>	10.0	2.0	32.6	9.7	1.0
Rosa Morada	<i>Tabebuia rosea</i>	<i>G. trabeum</i>	29.1	7.0	50.5	10.0	0.3
		<i>P. chrysosporium</i>	10.4	4.3	39.9	10.0	0.7
		<i>T. versicolor</i>	42.0	18	63.1	10.6	0.3
Tzalam	<i>Lysiloma latisiliquum</i>	<i>G. trabeum</i>	6.7	1.1	27.6	6.8	1.0
		<i>P. chrysosporium</i>	2.1	0.7	26.9	6.8	1.8
		<i>T. versicolor</i>	7.0	0.7	49.5	9.8	1.4

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

En el ensayo de bloque agar las pérdidas de peso promedio fueron mayores para los especímenes expuestos al hongo *T. versicolor*, seguido por *P. chrysosporium* y *G. trabeum* (Figura 3.7.1). En el ensayo de bloque suelo el hongo que ocasionó los mayores valores de pérdida de peso promedio también fue *T. versicolor*, luego *P. chrysosporium* y en menor proporción *G. trabeum* (Figura 3.7.2).

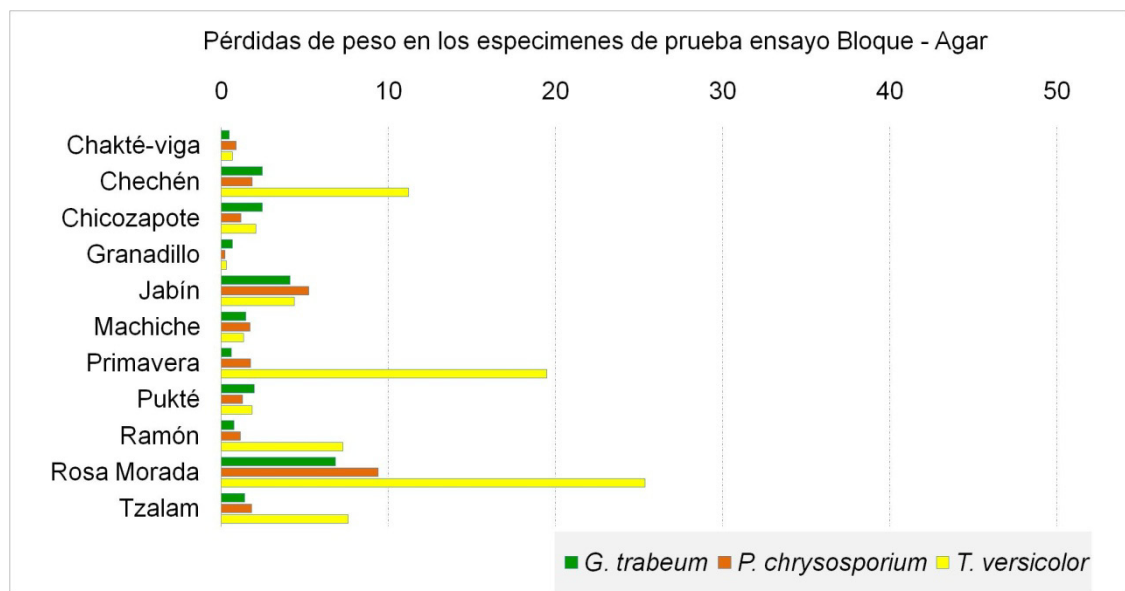


Figura 3.7.1 Pérdidas de peso promedio de 11 maderas tropicales mexicanas expuestas a hongos de pudrición en el ensayo bloque agar (EN 350-1).

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

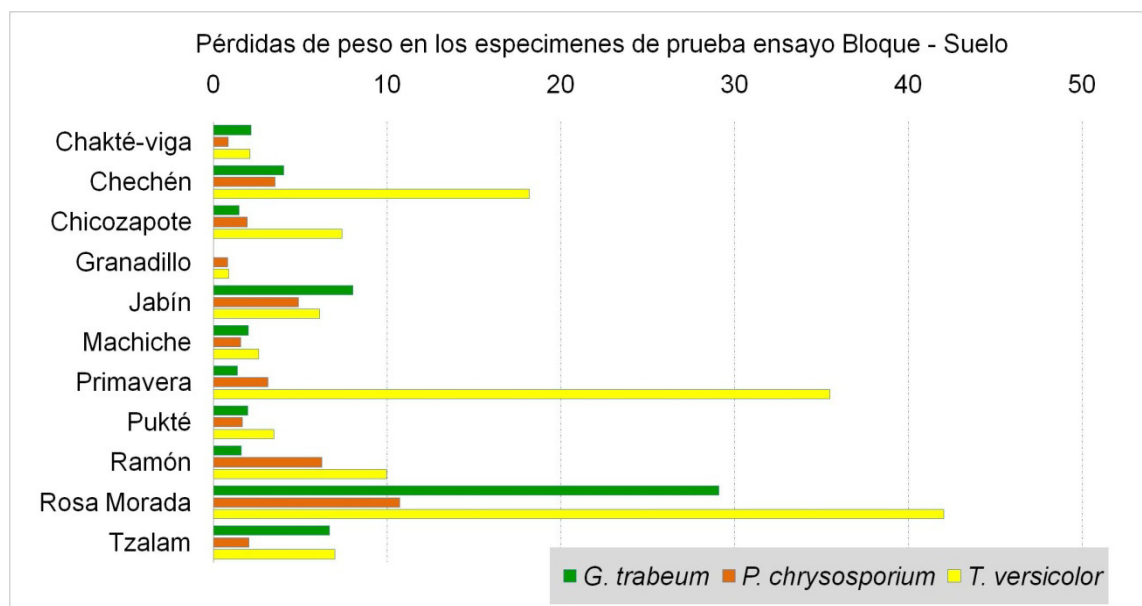


Figura 3.7.2 Pérdidas de peso promedio de 11 maderas expuestas a hongos de pudrición en el ensayo de bloque suelo (ASTM D 2107-05).

3.7.4.2 Clasificación de la durabilidad natural

Las categorías de clasificación de durabilidad natural se establecieron según los criterios descritos por el European Committee for Standardization (CEN) 350-1 para ensayos de bloque agar y conforme a los criterios definidos por la American Society for Testing and Materials Standard (ASTM) D2107-05 para los ensayos de bloque suelo (Tabla 3.7.1).

Con base al mayor promedio de pérdidas de peso registrado en los resultados obtenidos para cada una de las once maderas expuestas a los hongos de pudrición, éstas se distribuyeron en 4 categorías de durabilidad natural en el ensayo de bloque agar. Las maderas de Chakté-viga, Chicozapote, Granadillo, Machiche y Pukté se clasificaron como Muy durables (Clase 1), tres maderas se clasificaron como Durables (Clase 2): Jabín, Ramón y Tzalam, mientras que dos maderas se clasifican como Moderadamente durables (Clase 3): Chechén y Primavera; en último lugar, se encuentra la madera de Rosa morada que se clasifica como Ligeramente durable (Clase 4) (Tabla 3.7.5).

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Por otra parte, de acuerdo al promedio de pérdidas de peso causadas por el hongo más agresivo (*Trametes versicolor*) hacia cada madera en el ensayo de bloque suelo, las once maderas se distribuyeron en 3 categorías de resistencia natural. Se clasificaron ocho maderas como Altamente resistentes (Clase 1): Chakté-viga, Chicozapote, Granadillo, Jabín, Machiche, Pukté, Ramón y Tzalam, como Resistente (Clase 2) únicamente la madera de Chechén y dos maderas como Moderadamente resistentes (Clase 3): Primavera y Rosa morada (Tabla 3.7.5.).

Tabla 3.7.5 Clases de durabilidad o resistencia natural de las 11 maderas tropicales mexicanas expuestas durante 16 semanas a hongos de pudrición en el ensayo de bloque agar (EN 350-1) y bloque suelo (ASTM D 2107-05).

Nombre común	Nombre científico	Clase de durabilidad natural (EN 350-1)	Clase de resistencia natural (ASTM D 2107-05)
Chakté-viga	<i>Caesalpinia sp.</i> (C2)	1	1
Chechén	<i>Metopium brownei</i>	3	2
Chicozapote	<i>Manilkara zapota</i>	1	1
Granadillo	<i>Platymiscium cf. yucatanum</i>	1	1
Jabín	<i>Piscidia piscipula</i>	2	1
Machiche	<i>Lonchocarpus cf. castilloi</i>	1	1
Primavera	<i>Roseodendron donnell-smithii</i>	3	3
Pukté	<i>Terminalia buceras</i>	1	1
Ramón	<i>Brosimum alicastrum</i>	2	1
Rosa Morada	<i>Tabebuia rosea</i>	4	3
Tzalam	<i>Lysiloma latisiliquum</i>	2	1

3.7.4.3 Variación de la durabilidad natural

Tanto en el ensayo de bloque suelo como en bloque agar se presentaron diferencias estadísticamente significativas en las pérdidas de peso producidas

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

por los tres hongos de pudrición. El hongo más agresivo hacia las maderas evaluadas fue *T. versicolor* ya que ocasionó el mayor porcentaje de pérdidas de peso en ambos ensayos de durabilidad.

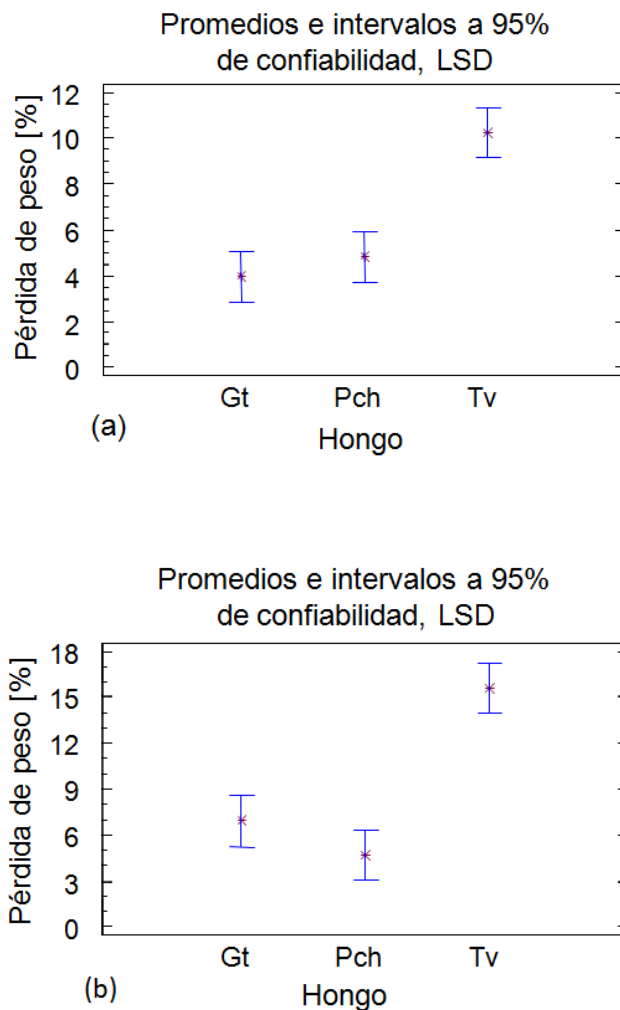


Figura 3.7.5 Gráficos de medias y variación de la pérdida de peso [%] por el tipo de hongo de pudrición: *G. trabeum* (Gt), *P. chrysosporium* (Pch) y *T. versicolor* (Tv) en el ensayo de bloque agar (a) y bloque suelo (b).

De acuerdo a los resultados generales, la durabilidad natural de las maderas evaluadas no varía de una posición de duramen a otra. En la mayoría de los

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

ensayos no se presentaron diferencias significativas en las pérdidas de peso ocurridas entre las posiciones de duramen interna (i), media (m) y externa (x). Únicamente en el ensayo de bloque suelo donde se expusieron las maderas al hongo *P. chrysosporium* se observaron diferencias entre las posiciones del duramen.

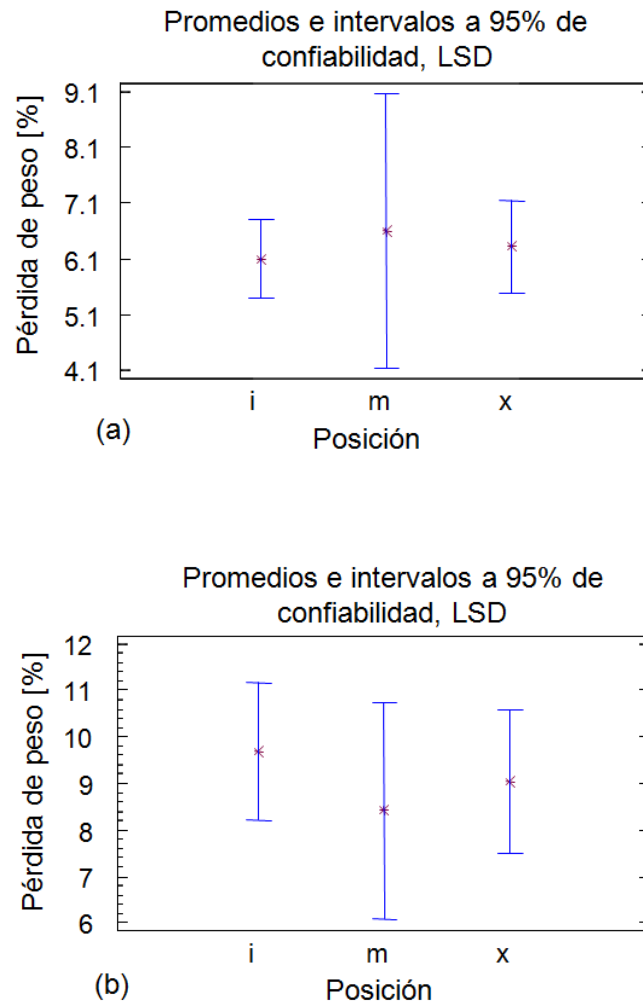


Figura 3.7.6 Gráficos de medias y variación de la pérdida de peso para la posición de duramen: interna (i), media (m) y externa (x) en el ensayo de bloque agar (a) y bloque suelo (b).

3.7.5 Análisis e interpretación

Aunque los resultados de pérdida de peso fueron mayores en el ensayo de bloque suelo que en bloque agar, ambos ensayos mantienen la misma tendencia con respecto a la proporción de peso perdido por los especímenes de las maderas evaluadas y la agresividad que mostraron los hongos de pudrición hacia éstas.

Cuando se presenten diferencias en la categoría de clasificación de durabilidad natural entre el ensayo bloque agar y el ensayo bloque suelo, la categoría más baja en la cual haya sido clasificada la madera debe ser empleada como medida de precaución para definir el uso potencial de las especies evaluadas ante riesgo de degradación.

Todas las maderas evaluadas pueden ser empleadas en condiciones interiores; sin embargo, únicamente se recomiendan para uso exterior en contacto con el suelo a las maderas de Chakté-viga, Chicozapote, Granadillo, Machiche, y Pukté, mientras que para condiciones exteriores sin contacto con el suelo, se recomiendan las maderas de Chechén, Jabín, Ramón y Tzalam; en último lugar, las maderas de Primavera y Rosa Morada se recomiendan exclusivamente para usos en interiores y condiciones que no impliquen contacto directo con el suelo ni riesgo de altas humedades relativas del aire y exposición a hongos de pudrición (Tabla 3.7.6).

La madera de Ramón, clasificada como moderadamente resistente por Torrelli y Cufar (1994), en el presente estudio se clasifica como altamente resistente y durable. Asimismo, la madera de Tzalam reportada como altamente resistente por Chudnoff (1984), también se clasifica en el presente estudio como altamente resistente en el ensayo de bloque suelo, sin embargo, en el ensayo de bloque agar se clasifica como durable.

Tabla 3.7.6 Condiciones de uso recomendadas para 11 maderas tropicales mexicanas de acuerdo a la clasificación de la durabilidad natural o resistencia natural de la madera a los hongos de pudrición.

Nombre común	<i>Nombre científico</i>	Condiciones de uso recomendadas		
		Exterior	Exterior sin contacto con el suelo	Interior
Chakté-viga	<i>Caesalpinia sp. (C2)</i>	X		X
Chechén	<i>Metopium brownei</i>		X	X
Chicozapote	<i>Manilkara zapota</i>	X		X
Granadillo	<i>Platymiscium cf. yucatanum</i>	X		X
Jabín	<i>Piscidia piscipula</i>		X	X
Machiche	<i>Lonchocarpus cf. castilloi</i>	X		X
Primavera	<i>Roseodendron donnell-smithii</i>			X
Pukté	<i>Terminalia buceras</i>	X		X
Ramón	<i>Brosimum alicastrum</i>		X	X
Rosa Morada	<i>Tabebuia rosea</i>			X
Tzalam	<i>Lysiloma latisiliquum</i>		X	X

3.7.6 Conclusiones y recomendaciones

De las once maderas tropicales mexicanas evaluadas según los estándares europeos y norteamericanos se registraron cinco especies con alta resistencia natural a los hongos de pudrición blanca y café (Chakté-viga, Chicozapote, Granadillo, Machiche y Pukté). Estas especies tienen mayor potencial para ser utilizadas en diferentes aplicaciones exteriores y por lo tanto incrementan las posibilidades de ser aprovechadas comercialmente.

Para dar seguimiento a los ensayos de durabilidad natural se recomienda realizar análisis químico cualitativo y cuantitativo y ensayos de actividad antifúngica (AFA) de los extraíbles de las maderas clasificadas con alta durabilidad natural para determinar los compuestos responsables de la durabilidad natural.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Determinar la resistencia natural al ataque de termitas de la madera seca en las maderas altamente durables y específicamente en madera pesadas empleadas en construcción como Chicozapote y Pukté asimismo determinar la resistencia a taladradores marinos.

3.7.7 Repercusiones en la práctica

Se proporciona información confiable sobre las categorías de durabilidad natural de once maderas nativas del sureste mexicano evaluadas conforme a estándares internacionales para contribuir a solucionar el problema de desconocimiento de las propiedades de estas especies.

Los criterios de clasificación de durabilidad natural de cada una de las maderas responden a las exigencias de los mercados internacionales, incidiendo positivamente en la competitividad de la industria forestal mexicana en el mercado nacional e internacional.

Aquellas maderas clasificadas en la categoría de muy durables o altamente resistentes (Chakté-viga, Chicozapote, Granadillo, Machiche y Pukté) tendrán un mejor desempeño en condiciones de servicio que impliquen alto riesgo al ataque de hongos mientras que las especies poco durables (Primavera y Rosa Morada) deben ser empleadas en ambientes interiores.

El conocimiento de la durabilidad natural promueve el apropiado uso de las maderas menos utilizadas en el sureste mexicano, además ayuda a reducir la presión sobre los bosques tropicales al disminuir la necesidad de extraer grandes volúmenes de madera de unas pocas especies.

3.7.8 Bibliografía

- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2007. Standard D 2017-05. Standard test method for accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, Philadelphia. p. 270-274.
- Chudnoff, M. 1984. Tropical Timbers of the World. Agricultural Handbook 607. USDA Forest Service, Washington DC. 466 pp.
- European Committee for Standardization (CEN). 1994. Standard EN 350-1. Durability of wood and wood-based products-Natural durability of solid wood. Part 1: Guide to the principles of testing and classification of the natural durability of wood. Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe. European Committee for Standardization (CEN).
- Haygreen, J.G. y Bowyer, J.L. 1996. Forest products and wood science: an introduction. 3ra ed. IOWA State University Press, Arnes, Iowa.
- Torrelli N. and Cufar. K. 1994. Comparative decay resistance of 43 Mexican tropical hardwoods. Holz als Roh und Werkstoff 52: 394-396.
- Zabel, R.A. and Morrell, J.J. 1992. Wood microbiology: Decay and Its Prevention. Academic Press. San Diego, CA. 476 pp.

3.8 Secado

3.8.1 Resumen

Las observaciones empíricas sobre el secado natural bajo techo, solar y técnico convencional de las 11 maderas estudiadas se resumen a continuación:

El contenido de humedad inicial del duramen de las maderas Chakté-viga, Granadillo y Chicozapote era excepcionalmente bajo, alrededor del punto de saturación de la fibra. Para el resto de las maderas, el contenido de humedad inicial fue muy por arriba del punto de saturación de la fibra.

La velocidad del secado bajo las condiciones reportadas fue:

- rápida para las maderas de Primavera y Rosa morada debido a su baja densidad y estructura anatómica abierta.
- moderada para las maderas de Chakté-viga, Granadillo, Jabín, Machiche y Ramón debido a su más alta densidad y estructura anatómica parcialmente obstruida.
- muy lenta para las maderas de Chechén, Chicozapote, Pukté y Tzalam debido a su alta densidad y de su estructura anatómica cerrada (obstrucción de los principales conductos de agua y vapor).

Durante el secado al natural bajo techo y solar, las maderas de Chechén, Jabín, Machiche, Primavera, Pukté, Ramón y Tzalam desarrollaron fuertes tensiones internas residuales, lo que originó considerables deformaciones durante el corte longitudinal.

