



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍA DE LA MADERA



ANATOMÍA, FÍSICA Y MECÁNICA DE LA MADERA DE Gmelina
arborea Roxb.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
Ingeniero en Tecnología de la Madera

PRESENTA:

Martha Lilia Equihua Equihua

DIRECTOR DE TESIS:

Ing. Teresa García Moreno

ASESOR:

M.C. Salvador Bocanegra Ojeda

Morelia, Michoacán, abril de 2016

DEDICATORIA

Con cariño y respeto para:

Mis padres:

Juvenal Equihua Sánchez
Baudelia Equihua Zambrano

Mis hermanos:

Fidelina, Cecilia, Yolanda, Julio,
Noel, Deyse, Roselia y Leticia.

Una persona especial:

J.I.G.M

Por su confianza, paciencia y apoyo que me han brindado, dándome la oportunidad de seguir un mejor camino en la vida.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, que a través de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, por la oportunidad brindada para mi formación profesional.

Al Ing. Teresa García Moreno por su disposición en dirigir este trabajo así como por su ayuda y observaciones para el enriquecimiento de este trabajo.

Al M.C. Salvador Bocanegra Ojeda por su asesoría y transmisión de conocimientos durante este trabajo.

A todas aquellas personas que de alguna manera u otra forma participaron en la realización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	I
ÍNDICE DE CUADROS	II
ÍNDICE DE APÉNDICES Y ANEXOS	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. ANTECEDENTES	8
3. GENERALIDADES DE LA ESPECIE	13
4. OBJETIVOS.....	15
5. MATERIAALES Y MÉTODOS.....	16
5.1. Obtención del material para el estudio anatómico.....	18
5.2. Descripción anatómica de la madera	18
5.3. Obtención de material para pruebas físicas y mecánicas	22
5.4. Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera	23
5.5. Asignación de usos de la madera de <i>Gmelina arborea</i> Roxb.....	31
6. RESULTADOS	32
6.1. Descripción macroscópica y microscópica.....	34
6.2. Índice de calidad de pulpa.....	39
6.3. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de <i>Gmelina arborea</i> Roxb.....	39
6.5. Usos recomendados	41
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	42
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
9. BIBLIOGRAFÍA	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol, flor y fruto de <i>Gmelina arborea</i> Roxb.....	16
Figura 2. a) Derribo del árbol; b) Corte de trozas de <i>Gmelina arborea</i> Roxb	17
Figura 3. a) Corte de rodajas; b) Rodajas de <i>Gmelina arborea</i> Roxb.....	18
Figura 4. Obtención de cubos de <i>Gmelina arborea</i> Roxb.....	19
Figura 5. a) Micrótopo de deslizamiento; b) Preparaciones fijas y de material disociado.....	20
Figura 6. a) Disociado en baño maría; b) Caja Petri con disociado	21
Figura 7. Obtención de probetas para pruebas físico- mecánicas	22
Figura 8. a) Ensayo de dureza Janka; b) Probetas ensayadas.....	26
Figura 9. a) Ensayo de flexión estática; b) Probetas ensayadas	26
Figura 10. a) Ensayo de compresión paralela a la fibra; b) Probeta ensayada	27
Figura 11. a) Ensayo de compresión perpendicular a la fibra; b) Probetas ensayadas.....	28
Figura 12. a) Ensayo de tensión perpendicular a la fibra; b) Probetas ensayadas.....	29
Figura 13. a) Ensayo de resistencia a rajaduras; b) Probetas ensayadas	30
Figura 14. a) Ensayo de extracción de clavos; b) Probetas ensayadas.....	31
Figura 15. <i>Gmelina arborea</i> Roxb. a) Rodaja; b) Corteza	32
Figura 16. Tablillas de <i>Gmelina arborea</i> Roxb; a) Corte transversal; b) Corte tangencial; c) Corte radial.....	33
Figura 17. Corte transversal de <i>Gmeliana arborea</i> Roxb; a) Franja de fibras de pared más gruesa en 40x; b) Arreglo de poros100x	34
Figura 18. Elementos de vaso a 200x, mostrando; a) Puntuaciones areoladas intervasculares en corte longitudinal tangencial; b) Elemento de vaso en material disociado; c) Perforación simple vista en corte longitudinal radial. Y d) Perforación foraminada o de criba vista en corte transversal.	35
Figura 19. a y b) Radio poliseriado, triseriado, biseriado y uniseriado vistos en corte tangencial 100x; c y d) Corte radial mostrando radios, elementos de vaso y células de parénquima leñoso 100x.	36
Figura 20. Material disociado mostrando fibras; a) Fusiformes 100x y b) Bifurcadas 200x. c) Corte radial mostrando fibras septadas 400x; d) Corte tangencial mostrando cavidades intrusivas 400x..	37
Figura 21. a) Poros con tílides en cara transversal 200x; b) Cristales aciculares en células de radio en cara radial 200x	38

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resultados de las mediciones de elementos de vaso, radios y fibras	38
Cuadro 2. Resultados de ensayos mecánicos realizados a la madera de <i>Gmelina arborea</i> Roxb.	40

ÍNDICE DE APÉNDICES Y ANEXOS

Apéndice 1. Mediciones de elementos mensurables de <i>Gmelina arborea</i> Roxb	54
Apéndice 2. Características macroscópicas y microscópicas de la madera de <i>Gmelina arborea</i> obtenidas, comparadas con los reportados por otros autores.....	56
Anexo 1. Estándares de IAWA (1989).....	57
Anexo 2. Clasificación de los elementos mensurables para latifoliadas de acuerdo a Tortorelli (1956).	58
Anexo 3. Parámetros de clasificación para la densidad según Echenique y Plumptre (1994) y Fuentes (1990).	61
Anexo 4. Parámetros de clasificación para contracciones según Tamarit y López, 2007....	62
Anexo 5. Parámetros de clasificación para pruebas mecánicas según Echenique y Plumptre (1994).	63
Anexo 6. Requisitos y propiedades de la madera para diversos usos, según Echenique y Plumptre (1994).....	64

RESUMEN

La *Gmelina arborea* Roxb ha sido introducida en zonas cálidas de Michoacán. El presente trabajo es una contribución al estudio anatómico y de propiedades físico-mecánicas de la madera. El material de estudio se obtuvo de tres árboles procedentes del Municipio de Nuevo Urecho, Michoacán, México. La descripción anatómica se basó en las recomendaciones de IAWA. Las propiedades físico-mecánicas se efectuaron de acuerdo a la norma D 143-94 de la ASTM. La madera de *Gmelina arborea* Roxb es color blanco rosado en albura y amarillo pálido en duramen, sin olor ni sabor, brillo alto, vetado suave a liso, textura de media a fina, hilo ligeramente entrecruzado a inclinado, porosidad difusa a semicircular con tílides, radios son escasos uniseriados, biseriados, triseriados y poliseriados con abundantes cristales aciculares, fibras septadas de longitud media y pared delgada, con cavidades intrusivas. La densidad es media y la contracción radial baja y contracción tangencial media, la dureza es baja. En compresión paralela a la fibra su Emax es bajo. El ELP, MOR y MOE es bajo, respectivamente, en flexión estática. Considerando los resultados antes mencionados, esta madera puede ser empleada para elementos no estructurales para interiores, molduras, muebles económicos y partes visibles, bastidores tapizados, cajas de empaque, embalajes y tarimas, palillos de fósforos y paletas, trastes, tablas de picar, cucharas. Pulpa para papel y tableros de fibras, aglomerados y contrachapados.

PALABRAS CLAVE: *Gmelina arborea* Roxb, madera de plantación, características anatómicas, propiedades físico-mecánicas.

ABSTRACT

Gmelina arborea Roxb has been introduced in warm temperate zones of Michoacán State of Mexico. This research paper is a contribution to the anatomical study and physical and mechanical properties of this wood species. The study material was obtained from three tree samples from Nuevo Urecho municipality of Michoacán state of Mexico. The anatomical description was based on IAWA recommendations. Physical and mechanical properties were determined according to the D 143-94 ASTM standards. *Gmelina arborea* Roxb wood is whitish pink colored in the sapwood and light yellowish in the heartwood, being odorless and tasteless with high brightness, soft to light design pattern, fine to medium texture, it presented lightly interlocked to sloped grain. The porosity was found to be diffuse to ring porous with tylosis, scarce uniseriate, biseriate, triseriate and multyseriate rays with needle like crystals. This wood species has septated of medium length thin walled fibres with intrusive cavities. The wood presented a medium density, low radial contraction, a medium tangential contraction and low hardness. The wood presented a low E max in parallel compression. The SPL, MOR and MOE in bending strength were low respectively. Considering the above results the wood of *Gmelina arborea* Roxb can be used for non-structural interior wood, sidings, visible parts of inexpensive furniture, furniture crafts, packing boxes and cases, pallets, matches and pop sticks, chopping tables, spoons, wooden bowls as well as pulp and paper, fiber board, chipboard and laminated veneer.

Key Words: *Gmelina arborea* Roxb, plantation wood, anatomical characteristics, physical and mechanical wood properties.

1. INTRODUCCIÓN

La familia Verbenaceae, contiene unos 100 géneros y alrededor de 3,000 especies, principalmente en regiones tropicales, subtropicales y templadas del hemisferio austral (Troncoso, 1979).

Entre los géneros de importancia en la industria maderera de esta familia, se incluyen; *Tectona*, *Gmelina* y *Citharexylum*. *Gmelina arborea* (melina), es una especie forestal de gran importancia económica para diferentes propósitos y que se está estudiando ampliamente a nivel mundial. Su velocidad de crecimiento, su diversidad de usos y su fácil adaptación a las diversas condiciones ecológicas, han hecho que la incluyan en la mayoría de los programas de plantaciones forestales tropicales a nivel mundial (Downs, 2003).

La melina fue introducida a México en 1971, al Campo Experimental “Ing. Eduardo Sangri Serrano” también llamado “El Tormento” del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Escárcega, Campeche, a partir de semilla procedente de poblaciones naturales de India y de plantaciones de Sierra Leona, Nigeria, Sudáfrica y también de casas comerciales de Holanda (Patiño *et al.*, 1982). Países como Brasil, Colombia, Costa Rica y Nicaragua cuentan con plantaciones para el abastecimiento de las grandes industrias papeleras y de tableros.

Debido a la sobre explotación de especies preciosas, cuyas existencias se han reducido, ahora se tiene un considerable número de especies maderable tropicales corrientes que a pesar de estar bien representadas en términos de densidad, trabajabilidad y resistencia, es necesario promocionarlas con base en el conocimiento de sus características tecnológicas. De lo contrario estas maderas seguirán desaprovechándose y considerándose sin valor e inservibles y en el mejor de los casos usadas como leña (Tamarit y López, 2007).

Se realizó el estudio tecnológico de *Gmelina arborea* Roxb (creciendo en Michoacán) con miras a darle el mejor aprovechamiento y como una aportación al conocimiento científico, el cual comprende: caracterización macroscópica y microscópica, determinación de propiedades físico- mecánicas, así como la determinación de los índices de calidad de pulpa. En este estudio, se encontrará una descripción general de la especie, estructura

anat3mica macrosc3pica y microsc3pica, propiedades f3sicas como densidad, contracci3n e hinchamiento; y propiedades mec3nicas como dureza Janka, flexi3n est3tica, compresi3n paralela y perpendicular a la fibra, tensi3n perpendicular a la fibra, resistencias a rajaduras, as3 como resistencia a la extracci3n de clavos.

Finalmente se proponen usos en donde se aproveche de la mejor manera las cualidades naturales de la especie estudiada, tomando en cuenta la informaci3n tecnol3gica.

2. ANTECEDENTES

Sobre anatomía macroscópica y microscópica de la madera de *Gmelina arborea* Roxb, se encontró la siguiente información:

Richter y Dallwitz (2000) menciona que los límites de las zonas de crecimiento son distintos o indistintos o ausentes. Que el duramen es de color café amarillo a blanco o gris. Con un peso específico entre 0.4–0.6 g/cm³.