3.8.2 Introducción

El secado de la madera es una operación fundamental para el aprovechamiento del recurso forestal y para coadyuvar en su procesamiento y calidad de las manufacturas de madera. Así por ejemplo, el secado reduce significativamente el peso de las tablas, lo cual es importante para su transportación; reduce o evita el ataque de microorganismos (hongos xilófagos)

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

ya que su metabolismo requiere de la presencia de humedad; menor riesgo del movimiento dimensional por cambio drástico de su contenido de humedad y por ende reducción de distorsiones y agrietamientos; mejoramiento de los procesos de maquinado; mejor desempeño de las uniones de maderas por medio de adhesivos y mejor respuesta de tintes, barnices y lacas durante los procesos de acabado de superficies.

El secado de la madera puede realizarse por medio de diferentes procedimientos, desde el método natural al aire libre, hornos solares o alguno de los procesos técnicos, e incluso combinación de procedimientos.

El secado natural al aire libre de la madera tiene la desventaja de ser dependiente de las condiciones climatológicas del sitio donde se realice, no existe control alguno del procedimiento, puede ser inapropiado para muchas maderas, existe un mayor riesgo de agrietamientos, alabeos e incluso colapsos, requiere largos tiempos de secado y no siempre es posible alcanzar los contenidos de humedad final deseados.

El secado en horno solar, es una opción que permite ganar en tiempo para secar la madera en comparación con el aire libre, dependiendo de las especies de madera puede ser empleado para secar o pre-secar, es decir, llegar a contenidos de humedad final del 12% - 15% o bien alrededor del 30%. Su implementación es relativamente económica en comparación con un proceso de secado técnico.

Los procesos de secado técnico, tienen la gran ventaja de que es factible manipular todos los parámetros del secado, con lo cual es posible lograr los mejores resultados en términos de contenido de humedad final, calidad de secado y tiempo para secar la madera. Obviamente esta infraestructura es costosa.

Durante el desarrollo del presente proyecto, se lograron experiencias en cada uno los procedimientos antes mencionados, las cuales son descritas en los

párrafos subsecuentes. Adicionalmente, se expresan algunas recomendaciones para el secado técnico convencional de las maderas en estudio.

3.8.3 Contenido de humedad inicial

El contenido de humedad (CH) inicial de las maderas se determinó una vez elaboradas las probetas de hinchamiento y contracción. En la Figura 3.8.1 se muestran los valores de CH resultantes, obsérvese que las maderas de Pukté, Chicozapote, Ramón y Granadillo, maderas de muy alta densidad (ver apartado 3.5.4.1), su CH inicial fue muy similar o cercano al punto de saturación de las fibras (PSF). El resto de las maderas su CH inicial fue claramente mayor al punto de saturación de las fibras. En general estos valores pudieran estar influenciados por el tiempo transcurrido del derribo de las trozas hasta la recepción en Guadalajara y habilitación de las primeras probetas de ensayo. Sin embargo, se sabe de la existencia de importante diferencia y variación en contenido de humedad inicial entre especies e incluso entre albura y duramen del mismo árbol (Bowyer et al. 2003) por lo que en cierta forma se explica que algunas maderas hayan tenido un CH inicial menor al resto.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

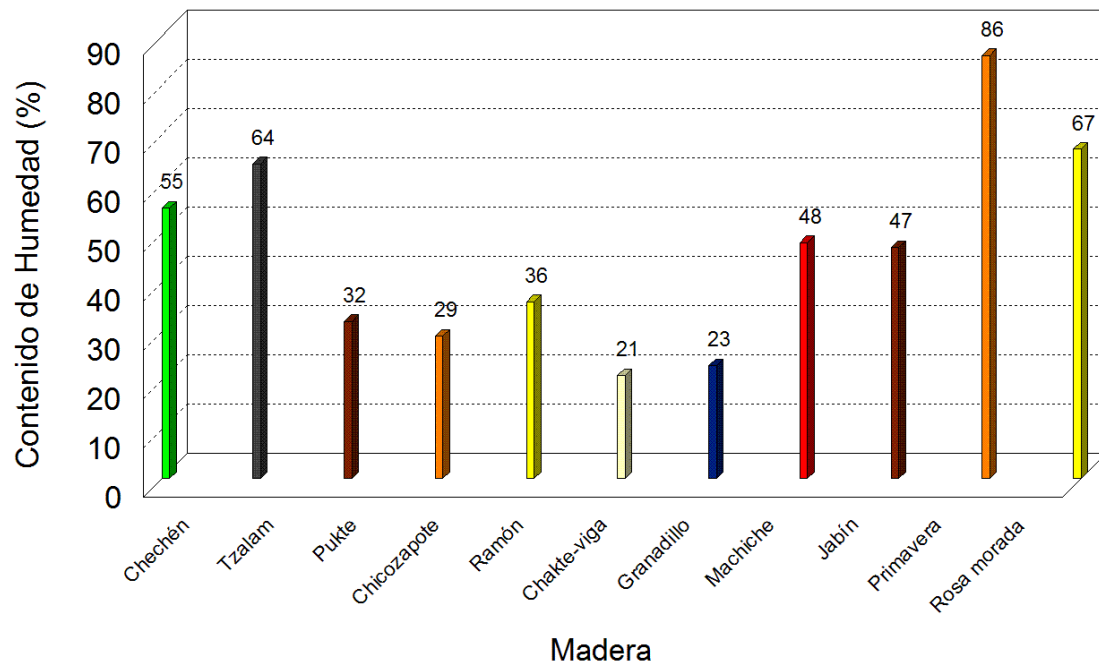


Figura 3.8.1 Contenido de humedad de las maderas al momento de habilitar las probetas de hinchamiento y contracción.

3.8.4 Secado natural bajo techo

Como se explicó en el apartado 3.3 (elaboración de especímenes de prueba), las trozas fueron aserradas en tablones y estos a su vez en listones (tiras) de madera de 1.5" a 3" de sección transversal y 90 cm de longitud. Estos listones fueron estivados bajo techo (Figura 3.8.2) para su secado natural por un tiempo aproximado de 6 meses. Al final de este periodo, el contenido de humedad de la mayoría de las maderas fue de 12% - 14%, sin embargo, las maderas de Chechén, Chicozapote, Pukté y Tzalam tuvieron contenidos de humedad mayores.

Las maderas de Primavera y Rosa morada, fueron secadas de igual forma, con la diferencia que estas aun estaban como tablones y no como listones.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera



Figura 3.8.2 Listones de madera estivados bajo techo para su secado natural.

Al término del secado natural bajo techo se recopilaron las siguientes experiencias.

Chakté-viga: De secado **moderadamente rápido**; prácticamente libre de tensiones al final del secado; contenido de humedad $\approx 11\%$.

Chechén: De **secado muy lento**, con acanalamientos principalmente en las superficies radiales. Además, mostró muchas grietas internas aunque no de consideración. Al término de los seis meses mantuvo contenidos de humedad relativamente altos (entre 17% y 27%).

Chicozapote: De **muy lento secado**, sin embargo, prácticamente libre de tensiones al final del proceso. Después de seis meses mantiene altos contenidos de humedad (entre 16% y 20%).

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

- Granadillo:** De secado **moderadamente rápido**, con algunas tensiones internas, deformaciones y frecuentes grietas superficiales y en las testas; contenido de humedad alrededor del 11%.
- Jabín:** De secado **moderadamente rápido**, con tensiones internas residuales y deformaciones. Durante el secado la madera exuda una sustancia orgánica cristalina de color gris claro (casi blanco); contenido de humedad alrededor del 10%.
- Machiche:** De secado **moderadamente rápido**, con fuertes tensiones internas residuales y fuertes deformaciones al término del secado; contenido de humedad alrededor del 12%.
- Primavera:** De **secado rápido**, con tensiones internas residuales y fuertes deformaciones; contenido de humedad alrededor del 15%.
- Pukté:** De **secado muy lento**, con tensiones internas residuales y fuertes deformaciones; con muchas rajaduras internas y tramos de madera de tensión. Después de seis meses mantuvo altos contenidos de humedad (hasta 20%).
- Ramón:** De secado **moderadamente rápido**, con fuertes tensiones internas residuales y deformaciones; contenido de humedad alrededor del 16%.
- Rosa morada:** De **secado rápido**, con pocas tensiones internas y ligeras deformaciones; con agrietamientos ocasionales; contenido de humedad de 13% al 15%.
- Tzalam:** De **secado muy lento**, en parte con fuertes tensiones residuales internas y deformaciones. Después de seis meses mantuvo altos contenidos de humedad (entre 17% y 25%).

3.8.5 Secado solar

En la tabla 3.8.1 se presentan los resultados de un experimento empírico sobre el secado de las maderas en un horno solar. Este horno en su interior suele alcanzar temperaturas de 40 a 45 °C, cuenta con un sistema para impulsar la circulación del aire a través del colector solar y de la pila de madera, por lo que se consideró factible reducir el contenido de humedad de algunos de los tablones de las secciones “B” y “C” de 1.5” – 3” de espesor, 5 pies de largos y anchos variables de 5” a 20”. El tiempo que se mantuvieron los tablones en el horno solar fue de 5 meses durante el periodo de diciembre del 2009 a abril del 2010.

Los contenidos de humedad al final del periodo de secado fueron muy variables y atribuibles por supuesto a las diferencias de densidad, características estructurales y contenidos de humedad inicial de las maderas. Las maderas de Chakté-viga, Chicozapote, Pukté, y Ramón tuvieron niveles del 11% - 17% de contenido de humedad final.

Por su parte las maderas de Chechén, Jabín, Machiche y Tzalam mostraron rangos muy pronunciados de contenido de humedad final entre los diferentes tablones de la misma especie.

Tabla 3.8.1 Contenido de humedad de los tablones de las secciones B y C al término del secado solar.

Madera	C.H. Inicial	C.H. final	Madera	C.H. Inicial	C.H. final
Chakté-viga	21	11 a 14	Primavera	86	---
Chechén	55	30 a 63	Pukté	32	14 a 17
Chicozapote	29	11 a 16	Ramón	36	14 a 20
Granadillo	23	18 a 20	Rosa morada	67	---
Jabín	47	11 a 47	Tzalam	64	10 a 34
Machiche	48	12 a 23			

3.8.6 Secado técnico-convencional

De los cuadrantes (1/2, 2/3, 3/4 y 4/1) generados durante el aserrío de las trozas (ver apartado 3.3.3, Figura 3.3.2), se re-aserraron tablas de 1" y 1.5" de espesor, anchos variables de 3" a 12" y largo de 8 pies para la elaboración de prototipos. Estos cuadrantes habían permanecido almacenados bajo techo durante aproximadamente 12 meses, por lo que el contenido de humedad de algunas de las tablas aserradas era menor del 16%. Considerando esta situación, para este experimento de secado técnico convencional, se seleccionaron exclusivamente las tablas cuyo contenido de humedad fue superior al 16%, (Figura 3.8.3).

Para el secado se utilizó un programa suave con temperatura inicial de 40°C durante la etapa de calentamiento y alta humedad relativa del aire del 85 - 88% durante 24 horas. En la etapa de secado se incrementó gradualmente la temperatura durante todo el proceso hasta alcanzar 60°C y la humedad relativa del aire se disminuyó paulatinamente. En la etapa de acondicionamiento se utilizó una temperatura de 60°C y una humedad relativa del aire ligeramente mayor a 90% durante 24 horas. La etapa de enfriamiento del sistema fue de 12 horas sin movimiento del aire en el secador.

El proceso de secado duró 15 días y los contenidos de humedad final de las tablas fueron de 9 a 13%.



Figura 3.8.3 Tablas de madera utilizadas para el secado técnico convencional.

3.8.6.1 Tratamiento de acondicionamiento

Este tratamiento se realizó con el objeto de reducir las tensiones internas residuales generadas durante el secado natural bajo a techo (ver apartado 3.8.4) de algunos de los listones de madera, que cuando se pretendió elaborar las probetas de ensayo, durante su corte longitudinal se liberaron las tensiones y los listones tendían a combarse.

El tratamiento de acondicionamiento fue a temperatura de 60 °C y vaporeo durante 8 horas (humedad relativa del aire de 90%). Transcurrido el tiempo, se dejó reposar la madera dentro del mismo secador aproximadamente 16 horas (Figura 3.8.4).



Figura 3.8.4 Listones de madera antes del acondicionamiento en el secador convencional.

3.8.6.2 Programas de secado recomendados

A continuación se indican recomendaciones para el secado de cada una de las maderas en estudio. Algunos de los programas de secado que se recomiendan fueron recopilados de reportes bibliográficos por considerarse apropiados para las maderas en referencia, y otros de la propia experiencia obtenida a través del desarrollo del presente proyecto:

Chakté-viga: La madera requiere programas suaves como es el programa G (Reino Unido) o el programa T3-C2 de Estados Unidos,

Chechén: De secado lento, con tensiones internas residuales después del secado técnico convencional, e incluso a pesar del acondicionamiento. El secado técnico requiere programas suaves tales como el US: T2-C2 para tablas de 2.5 a 3.8 cm de espesor.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

- Chicozapote:** Debido a su lento secado se recomienda un pre-secado, preferentemente solar, llegado al punto de saturación de la fibra (aprox. 30%) pasar a secado técnico convencional con programas suaves de temperaturas iniciales de 40°C y altas humedades relativas ($\geq 80\%$), gradualmente incrementar la temperatura hasta 60°C y de media a baja humedad relativa. El acondicionamiento debe efectuarse a la máxima temperatura (60°C) y de humedad relativa arriba de 90% durante 24 horas.
- Granadillo:** Para su secado se recomienda el programa T2-B2 de los Estados Unidos.
- Jabín:** Debido a su lento secado se recomienda un pre-secado, preferentemente solar, llegado al punto de saturación de la fibra (aprox. 30%) pasar a secado técnico convencional con secuelas suaves con temperaturas iniciales de 40°C y altas humedades relativas (80%), gradualmente incrementar la temperatura hasta 60°C y de media a baja humedad relativa. El acondicionamiento debe efectuarse a la máxima temperatura (60°C) y humedad relativa arriba de 90% durante 24 horas.
- Machiche:** El secado técnico se lleva a cabo en tiempo moderado, requiere programas suaves como el G (Reino Unido) y un acondicionamiento prolongado para reducir las tensiones residuales internas.
- Primavera:** El secado técnico se lleva a cabo en tiempo relativamente corto. Se recomiendan programas tales como T3-C2 (EUA) para madera de hasta 1½ pulgada de espesor y el programa T3-C1 (EUA) para madera de 2 pulgadas (o más) de espesor.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

- Pukté:** De acuerdo con su alta densidad, mala estabilidad dimensional y baja permeabilidad la madera requiere programas suaves como es el programa G (Reino Unido).
- Ramón:** El secado técnico se lleva a cabo en tiempo moderado, requiere programas moderados tal como el F (Reino Unido) o M (Junta del Acuerdo de Cartagena) o bien T5-C3 de los Estados Unidos.
- Rosa morada:** El secado técnico se lleva a cabo en tiempo rápido, con programas A (Reino Unido) y T6-D2 (Estados Unidos) para tablas de 1", y programa T3-D1 (Estados Unidos) para tablas de 2".
- Tzalam:** El secado técnico se lleva a cabo en tiempo moderado, requiere utilizar un programa como el F (Reino Unido) o bien, M (Junta del Acuerdo de Cartagena) y un acondicionamiento prolongado para reducir las tensiones residuales internas.

3.8.7. Bibliografía

- Bowyer J.L., Shmulsky R., John G. Haygreen. Forest Products and Wood Science. An Introduction. Iowa State Press. Four edition. 2003. p. 180.
- Boone, R. Sidney; Kozlik, Charles J.; Bois, Paul J.; Wengert, Eugene M. 1988. Dry kiln schedules for commercial woods-temperate and tropical. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-57. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 158 p.

3.9 Trabajabilidad

3.9.1 Resumen

Las 11 especies estudiadas tuvieron un comportamiento al escopleado y moldurado de muy bueno y sin defectos; al barrenado con broca para metales resultaron superficies muy buenas y sin defectos. Al utilizar broca para maderas las superficies fueron buenas y con defectos de mínima intensidad; al corte transversal y longitudinal las calidades fueron de muy buenas a buenas; en cuanto al cepillado las superficies resultaron buenas excepto jabón y rosa morada que presentaron calidades de suficiente cuyos defectos pueden desaparecer en el siguiente paso de trabajo pero con mayor aplicación.

3.9.2 Introducción

La trabajabilidad de las maderas es un aspecto muy importante por su alta relación con el uso de la madera para la elaboración de productos de valor agregado que utilizan madera sólida. El conocimiento de la trabajabilidad de las maderas así como de las herramientas y parámetros más pertinentes, favorecerá su mayor y mejor aprovechamiento en la manufactura de diversos productos.

En México existe desconocimiento sobre la trabajabilidad de las maderas tropicales, lo cual limita su óptimo aprovechamiento. Uno de los principales problemas lo constituye el uso de herramientas inadecuadas, por ejemplo, herramientas para trabajar maderas de pino, las cuales se desgastan rápidamente al trabajar maderas de mayor densidad y con depósitos minerales. Lo anterior genera dificultades en la elaboración de muebles, baja calidad de los productos elaborados y elevados costos de producción que inciden negativamente en el aprovechamiento del recurso forestal.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Maderas de las especies de Chakté-viga (*Caesalpinia* cf. *platyloba*), Chechén (*Metopium brownei*), Chicozapote (*Manilkara zapota*), Granadillo (*Platymiscium* cf. *yucatanum*), Jabín (*Piscidia piscipula*), Machiche (*Lonchocarpus* cf. *castilloi*), Pukté (*Terminalia buceras*), Ramón (*Brosimum alicastrum*), Tzalam (*Lysiloma latisiliquum*), Primavera (*Roseodendron donnell-smithii*) y de Rosa morada (*Tabebuia rosea*), fueron evaluadas respecto a su trabajabilidad al cepillado, corte longitudinal y transversal con sierra circular, barrenado, escopleado y moldurado, operaciones fundamentales en la producción de manufacturas de madera, con la finalidad de generar conocimientos útiles que coadyuven a su procesamiento, calidad de manufactura y economía de del proceso de transformación.

Esta actividad está contemplada dentro del objetivo de caracterización tecnológica de las especies de madera del proyecto de investigación.

3.9.3 Metodología

La ejecución de los ensayos y la evaluación de los resultados se basó en las indicaciones y criterios especificados en la Norma Americana ASTM D 1666-87 (Standard Methods for Conducting Machining Tests of Wood and Wood – Base Materials), sin embargo, algunos parámetros de implementación fueron modificados. En la Tabla 3.9.1 se muestra lo señalado en la norma y las modificaciones realizadas durante el ensayo de trabajabilidad. Estas alteraciones obedecen a la realidad que se vive cotidianamente en un taller ordinario mexicano de carpintería.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Tabla 3.9.1 Descripción de la norma y modificaciones realizadas en los ensayos de trabajabilidad.

Ensayo	Norma	Modificación
Cepillado	Navajas con carburo de tungsteno.	Navajas de acero de alta velocidad.
	Ángulo de ataque 30°.	Ángulo de ataque 40°.
	Velocidad de alimentación ajustada a 20 pasos por pulgada.	Velocidad de alimentación sin ajuste.
	Probetas de 152 x 610 mm.	Probetas de 60-100 x 600-900 mm.
	2 probetas a ensayarse	7 probetas a ensayarse.
Corte sierra circular	Disco de 12 o 14" con 72 dientes con pastillas de carburo de tungsteno	Para corte longitudinal se utilizó disco de 30 a 35 cm con 24/28 dientes de carburo de tungsteno. Para corte transversal se utilizó disco de 30 cm con 60/72 dientes de carburo de tungsteno.
	Maquinado a 3,600 rpm.	Maquinado a 3,520 rpm.
	Velocidad de alimentación de 12 a 15 m/min.	Velocidad de alimentación manual.
Barrenado	Diámetro de broca 25 mm.	Broca de uso para metal y madera, ambas de diámetro de 10 mm.
	Ángulos de ataque de 120°.	Ángulos de ataque 30°.
	Las revoluciones pueden ser hasta 3,600.	Revoluciones empleadas 730.
	5 perforaciones.	6 perforaciones.
Escopleado	Cortadores de acanaladura simple de carburo de tungsteno de 6 mm.	Broca de corte recto con un par de pastillas de carburo de tungsteno de 12 mm.
	Velocidad de corte entre los 15,000 y 20,000 rpm.	Ninguna.
Moldurado	Revoluciones no menores a 7,200 por minuto.	Ninguna para router Ninguna para trompo
	Probetas de 76 x 610 mm.	Probetas de 60 x 500 mm.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

La evaluación de la superficie de madera se llevo a cabo visualmente sin tomar en cuenta la frecuencia del defecto, sino la intensidad del mismo. En el anexo I se ilustran algunos de los defectos típicos.