La madera presenta una porosidad semianular o difusa, los vasos están agrupados generalmente en grupos radiales cortos (de 2–3 vasos), el diámetro tangencial de los vasos presenta un rango de 130–240 μm , el número de vasos/mm² es 3–6 (–12). Las placas de perforación de los elementos de vaso son simples y foraminadas, además presentan tílides de paredes finas. Fibras exclusivamente septadas distribuidas uniformemente, con punteaduras simples o con aréolas minúsculas. El parénquima axial es; paratraqueal vasicéntrico, o aliforme en forma de rombo. El número de radios por mm es de 5–13, de tipo multiseriados de 2-5 células de ancho. Radios homogéneos y heterogéneos. Presenta cristales en forma de aguja, localizados en células de los radios.

León (2005) menciona que la madera de *Gmelina arborea* Roxb es de color amarillo pálido, sin transición entre albura y duramen. Anillos de crecimiento definidos por parénquima marginal, algunas veces combinado con aumento de grosor y/o reducción del diámetro radial de las paredes de las fibras. Porosidad difusa a semicircular, arreglo de poros solitarios y múltiples radiales de 2 - 3, algunos arracimados y múltiples tangenciales, de 4-6 poros por mm², los elementos de vaso con perforación simples, y algunas foraminadas, punteaduras intervasculares areoladas alternas, punteaduras radiovasculares con areola reducida o aparentemente simples, de forma redondeada. El parénquima es; paratraqueal vasicéntrico, aliforme de ala corta, confluyente y marginal. Radios homocelulares de células procumbentes y heterocelulares. Presenta tílides en los poros, y cristales aciculares en los radios. Presenta fibras septadas, con cavidades intrusivas y algunas ramificadas en los extremos.

Zeledón (2004) menciona que se realizó un análisis con microscopio electrónico de barrido de la estructura anatómica de melina (*Gmelina arborea* Roxb) para relacionarlo con las propiedades de secado y biodeterioro de la especie. Se encontró que la madera de melina presenta gran cantidad de tílides y depósitos gomosos en la mayoría de los vasos. Todas las placas de perforación encontradas fueron simples.

Arévalo y Londoño (2005) menciona que el albura es de color gris pálido, transición gradual al duramen de color amarillo pálido, tomando un matiz rosado con el tiempo, lustre alto, moderadamente blanda y liviana (densidad seca al aire 0.50 g/cm³), olor y sabor no distintivos, grano recto a entrecruzado, textura mediana. Anillos de crecimiento, poros, parénquima y radios visibles a simple vista.

Benítez y Montesinos (1988) mencionan que no hay diferencia de color entre albura y duramen al igual que Blanco y col., (2005), Silva y col., (2010), Richter y Dallwitz (2000), la madera es color blanco amarillento, no presenta olor ni sabor característico, hilo inclinado entrecruzado, textura mediana, brillo de mediano a alto, veteado liso.

Blanco y col., (2005) reporta que en condición seca al aire, la madera es de color café amarillento. El hilo es levemente entrecruzado, la textura es mediana y homogénea y el lustre regular. Los poros son ligeramente visibles a simple vista; redondos en ocasiones ovalados, solitarios en su mayoría, múltiples radiales de 2 a 3 poros, se encuentran de manera difusa, en hileras oblicuas y en ocasiones en hileras tangenciales. El parénquima es de tipo paratraqueal vasicéntrico y apotraqueal difuso. Los radios son; uniseriados, biseriados y multiseriados, de tipo heterogéneo. Las fibras son de tamaño mediano y de tipo fusiformes.

Moya y Leandro (2010) menciona que el duramen es de color pálido y la albura de color blanco, veteado poco definido, textura media a fina, brillo moderado a brillante, hilo recto, pero en ocasiones entrecruzado. Densidad seca al aire es de 0.51 g/cm³. Anillos de crecimiento definidos por bandas marginales de parénquima y paredes celulares más gruesas en las fibras. Los vasos son de tamaño medio, poros solitarios y algunos múltiples radiales de 2 a 3 células en sentido radial, porosidad difusa y presencia de tílides en los vasos, parénquima paratraqueal vasicéntrico, y en bandas aparentemente marginal. Las

fibras fusiformes con septos de 1 a 3, con punteaduras de tipo areoladas. Presencia de cristales prismáticos de mediana abundancia.

Tamarit y López (2007) reporta que la madera es de poco contraste entre albura y duramen predominando el color crema y amarillo pálido, con brillo alto, y aceitosa al tacto, con textura semigruesa y resalta la presencia de tílides y cristales aciculares. Clasifica las fibras de longitud media (800 - 1300 μm), y de diámetro medio (24 - 28 μm). Menciona que la madera es muy variable en su estructura, presentando las fibras 600 μm de longitud en el centro del árbol (1 año) y 1200 μm (3 años).

Información sobre las características físicas y mecánicas de la madera de *Gmelina arborea* Roxb está la siguiente:

Arévalo y Londoño (2005) reportan una densidad verde de 0.82 g/cm^3 , anhidra de 0.44 g/cm^3 y básica de 0.40 g/cm^3 , y contracción radial de 2.8 %, tangencial de 4.1 %, volumétrica de 7.1 % y relación CT/CR de 1.5 %. También menciona en flexión estática (esfuerzo al límite de proporcionalidad de 231 kg/cm^2 , módulo de ruptura de 477 kg/cm^2 y módulo de elasticidad de 65000 kg/cm^2), y en compresión paralela con esfuerzo máximo de 176 kg/cm^2 , y en compresión perpendicular (resistencia al límite de proporcionalidad de 41 kg/cm^2), y dureza transversal de 328 kg y dureza lateral de 298 kg.

Benítez y Montesinos (1988) reporta una densidad específica de 0.41 g/cm^3 , contracción tangencial de 4.9%, contracción radial 2.4%, relación contracción tangencial/radial 2.04%, contracción volumétrica de 8.8%. Menciona que en flexión estática el (esfuerzo máximo fue de 609 kg/cm^2 , módulo de elasticidad de 56.34 x 10³ kg/cm^2), y dureza Janka lateral de 239 kg.

Blanco y col., (2005) reporta una densidad verde de 0.90 g/cm^3 , densidad seca de 0.37 g/cm^3 , y contracción volumétrica de 8.8%. Y en flexión estática (esfuerzo al límite de proporcional de 339 kg/cm^2 , módulo de ruptura de 492 kg/cm^2 , módulo de elasticidad de 72000 kg/cm^2), esfuerzo máximo en cortante paralelo (sentido radial de 64 kg/cm^2 y en sentido tangencial de 67 kg/cm^2), en compresión paralela al grano reporta resistencia máxima de 300 kg/cm^2 , con dureza en los extremos de 280 kg y dureza lateral de 226 kg.

Silva y col., (2010) reporta una densidad seca al aire de 0.42 - 0.64 g/cm³, sobre contracción radial de 2.4 – 3.6%, tangencial de 4.3 – 7.7% y hinchamiento radial de 0.14%, tangencial de 0.31%. Y sobre propiedades mecánicas (resistencia a compresión paralela de 25 – 39 N/mm², resistencia a flexión de 54 – 77 N/mm², módulo de elasticidad en flexión de 7000 – 10500 N/mm², y dureza Janka lateral de 1.7 – 3.2 KN, dureza Brinell lateral de 13 – 17 N/mm²).

Moya y Leandro (2010) menciona propiedades físicas como densidad; básica de 1.04 g/cm³, seca de 0.48 g/cm³, y anhidra de 0.45 g/cm³ y contracciones: radial de 2.76%, tangencial de 5.16%, volumétrica de 6.39% y relación Tg/r de 1.87%. Y en flexión estática (módulo de ruptura de 503 kg/cm², módulo de elasticidad de 83000 kg/cm²), esfuerzo máximo cortante paralelo a la fibra (radial de 68 kg/cm² y tangencial de 62 kg/cm²), esfuerzo máximo clavaje axial de 285 kg/cm² y dureza Janka lateral de 271 kg.

Respecto a información de secado, trabajabilidad, durabilidad y preservado está la siguiente:

González y Serrano (2004), Tamarit y López (2007) y Moya y Leandro (2010) reportan que la madera de melina tiene una velocidad de secado lento, y presenta una calidad media por la presencia de grietas y pandeos. En trabajabilidad y acabado mencionan que es fácil de aserrar y cortar, ya sean con sierras circulares o sierras cinta, es también fácil de cepillar con herramientas manuales o con máquinas, obteniéndose normalmente una superficie lisa y uniforme. Es fácil de moldurar, tallar, lijar, entintar, barnizar y pintar.

Arévalo y Londoño (2005) reportan que el duramen es durable y con alta resistencia a exposiciones de suelo húmedo y la albura se considera no durable y muy susceptible al ataque de hongos, termitas y carcoma. También reporta la albura es fácil de ser preservada mediante el sistema de vacío- presión, sin embargo, el duramen es impermeable.

Se cuenta con la descripción botánica, distribución geográfica, así como usos actuales de la especie en estudio, en la bibliografía siguiente:

Muñoz (1998) presenta la descripción taxonómica, distribución geográfica, descripción del árbol, zonas de vida y condiciones climáticas.

Niembro (1986) y Muñoz (1998) proporciona varias sinonimias de *Gmelina arborea* Roxb, y principales productos y usos.

CATIE (1986) menciona la descripción taxonómica, distribución, descripción de la especie y usos.

CONAFOR (s/f) menciona la descripción taxonómica, su importancia, descripción, usos y producción de la especie.

CONAFOR (s/f) menciona la distribución geográfica, otros nombres comunes, antecedentes y usos de la madera de *Gmelina arborea* Roxb.

Rojas y col., (2004) menciona la nomenclatura, ecología y silvicultura, descripción de la especie, sitios óptimos de desarrollo y usos recomendados.

3. GENERALIDADES DE LA ESPECIE

***Gmelina arborea* Roxb**

Familia: Verbenaceae

Sinonimia: *G. arborea* Linn.

Nombres comunes: melina, yemane, gamari, teca blanca, gemelina, gmelina, gumhar, kashmir tree, malay, beechwood, snapdragon, yemani (Birmania), so-maeo (Tailandia), kumhar, sewan, (Pakistán), shivani (India central), gamar (Bangladesh), Gumhar, Yemane (Birmania, Malasia).

Distribución y hábitat: *Gmelina arborea* se desarrolla en hábitats que varían desde húmedos hasta secos. Se encuentran en forma natural principalmente en las selvas mixtas de Birmania, asociado con *Tectona grandis*, *Terminalia tormentosa*, varias especies de latifoliadas y bambúes. Su máximo desarrollo lo alcanza en los bosques más húmedos de Birmania, sobre todo en los valles húmedos y fértiles, en estas condiciones puede crecer hasta los 1260 msnm de altitud. La melina es nativa de India, Bangladesh, Sri Lanka, Myanmar, Tailandia, Sur de china, Laos, Camboya y Sumatra en indonesia y es una importante fuente de madera en las regiones tropicales y subtropicales de Asia. La especie ha sido introducida en muchos países tropicales incluyendo Filipinas, Malasia, Brasil, Gambia, Costa Rica, Burkina Faso, Costa de Marfil, Nigeria y Malawi; también es común en Cuba, Colombia, Venezuela, Guatemala y en la zona tropical de México (Arévalo y Londoño, 2005).

En México esta especie se adapta fácilmente a las condiciones tropicales donde ha prosperado tanto en el trópico húmedo (en Campeche, Tabasco, Veracruz, Quintana Roo, Chiapas y Oaxaca), como en el trópico seco (en Nayarit, Colima, Guerrero y Yucatán), se ha desarrollado adecuadamente en condiciones diversas de suelo, temperatura y precipitación (Downs, 2003). Actualmente en la región de Apatzingán y Nueva Italia en Michoacán.