Determinada la presencia del defecto y la intensidad del mismo, se procedió a la asignación de su clase correspondiente. Existen 5 clases de calidad de superficie de acuerdo a la adaptación de Frühwald et al. (1992) de la norma ASTM D 1666-87 y se describen en la Tabla 3.9.2.

Tabla 3.9.2 Descripción de las clases de calidad de superficies de madera.

Clase	Descripción
1	Muy buena, sin defectos.
2	Buena, defectos de intensidad mínima.
3	Satisfactorio, los defectos pueden desaparecer en el siguiente paso de trabajado.
4	Suficiente, los defectos pueden desaparecer en el siguiente paso de trabajo, pero con mayor aplicación.
5	Deficiente, defectos graves.

3.9.3.1 Descripción del equipo y herramientas utilizadas

3.9.3.1.1 Cepillado

El equipo utilizado fue una canteadora marca Rockwell – Invicta a 4,390 revoluciones por minuto (rpm) con rodillos de 3 navajas de acero, ángulos de filo de 40° (Figura 3.9.1) y de alimentación manual.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

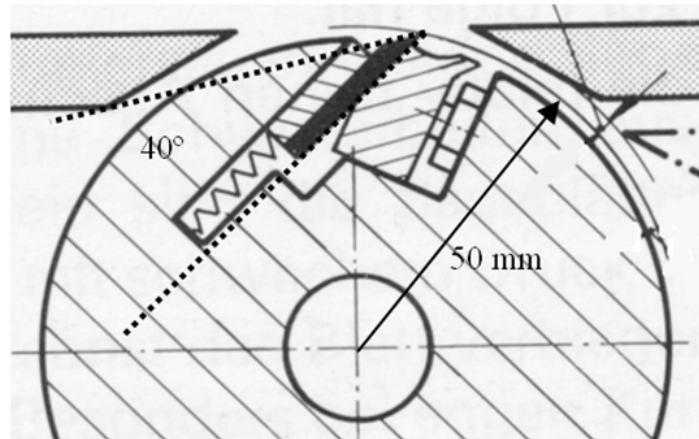


Figura 3.9.1 Características del rodillo de la canteadora.

3.9.3.1.2 Corte longitudinal con sierra circular

Sierra circular de cortes longitudinales marca Rockwell – Invicta de 3,520 rpm de alimentación manual, para ello se empleó un disco de 35 cm de diámetro de 24 o 28 dientes cortantes con pastillas de carburo de tungsteno y un igual número de dientes no cortantes. Las características de los ángulos de los dientes se muestran en la Figura 3.9.2.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera



Figura 3.9.2 Características del disco de la sierra circular.

3.9.3.1.3 Corte transversal con sierra circular

El equipo utilizado en este ensayo fue una sierra circular de cortes transversales marca Black & Decker a 2,850 rpm. Se utilizaron discos de 30 cm de diámetro de 60 a 72 dientes con pastillas de carburo de tungsteno. La particularidad principal de este tipo de disco es que presenta dos tipos de dientes, plano y de trapecio. Las características de los dientes se presentan en la Figura 3.9.3.

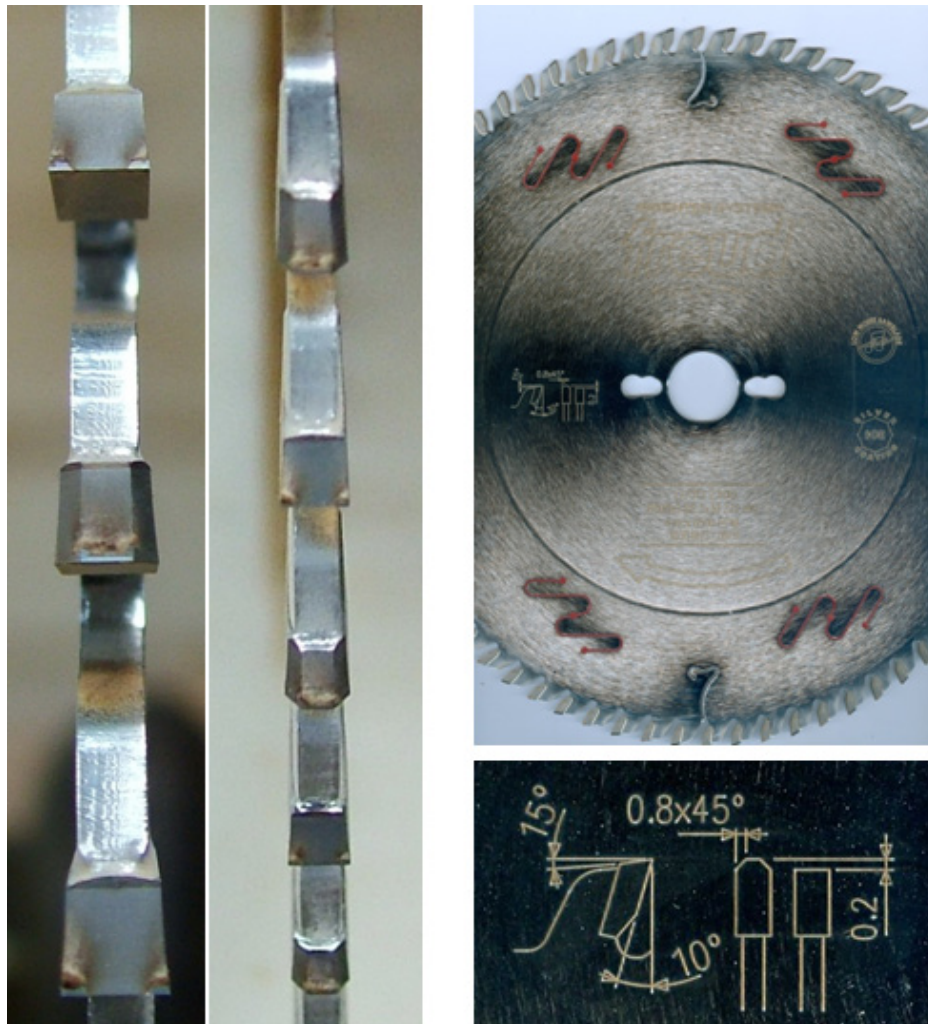


Figura 3.9.3 Características de los dientes de la sierra circular de cortes transversales.

3.9.3.1.4 Barrenado

Se utilizó un taladro de columna marca “TE” (Tools Exchange Inc.), modelo 60116 de revoluciones variables. Inicialmente se habían utilizado las 3,500 rpm recomendadas por la norma. Sin embargo, al efectuar el barrenado, la madera tendía a quemarse, tanto con las brocas para metal como para madera, como se aprecia en la Figura 3.9.4. Ante este problema, se realizaron varias pruebas

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

a diferentes revoluciones (3,500; 2,200; 1,700 y 730), ocurriendo que las 730 fueron las que mejores resultados generaron.



Figura 3.9.4. Quemado de la madera al barrenar a altas revoluciones.

Se utilizó broca de forma helicoidal de 10 mm de diámetro que por lo general es empleada para barrenar metales, comparativamente se utilizó también una broca para madera de 10 mm de diámetro, las características de ambas se muestran en la Figura 3.9.5.

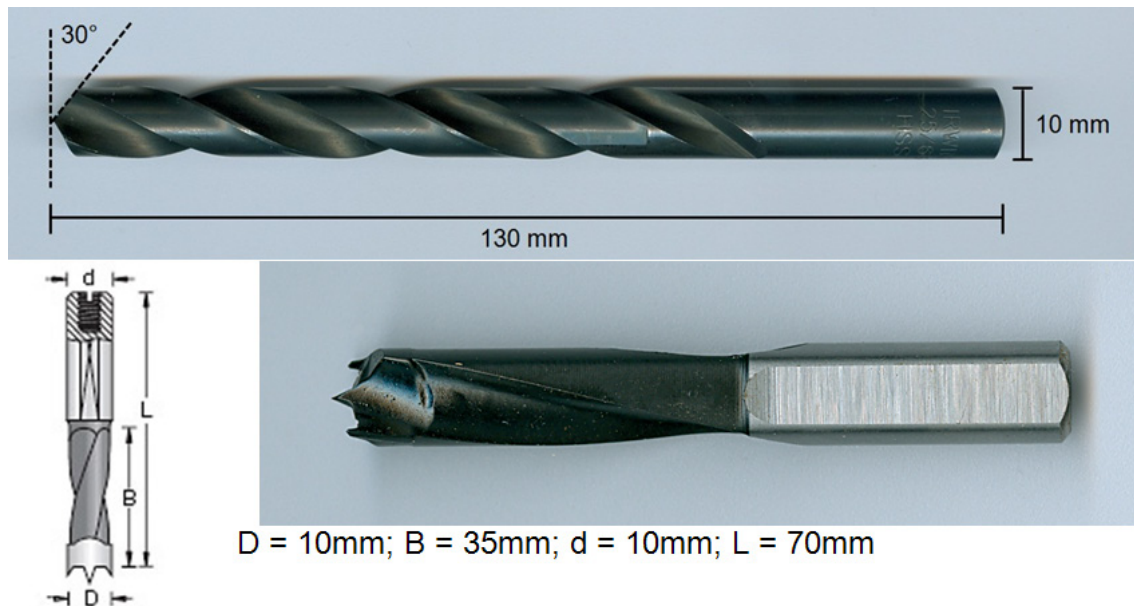


Figura 3.9.5 Características de las brocas utilizadas en el ensayo de barrenado (superior broca para metal, inferior broca para madera).

3.9.3.1.5 Escopleado

El equipo empleado para la realización del ensayo fue un router de pedal y de alimentación manual marca “Rockwell – Invicta” a 18,300 rpm. La broca utilizada es de corte recto con un par de pastillas de carburo de tungsteno y de 12 mm de diámetro (Figura 3.9.6).

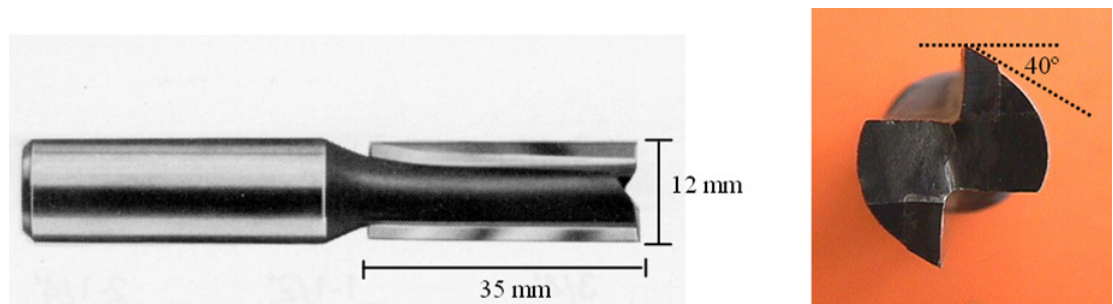


Figura 3.9.6 Características de la broca utilizada para el ensayo de escopleado.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

3.9.4.1.6 Moldurado

Para su ejecución se contó con un router manual marca “Black & Decker” a 25,000 rpm. así como un “trompo” fijo. La broca utilizada es con pastillas de carburo de tungsteno y con las características que se muestran en la figura 3.9.7.

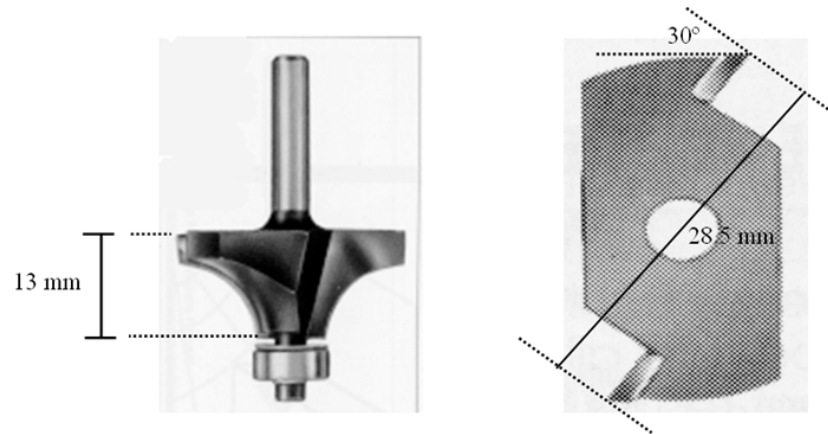


Figura 3.9.7 Broca con pastillas de carburo de tungsteno y con moldura.

3.9.4 Resultados

3.9.4.1 Chakté-viga

En la Tabla 3.9.3 se presentan los resultados particulares para cada ensayo de trabajabilidad de la madera de Chakté-viga. En términos generales, resultó de **excelente trabajabilidad** en todas las operaciones evaluadas. Tornillos y clavos requieren pre-taladrado. No se observó problemas (dermatitis, vías respiratorias) con el aserrín.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Tabla 3.9.3 Trabajabilidad de la madera de Chakté-viga.

Ensayo	Calificación
Cepillado	Clase 2 a 4. Presentando superficies rasgadas.
Corte longitudinal con sierra circular	Clase 2. Defectos mínimos, marcas en relieve del disco y superficies quemadas por fricción debido a la presencia de tensiones.
Corte transversal con sierra circular	Clase 2. Defectos mínimos, marcas en relieve del disco sobre la superficie trabajada.
Barrenado	Clase 1. Muy buena (Figura 3.9.8), sin defectos en superficie de entrada (broca para metal). Clase 2. Defectos mínimos en superficie de entrada (broca para madera).
Escopleado	Clase 1. Muy buena, sin defectos.
Moldurado	Clase 1. Muy buena sin defectos en trompo. Clase 1. Muy buena sin defectos en router.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera



Figura 3.9.8 Imágenes de la trabajabilidad de la madera de Chakté-viga. Imagen superior Chakté-viga color naranjo, inferior de color café claro rosado.

3.9.4.2 Chechén

De **buena trabajabilidad** en todas operaciones de trabajabilidad evaluadas. Tornillos y clavos requieren pre-taladrado. Se observaron graves problemas con el aserrín que afecta la piel y las vías respiratorias. La descripción particular de su trabajabilidad se indica en la Tabla 3.9.4.

Tabla 3.9.4 Trabajabilidad de la madera de Chechén.

Ensayo	Calificación
Cepillado	Clase 2. Defectos mínimos debido al hilo entrecruzado y otras irregularidades.
Corte longitudinal con sierra circular	Clase 2. Defectos mínimos (quemaduras por fricción, debido a tensiones internas).
Corte transversal con sierra circular	Clase 2. Defectos mínimos (astillamiento del canto inferior)
Barrenado	Clase 1. Muy buena (Figura 3.9.9), sin defectos en superficie de entrada (broca para metal). Clase 2. Defectos mínimos, superficie de entrada (broca para madera).
Escopleado	Clase 1 a 2. Ligera lanosidad en las aristas de corte.
Moldurado	Clase 1. Muy buena sin defectos, tanto en trompo como en router.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

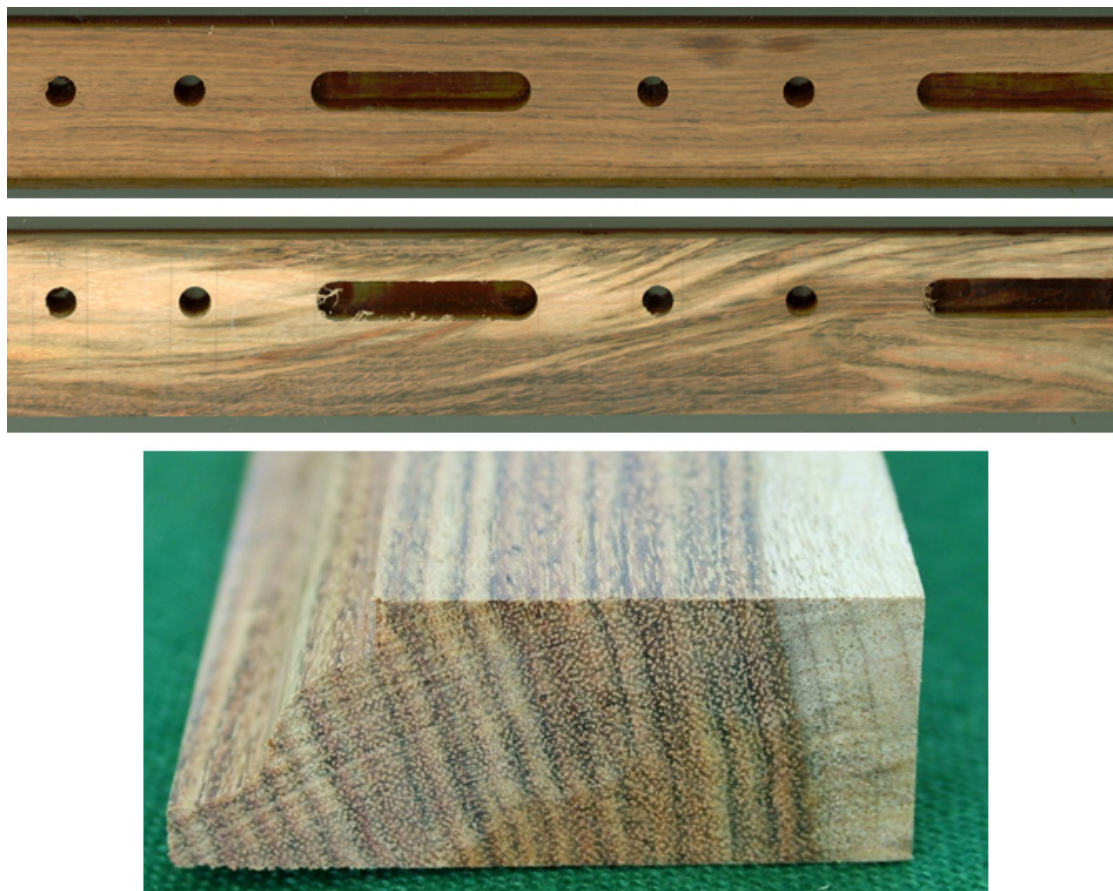


Figura 3.9.9 Imágenes de la trabajabilidad de la madera de Chechén.

3.9.4.3 Chicozapote

No obstante su alta densidad y de ser muy dura es **excelente** para trabajar con sierra cinta, sierra transversal, sierra circular, canteadora, cepillo, ver descripciones en la Tabla 3.9.5. Muestra pocas deformaciones y un acabado de alta calidad. Tornillos requieren pre-taladrado. Se observaron graves problemas con el aserrín en algunas personas, afectando las vías respiratorias (¡pica!).

Tabla 3.9.5 Descripción de la trabajabilidad de la madera de Chicozapote.

Ensayo	Calificación
Cepillado	Clase 2. Defectos mínimos, ligero rasgado en la superficie.
Corte longitudinal con sierra circular	Clase 2. Defectos mínimos, marcas del disco, ligeras quemaduras por fricción, debido a tensiones internas.
Corte transversal con sierra circular	Clase 2. Defectos mínimos, marcas del disco sobre la superficie
Barrenado	Clase 1. Muy buena (Figura 3.9.10), sin defectos superficie de entrada (broca para metal). Clase 2. Defectos mínimos, superficie de entrada (broca para madera).
Escopleado	Clase 1. Muy buena, sin defectos.
Moldurado	Clase 1. Muy buena sin defectos, en trompo. Clase 1. Muy buena sin defectos, en router.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera



Figura 3.9.10 Imágenes de la trabajabilidad de la madera de Chicozapote.

3.9.4.4 Granadillo

Madera de muy alta densidad pero excelente para trabajar, generalmente da un acabado de alta calidad. Tornillos y clavos requieren pre-taladrado. No se observaron problemas (dermatitis, vías respiratorias) con el aserrín. La descripción particular de su trabajabilidad se presenta en la siguiente Tabla 3.9.6.

Tabla 3.9.6 Descripción de la trabajabilidad de la madera de Granadillo.

Ensayo	Calificación
Cepillado	Clase 2. Defectos mínimos debido al hilo entrecruzado acentuándose mas el problema en la zona de nudos.
Corte longitudinal con sierra circular	Clase 2. Defectos mínimos, marca del disco en relieve a lo largo del corte.
Corte transversal con sierra circular	Clase 1. Muy buena, sin defectos
Barrenado	Clase 1. Muy buena (Figura 3.9.11), sin defectos en superficie de entrada (broca para metal). Clase 2. Defectos mínimos en superficie de entrada (broca para madera).
Escopleado	Clase 1. Muy buena, sin defectos.
Moldurado	Clase 1. Muy buena sin defectos en trompo. Clase 2. Defectos mínimos en router, marcas de la herramienta presentando ligeras protuberancias sobre la superficie de corte.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera



Figura 3.9.11 Imágenes de la trabajabilidad de la madera de Granadillo.

3.9.4.5 Jabín

Madera fácil de trabajar a pesar de su estructura anatómica muy burda y heterogénea. Ver descripción de su trabajabilidad en la Tabla 3.9.7. Tornillos y clavos requieren pre-taladrado. Se observaron problemas (dermatitis, vías respiratorias) al contacto con el aserrín.