Descripción botánica: árbol de rápido crecimiento que alcanza hasta 30 metros de altura y presenta más de 80 cm de diámetro del fuste. Crece usualmente con un fuste limpio de 6 hasta 9 m, marcadamente cónico, por lo regular de 50-80 cm de diámetro, en ocasiones hasta de 143 cm, sin contrafuertes pero en ocasiones engrosado en la base. Presenta una copa amplia en sitios abiertos, pero en plantación su copa es densa y compacta. Corteza lisa o escamosa, de marrón pálida a grisácea. Hojas grandes, de 10-25 cm de largo y 5-18 cm de ancho, simples, opuestas, enteras, dentadas, usualmente más o menos acorazonadas, haz de color verde y glabra, por el envés verde pálido y aterciopelado. Inflorescencia en racimo o panícula cimosa terminal con numerosas flores amarillo anaranjadas, monoicas perfectas. Fruto tipo drupa, de forma ovoide u oblonga, carnoso, succulento, con pericarpo coriáceo y endocarpo óseo, de color verde lustroso, tornándose amarillo brillante al madurar (Arévalo y Londoño, 2005). El fruto suele al madurar presentar olor desagradable.

Usos potenciales

Producción de pulpa para papel, tableros: aglomerados y contrachapados; chapas decorativas, madera aserrada para construcción: rural y bajo techo; vigas sólidas y laminadas, columnas sólidas, pisos, molduras, puntales para minas, postes de cerca y electricidad debidamente tratados, puertas y ventanas, muebles de interiores económicos, armarios, muebles de sala, cocina, oficina, palillos fósforos, palillos para paleta y abatelenguas, lápices, embalajes y cajas económicas prefabricadas (solamente madera preservada), tarimas, esculturas, artesanías, ebanistería, yugos, instrumentos musicales, construcción de botes, cubierta de barcos, leña y carbón. Silva y Col., (2010), Arévalo y Londoño (2005), Carpio (2003), Benítez y Montesinos (1988), Niembro (1986).

Usos del árbol y sus partes

Árbol de sombra, y de las flores se extrae miel de excelente calidad, planta de ornato. Rojas y col., (2004) y Muñoz (1998).

4. OBJETIVOS

El objetivo general del presente trabajo fue realizar el estudio anatómico y de propiedades físico-mecánicas de la madera de melina (*Gmelina arborea* Roxb) y en base a ella proponer los usos.

Objetivos específicos:

- I. Describir las características anatómicas macroscópicas y microscópicas de la madera de *Gmelina arborea* Roxb.
- II. Determinación de los índices de calidad de pulpa.
- III. Determinar las propiedades físico-mecánicas de la madera de *Gmelina arborea* Roxb: densidad, contracción, coeficiente de hinchamiento, dureza Janka, compresión paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra, flexión estática, tensión perpendicular a la fibra, resistencia a rajaduras y resistencia a la extracción de clavos.
- IV. Proponer usos tomando en cuenta la información tecnológica.

5. MATERIAALES Y MÉTODOS

Datos del árbol estudiado: Los dos árboles seleccionados provinieron de una pequeña plantación de Melina y Teca que colinda con un huerto de higos. La altura promedio de los árboles fue de 10 m (de 8 - 12 m), con diámetro promedio de tronco de 30 cm y con una edad de 12 años y no presentaba contrafuertes (Figura 1).



Figura 1. Árbol, flor y fruto de *Gmelina arborea* Roxb

Localización: La plantación se localiza en el rancho “La Guadalupe”, municipio de Nuevo Urecho, Michoacán., entre los 19° 12' 38'' de latitud norte y los 101° 53' 07'' de longitud oeste. La altitud en el lugar es de 514 msnm, con clima: Aw (w), cálido subhúmedo con lluvias en verano. Suelo vertisol crómico, con una topografía del terreno plano, exposición zenital y pendiente de 3% (DETENAL, 1979).

El derribo de los dos árboles se realizó a 30 cm de altura del nivel del suelo, y se destinó la primera troza de 1.10 m para el estudio anatómico y las restantes de 1.30 m que se obtuvieron del árbol así como el total de seis trozas obtenidas de los dos árboles se destinaron para el estudio de pruebas físicas y mecánicas. Se elaboraron notas sobre los datos de recolección, tipo de vegetación, altura del árbol, altura de fuste limpio, diámetro a la altura del pecho, tipo de suelo, clima, altura sobre el nivel del mar y ubicación, además se tomaron fotografías que respaldarán la información. Se recolectaron muestras de herbario completas para su posterior identificación, así como valiosas fotografías de las partes del árbol.

Se trató de seguir fielmente la metodología recomendada por Ramos Álvarez y Días Gómez (1981), para toma de muestras para estudios tecnológicos, pero debido a lo ramificado de los árboles y lo corto del fuste limpio (no más de 4 m), no fue posible y se procedió a adaptarla según criterio de los asesores (Figura 2).

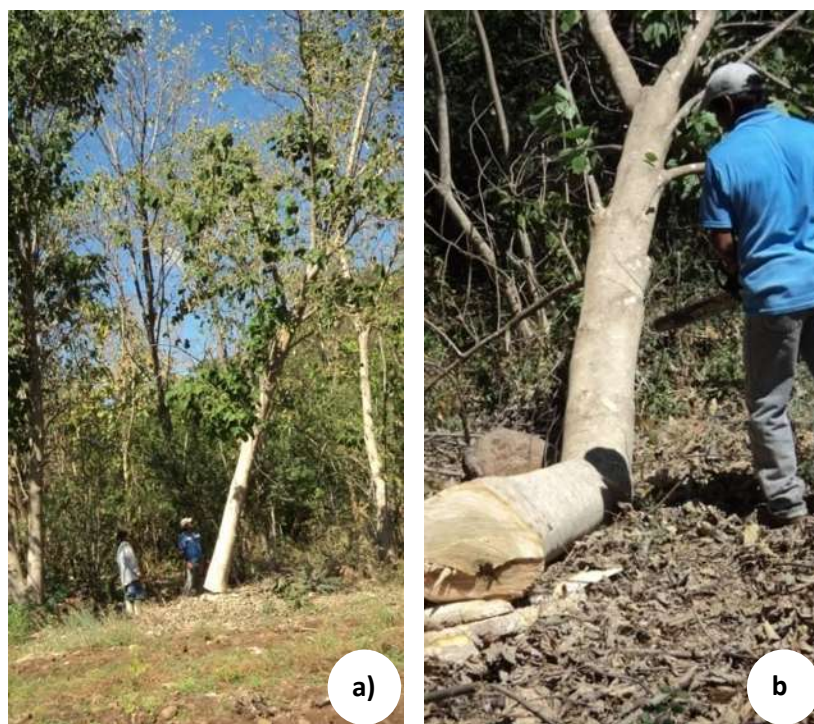


Figura 2. a) Derribo del árbol; b) Corte de trozas de *Gmelina arborea* Roxb

5.1. Obtención del material para el estudio anatómico

Del árbol mejor conformado y a partir de la base del fuste se obtuvo una troza de 1.10 m de longitud para el estudio anatómico, del extremo superior se cortaron dos rodajas de 5 cm de espesor, una para obtención de cubos de 2 x 2 cm para el estudio anatómico microscópico y la otra rodaja para descripción (Figura 3). El resto de la troza se destinó para obtención de tablillas de 1.5 x 7 x 15 cm con cortes transversal (X), tangencial (Tg) y radial (R), para de ellas determinar la descripción macroscópica de la especie. A partir de tablillas secas al 12% de C.H y con una balanza digital y vernier digital se determinaron las dimensiones de las tablillas y se pesaron para determinar la densidad anhidra con la fórmula correspondiente.



Figura 3. a) Corte de rodajas; b) Rodajas de *Gmelina arborea* Roxb

5.2. Descripción anatómica de la madera

Descripción de la rodaja. Para describir la rodaja se tomó en cuenta la información siguiente: forma, diferencia de coloración entre la albura y duramen, tipo y color de la corteza, diámetro promedio, posición de la médula.

Descripción macroscópica de la madera. A partir de las tablillas se describieron las características organolépticas; color de albura y duramen (usando la tabla Munsell, 1975), olor, sabor, textura, hilo, veteado, diseño y brillo. A partir de tablillas con corte transversal y con una lente de 10 aumentos (10x), se procedió a determinar las características macroscópicas siguientes: zonación, visibilidad de los poros, porosidad, arreglo de poros, parénquima leñoso, visibilidad de radios, estratificación y cuantificación de porcentaje de elementos constitutivos.

Descripción microscópica de la madera. Para la descripción microscópica se realizaron preparaciones fijas y material disociado a partir de cubos (2 x 2 x 2 cm), obtenidos de la rodaja destinada para este fin (localizada a 1.30 m a partir del suelo). Los cubos presentaban caras X, Tg y R, y de madera sin tensión, por lo que estos se obtuvieron de la parte intermedia de la troza (no deben ser de albura ni de madera próxima a la médula). Los cubos se sometieron a un proceso de ablandamiento por medio de ebullición a presión atmosférica durante 80 horas (Figura 4).



Figura 4. Obtención de cubos de *Gmelina arborea* Roxb

Preparación de muestras histológicas. Las preparaciones fijas con cortes típicos (X, Tg y R) se obtuvieron a partir de los cubos ablandados, con un micrótopo de deslizamiento marca Leitz, el grosor varió de 20 a 30 μm (Figura 4a). Los cortes obtenidos se blanquearon con cuatro partes de agua y una quinta parte de hipoclorito de sodio por un lapso de 10 minutos (el blanqueo se realizó para eliminar el color natural así como extraíbles y lograr una mejor fijación del tinte). Posteriormente se lavaron los cortes cuatro veces con agua destilada para eliminar el residuo de blanqueador y se tiñeron con Verde yodo por 12 horas. Una vez teñidos estos, se escurrió el tinte y se lavaron con alcohol al 60% de 3-5 veces hasta eliminar los residuos de colorante. Se prosiguió a la deshidratación en alcoholes de concentración gradual: alcohol al 70% (1hora), alcohol al 80% (1hora), alcohol 96% (1 hora), alcohol absoluto (5 minutos) y se aclararon con xilol (1 minuto). Finalmente se montaron los cortes en un portaobjetos acomodándolos de izquierda a derecha; radial, transversal y tangencial y se cubrieron con resina sintética y un

cubreobjetos, para formar las preparaciones fijas. Se dejaron secar al ambiente durante 15 días, para finalmente rasparlas y limpiarlas con papel absorbente y alcohol y etiquetarlas (Figura 5b).

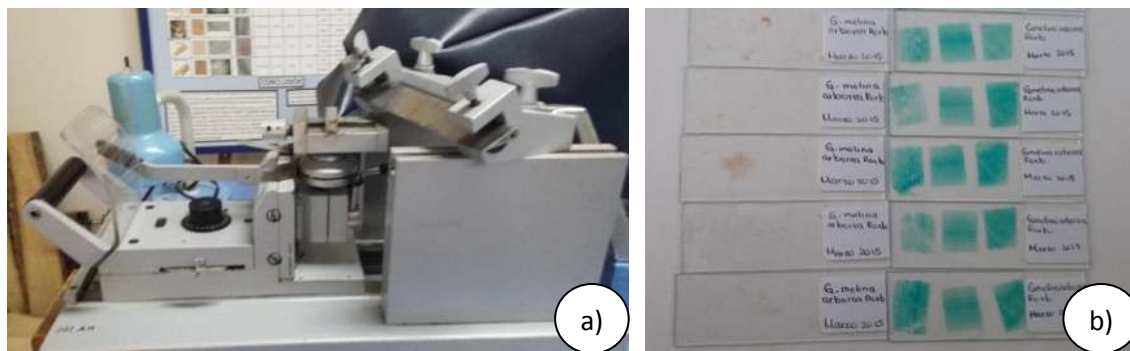


Figura 5. a) Micrótopmo de deslizamiento; b) Preparaciones fijas y de material disociado

Preparación de material disociado. Para la obtención de material disociado, se obtuvieron pequeñas virutas de la cara radial de dos cubos previamente ablandados. Estas virutas se colocaron en un tubo de ensaye para cubrirlas con una mezcla disociadora formada por; glicerina, ácido acético glacial, ácido láctico y ácido nítrico a partes iguales, se tapó con papel aluminio y se dejó reposar durante 48 horas. Después se pasó a baño maría en ebullición durante 15 minutos (se cuentan los minutos a partir de emisión de gases color marrón) (Figura 5a), después se agitó con una varilla de vidrio para observar si ya estaba disociado, se llenó el tubo de ensaye con agua destilada y se colocó un tamiz de naylon para eliminar el disociador (se lavó con agua destilada cuatro veces y se escurrió), posteriormente se tiño con pardo de Bismark por 15 minutos, a continuación se lava de 3-6 veces con alcohol al 60% (hasta que salga cristalino el alcohol), después se coloca en una caja de Petri con alcohol al 70%, con un pincel de pelo fino se toman las células y se dispersan en un portaobjetos para posterior deshidratación a temperatura ambiente (si no se logra en ocho días la deshidratación de las células, se procede a ponerlas en el horno de microondas un minuto a potencia media), se dejan enfriar y se les colocan unas gotas de xilol para aclarar las células y posteriormente se montan con resina y un cubreobjetos. Se dejan secar a temperatura ambiente por 15 días y se procede a eliminar la resina sobrante con una navaja de doble filo, se limpian con papel absorbente y alcohol diluido y se etiquetan (Figura 6b).

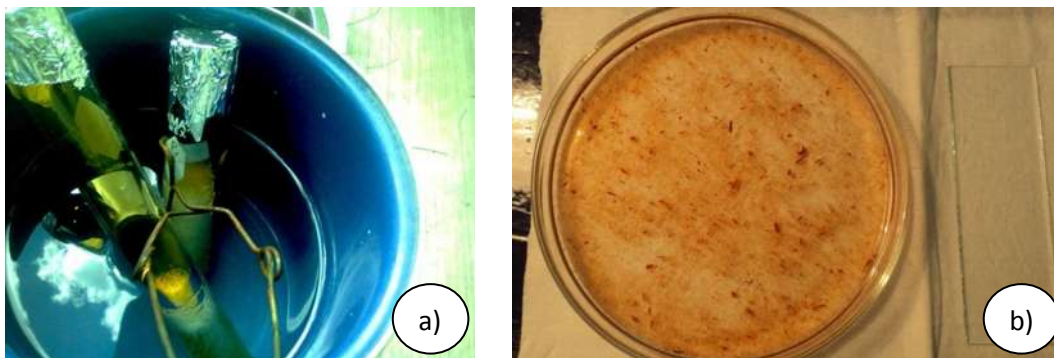


Figura 6. a) Disociado en baño maría; b) Caja Petri con disociado

Determinación de abundancia y tamaño de los elementos estructurales. Se utilizó un microscópio óptico marca Iroscope, con ocular micrométrico. Se realizaron 100 mediciones de cada uno de los elementos mensurables: diámetro tangencial de poros, poros/mm², longitud de elementos de vaso, diámetro vertical de punteaduras intervasculares, alto y ancho de radios, radios/mm, longitud, ancho y grosor de pared de fibras. De las mediciones obtenidas se determinó valor promedio, mínimo, máximo. Con base al valor promedio se procedió a la clasificación de los elementos mensurables, y dentro de un paréntesis se anotó el valor mínimo y máximo después del promedio, tomando como referencia los parámetros de clasificación reportados por IAWA (1989) y Tortorelli (1956).

Los índices de calidad de pulpa se determinaron con los datos promedio de longitud de fibra, diámetro de fibra, diámetro de lumen, grueso de pared y se aplicaron las fórmulas correspondientes, posteriormente se clasificaron según lo reportado por Petroff 1968, Porres (1979) *fide* Fuentes y Larios, (1979) *fide* Tamarit, (1996).

Coeficiente o índice de rigidez:

$$C. R. = \frac{2w}{D}$$

Coeficiente de flexibilidad:

$$C. F. = \frac{I}{D}$$

Coeficiente de Peteri o índices de esbeltez:

$$I. E. = \frac{L}{D}$$

Relación Runkel:

$$R. R. = \frac{2w}{I}$$

Dónde:

D = diámetro de fibra

L = longitud de fibra

I = diámetro de lumen

2w = grosor de las paredes de las fibras

5.3. Obtención de material para pruebas físicas y mecánicas

Aserrado y predimensionado de trozas

Las trozas se aserraron en cruceta (Figura 6), para obtener tablones de los cuales por reaserrado se sacaron listones de 6.35 cm x 6.35 cm x 1.30 m con caras representativas y el sobrante se utilizó para obtención de tiras de 2 cm x 2 cm x 1.30 m, para sacar probetas destinadas a contracción longitudinal, compresión paralela a la fibra y flexión estática (ver Figura 7).

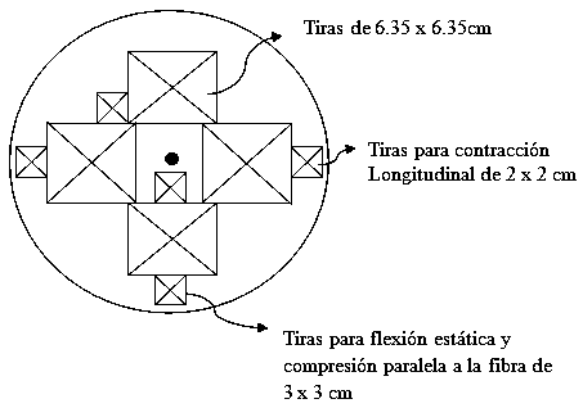


Figura 7. Obtención de probetas para pruebas físico- mecánicas

Preparación y acondicionamiento de probetas para ensayos mecánicos

La madera se acondicionamiento al aire libre hasta lograr el 12% de contenido de humedad requerido por la norma empleada. Las piezas, una vez secadas fueron, cepilladas a las dimensiones requeridas para cada uno de los ensayos como lo especifica la norma ASTM D143. Las probetas para cada ensayo no se obtuvieron de una misma tira, sino de una tira se sacaba una probeta y después se tomaba otra tira y se sacaba otra probeta, así sucesivamente para lograr probetas representativas de la población.

5.4. Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera

Propiedades físicas

Contracción e hinchamiento. De la troza uno se obtuvieron dos tiras que se destinaron para contracción radial y tangencial y de las tiras delgadas de 2 cm x 2 cm x 1.30 m se obtuvieron las probetas para contracción longitudinal. Para determinar las contracciones longitudinales se utilizaron 23 probetas de dimensiones 1.7 x 1.7 x 10 cm y para contracción radial y tangencial se emplearon 20 probetas de 6.3 x 6.3 x 2.1 cm, se midieron (con un vernier digital de precisión 0.01 mm), y con estos datos se determinó la contracción anisotrópica de la madera de estado verde a estado seco al aire libre. Posteriormente se pasaron a un horno de secado a una temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$, hasta obtener pesos constantes, para determinar la contracción total de la madera, de verde a su estado anhidro.

Para la determinación de contracciones totales se emplearon las siguientes fórmulas:

$$\beta_r = \frac{D_{vr} - D_{or}}{D_{vr}} \times 100 \quad \beta_{tg} = \frac{D_{vtg} - D_{otg}}{D_{vtg}} \times 100 \quad \beta_v = \frac{V_v - V_o}{V_v} \times 100$$

Dónde:

β_r = contracción radial (%)

D_{vr} = dimensión verde en sentido radial (cm)

D_{or} = dimensión anhidra en sentido radial (cm)

β_{tg} = contracción tangencial (%)

D_{vtg} = dimensión verde en sentido tangencial (cm)

Dotg = dimensión anhidra en sentido tangencial (cm)

β_v = contracción volumétrica (%)

V_v = volumen verde (cm³)

V_o = volumen anhidro (cm³)

Para **hinchamiento** se utilizaron las mismas probetas de contracción longitudinal, radial y tangencial. Como se encontraban en estado anhidro se sumergieron en un recipiente con agua hasta su saturación completa al cabo de un mes, se sacaron del agua y quitando el exceso de agua con papel adsorbente, de las mismas se tomaron las dimensiones saturadas; radiales, tangenciales y longitudinales.

Posteriormente se procedió a determinar el coeficiente de hinchamiento en los tres sentidos Tg, R y L. utilizando las siguientes fórmulas:

$$\alpha_r = \frac{D_{vr} - D_{or}}{D_{or}} \times 100 \quad \alpha_{tg} = \frac{D_{vtg} - D_{otg}}{D_{otg}} \times 100 \quad \alpha_{vol} = \frac{V_v - V_o}{V_o} \times 100$$

Dónde:

α_r = hinchamiento radial (%)

D_{vr} = dimensión verde en sentido radial (cm)

D_{or} = dimensión anhidra en sentido radial (cm)

α_{tg} = hinchamiento tangencial (%)

D_{vtg} = dimensión verde en sentido tangencial (cm)

D_{otg} = dimensión anhidra en sentido tangencial (cm)

α_{vol} = hinchamiento volumétrico (%)

V_v = volumen verde (cm³)

V_o = volumen anhidro (cm³)

Densidad. La densidad se determinó con las mismas probetas de contracción. Se midieron las probetas y se pesaron para enseguida pasarse al horno de secado hasta obtener un peso constante y poder determinar la densidad verde, densidad básica y densidad anhidra.

Para la determinación de densidades se emplearon las siguientes fórmulas:

$$\delta_v = \frac{P_v}{V_v} \qquad \delta_o = \frac{P_o}{V_o} \qquad \delta_b = \frac{P_o}{V_v}$$

Dónde:

δ_v = densidad verde (gr/cm³)

P_v = Peso verde (gr)

V_v = volumen verde (cm³)

δ_o = densidad anhidra (gr/cm³)

P_o = Peso anhidro (gr)

V_o = volumen anhidro (cm³)

δ_b = densidad básica (gr/cm³)

Determinación de las propiedades mecánicas. Para la determinación de las propiedades mecánicas se procedió también según la norma D143-94 de la AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS 2000 (ASTM), los ensayos se llevaron a cabo en una máquina universal de pruebas mecánicas de 10,000 kg de capacidad. De esta manera se determinó:

Dureza Janka. Para los ensayos de dureza Janka se emplearon 20 probetas con dimensiones 50 X 50 X 150 mm. La carga se aplicó sobre las caras transversales y caras longitudinales (radiales y tangenciales) (Figura 8a), realizando así una penetración en cada cara (Figura 8b).

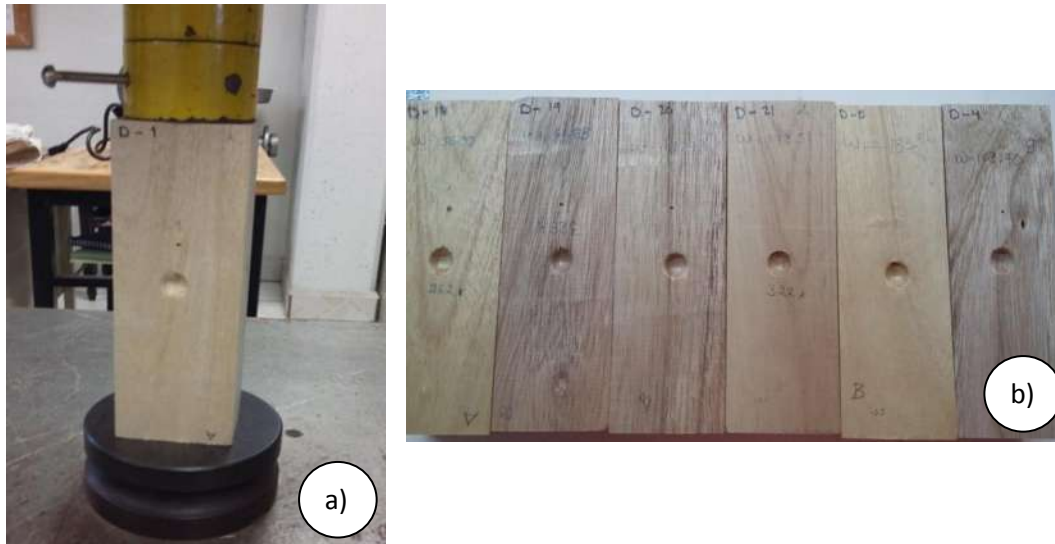


Figura 8. a) Ensayo de dureza Janka; b) Probetas ensayadas

Flexión estática. Se utilizaron 22 probetas de 25 X 25 X 410 mm. La carga se aplicó sobre la cara radial de la probeta; se determinó el esfuerzo al límite de proporcionalidad (SLP), esfuerzo máximo (Smax), y módulo de elasticidad (MOE) (Figura 9).