Tabla 3.9.7 Descripción de la trabajabilidad de la madera de Jabín.

Ensayo	Calificación
Cepillado	Clase 4. Suficiente, los defectos pueden desaparecer en el siguiente paso de trabajo, pero con mayor aplicación. Superficie rasgada con mayor presencia del defecto en la zona de nudos.
Corte longitudinal con sierra circular	Clase 1. Muy buena, sin defectos.
Corte transversal con sierra circular	Clase 2. Defectos mínimos, marcas en relieve del disco sobre la superficie trabajada.
Barrenado	Clase 1. Muy buena (Figura 3.9.12), sin defectos en superficie de entrada (broca para metal). Clase 2. Defectos mínimos en superficie de entrada (broca para madera).
Escopleado	Clase 1. Muy buena sin defectos.
Moldurado	Clase 1. Muy buena sin defectos en trompo. Clase 1. Muy buena sin defectos en router.



Figura 3.9.12 Imágenes de trabajabilidad de la madera de Jabón.

3.9.4.6 Machiche

Madera algo difícil de trabajar debido a frecuentes y considerables deformaciones (alabeo de canto y arqueamiento) a lo largo de las piezas. Muestra cantos longitudinales y transversales frecuentemente lanosos saliendo de la sierra cinta. Los cortes transversales en sierra circular producen muchas astillas en los cantos inferiores. Fácil de cantear y cepillar pero con superficie ligeramente áspera en plano radial (hilo entrecruzado). El barrenado requiere mucho cuidado, brocas (para madera) bien afiladas y un avance lento (entrada) para evitar la formación excesiva de astillas en las aristas. Tornillos y clavos requieren pre-taladrado.

El pegamento blanco (polivinilacetato = PVAc) común por su acidez tiende a reaccionar con metales ferrosos (clavos, tornillos, pijas, etc) en conjunto con humedad y los taninos en la madera ocasionando manchas negras (similar a

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

los del encino) y la corrosión de estos metales. No se observaron problemas (dermatitis, vías respiratorias) con el aserrín.

La descripción y calificación particular ante cada operación de trabajo se muestra en la Tabla 3.9.8.

Tabla 3.9.8 Descripción de la trabajabilidad de la madera de Machiche.

Ensayo	Calificación
Cepillado	Clase 2. Defectos mínimos debido al hilo entrecruzado.
Corte longitudinal con sierra circular	Clase 2. Defectos mínimos (quemaduras por fricción, debido a tensiones internas).
Corte transversal con sierra circular	Clase 2 a 3. Defectos mínimos, lanosidades a lo largo de las aristas
Barrenado	Clase 1. Muy buena (Figura 3.9.13), sin defectos en superficie de entrada (broca para metal). Clase 1. Muy buena, sin defectos en superficie de entrada (broca para madera).
Escopleado	Clase 2. Defectos mínimos, muy ligeras lanosidades en las aristas del corte.
Moldurado	Clase 1. Muy buena sin defectos en trompo. Clase 2. Defectos mínimos con router, marcas de la herramienta presentando ligeras protuberancias sobre la superficie de corte.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

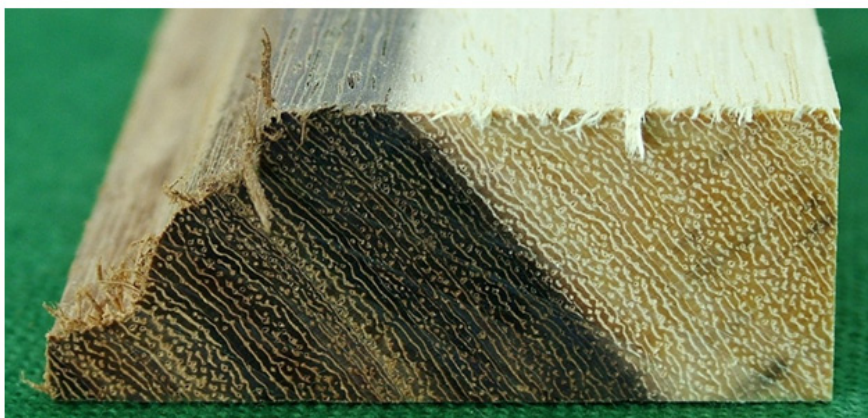


Figura 3.9.13. Imágenes de la trabajabilidad de la madera de Machiche.

3.9.4.7 Primavera

Fácil de aserrar (cinta y circular), fácil de cantear y cepillar pero con superficie áspera en el plano radial (hilo fuertemente entrecruzado e irregular). El barrenado requiere avance lento para evitar la formación excesiva de astillas en las aristas. No se observaron problemas (dermatitis, vías respiratorias) con el aserrín. En la Tabla 3.9.4.9 se describe su trabajabilidad clase resultante ante cada operación de trabajo.

Tabla 3.9.9 Descripción de la trabajabilidad de la madera de Primavera.

Ensayo	Calificación
Cepillado	Clase 2. Defectos mínimos debido al hilo entrecruzado y otras irregularidades.
Corte longitudinal con sierra circular	Clase 2. Defectos mínimos (quemaduras por fricción, debido a tensiones internas).
Corte transversal con sierra circular	Clase 1. Muy buena, sin defectos.
Barrenado	Clase 1. Muy buena (Figura 3.9.14), sin defectos en superficie de entrada (broca para metal). Clase 2. Defectos mínimos en superficie de entrada (broca para madera).
Escopleado	Clase 1. Muy buena, sin defectos.
Moldurado	Clase 1. Muy buena sin defectos en trompo. Clase 1. Muy buena sin defectos en router.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

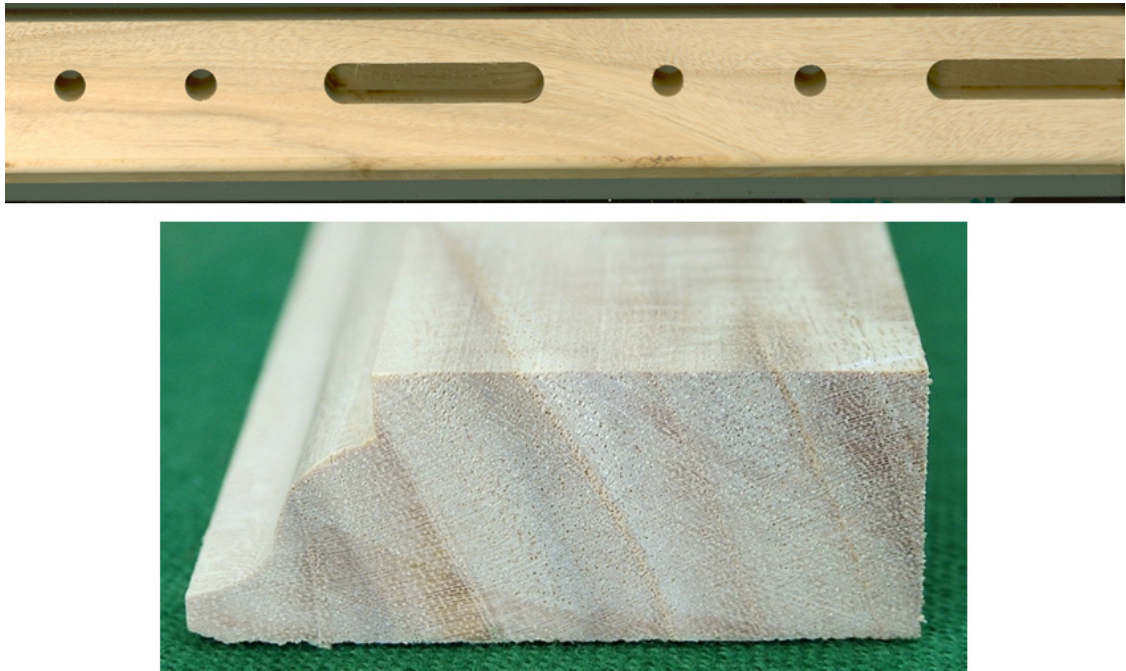


Figura 3.9.14 Imágenes de trabajabilidad de la madera de Primavera.

3.9.4.8 Pukté

Madera de muy alta densidad pero de buena trabajabilidad. Superficies ásperas (hilo entrecruzado) y lanosas (madera de tensión) frecuentes. Tornillos y clavos requieren pre-taladrado. En la Tabla 3.9.10 se indican las descripciones correspondientes a su trabajabilidad.

No se observaron problemas (dermatitis, vías respiratorias) al contacto con el aserrín.

Tabla 3.9.10 Descripción de la trabajabilidad de la madera de Pukté.

Ensayo	Calificación
Cepillado	Clase 1. Muy buena, sin defectos.
Corte longitudinal con sierra circular	Clase 2. Defectos mínimos, marcas en relieve del disco sobre la superficie trabajada.
Corte transversal con sierra circular	Clase 1. Muy buena, sin defectos.
Barrenado	Clase 1. Muy buena (Figura 3.9.15), sin defectos en superficie de entrada (broca para metal). Clase 2. Defectos mínimos en superficie de entrada (broca para madera).
Escopleado	Clase 1. Muy buena, sin defectos.
Moldurado	Clase 1. Muy buena sin defectos en trompo. Clase 1. Muy buena sin defectos en router.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera



Figura 3.9.15 Imágenes de trabajabilidad de la madera de Pukté.

3.9.4.9 Ramón

Madera fácil de trabajar (cinta, transversal), bueno de cantear y cepillar resultando mayormente en superficies homogéneas y lisas. Tornillos y clavos requieren pre-taladrado. Ver descripción de su trabajabilidad en la Tabla 3.9.11.

No se observaron problemas (dermatitis, vías respiratorias) con el aserrín.

Tabla 3.9.11 Descripción de la trabajabilidad de la madera de Ramón.

Ensayo	Calificación
Cepillado	Clase 3. Satisfactorio, rasgado en superficies, los defectos pueden desaparecer en el siguiente paso de trabajado.
Corte longitudinal con sierra circular	Clase 2. Defectos mínimos, marcas en relieve del disco sobre la superficie trabajada.
Corte transversal con sierra circular	Clase 2. Defectos mínimos, marcas en relieve del disco sobre la superficie trabajada.
Barrenado	Clase 1. Muy buena (Figura 3.9.16), sin defectos en superficie de entrada (broca para metal). Clase 2. Defectos mínimos en superficie de entrada (broca para madera).
Escopleado	Clase 1. Muy buena, sin defectos.
Moldurado	Clase 1. Muy buena sin defectos en trompo. Clase 1. Muy buena sin defectos en router.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

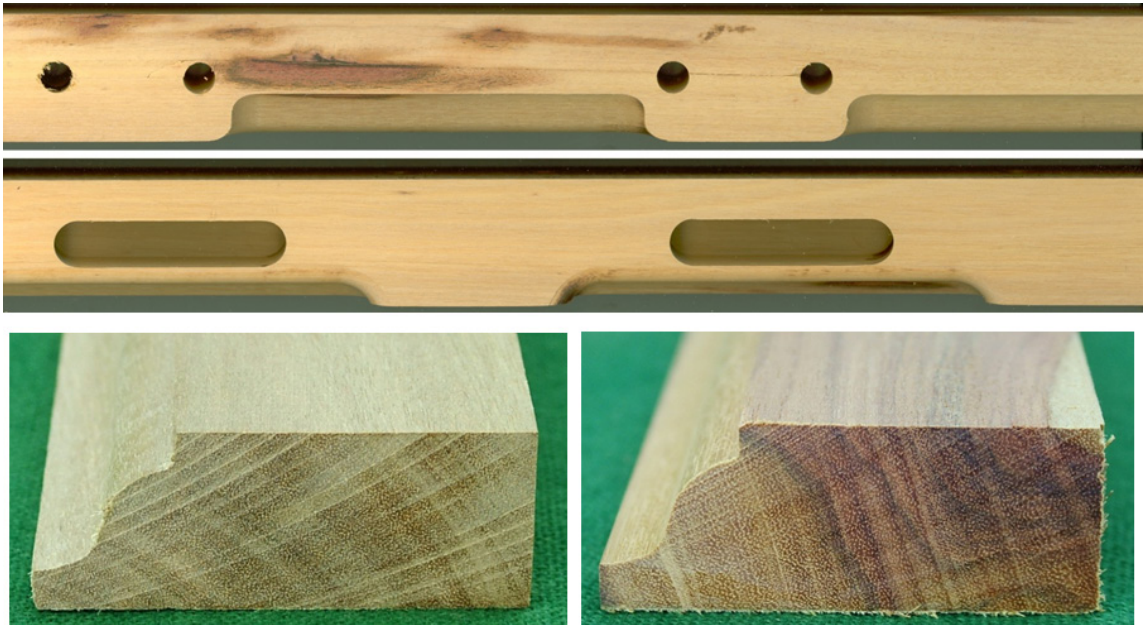


Figura 3.9.16 Imágenes de trabajabilidad de la madera de Ramón (inferior izquierda Ramón blanco, inferior derecha Ramón colorado).

3.9.4.10 Rosa morada

La madera de Rosa morada se considera en términos generales de buena trabajabilidad. Detalles específicos de su trabajabilidad se indican en la Tabla 3.9.12. Para tornillos y clavos se recomienda pre-taladrado. No se observaron problemas (dermatitis, vías respiratorias) con el aserrín.

Tabla 3.9.12 Descripción de la trabajabilidad de la madera de Rosa morada.

Ensayo	Calificación
Cepillado	Clase 4. Satisfactorio, rasgado en superficies (hilo entrecruzado), los defectos pueden desaparecer paso de trabajo.
Corte longitudinal con sierra circular	Clase 2. Defectos mínimos, marcas en relieve del disco sobre la superficie trabajada.
Corte transversal con sierra circular	Clase 2. Defectos mínimos, marcas en relieve del disco sobre la superficie trabajada.
Barrenado	Clase 1. Muy buena (Figura 3.9.17), sin defectos en superficie de entrada (broca para metal). Clase 2. Defectos mínimos en superficie de entrada (broca para madera).
Escopleado	Clase 1. Muy buena sin defectos.
Moldurado	Clase 1. Muy buena sin defectos en trompo. Clase 1. Muy buena sin defectos en router.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

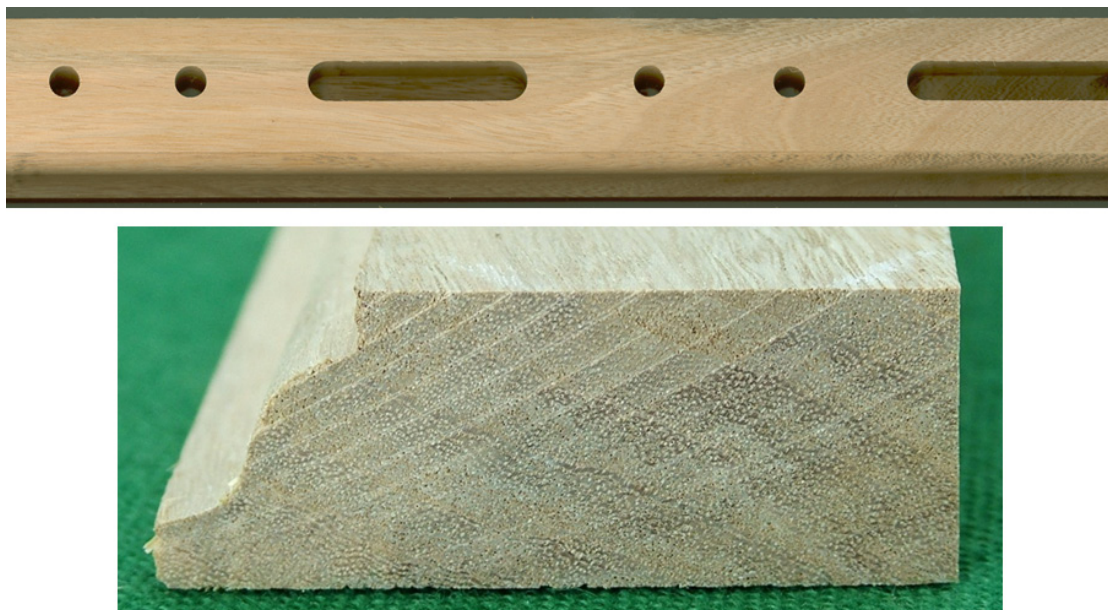


Figura 3.9.17 Imágenes de la trabajabilidad de la madera de Rosa morada.

3.9.4.11 Tzalam

Madera fácil de aserrar (cinta), cantos astillados en sierra transversal; fácil de cantar y cepillar pero con superficie ligeramente áspera en el plano radial (hilo entrecruzado). Tornillos y clavos requieren pre-taladrado. En la Tabla 3.9.13 se describe los resultados específicos de cada operación del trabajado.

Se observaron ligeros problemas (dermatitis, vías respiratorias) con el aserrín.

Tabla 3.9.13 Descripción de la trabajabilidad de la madera de Tzalam.

Ensayo	Calificación
Cepillado	Clase 2. Defectos mínimos debido al hilo entrecruzado.
Corte longitudinal con sierra circular	Clase 2. Defectos mínimos, marcas en relieve del disco sobre la superficie trabajada.
Corte transversal con sierra circular	Clase 2. Defectos mínimos, ligero astillamiento en las aristas.
Barrenado	Clase 1. Muy buena (Figura 3.9.18), sin defectos en superficie de entrada (broca para metal). Clase 2. Defectos mínimos en superficie de entrada (broca para madera).
Escopleado	Clase 1. Muy buena, sin defectos.
Moldurado	Clase 1. Muy buena sin defectos en trompo. Clase 1. Muy buena sin defectos en router.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera



Figura 3.9.18 Imágenes de la trabajabilidad de la madera de Tzalam.

3.9.5 Agradecimientos

Se agradece a Emma Berber por las facilidades brindadas para la realización de algunas de las pruebas de trabajabilidad en su taller y con su maquinaria, así como para la manufactura de algunos prototipos y la aportación de recomendaciones valiosas de su experiencia profesional.

3.9.6 Bibliografía

ASTM D 1666-87 2007. Standard Methods for Conducting Machining Tests of Wood and Wood–Base Materials. Annual Book of ASTM Standards. Section 4. Construction. Vol. 04.10. Wood. pp. 201-219.

Frühwald, A.; Peek, R.-D.; Schulte, M. 1992. Nutzung von Kokospalmenholz am Beispiel von Nordsulawesi, Indonesien. Mitteilung der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft. Kommissionsverlag Buchhandlung Max Wiedebuch. Hamburg. p. 356.

3.10 Ensayos de Encolado

3.10.1 Resumen

Los resultados de las pruebas de encolado de 11 maderas tropicales del sureste de México utilizando 6 pegamentos comerciales, categorías D1 (2), D3 (2) y D4 (2), evaluadas de acuerdo con el método de la resistencia al cizallamiento (block-shear test) de la línea de encolado, permiten subdividir las maderas evaluadas en dos grupos: 1) Maderas de “buen encolado”, y 2) Maderas de “encolado crítico”.

Al primer grupo pertenecen las maderas de Chechén, Granadillo, Machiche, Primavera, Ramón, Rosa morada y Tzalam. En casi todas pruebas en seco y húmedo (secuencia II) los valores de la resistencia al cizallamiento alcanzaron o rebasaron por un amplio margen los límites mínimos especificados por la norma DIN EN 204.

Las maderas pertenecientes al segundo grupo son el Chakté-viga, Chicozapote, Jabín y Pukté. Estas maderas mostraron resultados mixtos dependiendo del tipo de pegamento empleado. Generalmente, la calidad de la unión es insatisfactoria en combinación con los pegamentos de la categoría D1. Por otro lado el uso de los pegamentos de las categorías D3 y D4 resultó en uniones de calidad satisfactoria o buena.

Por lo que respecta al desempeño de los adhesivos, el encolado con JowatPowerPUR (base poliuretano) y Jowacoll 104.50+cat (base PVAc) presentó buenos resultados con todas las maderas evaluadas bajo condiciones de ensayo en seco y húmedo (secuencia II, almacenamiento en agua por 4 horas). Sin embargo, después del tratamiento de la secuencia III (6 horas de ebullición y almacenamiento en agua por 2 horas), la resistencia de la línea de encolado no alcanzó el límite de 4 N/mm^2 exigido por la norma, excepto con las maderas de Jabín, Machiche y Primavera pegadas con el adhesivo base poliuretano.

3.10.2 Introducción

La calidad del encolado de la madera es un factor muy importante, sobre todo cuando la transformación primaria de las maderas se basa en piezas de dimensiones pequeñas que requieren un encolado para obtener piezas de dimensiones finales mayores, por ejemplo, tableros enlistonados, cubiertas, vigas laminadas para marcos de puertas y ventanas, etc.

La calidad de la adhesión entre dos piezas de madera unidas mediante un pegamento depende de varios factores, entre ellos la densidad de la madera y su compatibilidad de la superficie, el acabado, el tipo de adhesivo, parámetros del prensado (presión, temperatura, cantidad de pegamento por m², naturaleza química de los extraíbles y su posible interferencia con el fraguado del pegamento).