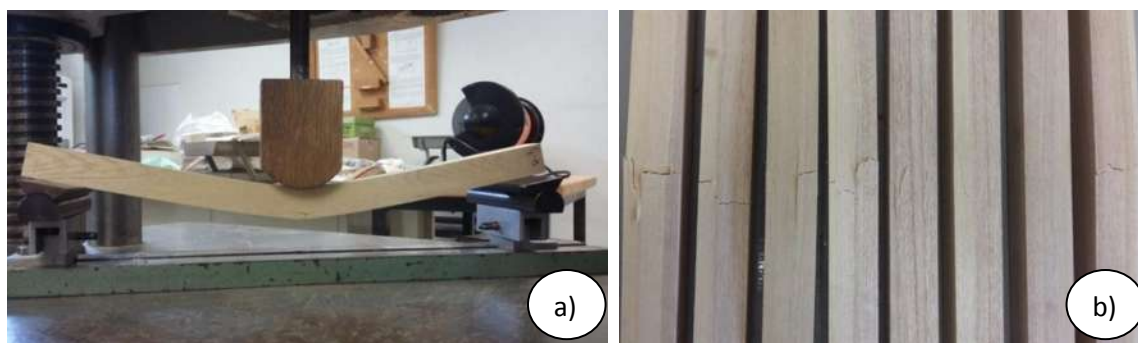


Figura 9. a) Ensayo de flexión estática; b) Probetas ensayadas

El cálculo de esfuerzo al límite de proporcionalidad (SLP), esfuerzo máximo (Smax), y módulo de elasticidad (MOE), se determinó con las siguientes fórmulas:

$$S_{LP} = \frac{3P_{LP} L}{2bh^2} \quad S_{max} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad MOE = \frac{P_{LP} L^3}{4e_{LP}bh^3}$$

Dónde:

s_{LP} = esfuerzo al limite de proporcionalidad ($\frac{kg}{cm^2}$)

P_{LP} = Carga al limite de proporcionalidad (kg)

L = claro entre apoyos (cm)

S_{max} = esfuerzo máximo ($\frac{kg}{cm^2}$)

P = carga máxima (kg)

b = ancho de la probeta (cm)

h = peralte (cm)

MOE = módulo de elasticidad ($\frac{kg}{cm^2}$)

e_{LP} = deformación al limite de proporcionalidad (cm)

Compresión paralela a la fibra. Para este ensayo se utilizaron 20 probetas con dimensiones de 25 X 25 X 100 mm; determinando con esto el esfuerzo al límite de proporcionalidad (SLP), esfuerzo máximo (Smax), y módulo de elasticidad (MOE) (Figura 10).



Figura 10. a) Ensayo de compresión paralela a la fibra; b) Probeta ensayada

Para la determinación del esfuerzo al límite de proporcionalidad (ELP), esfuerzo máximo (S_{max}), y módulo de elasticidad (MOE), se emplearon las siguientes fórmulas:

$$S_{LP} = \frac{P_{LP}}{A} \quad S_{max} = \frac{P}{A} \quad MOE = \frac{P_{LP} L}{e_{LP}}$$

Dónde:

S_{LP} = esfuerzo al limite de proporcionalidad ($\frac{kg}{cm^2}$)

P_{LP} =

Carga al limite de proporcionalidad (kg)

A = área resistiva (cm²)

S_{max} = esfuerzo máximo ($\frac{kg}{cm^2}$)

P = carga máxima (kg)

MOE = módulo de elasticidad ($\frac{kg}{cm^2}$)

e_{LP} = deformación al límite de proporcionalidad

L = Longitud(cm)

Compresión perpendicular a la fibra. Se emplearon 42 probetas de 50 X 50 X 150 mm (21 radiales y 21 tangenciales); la carga se aplicó sobre la cara radial y tangencial. Se determinó el esfuerzo al límite de proporcionalidad (SLP) para compresión perpendicular (Figura 11).



Figura 11. a) Ensayo de compresión perpendicular a la fibra; b) Probetas ensayadas

Para la determinación del esfuerzo al límite de proporcionalidad (SLP), se empleó la siguiente fórmula:

$$S_{LP} = \frac{P_{LP}}{A}$$

Dónde:

s_{LP} = esfuerzo al limite de proporcionalidad ($\frac{kg}{cm^2}$)

P_{LP} = carga al limite de proporcionalidad (kg)

A = área resistiva (cm^2)

Tensión perpendicular a la fibra. Se utilizaron 44 probetas de 50 X 50 X 63 mm (22 radiales y 22 tangenciales), calculándose el esfuerzo máximo (S_{max}) (Figura 12).

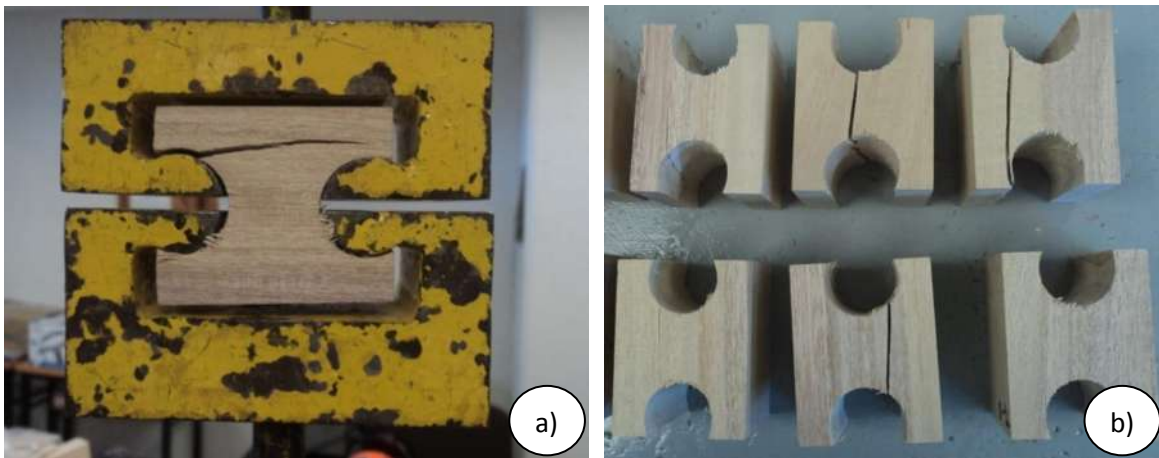


Figura 12. a) Ensayo de tensión perpendicular a la fibra; b) Probetas ensayadas

Para la determinación del esfuerzo máximo en cara radial ($S_{max\ r}$) y Esfuerzo máximo en cara tangencial ($S_{max\ Tg}$), se emplearon las fórmulas siguientes:

$$S_{max\ r} = \frac{P_{max\ r}}{A_r} \quad S_{max\ tg} = \frac{P_{max\ Tg}}{A_{tg}}$$

Dónde:

$S_{max\ r}$ = esfuerzo máximo en cara radial ($\frac{kg}{cm^2}$)

$P_{max\ r}$ = carga máxima en cara radial (kg)

A_r = área resistiva radial (cm^2)

$S_{max\ Tg}$ = esfuerzo máximo en cara tangencial ($\frac{kg}{cm^2}$)

$P_{max\ Tg}$ = carga máxima en cara tangencial (kg)

A_{tg} = área resistiva tangencial (cm^2)

Resistencia a rajaduras. Se emplearon 40 probetas (20 radiales y 20 tangenciales); se determinó el esfuerzo máximo (S_{max}) (Figura 13).

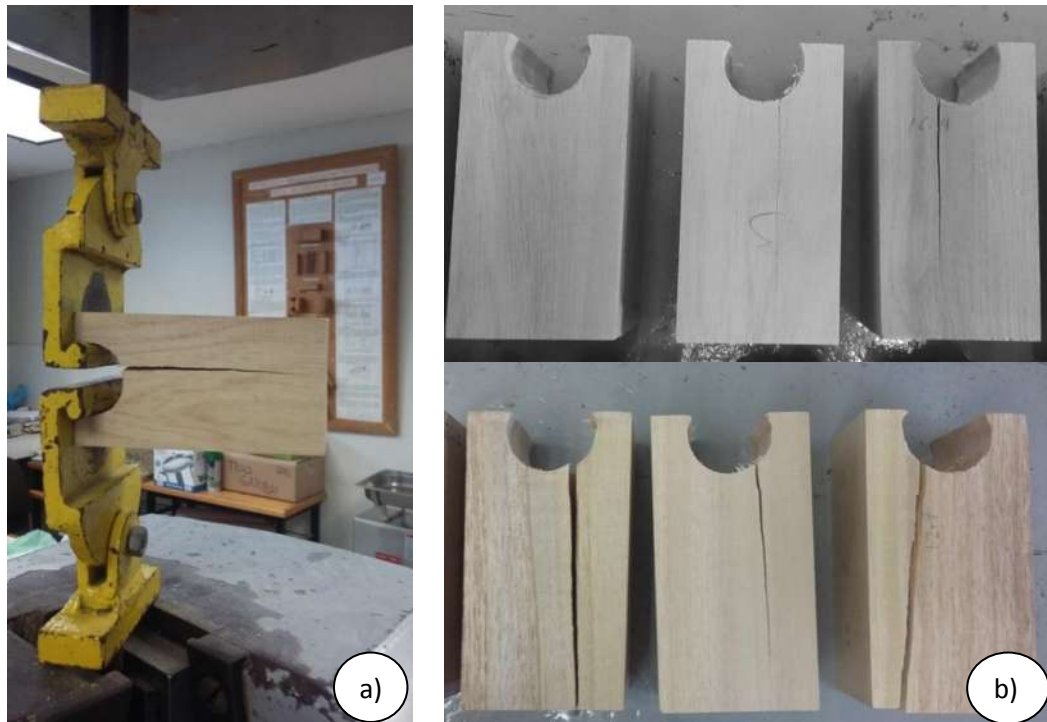


Figura 13. a) Ensayo de resistencia a rajaduras; b) Probetas ensayadas

Para la determinación del esfuerzo máximo en cara radial ($S_{max R}$) y esfuerzo máximo en cara tangencial ($S_{max Tg}$), se emplearon las fórmulas siguientes:

$$S_{max r} = \frac{P_{max r}}{A_r} \quad S_{max Tg} = \frac{P_{max tg}}{A_{tg}}$$

Dónde:

$S_{max r}$ = esfuerzo máximo en cara radial ($\frac{kg}{cm^2}$)

$P_{max r}$ = carga máxima en cara radial (kg)

A_r = área resistiva en cara radial (cm^2)

$S_{max Tg}$ = esfuerzo máximo en cara tangencial ($\frac{kg}{cm^2}$)

$P_{max Tg}$ = carga máxima en cara tangencial (kg)

A_{tg} = área resistiva en cara tangencial (cm^2)

Extracción de clavos. Para este ensayo se utilizaron 20 probetas de dimensión de 50 X 50 X 150 mm; determinando con esto la resistencia máxima en cada cara de la probeta (Figura 14).



Figura 14. a) Ensayo de extracción de clavos; b) Probetas ensayadas

5.5. Asignación de usos de la madera de *Gmelina arborea* Roxb

Por comparación de resultados obtenidos en el presente trabajo con los reportados por otros autores, se propondrán usos para esta madera.

Se usó como base la guía para el uso de maderas de Belice y México (Echenique y Plumtre, 1994) pero dado que las tablas de usos sugeridos no es muy amplia, se recurrió a complementar los usos en base al análisis de los resultados obtenidos en el presente trabajo así como alguna otra información relevante encontrada en la bibliografía.

6. RESULTADOS

Descripción de la rodaja: La rodaja es de contorno circular irregular, con un diámetro de 29.5 - 30.4 cm, anillos de crecimiento poco notorios, forma de la médula elíptica cuadrangular, ligeramente excéntrica y presenta un diámetro aproximado de 0.7 cm, duramen castaño claro verdoso de 9 a 11 cm de grosor y albura color gris pálido de 4 a 4.5 cm de grosor (Figura 15a). La corteza externa es semi lisa de color castaño claro grisáceo de 1 a 1.2 cm de grosor, la corteza interna de 1.5 a 2 mm de grosor de color café oscuro (Figura 15b).



Figura 15. *Gmelina arborea* Roxb. a) Rodaja; b) Corteza

Características organolépticas: en algunos árboles no se aprecia con claridad diferencia de color entre albura y duramen (Figura 16a). La albura tiene un color blanco rosado (HUE 5YR 8/4) y el duramen es amarillo pálido (HUE 2.5 8/4). El olor y sabor no se perciben, la textura es fina tendiendo a media, el veteado es de suave a liso, el hilo en cara radial es ligeramente entrecruzado y ondulado, y en cara tangencial es de inclinado a ligeramente ondulado, presenta diseño elíptico poco notorio en cara tangencial y en cara radial ligeramente espigado. Presenta brillo alto y densidad de 500 kg/m³ considerándose media (según Lincoln, 2006), (Figura 16).

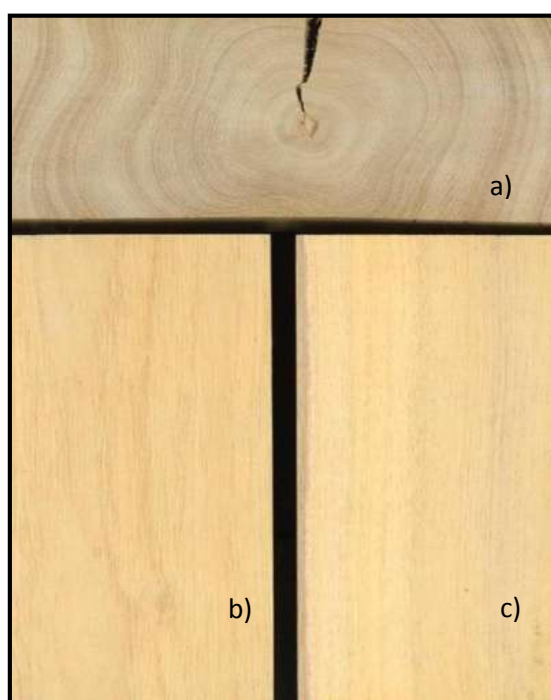


Figura 16. Tablillas de *Gmelina arborea* Roxb; a) Corte transversal; b) Corte tangencial; c) Corte radial

6.1. Descripción macroscópica y microscópica

La melina presenta ligera zonación, debido a una franja de fibras de pared un poco más gruesas, visible a simple vista, presenta porosidad difusa heterogénea con tendencia a semicircular. Los **poros** apenas visibles a simple vista, son de contorno elíptico a ovoide o circular y algunos presentan tílides; los poros se presentan de 5.7 poros /mm² en promedio (mín 2 – máx 20), el diámetro tangencial de poros es de 120.7 µm (40.4 – 202 µm). Se aprecia un arreglo de poros; solitarios, múltiples radiales de 2, 3, 4, múltiples en diagonal de 2, y agrupados de 3 y 5. El **parénquima leñoso** apenas visible a simple vista, es de tipo paratraqueal vasicéntrico, paratraqueal aliforme confluyente y paratraqueal unilateral (delgado) (Figura 17).

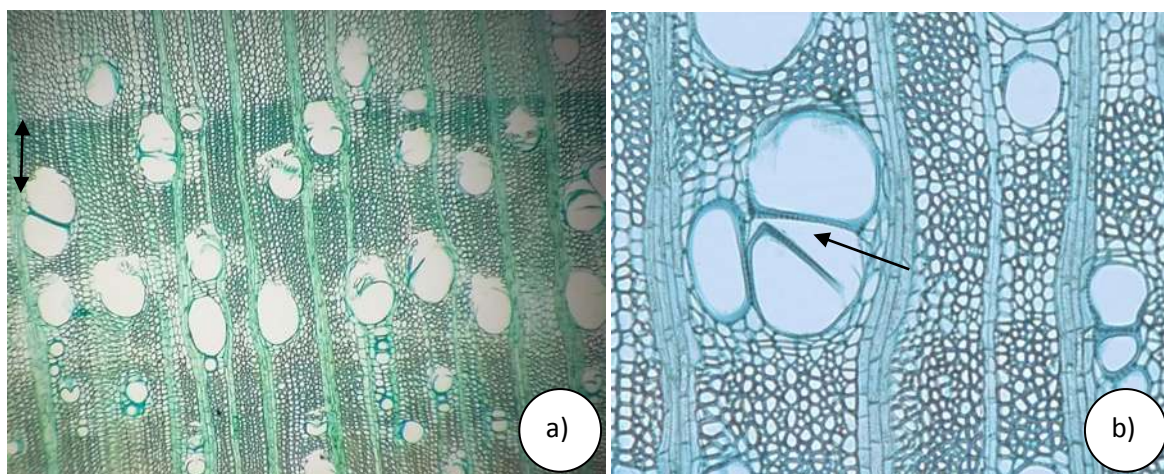


Figura 17. Corte transversal de *Gmeliana arborea* Roxb; a) Franja de fibras de pared más gruesa en 40x; b) Arreglo de poros 100x

Elementos de vaso de longitud de $236.2\ \mu\text{m}$ ($80.8 - 434.3\ \mu\text{m}$), presentan placa perforada (platina) de oblicua a casi horizontal, con pequeñas l gulas y perforaciones simples en la mayoría de los elementos de vaso, y existiendo escasas perforaciones en criba o foraminadas. Las puntuaciones intervasculares son areoladas alternas de contorno circular a irregular con ($7 - 9\ \mu\text{m}$ de diámetro vertical), y abertura elíptica tendiendo a opuestas (Figura 18).

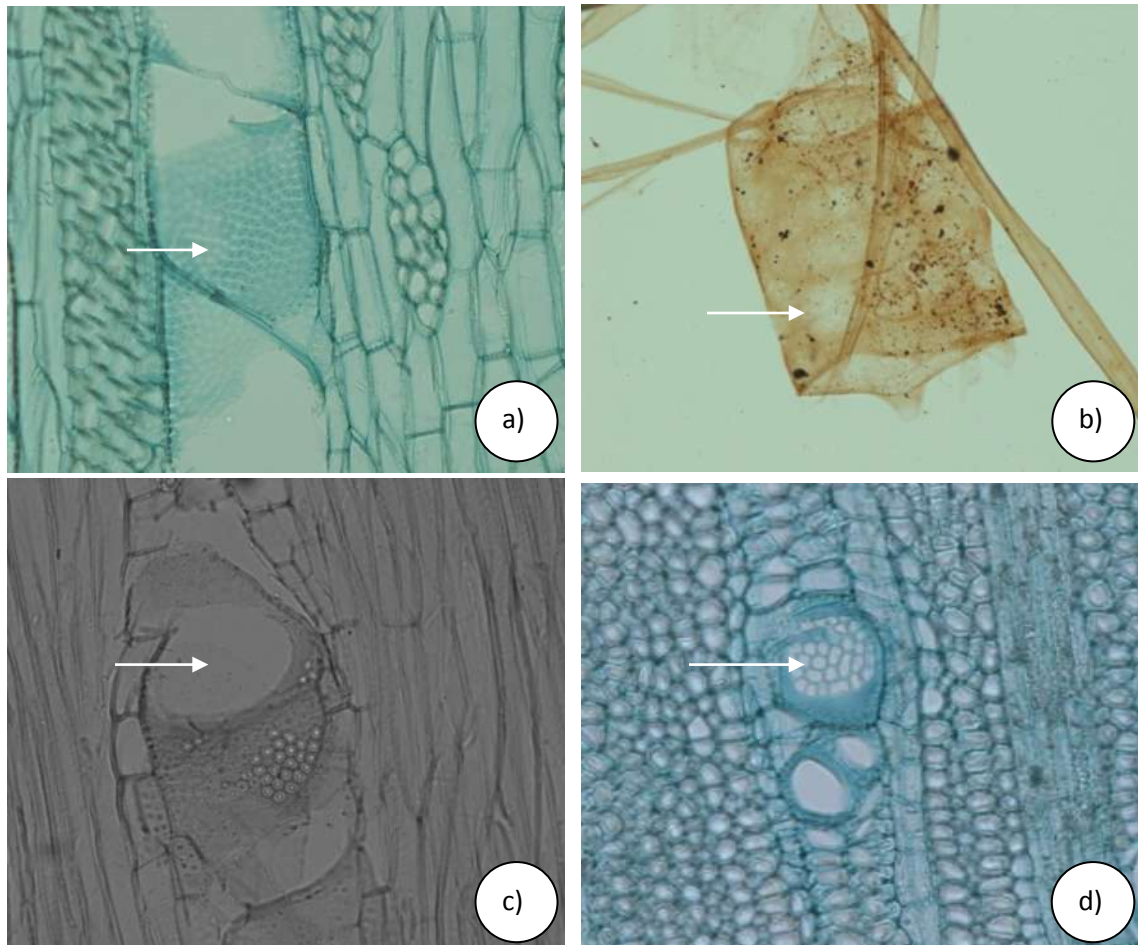


Figura 18. Elementos de vaso a 200x, mostrando; a) Puntuaciones areoladas intervasculares en corte longitudinal tangencial; b) Elemento de vaso en material disociado; c) Perforación simple vista en corte longitudinal radial. Y d) Perforación foraminada o de criba vista en corte transversal.

Los radios son visibles con lupa en corte transversal, son poco numerosos con 4.9/mm lineal (4 a 7), de tipo; poliseriados de 4, 5, 6 células de ancho, triseriados y escasos biseriados y uniseriados de 2 a 9 células de alto (predominando las de 3), de composición heterogénea (solo una hilera de células verticales en uno de los lados) y homogéneos (formados por células procumbentes). Los radios son de 528.6 μm promedio (101 μm - 888 μm), ancho con un promedio de 69.1 μm (35.5 - 90.9 μm), (Figura 19).