La calidad de la unión se determina generalmente mediante su resistencia al deslizamiento a lo largo de la fibra a través del ensayo de tensión (DIN EN 205) o mediante el ensayo de cizallamiento (DIN EN 52 187). Para los ensayos del encolado de las 11 maderas estudiadas se escogió el ensayo de cizallamiento que ofrece una mayor área de unión (16 cm² comparado con 4 cm² para el ensayo de tensión), lo cual disminuye la variación de la resistencia determinada.

Para los ensayos de encolado fueron usados 6 pegamentos; 2 perteneciendo a la categoría D1, 2 a la categoría D3 y 2 a la categoría D4 según DIN EN 204 (Tabla 3.10.1). Los de la categoría D3 fueron empleados solo con dos maderas (Machiche, Pukté) destinadas a la manufactura de prototipos de cubiertas de cocina.

Tabla 3.10.1 Categorías de adhesivos según exposición en servicio (DIN EN 204)

Categoría	Ejemplos de condiciones climáticas y de aplicación
D1	Uso interior, contenido de humedad de la madera máx. 15%.
D2	Uso interior, madera ocasionalmente en contacto breve con agua fluida o condensada y/o humedad relativa del aire alta acompañada por un incremento de la humedad de la madera de hasta 18%.
D3	Uso interior, madera frecuentemente en contacto breve con agua fluida o condensada y/o humedad relativa del aire alta. Uso exterior, la madera protegida de la intemperie (bajo techo).
D4	Uso interior, madera frecuentemente en contacto prolongado con agua fluida o condensada. Uso exterior, madera expuesta a la intemperie, sin embargo, con un acabado de la superficie adecuado.

Se reportan los resultados de los ensayos de encolado, los cuales pretenden orientar sobre el comportamiento de las maderas evaluadas con los adhesivos. En un futuro se requerirán ensayos de encolado más específicos para determinar su comportamiento en función de los productos a elaborar.

En los laboratorios de la Universidad de Hamburgo, Alemania, se han iniciado experimentos evaluando la calidad de la línea de encolado mediante el sistema ABES (Automated Bonding Evaluation System). Este sistema representa un método rápido, de buena relación costo-beneficio y de resultados inmediatos, para caracterizar la magnitud de una amplia gama de factores que inciden en la calidad de la unión. Los primeros resultados de estos ensayos se muestran en el anexo 3.10.1.

3.10.3 Materiales y métodos

3.10.3.1 Preparación de los especímenes de ensayo

De cada madera estudiada fueron habilitadas hasta 10 tablitas, dimensiones 610 x 45 x 20 mm³, con las superficies a encolar cepilladas. Se unieron dos tablitas de la misma madera para conformar las muestras a ser pegadas en la

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

prensa con los diferentes adhesivos. Después de prensar y acondicionar las probetas en clima normal por un período de 7 días, las muestras fueron canteadas, recortadas a probetas de dimensión 40 x 40 x 40 mm³ las cuales fueron sometidas al ensayo de corte para determinar la resistencia de la línea de encolado.

3.10.3.2 Adhesivos

Para los ensayos de encolado fueron seleccionados dos adhesivos para uso interior, dos para uso interior en condiciones de alta humedad y dos para uso exterior (resistentes al agua) como sigue:

Categoría D1

Resistol 850 Clásico (Henkel Capital A.A. de C.V., México); adhesivo tipo emulsión en agua, base polivinil-acetato (PVAc), categoría D1 según DIN EN 204. Pegamento blanco, disponible en el mercado nacional.

Elmer's Carpenter's Glue (interior) – Elmer's Products, Inc, Columbus, OH, EUA; adhesivo tipo emulsión en agua, base polivinil-acetato (PVAc), categoría D1 según DIN EN 204. Pegamento blanco de importación, disponible solamente en tiendas especializadas en productos para el encolado de madera.

Categoría D3

Jowacoll 104.50 (Jowat Corporation, High Point, NC, EUA); adhesivo tipo emulsión en agua, base polivinil-acetato (PVAc), categoría D3 según DIN EN 204. Pegamento blanco sin catalizador.

Franklin Multibond EZ-1; adhesivo tipo emulsión en agua precatalizada, base polivinil-acetato (PVAc), categoría D3 según DIN EN 204. Pegamento blanco sin catalizador.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Categoría D4

Jowacoll 104.50 (Jowat Corporation, High Point, NC, EUA); adhesivo tipo emulsión en agua, base polivinil-acetato (PVAc), categoría D3 según DIN EN 204. Pegamento blanco reforzado con 5% (por peso) del catalizador Jowat 195.40 (Jowat AG, Detmold, Alemania), base nitrato de aluminio, para elevar el adhesivo a la categoría D4 según DIN EN 204.

Jowat PowerPUR (Jowat AG, Detmold, Alemania); adhesivo base poliuretano, categoría D4 según DIN EN 204.

3.10.3.3 Condiciones de encolado

El encolado de las muestras se llevó a cabo en una prensa hidráulica (tamaño de las placas 60 x 62 cm) a temperatura ambiente (~ 20°C) en seis series denominadas a, b, c, d, e, f durante el período de 04 de Octubre a 16 de Enero de 2012. Los parámetros de prensado de cada serie se presentan en la Tabla 3.10.2, siguiendo las recomendaciones de los productores.

Tabla 3.10.2 Parámetros de prensado.

Serie	Adhesivo	Cantidad adhesivo/m ²	Presión [bar]	Tiempo de prensado [min]
a	Resistol 850	220	120	60
b	Elmer's Carpenter's Glue	200	150	60
c	Jowacoll 104.50+cat	200	150	60
d	JOWAT PowerPUR	200	150	120
e	Jowacoll 104.50	200	150	90
f	Franklin Multibond EZ-1	200	150	90

3.10.3.4 Acondicionamiento y tratamiento

Después de ser prensados los especímenes de ensayos de todas las series fueron acondicionados en un clima normal (~ 20°C, ~ 65% HRA) por un período

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

de 7 días. Enseguida fueron habilitados para el ensayo de cizallamiento en sus dimensiones finales de acuerdo al procedimiento establecido por la norma DIN EN 52 187. Todos los especímenes de las series "a" y "b" fueron ensayados en seco. Los especímenes de las series "c" y "d" (adhesivos de la categoría D4) fueron repartidos en tres partes iguales (8 probetas cada una). Cada parte fue expuesta a una de las 3 secuencias de almacenamiento estipuladas en la norma DIN EN 204. Las secuencias utilizadas se muestran en la Tabla 3.10.3. Los especímenes de las series "e" y "f" fueron repartidos en 2 partes (6 probetas cada una) y sujetos al tratamiento descrito en las secuencias I y II.

Las tres secuencias seleccionadas siguieron las recomendaciones de Koch & al. (2011).

Tabla 3.10.3 Condiciones de tratamiento.

Tratamiento	Tipo y duración del tratamiento	Resistencia mínima de la unión [N/mm ²] según DIN EN 204 y categoría			
		D1	D2	D3	D4
Secuencia I	7 días en clima normal, ensayo en seco	≥ 10	≥ 10	≥ 10	≥ 10
Secuencia II	7 días en clima normal, 4 h en agua (± 20°C), ensayo en húmedo	--	--	≥ 2	≥ 4
Secuencia III	7 días en clima normal, 6 h en agua hirviendo, 2 h en agua (± 20°C), ensayo en húmedo	--	--	--	≥ 4

3.10.4 Resultados

3.10.4.1 Ensayos de encolado con pegamentos categoría D1 (ensayos en seco)

Resistol 850: 3 maderas (Chakté-viga, Primavera, Pukté) no cumplieron con la resistencia mínima (promedio) de 10/N/mm² estipulada por la norma DIN EN

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

204. 2 maderas (Chicozapote, Machiche) apenas rebasaron el límite, mientras otras 6 maderas (Chechén, Granadillo, Jabín, Ramón, Rosa morada, Tzalam) lo rebasaron por un amplio margen (Tabla 3.10.4; Figura 3.10.1).

Elmer's Carpenter's Glue: 5 maderas (Chakté-viga, Chicozapote, Primavera, Pukté, Rosa morada) no cumplieron con la resistencia mínima (promedio) de 10 N/mm² estipulada por la norma DIN EN 204. Una madera (Jabín) apenas superó el límite, mientras 5 maderas (Chechén, Granadillo, Machiche, Ramón, Tzalam) lo rebasaron por un amplio margen (Tabla 3.10.4; Figura 3.10.1).

Tabla 3.10.4 Resistol 850 y Elmer's Carpenter's Glue: Resistencia de la línea de encolado y promedio de falla de madera; ensayo en seco, contenido de humedad 9-12%.

Resistencia al corte de la línea de encolado [N/mm ²] Tratamiento: Secuencia I (7 días en clima normal)				
Madera	Resistol 850 (D1)	Prom. falla de madera [%]	Elmer's Carpenter's Glue (D1)	Prom. falla de madera [%]
Chakté-viga	5.5- 8.7 -11.8 (C3)	0	0.9- 8.0 -12.3 (C2)	0
Chechén	12.2- 13.7 -16.5	40	10.4- 15.2 -17.7	90
Chicozapote	7.7- 10.7 -12.2	10	2.5- 4.4 -6.4	0
Granadillo	9.2- 12.5 -16.2	4	9.3- 13.0 -17.0	5
Jabín	6.7- 11.7 -15.3	50	7.1- 10.6 -14.1	40
Machiche	9.0- 10.6 -12.5	1	10.7- 13.9 -15.7	80
Primavera	7.8- 9.5 -10.8	96	6.1- 8.3 -11.9	80
Pukté	7.7- 9.7 -11.9	5	3.6- 4.9 -6.4	0
Ramón	12.1- 14.1 -16.3	35	6.3- 13.6 -17.4	40
Rosa morada	9.9- 11.4 -13.2	75	5.2- 9.0 -12.1	75
Tzalam	11.5- 13.6 -15.4	40	13.4- 15.0 -16.2	85

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

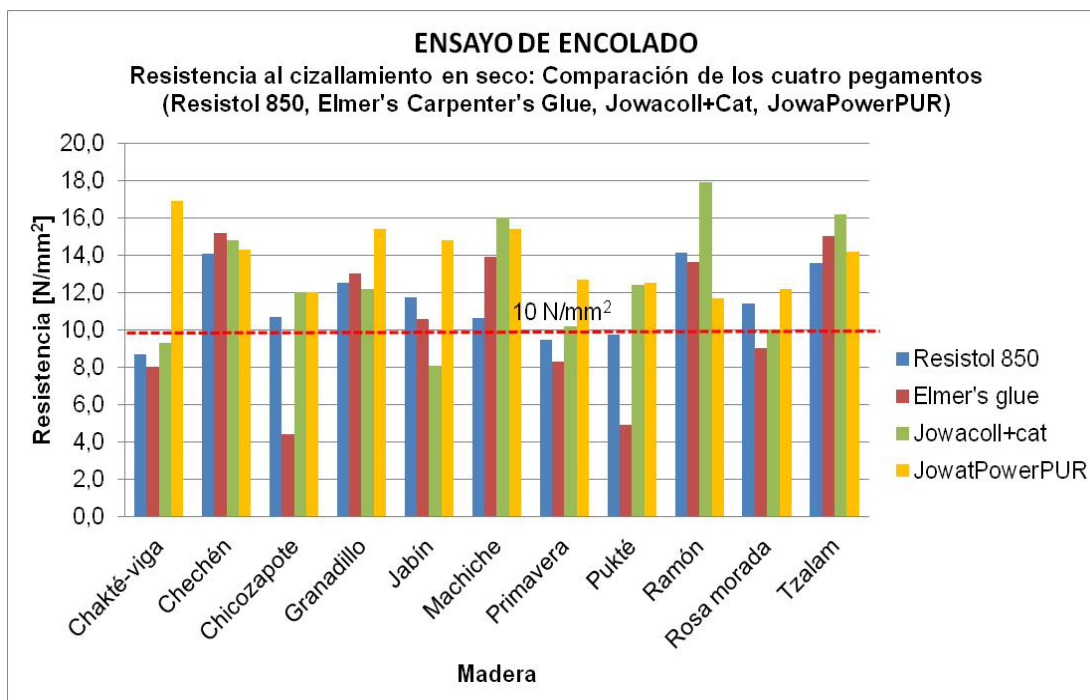


Figura. 3.10.1 Resistol 850, Elmer's Carpenter's Glue, Jowacoll+Cat, JowaPowerPUR: Resistencia al cizallamiento de la línea de encolado, ensayo en seco.

3.10.4.2 Ensayo de encolado con pegamentos categoría D3 (ensayos en seco y húmedo)

Estos ensayos fueron llevados a cabo solamente con 2 maderas (Machiche, Pukté) destinadas a la manufactura de cubiertas de cocina con el intento de estudiar su adhesividad bajo condiciones secas y ocasionalmente húmedas como ocurren en una cocina. De acuerdo a la norma DIN EN 204 los especímenes fueron ensayados bajo condiciones de las secuencias I y II.

Jowacoll 104.50 y Multibond EZ-1: Los dos adhesivos en combinación con las dos maderas rebasaron por un amplio margen la resistencia mínima estipulada por la norma DIN EN 204 tanto para el ensayo de la línea de encolado en seco (secuencia I: 10 N/mm^2) como en estado húmedo (secuencia II: 2 N/mm^2). La comparación de los dos adhesivos revela un desempeño ligeramente superior del Jowacoll 104.50 sobre el Multibond EZ-1 en lo que

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

respecta a los dos parámetros tratamiento y madera (Tabla 3.10.5; Figura 3.10.2).

Tabla 3.10.5 Resistencia de la línea de encolado y promedia falla de madera (pegamentos de la categoría D3 según DIN EN 204).

Madera	Se- cuen- cia	Resistencia [N/mm^2]			
		Jowacoll 104.50	Prom. falla de madera [%]	Franklin Multibond EZ-1	Prom. falla de madera [%]
Machiche	I	11.4- 13.2 -16.3	10	2.9- 10.3 -16.0	3
	II	9.6- 12.4 -16.8	15	5.9- 8.6 -12.5	9
Pukté	I	10.9- 14.8 -19.2	2	9.3- 13.0 -15.5	2
	II	9.8- 13.8 -16.9	0	4.6- 11.1 -16.5	6

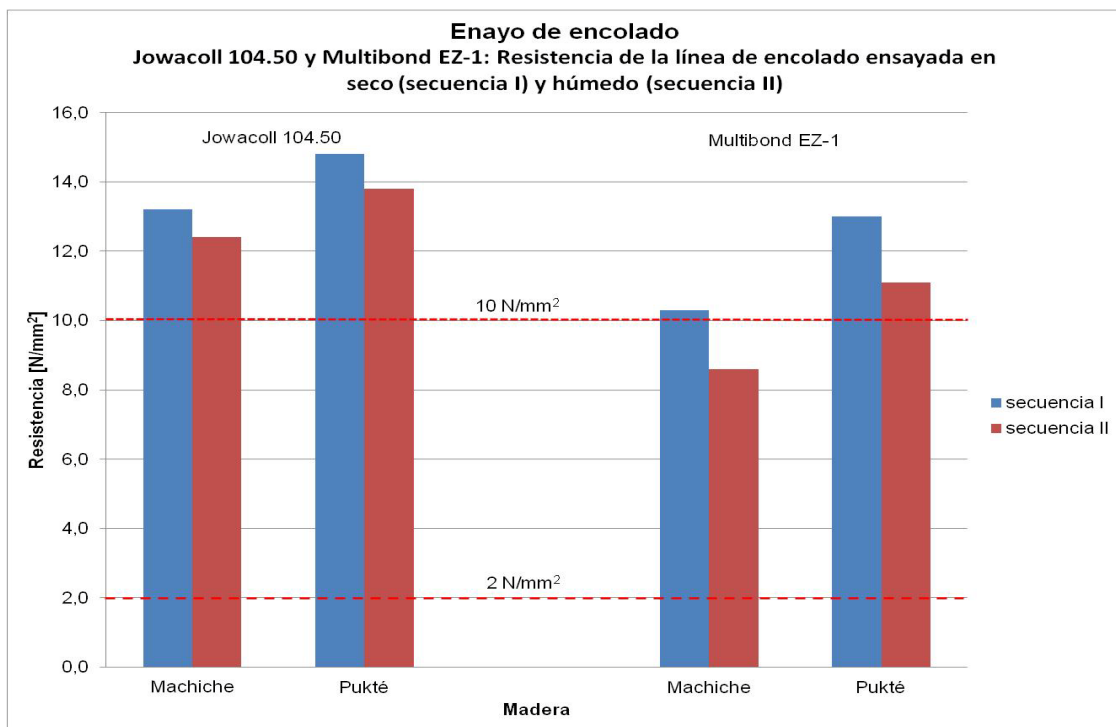


Figura 3.10.2 Jowacoll 104.50 y Multibond EZ: Resistencia al cizallamiento de la línea de encolado las maderas de Machiche y Pukté; ensayos en seco y húmedo (secuencias I y II).

3.10.4.3 Ensayos de encolado con pegamentos categoría D4 (ensayos en seco y húmedo)

Ensayos en seco

Jowacoll 104.50+Cat: 2 maderas (Chakté-viga, Jabín) no cumplieron con la resistencia mínima (promedio) de 10 N/mm^2 estipulada por la norma DIN EN 204. 2 maderas (Primavera, Rosa morada) llegaron o rebasaron el límite por poco mientras las demás maderas (Chechén, Chicozapote, Granadillo, Machiche, Pukté, Ramón, Tzalam) lo rebasaron por un amplio margen (Tabla 3.10.6; Figura 3.10.1).

Jowat PowerPUR: Todas las maderas estudiadas rebasaron por un amplio margen la resistencia mínima de 10 N/mm^2 estipulada por la norma DIN EN 204 (tabla 3.10.6; fig. 3.10.1).

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Tabla 3.10.6 Resistencia de la línea de encolado y promedia falla de madera (pegamentos de la categoría D4 según DIN EN 204).

Madera	Se- cuen- cia	Resistencia [N/mm ²]			
		Jowacoll 104.50 + Cat (D4)	Prom. falla de madera [%]	Jowat PowerPUR (D4)	Prom. falla de madera [%]
Chakté-viga (C2)	I	6.3- 9.3 -12.4	0	14.2- 16.9 -19.9	50
	II	7.2- 4.4 -12.0	0	14.8- 17.0 -20.6	50
	III	0.00- 0.03 -0.1	0	0.4- 2.1 -5.4	0
Chechén	I	9.9- 14.8 -18.6	85	11.1- 14.3 -18.8	45
	II	2.6- 11.4 -13.9	60	12.1- 13.6 -16.5	40
	III	0.1- 2.6 -5.4	0	0.1- 0.5 -1.8	0
Chicozapote	I	7.9- 12.0 -16.3	15	7.4- 12.0 -15.9	35
	II	2.2- 11.0 -16.4	25	6.5- 9.1 -13.7	40
	III	0.1- 0.3 -0.8	0	0.4- 2.1 -4.4	0
Granadillo	I	7.4- 12.2 -18.1	≤ 5	12.9- 15.4 -16.5	20
	II	2.1- 8.7 -16.2	5	10.2- 14.1 -16.3	30
	III	0.6- 1.0 -1.8	0	0.6- 1.6 -2.2	0
Jabín	I	4.3- 8.1 -10.8	15	13.5- 14.8 -15.3	55
	II	4.5- 8.8 -13.7	20	16.7- 17.5 -18.6	85
	III	0.1- 1.1 -3.1	0	0.8- 4.8 -8.5	0
Machiche	I	13.1- 16.0 -18.6	70	14.0- 15.4 -17.4	80
	II	11.3- 14.7 -19.1	45	13.7- 14.9 -16.3	70
	III	0.1- 0.4 -0.9	≤ 5	2.2- 5.6 -7.3	5
Primavera	I	8.7- 10.2 -11.7	80	10.4- 12.7 -13.9	80
	II	7.2- 8.8 -11.0	80	8.0- 9.6 -10.6	80
	III	1.9- 2.7 -3.6	0	2.7- 4.1 -5.4	10
Pukté	I	9.1- 12.4 -17.1	≤ 5	10.5- 12.5 -14.4	25
	II	4.9- 12.1 -18.0	≤ 5	5.3- 10.1 -15.3	35
	III	0.0- 0.2 -1.0	0	0.2- 1.0 -2.9	0
Ramón	I	10.4- 17.9 -23.3	45	7.9- 11.7 -17.1	15
	II	9.2- 16.0 -19.8	15	1.0- 7.2 -17.2	15
	III	0.2- 0.7 -1.1	0	0.2- 3.3 -6.7	0
Rosa morada	I	7.2- 10.0 -12.7	80	10.8- 12.2 -13.2	90
	II	4.5- 8.4 -12.9	60	8.7- 10.7 -12.3	¿?
	III	0.4- 1.7 -2.8	0	0.8- 2.7 -5.5	0
Tzalam	I	12.1- 16.2 -18.4	80	12.6- 14.2 -15.0	90
	II	8.5- 11.8 -14.4	45	9.1- 10.6 -11.8	55
	III	0.3- 1.6 -3.7	0	1.1- 3.8 -5.3	0

Ensayo en húmedo

Jowacoll 104.50+Cat: Después del tratamiento de 4 horas en agua a temperatura ambiente (secuencia II) la línea de encolado de 10 maderas

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

estudiadas (excepto Chakté-viga) rebasaron por un amplio margen el límite mínimo (4 N/mm^2) estipulado por la norma DIN EN 204 (Tabla 3.10.6; Figura 3.10.3). La pérdida de adhesividad fue más marcada con la madera de Chakté-viga cuya resistencia de la línea de encolado rebasó el límite por poco.

Jowat PowerPUR: Después del tratamiento de 4 horas en agua a temperatura ambiente (secuencia II) la línea de encolado de todas las maderas estudiadas muestra una buena resistencia con bastante margen arriba del límite (4 N/mm^2) estipulado por la norma DIN EN 204 (Tabla 3.10.6; Figura 3.10.4).

Siguiendo el tratamiento de secuencia III (6 horas de ebullición seguido por 2 horas en agua temperatura ambiente) se observó una considerable pérdida de adhesividad. Lo anterior generó una disminución de la resistencia de la línea de encolado con los dos pegamentos de la categoría D4. Por lo que respecta al adhesivo Jowacoll 104.50+Cat, ninguna de las uniones alcanzó el límite de resistencia de 4 N/mm^2 estipulado por la norma EN 204 (Tabla 3.10.6; Figura 3.10.3). El desempeño del adhesivo Jowat PowerPUR bajo estas condiciones fue mejor presentando resistencias de la línea de encolado generalmente mayores, rebasando por poco el límite de 4 N/mm^2 con tres maderas (Jabín, Machiche, Primavera) y llegando muy cerca del límite con la madera de Tzalam (Tabla 3.10.6; Figura 3.10.4).

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

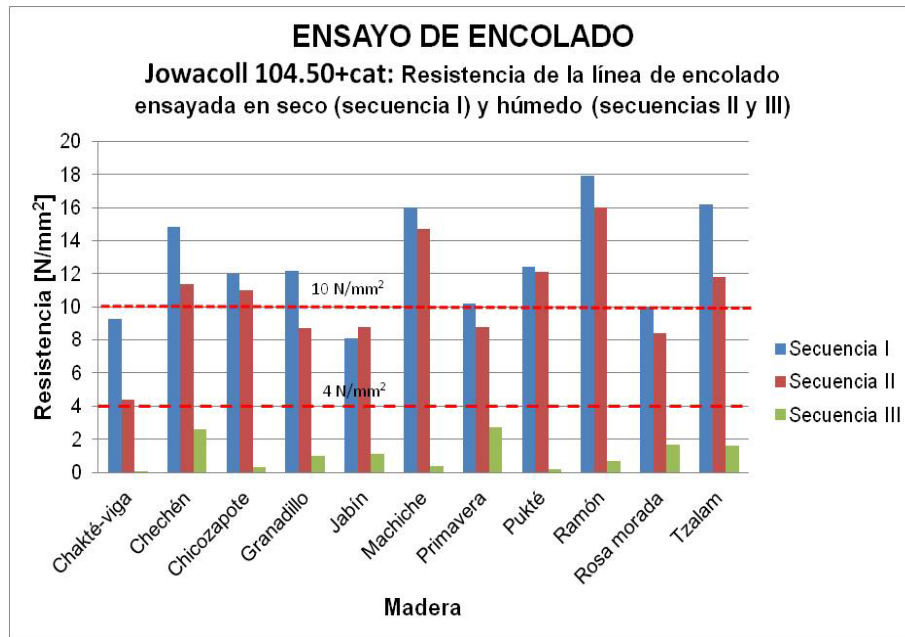


Figura 3.10.3 Jowacoll 104.50+Cat: Resistencia al cizallamiento de la línea de encolado en seco (secuencia I) y húmedo (secuencias II y III).

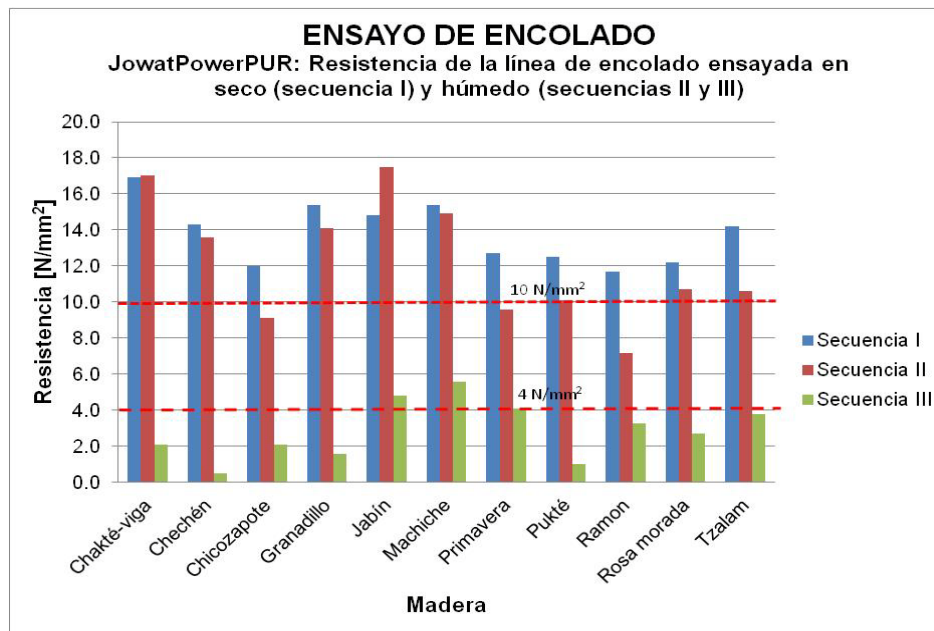


Figura 3.10.4 JowatPowerPUR: Resistencia al cizallamiento de la línea de encolado en natural, seco (secuencia I) y húmedo (secuencias II y III).

3.10.5 Conclusiones y recomendaciones

3.10.5.1 Pegamentos categoría D1 (uso interior)

Entre los dos pegamentos blancos de la categoría D1 (uso interior) el Resistol 850 muestra un desempeño más uniforme respecto a la calidad de la unión, con resultados buenos para 8 maderas (Chechén, Chicozapote, Granadillo, Jabín, Machiche, Ramón, Rosa morada, Tzalam), mientras que la resistencia de la línea de encolado de las otras 3 maderas (Chakté-viga, Primavera, Pukté) no satisface la exigencia mínima estipulada por la norma EN 204.

El Elmer's Carpenter's Glue, por otro lado, muestra un desempeño muy variable, con resultados buenos para 6 maderas (Chechén, Granadillo, Jabín, Machiche, Ramón y Tzalam), mientras la resistencia de la línea de encolado de las otras 5 maderas (Chakté-viga, Chicozapote, Primavera, Pukté y Rosa morada) no satisface la exigencia mínima estipulada por la norma EN 204.

En términos generales, no se recomienda el uso de estos dos adhesivos para el encolado de las maderas muy pesadas como Chakté-viga, Chicozapote, Granadillo y Pukté, que con su estructura fina y compacta, probablemente no permiten al pegamento desarrollar una buena adhesividad debido a la falta de suficiente anclaje físico en la superficie. Esta conclusión es apoyada por la muy baja falla de madera observada con estas especies (Tabla 3.10.4). Además, no se puede excluir la posibilidad de que extraíbles de estas maderas interfieran químicamente con la adhesión del pegamento.

La baja resistencia de la línea de encolado de la Primavera y en parte también de Rosa morada, no debe atribuirse a una mala calidad del encolado. Más bien es una consecuencia de la baja densidad y resistencia al cizallamiento de las maderas, conclusión apoyada por el alto porcentaje de falla en la madera que indica una excelente adhesividad (Tabla 3.10.4).

3.10.5.2 Pegamentos categoría D3 (uso interior y parcialmente exterior)

En el contexto del experimento con las maderas de Machiche y Pukté destinadas a la manufactura de prototipos de cubiertas de cocina, el encolado con los dos adhesivos D3 ha mostrado una muy buena calidad de la línea de encolado. Habría que extender estos experimentos a las otras maderas que, por su perfil de propiedades se podría considerar para la manufactura de este tipo de producto.

3.10.5.3 Pegamentos categoría D4 (uso exterior)

Al ser evaluado en seco, el pegamento blanco Jowacoll 104.50+Cat mostró un desempeño más uniforme y una resistencia de la línea de encolado igual o mayor que los pegamentos blancos categoría D1. Se recomienda utilizarlo con todas las maderas ensayadas, excepto el Chakté-viga y Jabín, cuya resistencia de la línea de encolado no cumplió con la exigencia mínima estipulada por la norma EN 204.

El pegamento JowatPowerPUR rindió los mejores resultados de resistencia de la línea de encolado con casi todas las maderas estudiadas. Se recomienda para el encolado de todos los productos destinados a uso exterior. Es un pegamento de uso universal, poco sensible a variación de los contenidos de humedad de la madera. Tampoco parece afectado por la presencia de extraíbles presentes en la madera. Sin embargo, su aplicación en escala industrial requiere instalaciones y equipamientos especiales.

3.10.6 Agradecimientos

Para los ensayos de encolado hemos contado con la cooperación de la Jowat AG (Alemania). Agradecemos a los señores Christian Funke (gerente de la división I+D, de la Jowat AG, Detmold, Alemania) y Ing. Mauricio Núñez (Gerente Jowat de México, Delegación Cuauhtémoc, D.F., México) por su apoyo proporcionándonos adhesivos de alto desempeño base PVAc y PUR.

También se agradece a la Gerencia de la Baufactory/Moblar en Guadalajara por su colaboración, facilitando sus instalaciones para la manufactura de prototipos de cubiertas de cocina enlistonadas.

Finalmente se agradece a los colaboradores en el proyecto Gerald Koch y Martin Ohlmeyer de la Universidad de Hamburgo, por aconsejarnos durante la fase experimental y compartir sus valiosas experiencias con el encolado de maderas tropicales.

3.10.7 Bibliografía

- DIN EN 204. 2001. Klassifikation von thermoplastischen Klebstoffen für nichttragende Anwendungen. CEN Europäisches Komitee für Normung, Brüssel.
- DIN EN 205. 2003. Klebstoffe – Holzklebstoffe für nichttragende Anwendungen – Bestimmung der Klebfestigkeit von Längsklebung im Zugversuch. CEN Europäisches Komitee für Normung, Brüssel.
- DIN 52187 2000. Prüfung von Holz; Bestimmung der Scherfestigkeit in Faserrichtung. DIN Taschenbuch 31. "Normen über Holz". Beuth Verlag GmbH. Berlin. pp. 71-73.
- Koch. G., Ohlmeyer, M. & Günther, P. 2011. Untersuchung der Verklebungseigenschaften und Dimensionsstabilität von kombinierten Kanteln mit dekorativen Ausstattungshölzern für den Fensterbau. Internationaler Verein für technische Holzfragen e.V..Zwischenbericht Projekt AiF 16047 N F-2009/03 le (September 2011), 18 pp.

Anexo 3.10.1 Glue-Line Strength of eighth Yucatan wood-species compared to five Mexican and European reference species

Prof. Katja Fruehwald, University of Applied Sciences Ostwestfalen-Lippe, Germany.

Prof. Dr. Arno Fruehwald, University of Hamburg, Germany

1 Objectives

The aim of this work is to assess the glueing properties of eight wood species from the Yucatan Peninsula. The Automated Bonding Evaluation System (ABES) was used to evaluate the glue-line strength of the eight wood species compared with two more common species from the Yucatan Peninsula (Caoba and Teca) and to three common European species (beech, oak and pine). Most tests were conducted with two commonly used adhesives.

2 Automated Bonding Evaluation System (ABES)

The Automated Bonding Evaluation System (ABES) has been developed to monitor the bond strength development of wood resins as they cure. It represents a quick, cost efficient and immediate method of characterizing the magnitude of a wide variety of bond-influencing factors. The ABES enables to test different resins and substrates under almost isothermal conditions. A set of pressing sequences are at free disposal and pressing-temperature, -time and -pressure can also be attuned.

The construction and operation are described in detail in the ABES manual [Adhesive Evaluation System, Inc., 2006]. The device consists of a small hot-press with two jigs mounted orthogonally to each other on a horizontal steel test module. It is linked to a computer with software for programming pressing sequences and data analysis.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

The bond pressing unit consists of a pair of stainless steel blocks. These enclose heated, glass-insulated wirings and miniature thermo-couples which are linked to controllers capable of maintaining temperatures between ambient and 265 °C . The blocks are being driven back and forth by a pneumatic system which is able to induce 125 N of force and apply a pressing-pressure up to 20 MPa. The pneumatic clamping-jigs are equipped with sanding paper to provide higher grip on the wood strips. One of these jigs is driven back and forth by a pneumatic system and is containing a force meter.

In its primary configuration, the ABES is forming a bond between two specimens for a preset temperature, time and pressure. Typical specimens are small veneers or wood pieces of the dimension of 117x20x0.6mm³. They should have a moisture content of 8 to 11 % [Humphrey, 2009]. The bond-area is the overlap between those two veneer strips and its size in common setups is 5 mm by 20 mm. Figure 1 does show a typical experimental setup. Immediately after the bond is cured it is shear-tested to destruction. The movement of the pulling head and the tensile load are measured and sent to the computer for further data processing. The application of the adhesive can be done manually by a spatula or a micro-pipette, or by a specially designed micro-spraying device.

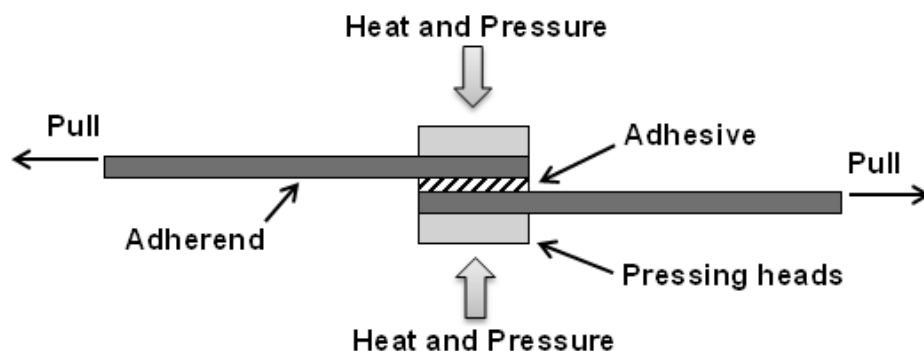


Figure 1. Schematic description of shear test by the ABES [Gurr 2011].

3 Materials and Methods

3.1 Wood species used for glueing tests

Eight (out of ten from the project) wood species from Yucatan Peninsula which are subject of consideration in the overall project were selected for glueing tests. Selection criterias were density, wood structure, possible contents of extractives and available volume of material in the Laboratory.

The following species were selected:

Primavera (*Tabebuia donnell-smithii*), density $\rho \approx 0,557 \text{ g/cm}^3$, $s \approx 0,022 \text{ g/cm}^3$

Rosa morada (*Tabebuia rosea*), density $\rho \approx 0,695 \text{ g/cm}^3$, $s \approx 0,050 \text{ g/cm}^3$

Tzalam (*Lysiloma bahamensis*), density $\rho \approx 0,944 \text{ g/cm}^3$, $s \approx 0,036 \text{ g/cm}^3$

Machiche (*Lonchocarpus castilloi*), density $\rho \approx 1,010 \text{ g/cm}^3$, $s \approx 0,031 \text{ g/cm}^3$

Pukté (*Terminalia buceras*), density $\rho \approx 1,083 \text{ g/cm}^3$, $s \approx 0,062 \text{ g/cm}^3$

Granadillo (*Platymiscium yucatanum*), density $\rho \approx 1,062 \text{ g/cm}^3$, $s \approx 0,119 \text{ g/cm}^3$

Jabín (*Piscidia piscipula*), density $\rho \approx 1,119 \text{ g/cm}^3$, $s \approx 0,137 \text{ g/cm}^3$

Chechén (*Metopium brownei*), density $\rho \approx 1,157 \text{ g/cm}^3$, $s \approx 0,152 \text{ g/cm}^3$

For comparison two well known mexican species and three european species were used as references:

Caoba (*Swietenia macrophylla*), density $\rho \approx 0,588 \text{ g/cm}^3$, $s \approx 0,050 \text{ g/cm}^3$

Teca (*Tectona grandis*), density $\rho \approx 0,691 \text{ g/cm}^3$, $s \approx 0,025 \text{ g/cm}^3$

Pine (*Pinus sylvestris*), density $\rho \approx 0,722 \text{ g/cm}^3$, $s \approx 0,021 \text{ g/cm}^3$

Beech (*Fagus sylvatica*), density $\rho \approx 0,797 \text{ g/cm}^3$, $s \approx 0,032 \text{ g/cm}^3$

Oak (*Quercus robur*, *Quercus petraea*), density $\rho \approx 0,817 \text{ g/cm}^3$, $s \approx 0,031 \text{ g/cm}^3$

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

The material from Mexico (altogether ten species) was cut into strips of 70 cm x 5 cm x 2,2 cm³ (four to six strips each), transported from Guadalajara to Hamburg and stored in a climate of 20 °C / 65 % rh.

3.2 ABES Testing Sample Material

The first assessment guideline intended to use standard sized specimens. However, first trial runs did reveal the insufficient tensile strength of the 0.7 mm thick specimens made from the Mexican wood species. The slots of the specimen holders on the testing device are 2 mm wide and are therefore determining the maximum specimen thickness. Further trial runs did show good results for 1.5 mm strips.

Subsequently, all further tests were conducted with strips of 1.5 mm thickness.

For processing the strips, the lumber was taken from the climate chamber (20 C and 65% relative humidity) after several weeks.

For the production of the strips, chosen pieces of lumber were reduced to a height of 20 mm by a planer and then cut by a circular saw into strips of a thickness of about 2 mm. In the following process, these up to 0.7 m long veneer strips were sanded to reduce their thickness to 1.5 mm. To achieve the highest possible accuracy, the veneers were attached to a board and both ends were hold by double-sided tape during feeding into the sander. The sanding paper had a CAMI grid size of 100 mesh. Both sides of the veneer strips were sanded to ensure uniform surface properties. The ends that had been in contact with the tape were removed before testing. The remaining veneer strips were then cut into pieces 117 mm long.

Sanding the surface of the veneer strips is not a recommended standard for the ABES test, as it may have an unpredictable influence on the surfaces topography and its gluability [Humphrey, 2009]. To avoid differences compared to the Yucatan wood species strips, the European wood species strips were

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

sanded on both sides as well. Planing (in a thickness planer) is extremely difficult with very thin (1.5...2.0 mm) material. Therefore the sanding process was chosen.

As the density may vary, the density of every single veneer strip was assessed. Due to the veneer strips uniform size of 117 mm by 20 mm by 1.5 mm, only weighing was required to calculate their density.

3.3 Adhesives

The adhesives were chosen in terms of the following criteria. The technical and financial resources in Yucatan Peninsula may be limited. To suit these circumstances and to produce applicable information, the adhesives should be inexpensive, have a long storage time and have a high availability around the globe. As the expertise in these countries may also be low, the adhesive utilization should be straight forward and its quality should have proven reliable over time. On the technical side, as the hot presses available may be some years old and have a limited maximum temperature, adhesives with a low curing temperature are preferable. Sequentially, melamine-urea-formaldehyde (MUF) and polyvinyl-acetate (PVAc) were considered to be adequate. Polyvinyl-acetate glues come second after UF-resins as the most important adhesives for furniture manufacture. MUF-glues are used for veneering of boards and for larger glue line areas for solid wood products (e. g. like three layer parquet, glued laminated products). Most MUF-glues require higher temperatures (70...100...150 °C) for curing, but give a high strength and moisture-resistance glue line. PVAc-glues are often used for general purposes and all different glue-line shapes and sizes in carpentry, furniture manufacturing and interior works. PVAc-glues cure (with a physical process) at room-temperature. During the first test series it turned out that high density species are difficult to cure with MUF-glue and PVAc-glue. The possible reasons will be discussed later. Therefore four wood species (two with a lower density – for comparison – Rosa morada

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

and Pukté, and two with a very high density – Granadillo and Jabín) were tested with a standard 2-component epoxy adhesive.

The “KAURAMIN® Leim 620 flüssig” produced by “BASF” is a liquid MUF resin, which is used together with Ammonium sulfate (self-tempered) as hardener (ratio was 90 % resin to 10 % hardener) in the manufacture of particleboards, fiberboards and OSB.

“Jowacoll PVAc 103.30” was also used for the experiment. Without further alteration, it meets the quality standard D3 according to the DIN EN 204/205. According to the producer “Jowat”, this glue is suited for environments of higher relative humidity like for doors, windows and bathroom furniture. It is applicable for hard- and softwoods, wood composites (e. g. particleboards), for parquet and laminate, for veneering and is curable at various temperatures as well as with high frequency.