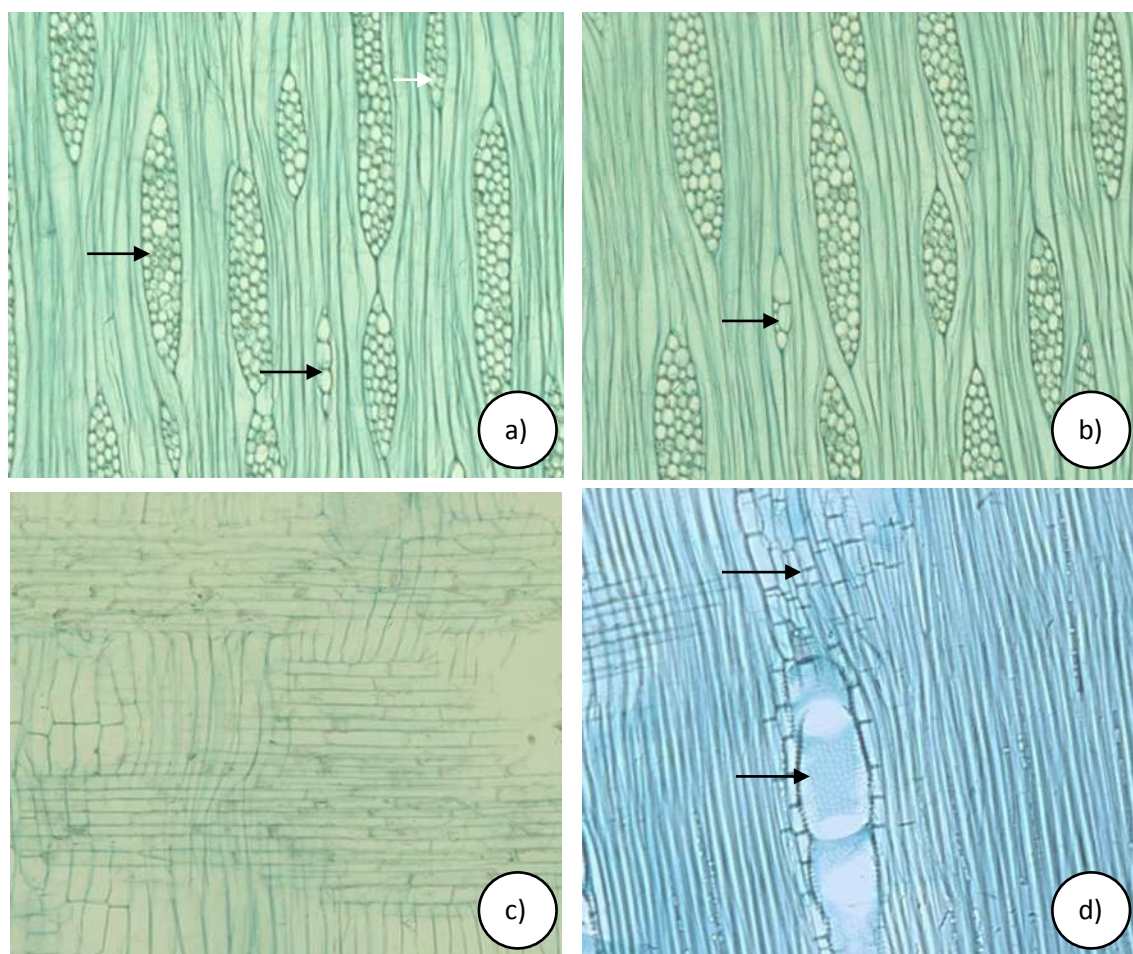


Figura 19. a y b) Radio poliseriado, triseriado, biseriado y uniseriado vistos en corte tangencial 100x; c y d) Corte radial mostrando radios, elementos de vaso y células de parénquima leñoso 100x.

38Las fibras son de tipo septadas con punteaduras de simples a ligeramente areoladas, algunas fibras presentan terminaciones bifurcadas o dentadas y tanto las fibras como el parénquima leñoso presentan cavidades intrusivas, las cuales se pueden confundir con desgarramientos de las paredes celulares (anexo 4). Las fibras presentan arreglo y contorno irregular (en cara transversal), de diámetro de $30.2\ \mu\text{m}$ ($20 - 46.3\ \mu\text{m}$), de paredes delgadas y longitud promedio de $1074.6\ \mu\text{m}$ ($707 - 1616\ \mu\text{m}$), (Figura 20).

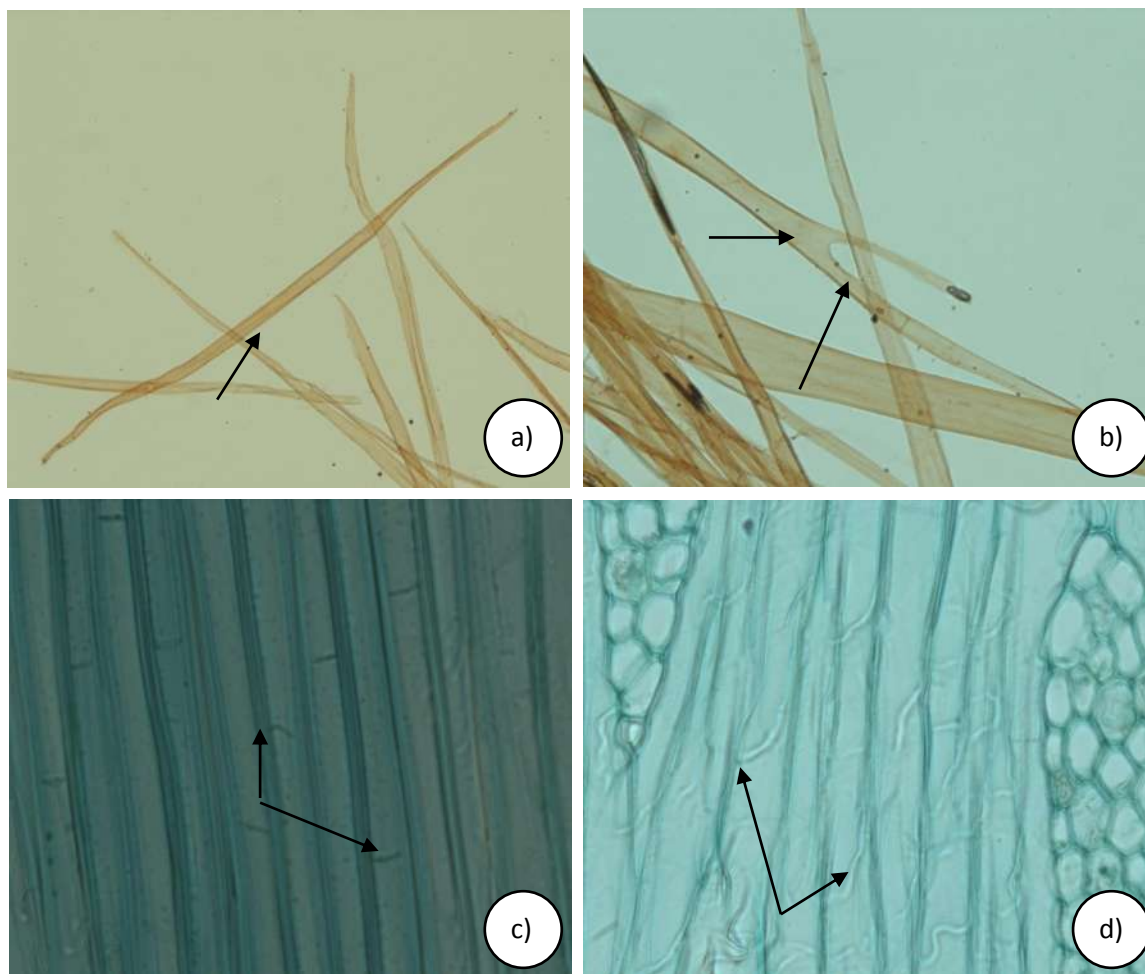


Figura 20. Material disociado mostrando fibras; a) Fusiformes 100x y b) Bifurcadas 200x. c) Corte radial mostrando fibras septadas 400x; d) Corte tangencial mostrando cavidades intrusivas 400x.

Inclusiones. Se presentan tílides de paredes delgadas dentro de los vasos.

Además se aprecian abundantes cristales aciculares de 11 - 22 μm de longitud, presentes dentro de las células de los radios (Figura 21).

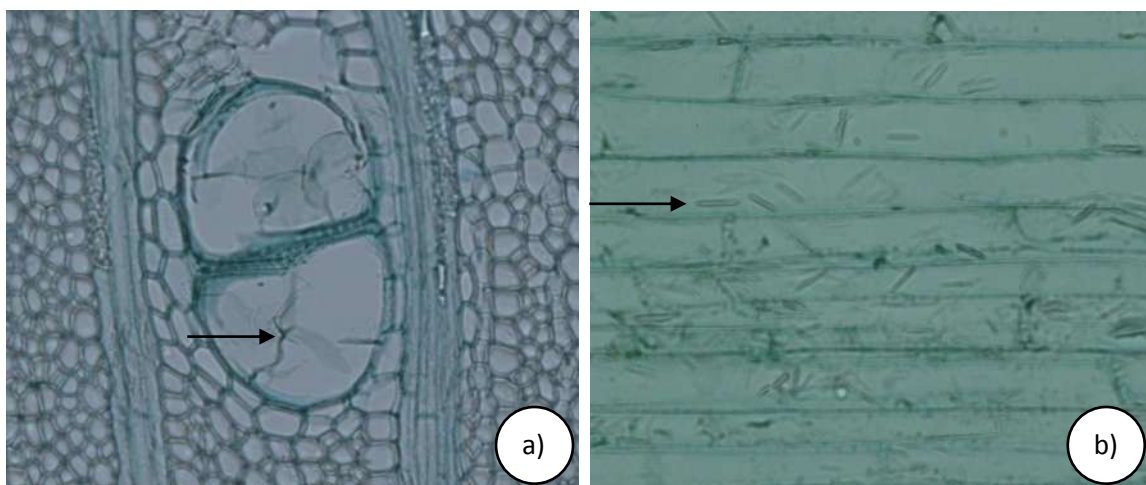


Figura 21. a) Poros con tílides en cara transversal 200x; b) Cristales aciculares en células de radio en cara radial 200x

En el Cuadro 1, se presenta el resumen de los resultados de los datos que se obtuvieron en las mediciones de la madera de *Gmelina arborea* Roxb.

Cuadro 1. Resultados de las mediciones de elementos de vaso, radios y fibras

ELEMENTOS DE VASO				RADIOS			FIBRAS			
Valores	Poros x mm^2	ϕ de Poro (μm)	Longitud (μm)	No/mm	Altura de radios (μm)	Ancho de radios (μm)	Longitud	Diámetro	Grosor de pared	Diámetro del lumen
Media	5.7	120.7	236.2	4.9	528.6	69.1	1073.6	30.2	3.3	22.6
Máximo	20	202	434.3	7	888.8	90.9	1616	46.3	10	38.8
Mínimo	2	40.4	80.8	4	101	35.5	707	20	2.5	12.5

ϕ = Diámetro

6.2. Índice de calidad de pulpa

Para la madera de melina en este estudio realizado se obtuvo un índice de rigidez de 0.12, un coeficiente de flexibilidad de 0.75, un índice de esbeltez de 35.51 y la relación Runkel de 0.16.

Elementos constitutivos: Los resultados de porcentaje de elementos constitutivos son; poros de 25%, fibras de un 40%, parénquima leñoso de 20% y radios de 15%.

6.3. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Gmelina arborea* Roxb

Propiedades físicas

Densidad

La densidad promedio verde fue de 0.82 g/cm³ y la densidad básica de 0.43 g/cm³, para la densidad anhidra es de 0.47 g/cm³.

Contracción en la madera

Los resultados de contracción radial fue de 2.3%, contracción tangencial de 5.7%, contracción longitudinal de 0.2% y contracción volumétrica fue de 8.4% y la relación tangencial- radial fue de 2.5%.

Coefficiente de hinchamiento

Los resultados de hinchamiento en cara radial fue de 2.3%, hinchamiento tangencial de 6.3, hinchamiento longitudinal de 0.3%, hinchamiento volumétrico de 9.0% y la relación tangencial/ radial fue de 2.7%.

Propiedades mecánicas

Cuadro 2. Resultados de ensayos mecánicos realizados a la madera de *Gmelina arborea* Roxb.