As standard high strength 2-component epoxy adhesive “UHU Plus Endfest 300“ was used (suitable for metal, stone, concrete, marble, china, wood, glass, rubber, styrofoam, many plastics etc.). Binder and hardener were mixed in a 1:1 ratio by volume.

3.4 ABES Testing Sequence

During the ABES testing sequences it is important to perform every single experimental stage as uniformly as possible, even though some of them are done manually. This includes the adhesive preparation and application, the time between the application and the start of the testing sequence as well as the precise alignment of the wood strips in the ABES device.

To keep the wood strips moisture content as constant as possible, they were transported and kept in a sealed plastic bag until used for testing. To avoid a migration of the wood components to the sanded surface and the associated influence on bonding, all samples were tested within 24 h after cutting and

sanding. In between, the storage took place at normal climate (20/65). The repetitive pipette HandyStep® electronic of the BRAND GmbH was used for the application of the MUF and PVAc adhesive. Four droplets of resin were spread on the bonding area of one veneer strip (single side glue application). Each droplet has a volume of 2.6 μl , resulting in a total spread of 10.4 μl of resin for 100 mm^2 . The droplets were then spread evenly by the second veneer strip. The time between the beginning of the adhesive application and the start of the pressing process was kept as low as possible and did not exceed 10 seconds to avoid any influence this might have on the test results. The viscosity of the epoxy resin was too high, to use the pipette. Therefore, the adhesive was applied by hand with a spatula trying to apply always an equal amount of epoxy on each specimen. But an exact dosage was not possible for the epoxy resin.

Hot presses available in Yucatan Peninsula may have limited temperature only. Therefore the maximum pressing temperatures for the tests were kept low with 40 °C and 70 °C (PVAc), 110 °C (MUF) and 140 °C (Epoxy).

The ABES pressure was the same in all tests conducted. Bond forming pressure (marked HP-PRESS on the front control bank) was selected at 2 bar. The actual value applied to the bond depends on the bond overlap area, the air pressure applied to the cylinder and the effective pushing area of the pressing cylinder. If calculated with the formula, which is provided by the ABES manual, the actual bond forming pressure was approximately 2.48 MPa.

Lap shear test were conducted after various pressing times. During some earlier trial runs, the different glues did reveal varying curing behaviour. The resulting optimum pressing times for the PVAc are 40 s, 80 s and 180 s, for the MUF 40 s, 60 s, 70 s and 80 s and for the Epoxy 420 s.

4 Results and Discussion

The glue-line strength development of wood strips of the eight lesser used species was assessed with the Adhesive Bonding and Evaluation System and

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

compared to caoba and teca, beech, oak and pine wood. Figures 2 to 10 show the bond strength results. The wood species are arranged according to density in three groups “eight Yucatan species of the project” (Primavera, Rosa morada, Tzalam, Machiche, Pukté, Granadillo, Jabín, Chechén), “two Yucatan reference species” (Caoba, Teca) and “three European reference species” (Pine, Beech, Oak).

In the figures the glue line shear strength is given in N/mm^2 . In the ABES-test an overlap shear area of 5 mm (parallel to shear-force) by 20 mm (width of specimen) is tested. Considering the short shear length of the specimen, the results (shear strength in N/mm^2) is generally lower compared with specimen of larger shear area (e.g. shear blocks of $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}^3$). The main focus in this research was not to search for absolute or maximum glue line shear strength (this varies according to glue-line area and loading of the glue-line) but to evaluate the gluability against wood species whose gluing properties are well known.

For PVAc- and MUF-resin the strength values increase with pressing time. The maximum time was 180 s for PVAc (figure 2 to 4) and 70 s for MUF (figure 5 to 9 for MUF). But for both, PVAc and MUF, the variation of the shear strength increased with the pressing time.

As expected the increasing pressing time results in higher strength for all the species. PVAc cures physically mainly through dewatering of the glue line. The water uptake of the wood therefore is important for the glue curing process. An increased temperature of $70 \text{ }^\circ\text{C}$ was used in order to keep the time needed for testing low. At room temperature one would get similar results at longer pressing times.

The detailed chemical properties (especially extractive type and content) of the eight Yucatan species of the project are not assessed yet. Chemical wood properties like the pH and buffer capacity as well as extractive amount of a

wood have great influence on its glueability. The influence these specific properties of the tested wood species might have had on the results cannot be estimated yet.

For MUF the influence of press time is obvious. The MUF glue used was formulated for the use of higher press times (i. e. solid wood, particle- and fiber-type composites). The MUF-glue can also be formulated to cure at lower press temperatures. In the test 40 s press time was too short but at 60 s, 70 s and 80 s remarkable glue-strength values were achieved. The results are distinct (~ 50%) higher compared to PVAc gluing. For this type of test (ABES) other research has shown similar results [Gurr 2011].

Two species showed always lower results: Granadillo and Jabín. For MUF it can be assumed that wood extractives (resulting in pH-value, buffer capacity and water uptake) can play an important role. To increase surface roughness for the high density species Granadillo and Jabín the sanding of the wood surface was performed under an angle of 30 °C to fibre direction. This results in almost unchanged strength for Granadillo (limitation may be chemistry of the wood surface) but improved strength for Jabín (limitation may be more on water uptake). For Granadillo also a difference in density of the three tested groups of specimen may be of influence (figure 9).

For comparison, tests were made with epoxy-resin (2-components) with four species (Rosa morada, Pukté, Granadillo, Jabín). The pressing temperature was 140 °C and the press-time was 420 s. This epoxy could be used also at lower temperatures but with much longer pressing times. The aim of the test was to compare a high-duty adhesive system with MUF and PVAc. Figure 10 shows quite good shear-strength values, better for Rosa morada (medium density) much better than MUF and PVAc for the high density species Pukté, Granadillo and Jabín. Epoxy glue could be the solution for high-duty glue-bonds with small glueing areas, e. g. with furniture like chairs or tables.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

In general the shear strength of the “eight Yucatan species of the project” is in the range of gluing properties of the “two Yucatan reference species” and the “three European reference species” for PVAc and MUF for all bond pressing times.

The general curing process of MUF is caused by the leaking of dispersant and by the cross-linking process provided by heat [Bock, 1952]. The main curing process of PVAc is the leaking of dispersant. The leaking of the dispersant is caused by the adsorptive and capillary suction of the wood or by evaporation. Due to this, the viscosity and friction of the glue rises. This effect would be expected to occur more distinct when gluing timbers of low density and high porosity, and thus delivers an explanation for the higher shear strength results of the wood species with lower density. As the curing process proceeds and the cross-linking process starts to take effect, the wood with higher density develops better shear strength.

The viscosity of an adhesive does have a great influence in the developing bond properties. The optimum viscosity is, among other processing parameters, dependent on the woods porosity and permeability. If the viscosity is too low, the adhesive is absorbed excessively by the wood, causing a starved glueline. If the viscosity is too high, the wetting of the wood substrate by the glue and the adhesion between glue and wood surface is diminished. Both, too high and too low viscosity, lead to lower bond properties. The PVAc did have a much higher viscosity (around 12.000 mPa·s) than the MUF (150...400 mPa·s at 20 °C).

In the traditional joinery, the bonding properties of hardwood species with a higher density are improved by planing across the grain with a special tooth plane before gluing. This was investigated for four of the Yucatan wood species (one with a lower density: Rosa morada, three with a higher density: Granadillo, Jabín and Pukté): they were sanded prior to bonding with MUF (70 s, 110 °C) at an angle of 30 °. With cross-sanding the shear strength was increased significantly (figure 7). The lower values for Granadillo are due to the fact that

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

the densities of the cross-sanded test specimens are significantly lower than those of the lengthwise-sanded (figure 9), as they were collected from different scantlings (but from the same tree). It has also to be noted, that the lengthwise-sanded test specimens showed upright growth rings, whereas the cross-sanded test specimens showed growth ring angles from upright to 45 °. In this respect, the only slight increase of the shear strength for Granadillo due to cross sanding is because of the lower bulk density due to the different raw material (e. g., due to the different location in the trunk, etc.).

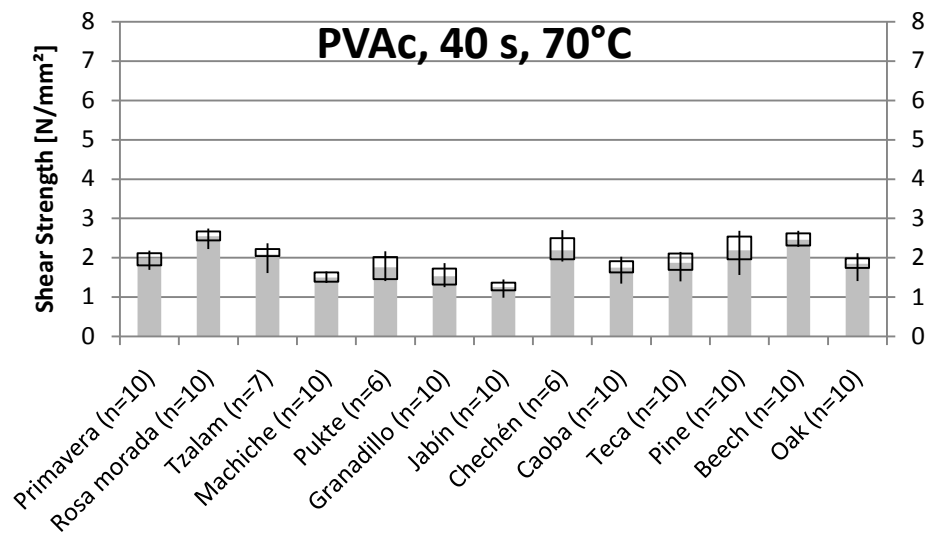


Figure 2 Shear strength for PVAc, bond pressing time 40 s, press temperature 70 °C (grey columns: mean value, boxes: 25- and 75-quantiles, lines: minimum- and maximum-values).

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

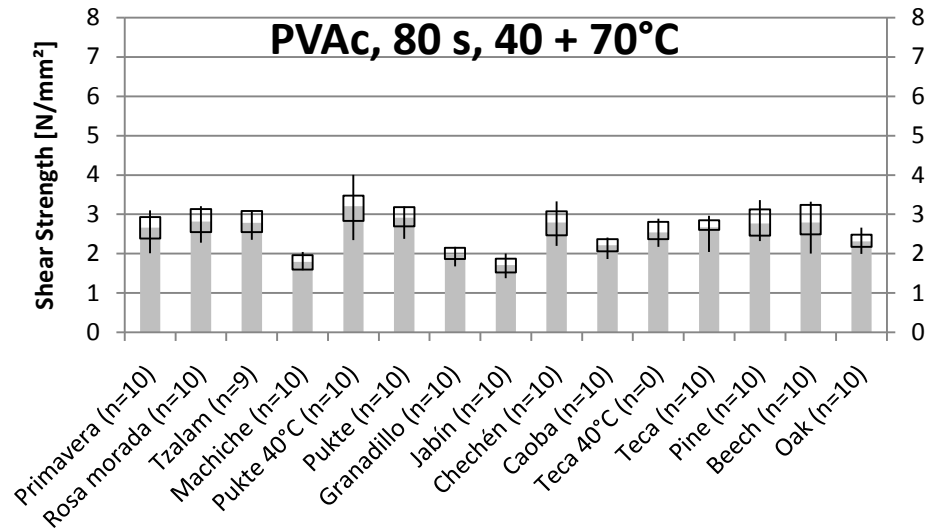


Figure 3 Shear strength for PVAc, bond pressing time 80 s, press temperature 40 °C and 70 °C (grey columns: mean value, boxes: 25- and 75-quantiles, lines: minimum- and maximum-values).

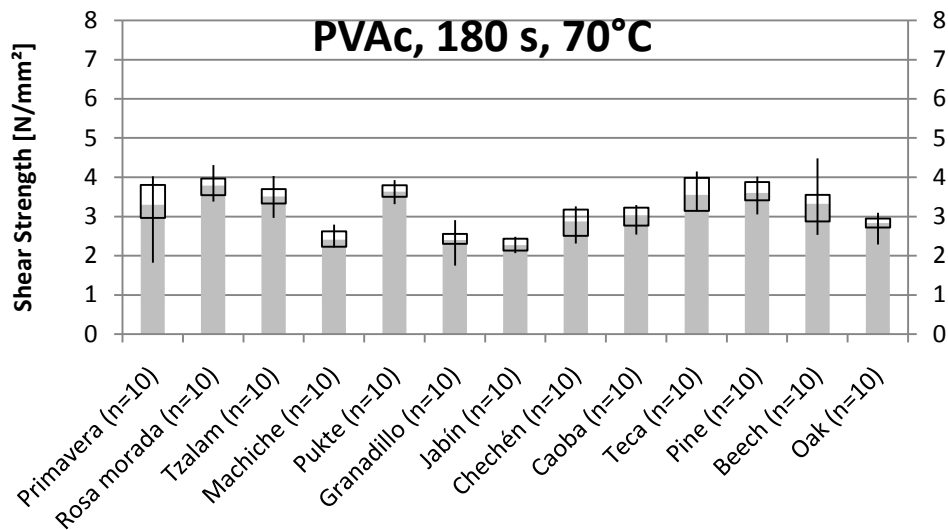


Figure 4 Shear strength for PVAc, bond pressing time 180 s, press temperature 70 °C (grey columns: mean value, boxes: 25- and 75-quantiles, lines: minimum- and maximum-values).

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

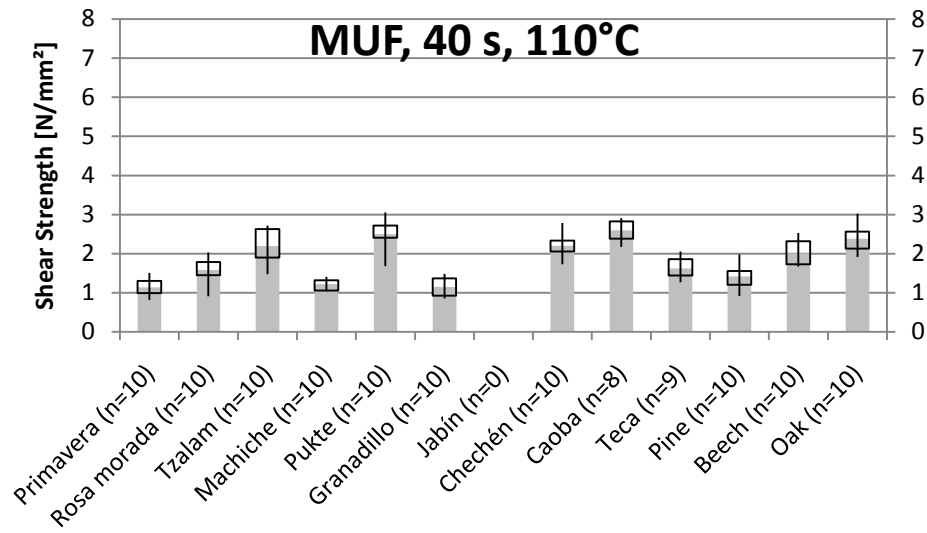
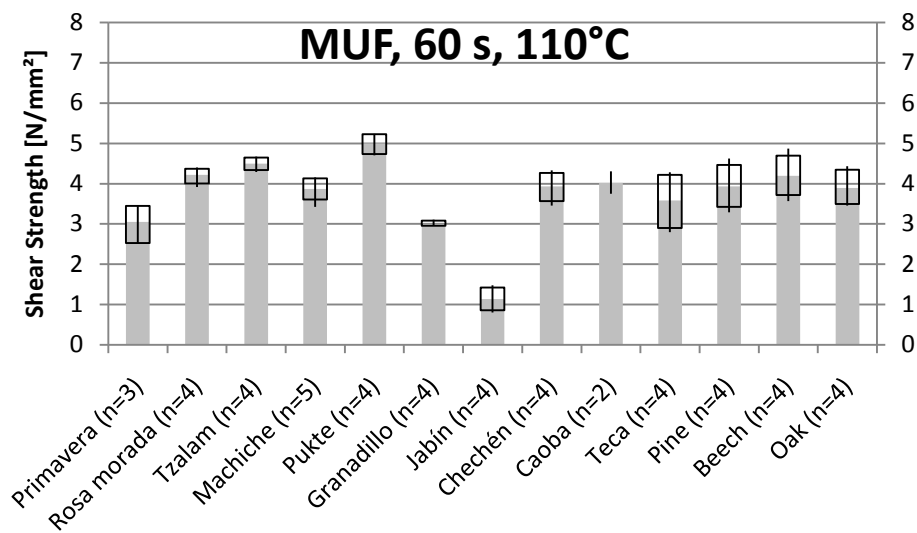


Figure 5 Shear strength for MUF, bond pressing time 40 s, press temperature 110 °C (grey columns: mean value, boxes: 25- and 75-quantiles, lines: minimum- and maximum-values).



Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Figure 6 Shear strength for MUF, bond pressing time 60 s, press temperature 110 °C (grey columns: mean value, boxes: 25- and 75-quantiles, lines: minimum- and maximum-values).

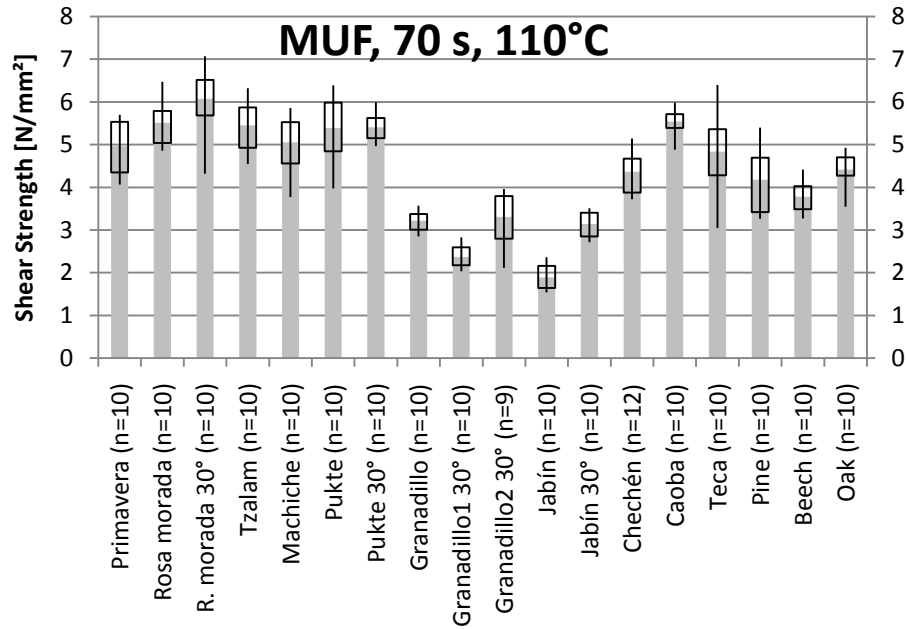


Figure 7 Shear strength for MUF, bond pressing time 70 s, press temperature 110 °C (grey columns: mean value, boxes: 25- and 75-quantiles, lines: minimum- and maximum-values).

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

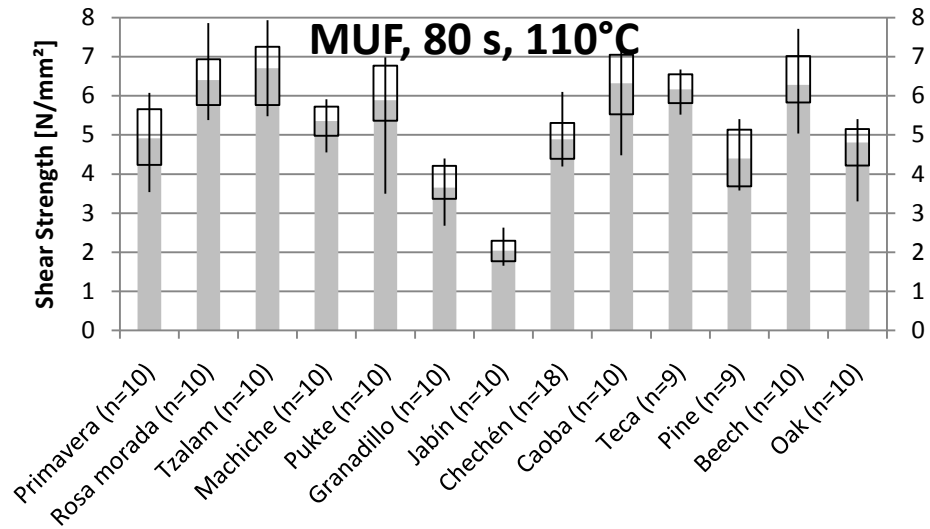


Figure 8 Shear strength for MUF, bond pressing time 80 s, press temperature 110 °C (grey columns: mean value, boxes: 25- and 75-quantiles, lines: minimum- and maximum-values).

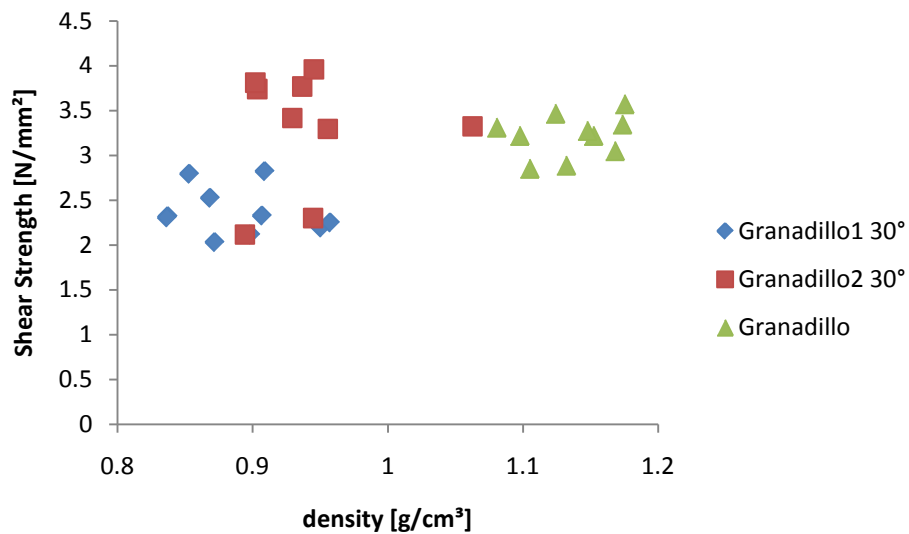


Figure 9 Shear strength vs. density for MUF, pressing time 70 s, press temperature 110 °C.

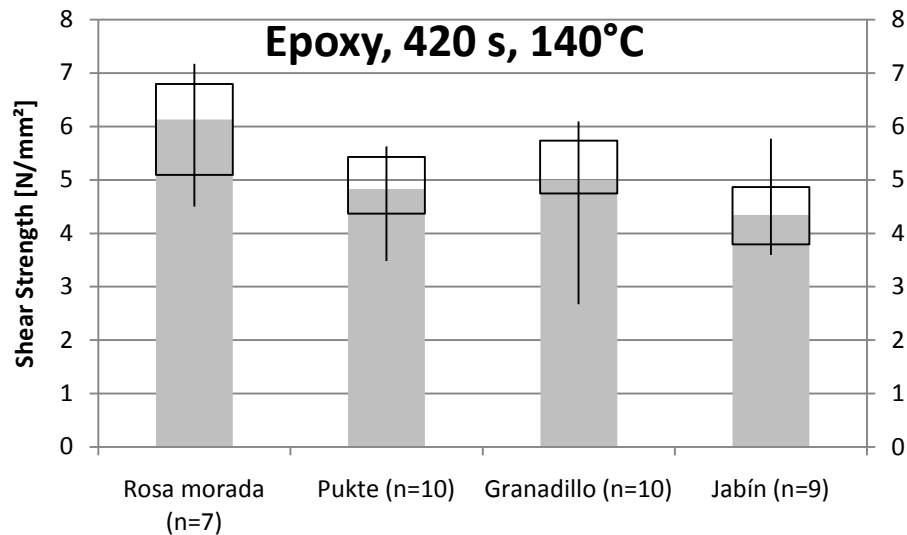


Figure 10 Shear strength for Epoxy, bond pressing time 420 s, press temperature 140 °C (grey columns: mean value, boxes: 25- and 75-quantiles, lines: minimum- and maximum-values).

5 General Findings and Recommendations

The results indicate that good gluing quality can be achieved with the “eight Yucatan species of the project” (Primavera, Rosa morada, Tzalam, Machiche, Pukté, Granadillo, Jabín, Chechén) using MUF- and PVAc- glue. The results are at level with those of the two Yucatan reference species (Caoba, Teca) and the three European reference species (Pine, Beech, Oak).

The results further indicate that bond quality (especially the time-dependent development of the strength) of the tested tropical hardwood species is affected by density. Due to the relative low permeability of the wood structure because of the high density of almost all tested tropical hardwood species (compared to European wood species), the bond quality does not profit from a high glue viscosity. With increasing density, the optimum glue viscosity is lower than for low density wood species.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

The following recommendations are given:

1. Generally, the species investigated (or similar species) should be processed prior to gluing in the following way:
 - Equal moisture content (between 8 % and 12 %), not only on the surface but throughout the cross section of the wood. At too low mc the subsequent swelling induces stress in the glue line. A too high mc results in stress in the glue line due to shrinking effects, reduces the water uptake from the glue and reduces adhesion between glue and wood surface.
 - The surfaces of the wood should be planned with sharp knives and the surface should be flat in order to achieve thin glue lines at reasonable pressure on the glue line. The surface may be sanded (grid 80...100) using good and “fresh” sanding paper. The time between surface processing (planning or sanding) should be short (not exceed 24 h) in order to avoid diffusion of extractives to the surface. The surfaces should be kept free of dust.
2. The glues should have a viscosity adapted to the density of the wood, the surface processing and quality and the expected thickness of the glue line. Thicker glue lines require higher viscosity of the glue. A close co-operation with the glue supplier is recommended.
3. The glue application should be done carefully, according to the glue supplier’s recommendation. A glue spread on two sides generally is recommended with high density wood species. The use of rollers or brushes has advantage against curtain gluing or spraying as the glue is pressed into the pores of the wood surface.
4. The pressure applied during curing of the glue should be high enough. High density of the wood, rough surfaces and uneven surfaces (result in partially

thicker glue lines) require higher pressure. A pressure of 2 – 5 MPa (N/mm²) is recommended.

5. The pressing time should be long enough – consult the glue supplier. After removing from pressing the glued wood elements should be stored for several hours without further processing or handling.
6. For new application (e. g. other glue types, new design of joints) tests should be made prior to industrial processing.

6 References

- Adhesive Evaluation System, Inc. (2006): Automated Bonding Evaluation System (ABES). General operating instructions Models 311c., 11 pp.
- Bock, E. (1952): Der Abbindeprozess bei der Holzverleimung. Holz als Roh- und Werkstoff, 10(7), p. 284-288.
- Dunky, M.; Niemz, P. (2002): Holzwerkstoffe und Leime - Technologie und Einflussfaktoren. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Gurr, J. (2011): The Glue-Line Strength of *Cocos nucifera* in Respect of its Density Variations. Bachelor Thesis at the University of Hamburg, Department of Wood Science and Technology.
- Hse, C. Y. (1968): Gluability of Southern Pine Earlywood and Latewood. Forest Products Journal, 18(12), p. 32-36.
- Humphrey, P. E. (2009). Outline Standard for Adhesion Dynamics Evaluation Employing the ABES (Automated Bonding Evaluation System) Technique. Wood Adhesives 2009 (p. 203-213). Lake Tahoe. Nevada. USA: International Conference on Wood Adhesives.

3.11 Usos

3.11.1 Introducción

Para que un producto de madera tenga el éxito deseado en el mercado es imprescindible que el perfil de propiedades de la madera sea compatible con los requerimientos específicos del producto. Esto es válido tanto de parte del comprador (cuestiones de funcionalidad, estética, costo de adquisición, etc.) como del productor (dimensiones, volumen disponible, costo de materia prima, facilidad de procesamiento, compatibilidad con pegamentos y acabados, etc.). Por otra parte, se ha notado un interés creciente por parte de los diseñadores, artistas y artesanos por maderas diferentes de las tradicionales y ya bien conocidas. Esta demanda se podría satisfacer mediante el aprovechamiento racional de las 11 maderas tropicales del sureste de México estudiadas, las cuales, actualmente, se desprecian como “comunes” o “corrientes”.

Considerando lo anterior se han elaborado categorías de usos de naturaleza específica y adecuada al problema de incorporar las maderas con sus características individuales. Posteriormente se han formulado usos para cada una de las maderas tomando en cuenta sus propiedades estéticas, biológicas y físico-mecánicas siempre considerando los siguientes criterios importantes:

- Manufactura de productos de alto valor agregado. No se consideran productos de conversión primaria ni tampoco el uso de madera que no haya sido secada a un contenido de humedad requerido para el producto final.
- Aprovechamiento de pequeñas dimensiones. Excedentes del proceso de aserrío y de los pasos subsecuentes de la transformación secundaria, con la intención de valorizar los residuos originados de la producción industrial, incluso piezas de forma irregular y con defectos, mediante diseños artísticos y decorativos.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

- Tener el cuidado de no proponer usos para una especie, cuyos requerimientos no pueden ser cumplidos por la madera. Por ejemplo, utilizar una madera de baja durabilidad natural bajo circunstancias que requieren alta resistencia al biodeterioro (ver apartado 3.7 de este capítulo); o utilizar una madera difícil de pegar para productos encolados (ver apartado 3.10 de este capítulo).

Tomando en consideración estos criterios las recomendaciones formuladas en este apartado difieren de la práctica común de indicar un máximo número de usos posibles para una determinada madera. Más bien, estas recomendaciones se ven enfocadas en la relación específica entre el perfil de propiedades de cada una de las maderas en estudio y los requerimientos específicos de cada categoría de usos propuestos.

3.11.2 Categorías de uso

3.11.2.1 Muebles de alta calidad

- Piezas individuales de madera sólida: Marcos para gabinetes y sus puertas, frentes de cajones, cubre cantos, patas de mesas, sillas, partes visibles de muebles tapizados, jaladeras, tableros enlistonados para frentes de gabinetes, libreros y closets, topes de mesa, entrepaños; cubiertas enlistonadas para mesas de comedor, de trabajo y de cocina.
- Chapas decorativas: Rebanadas y desenrolladas externas (iniciales) que por su calidad son útiles para recubrimiento de tableros para elaboración de muebles y revestimiento de paredes; desenrolladas del centro, apropiadas para centros de triplay y piso de ingeniería.

3.11.2.2 Pisos

- Duelas machihembradas de largo variable.
- Parquet de diseño decorativo (piezas cortas machihembradas unidas en patrones conforme diseño artístico).
- Parquet mosaico (piezas de dimensiones pequeñas unidas mecánicamente en unidades fijas).
- Piso de ingeniería (unidades de dimensiones fijas consistiendo de una base de tablero con recubrimiento delgado de madera decorativa).

3.11.2.3 Interiores (que no sean muebles)

Productos: Puertas interiores, molduras/lambrines, escaleras (escalones/peldaños y pasamanos), barandales, biombos, tableros enlistonados para entrepaños y repisas, tapas para WC, tablas para picar, etc.

3.11.2.4 Exteriores

Productos: Marcos de ventanas (madera laminada), recubrimiento de terrazas (duelas), muebles de jardín (sillas, mesas, camastros), invernaderos, etc.

3.11.2.5 Artículos decorativos para interiores

Productos: Lámparas, espejos, marcos para fotografías y cuadros, cajas para reloj, tapetes (piezas pequeñas unidas con hilos), ganchos para ropa, macetas, urnas funerarias, porta botellas, candeleros, juegos de baño (toalleros, jaboneras, otros), etc.

3.11.2.6 Instrumentos musicales

Productos: Piezas de madera sólida (clavijas, cordales, etc.), arcos de instrumentos de cuerda, mecánica y teclado de pianos, barras de sonido para marimbas y xilófonos, baquetas, etc.

3.11.2.7 Marquetería

Incrustación ornamental en madera de pequeños trozos de diferentes maderas o piezas cortadas de otros materiales (piedras, mármol, madera, metales, concha nácar y otros.).

Productos: Tableros de ajedrez y otros juegos de mesa; incrustaciones en instrumentos musicales, muebles, cuadros diseñados (obras de arte), mosaicos, mangos para cubiertos, etc.

3.11.2.8 Artículos novedosos de artesanía

Piezas decorativas de madera sólida labradas por diferentes métodos (torneadas, talladas, lijadas, molduradas) en las que la estética tiene un papel destacado, pero el sentido práctico del objeto elaborado es también importante.

Productos: Envases, cubiertos, piezas para juegos de mesa, figuras de animales, platos y charolas, fruteras, alhajeros, etc.

3.11.2.9 Joyería/Joyas

Prendas de carácter estético y ornamental, llevadas en el cuerpo, comúnmente de pequeñas dimensiones y minuciosamente labradas con diferentes técnicas (torneadas, talladas, cinceladas, etc.).

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Productos: Brazaletes, aretes/pendientes, collares, anillos, broches, moños, corbatas, etc.

3.11.2.10 Otros productos

Tacos de billar, tacones, hormas de zapatos, plumas, juguetes (trompos, yoyos, caja de construcciones y otros), etc.

3.11.3 Las maderas y usos específicos recomendados

A continuación se presenta una breve caracterización de las maderas y un elenco de usos recomendados para cada una de las especies considerando su perfil específico de propiedades.

En algunos casos se recomiendan productos que requieren ser encolados, se les ha marcado con un asterisco (*) cuando la madera permite emplear pegamentos blancos comunes (generalmente de la categoría D1, ver apartado 3.10) sin arriesgar la calidad de unión/ensamble.

Productos encolados marcados con 2 asteriscos (**) demandan el uso de pegamentos categoría D3 o D4, en función de las circunstancias de su aplicación (por ejemplo exteriores) y su afinidad con la madera en cuestión (ver apartado 3.10).

Chakté-viga: Madera de densidad muy alta, pesada, de estructura compacta; de alta resistencia al deterioro por hongos (apta para uso exterior en contacto con el suelo); duramen de color café rosado a fuertemente anaranjado y vetado ligeramente pronunciado; dimensiones del material aprovechable generalmente pequeñas; volumen disponible probablemente poco. Madera difícil de encolar con pegamentos blancos comunes.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Usos recomendados: Joyería, artesanía, marquetería, aplicaciones para muebles de alta calidad, parquet mosaico para objetos individuales, juguetes.

Chechén: Madera de alta densidad, de estructura semi-compacta; moderadamente resistente al deterioro por hongos (apta para uso exterior protegido de la intemperie); duramen de color café rojizo amarillento con tinte pardo a naranja o rojizo oscuro, con veteado acentuado muy atractivo; árboles de pequeños diámetros, generalmente con alta proporción de albura; buena a encolado con pegamentos blancos comunes. La madera contiene extraíbles potencialmente tóxicos para personas sensibles, por ende se aconseja no emplearla para la manufactura de artículos de cocina ni para joyas en contacto con la piel.

Usos recomendados: Ebanistería fina, chapas rebanadas decorativas para muebles de alta calidad; parquet machihembrado de pequeñas dimensiones, pisos de ingeniería*; muebles de jardín**, escaleras* (escalones enlistonados), molduras, artículos decorativos para interiores; artesanía; marquetería.

Chicozapote: Madera de muy alta densidad, muy pesada, de estructura compacta y homogénea; de alta resistencia al deterioro por hongos (apta para uso exterior en contacto con el suelo); duramen de color rojizo oscuro o morado y veteado liso. Debido a las heridas causadas por las incisiones de los chicleros la madera aserrada muestra frecuentes defectos que no le permite al usuario obtener tablas de grandes dimensiones libre de defectos. Madera difícil de encolar con pegamentos blancos comunes.

Usos recomendados: Parquet mosaico, pisos industriales, artesanía, marquetería, piezas de juguetes de mesa, partes de instrumentos musicales (clavijas) y arcos para instrumentos de cuerda.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Granadillo: Madera de muy alta densidad, de estructura semi-compacta, de alta resistencia al deterioro por hongos (apta para uso exterior en contacto con el suelo); duramen de color pardo purpúreo, con veteado pronunciado atractivo; buena de encolar con pegamentos blancos comunes. Es considerada especie en estado crítico por las autoridades locales (Sociedad de Productores Forestales Ejidales de Quintana Roo) lo que pudiera restringir su aprovechamiento.

Usos recomendados: Ebanistería fina, chapas rebanadas decorativas, parquet machihembrado de pequeñas dimensiones, pisos de ingeniería*, artículos decorativos para interiores, cubiertas de mesas de cocina** (tablero enlistonado), artesanías, marquetería y partes de instrumentos musicales (marimbas, xilófonos, guitarras), juguetes.

Jabín: Madera de alta densidad, de estructura abierta y burda, de alta resistencia al deterioro por hongos (apta para uso exterior bajo techo, sin contacto con el suelo); encolado satisfactorio con pegamentos blancos comunes; duramen de color café castaño amarillento con matiz verdusco, con vetas aisladas de color olivo oscuro; presenta un veteado en relieve muy atractivo alternando capas de diferentes colores entresacadas.

Usos recomendados: Muebles de alta calidad, chapas decorativas rebanadas, muebles de jardín**, duelas, parquet, pisos de ingeniería, escaleras* (escalones y pasamanos), artículos decorativos para interiores, artesanía y marquetería.

Machiche: Madera de alta densidad, de estructura abierta y algo burda, de alta resistencia al deterioro por hongos (apta para uso exterior en contacto con el

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

suelo);); encolado bueno con pegamentos blancos comunes; duramen de color café amarillento a rojizo o morado, ocasionalmente con vetas oscuras; presenta un vetado en relieve muy atractivo alternando capas de diferentes colores entresacadas.

Usos recomendados: Muebles y gabinetes finos, chapas decorativas rebanadas, duelas, parquet machihembrado, pisos de ingeniería, tableros enlistonados*, cubiertas de trabajo y cocina** (enlistonadas), escaleras* (escalones y pasamanos), muebles de jardín**, artículos decorativos para interiores y artesanía.

Pukté: Madera de muy alta densidad, de estructura compacta y homogénea, de alta resistencia al deterioro por hongos (apta para uso exterior en contacto con el suelo); difícil de encolar con pegamentos blancos comunes; duramen de color muy variable, desde pardo o gris verdusco a café a olivo oscuro, con vetado liso a ligeramente acentuado.

Usos recomendados: Elementos estructurales que no requieran buena estabilidad dimensional; pisos industriales, duelas, parquet machihembrado, pisos de ingeniería*, escaleras* (escalones, pasamanos), cubiertas para mesas de trabajo y cocina** (enlistonadas), marquetería, baquetas, artículos decorativos para interiores, artesanía y joyería, juguetes.

Primavera: Madera de densidad baja, de estructura abierta y algo burda; moderadamente resistente al deterioro por hongos (solo para uso interior); encolado bueno con pegamentos blancos comunes; duramen de color crema blanquecino a amarillento uniforme sin diferencia en color apreciable entre duramen y albura, vetado suave a acentuado.

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

Usos recomendados: Chapas rebanadas y desenrolladas, tableros enlistonados* para muebles, gabinetes y entrepaños, puertas para interiores, molduras/lambrines, tapas para WC**, artículos decorativos para interiores, y artesanía.

Ramón: Madera de muy alta densidad, de estructura compacta y homogénea, resistente al deterioro por hongos (apta para uso exterior bajo techo sin contacto con el suelo.); variable de encolar con pegamentos blancos comunes conforme el tipo de la madera. Algunos árboles proporcionan madera de color crema amarillenta sin diferencia apreciable entre duramen y albura (Ramón blanco). Otros árboles tienen un duramen de color café rojizo a anaranjado, frecuentemente con vetas oscuras pronunciadas, con transición clara a la albura de color crema (Ramón colorado).

Usos recomendados: Muebles de alta calidad, escaleras* (escalones, pasamanos), chapas decorativas rebanadas, parquet machihembrado de dimensiones pequeñas, artesanía, marquetería, hormas de zapatos, juguetes. El Ramón blanco podría servir como sustituto del maple duro (*Acer saccharum*) norteamericano en muchas de sus aplicaciones.

Rosa morada: Madera de densidad mediana, de estructura abierta y poco compacta, de baja resistencia al deterioro por hongos (solo para uso interior); duramen de color café claro rosado o morado, poco distinto de la albura, algo más clara; presenta un veteado acentuado y atractivo en la cara tangencial debido a la alternancia de tejidos claros y oscuros.

Usos recomendados: Muebles y gabinetes de alta calidad, chapas decorativas desenrolladas, puertas para interiores, tapas para WC**, molduras/lambrines, duelas y parquet para pisos con tráfico ligero, pisos de ingeniería*, tableros

Caracterización Tecnológica de las Especies de Madera

enlistonados* para muebles, gabinetes y entrepaños, artículos decorativos para interiores y artesanía, juguetes.

Tzalam: Madera de mediana a alta densidad, de estructura abierta y algo heterogénea; de buena resistencia al deterioro por hongos (apta para uso exterior sin contacto con el suelo); duramen de color café a rojizo con tonalidades de morado similar al del nogal americano (*Juglans nigra*); con vetas pronunciadas o de color uniforme y un veteado de suave a acentuado.

Usos recomendados: Muebles de alta calidad, chapas decorativas rebanadas, duelas, parquet machihembrado decorativo, parquet mosaico, pisos de ingeniería*, muebles de jardín**, molduras/lambrines, marcos de puertas y ventanas** (madera laminada), escaleras* (escalones y pasamanos), barandales, tableros enlistonados* para muebles, gabinetes y entrepaños, cubiertas para mesas de trabajo y cocina** (tablero enlistonado), biombos, tapas para WC**, artículos decorativos para interiores, artesanía, marquetería, joyas y juguetes.