Propiedad	Parámetro	Promedio
Dureza Janka	R (kg)	298.2
	Tg. (kg)	306.9
	Trans. (kg)	338.9
	Lateral (kg)	304.7
	Total (kg)	321.8
Compresión paralela a la fibra	ELP (kg/cm ²)	324.8
	Smax (kg/cm ²)	357.9
	MOE (kg/cm ²)	12095.2
Compresión perpendicular a la fibra	ELP R (kg/cm ²)	83.7
	ELP Tg (kg/cm ²)	113.1
Flexión estática	ELP (kg/cm ²)	470.6
	Smax (kg/cm ²)	736.2
	MOE (kg/cm ²)	81231.1
Tensión perpendicular a la fibra	Smax R (kg/cm ²)	44.6
	Smax Tg (kg/cm ²)	36.6
Resistencia a rajaduras	Smax R (kg/cm)	70.5
	Smax Tg (kg/cm)	61.8
Resistencia a la extracción de clavos	R (kg)	46.8
	Tg (kg)	43.7
	Trans (kg)	37.1
	Log. (kg)	45.3
	Total	41.2

6.5. Usos recomendados

Tomando en cuenta los resultados de este estudio, algunos campos de utilización de la madera de *Gmelina arborea* Roxb, pudieran ser los siguientes:

- Elementos no estructurales para interiores de edificios: marcos, barandales, jambas de puertas, paneles (lambrines), pasamanos (solo duramen).
- Elementos no estructurales para interiores de edificios: molduras
- Muebles económicos y partes visibles de muebles tapizados económicos (solo duramen).
- Embalajes y tarimas.
- Cajas de empaque de alimentos, palillos para fósforos y palillos para paletas y abatelenguas.
- Artículos de cocina: tablas de picar y cucharas.
- Pulpa para papel (ramas y fustes mal conformados)
- Tableros; de fibras (ramas y fustes mal conformados), aglomerados y contrachapados.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De anatomía de la madera:

La madera es de color blanco rosado (albura) y amarillo pálido (duramen). En general existe poca diferencia de color entre albura y duramen (aunque procedan de distintos lugares). No presenta olor ni sabor característico. El brillo se consideró alto en la mayoría de los trabajos, excepto el de Moya y Leandro (2010) que lo considera semibrillante, el hilo se considera ligeramente entrecruzado en cara radial y de recto a ligeramente inclinado en cara tangencial. Presenta textura de media a fina, el veteado se considera suave. Las zonas de crecimiento son ligeramente visibles debido a la presencia de fibras de pared más gruesa, la melina presenta porosidad difusa tendiendo a semicircular, coincidiendo la anterior información con varios autores como; Moya y Leandro (2010), Tamarit y López (2007) y Richter y Dallwitz (2002).

El arreglo de poros coincide parcialmente con Moya y Leandro (2010) debido a que en el presente trabajo se encontraron solitarios y múltiples radiales de 2 a 3 células, y además múltiples radiales de 4 y agrupados de 3 y 5. El parénquima leñoso es de tipo paratraqueal vasicentrico, paratraqueal aliforme confluyente, paratraqueal unilateral, paratraqueal en bandas tendiendo a marginal y difiere de Moya y Leandro (2010) el cual además reporta marginal.

El diámetro de poros obtenido en el presente estudio fue de 120.7 μm resulta ser el más pequeño de todos los reportados, lo cual da congruencia a la clasificación de la textura media tendiendo a fina, la cual coincide con Moya y Leandro (2010). Los poros por mm^2 son muy similares a los reportados por otros autores y se consideran poco numerosos.

La descripción de las placas perforadas como simples y foraminadas se coincide con lo reportado por Moya y Leandro (2010) y parcialmente por lo reportado por Richter y Dallwitz (2002) y Tamarit y López (2007) los cuales las consideran simples.

Tamarit y López (2007) reporta información para *Gmelina arborea* Roxb procedente de Escárcega, Campeche, la cual difiere en lo que respecta a la textura moderadamente gruesa, el parénquima leñoso reporta que existe apotraqueal difuso, además de los antes mencionados y la perforación de los elementos de vaso las consideran simples.

Los radios son biseriados, triseriados y poliseriados de 4 a 6, así como escasos uniseriados. Existe diferencia con lo reportado por Tamarit y López (2007) quienes reportan de 3 y 4 células de ancho y no de 2 a 5 como los otros autores. La longitud de 236.2 μm de los elemento de vaso varía considerablemente con 150 μm reportado por Moya y Leandro (2010). Los 5 radios por mm, encontrados difieren considerablemente de los 5 a 13 encontrados por Richter y Dallwitz (2002). Las 528.6 μm de altura de los radios muestran gran diferencia con las 270 μm , reportadas por Moya y Leandro (2010). Las 69.1 μm promedio en lo ancho de los radios difieren considerablemente de las 115 μm reportadas por Moya y Leandro (2010).

El tipo de fibras septadas fue reportado por los tres autores, pero tanto Richter y Dallwitz (2002) y Moya y Leandro (2010) omitieron la presencia de las cavidades intrusivas y Tamarit y López (2007) las mencionan pero dicen que son fibras alternadas y un poco quebradas, coincidiendo con lo que inicialmente se pensó al verlas (que eran fibras con paredes desgarradas) se le debe a Moya y Leandro (2010) la aprobación de este nuevo concepto en fibras.

Las fibras presentan una longitud de 1074.6 μm en promedio y (707 - 1616), muy semejante a las 1020 μm reportadas por Moya y Leandro (2010) y al rango de 700-1500 μm mencionadas por Richter y Dallwitz (2002) y rango de 800-1350 μm mencionadas por Tamarit y López (2007).

El diámetro de fibras es de 30.2 μm en promedio (20 - 46.3 μm), coincidiendo dentro del mismo rango con lo reportado con Richter y Dallwitz (2002), y 35 μm (23 - 47 μm) reportados por Moya y Leandro (2010). El grosor de la pared es considerado delgado en todos los casos con 3.7 μm promedio. Coincidiendo los autores en que la melina presenta tílides y cristales aciculares, solo Moya y Leandro (2010) mencionan que los cristales son prismáticos.

Respecto a los índices de calidad de pulpa resultaron; con índice de rigidez muy delgado, un coeficiente de flexibilidad delgado y en la relación Runkel excelente, considerándose excelente para pulpa para papel.

Propiedades físicas y mecánicas

Propiedades físicas

El valor promedio de la densidad verde de la madera recién aserrada de *Gmelina arborea* Roxb que se determinó en el presente estudio, fue de 0.82 g/cm³, y la densidad anhidra de 0.47 g/cm³ la densidad básica de 0.43 g/cm³ y la densidad al 12% de CH de 0.51 g/cm³. Arévalo y Londoño (2005) reportan una densidad verde de 0.82 g/cm³ y una densidad anhidra de 0.44 g/cm³ y una densidad seca al aire de 0.50 g/cm³ y Moya y Leandro (2010) reportan una densidad anhidra de 0.45 g/cm³.

El valor promedio de la densidad básica en el presente estudio fue de 0.43 g/cm³, y de acuerdo con Echenique y Plumptre (1994), la densidad básica de la madera se encuentra en el rango de 0.39 - 0.56 g/cm³, la cual corresponde a una densidad media.

Arévalo y Lodoño (2005) reporta una densidad básica para melina de 0.40 g/cm³ y Benítez y Montesinos (1988) reporta un valor de 0.41 g/cm³, los cuales están más bajos que los valores reportados en el presente estudio y Moya y Leandro (2010) reportan un valor de 0.48 g/cm³ el cual es mayor que el valor reportado en el presente estudio.

La contracción radial fue de 2.3 % clasificándose como baja, y la contracción tangencial fue de 5.7 % y se clasificó como mediana, la contracción volumétrica fue de 8.4 % clasificándose como baja y relación Tg/r fue de 2.5 %. Arévalo y Londoño (2005), reportan valores de contracción radial de 3.8 %, y tangencial de 5.5 %, y volumétrica de 8.3 % y relación Tg/r de 1.4%. Benítez y Montesinos (1988) reporta valores de contracción radial de 2.4 %, tangencial de 4.9 % y volumétrica de 8.8 % y la relación Tg/r de 2.04 %. Moya y Leandro (2010) reporta contracción radial de 2.76 %, tangencial de 5.16 %, volumétrica de 6.39 % y relación Tg/r de 1.87 %.

El coeficiente de hinchamiento radial fue de 2.3 %, tangencial de 6.3 %, volumétrico de 9.9 % y relación Tg/r de 2.7 % para la madera de *Gmelina arborea* Roxb.

Estabilidad dimensional de regular a mala según (Silva, Fuentes y col., 2010).

Propiedades mecánicas

Con respecto a la Dureza Janka, la madera en estudio presenta valores de 298.2 kg en cara radial y 306.9 kg en cara tangencial. El promedio radial-tangencial (Lateral) fue de 304.7 kg y el valor de los extremos (promedio transversal) es de 338.9 kg; de acuerdo a Echenique y Plumptre (1994), la dureza lateral y transversal de la madera en estudio se clasifica como dureza baja. Arévalo y Londoño (2005), reportan valores para dureza Janka lateral de 298 kg y promedio transversal de 328 kg. Blanco y col., (2005), reportan valores para dureza Janka lateral de 226 kg y promedio transversal de 280 kg. Moya y Leandro, (2010) reportan valores para la dureza lateral de 271 kg y para transversal de 285 kg, los valores reportados por los autores se encuentran por debajo del valor reportado en el presente estudio.

En compresión paralela a la fibra de *Gmelina arborea* Roxb presenta un promedio del esfuerzo al límite de proporcionalidad (SLP) de 324.8 kg/cm², y el promedio del módulo de elasticidad (MOE) es de 12095.2 kg/cm². Esfuerzo máximo de la compresión paralela a la fibra es de 357.9 kg/cm². De acuerdo con Echenique y Plumptre (1994) se clasifica como baja. Arévalo y Londoño (2005) reporta un valor de esfuerzo máximo de la compresión paralela de 176 kg/cm². Blanco y col., (2005) reportan un valor de 300 kg/cm² y Moya y Leandro (2010), reportan un valor de 318 kg/cm². Resultados parecidos con Blanco y Col., (2005) y Moya y Leandro (2010) y difiriendo de lo reportado por Arévalo y Londoño (2005) ya que su valor está muy por debajo de nuestro valor.

El esfuerzo al límite de proporcionalidad radial de compresión perpendicular a la fibra fue de 83.7 kg/cm² en promedio, y el esfuerzo al límite de proporcionalidad tangencial es de 113.1 kg/cm² en promedio.

Para flexión estática de la madera de *Gmelina arborea* Roxb, el promedio de esfuerzo al límite de proporcionalidad (SLP) es de 470.6 kg/cm². Blanco y col., (2005) reporta un valor de 339 kg/cm² de esfuerzo máximo al límite de proporcionalidad y Arévalo y Londoño (2005) reporta un valor de 231 kg/cm² estando por debajo del valor aquí obtenido. El promedio de esfuerzo (Smax) o módulo de ruptura (MOR) de *Gmelina arborea* Roxb es de 736.2 kg/cm² el cual se clasifica como bajo. Blanco y Col., (2005) reportan un valor de 492 kg/cm² y Arévalo y Londoño (2005) reportan un valor de 477 kg/cm² y Moya y Leandro

(2010) con un valor de 503 kg/cm², los cuales difieren considerablemente al valor obtenido en este estudio.

El módulo de elasticidad (MOE) es de 81231.1 kg/cm² clasificando como bajo según Echenique y Plumptre (1994). Lo reportado por Blanco y col., (2005) con un valor de 72000 kg/cm² y Arévalo y Londoño (2005) reporta un valor de 65000 kg/cm² y Moya y Leandro (2010) con un valor de 59000 kg/cm² para el módulo de elasticidad, estando los valores reportados por debajo del valor obtenido para la melina; el valor que más se acerca es el reportado por Blanco y col., (2005).

Para tensión perpendicular a la fibra el esfuerzo máximo en sentido radial fue de 44.6 kg/cm² y el esfuerzo máximo para sentido tangencial fue de 36.6 kg/cm². En resistencia a rajaduras el esfuerzo máximo en sentido radial fue de 70.5 kg/cm² y el esfuerzo máximo en sentido tangencial fue de 61.8 kg/cm².

En la resistencia a extracción de clavos, el valor promedio radial fue de 46.8 kg/cm², promedio tangencial de 43.7 kg/cm², promedio transversal de 37.1 kg/cm² y promedio longitudinal de 45.3 kg/cm².

Aunque es grande la lista de usos que se le dan a la *Gmelina arborea* Roxb, se considera que algunos cumplen parcialmente con los requisitos necesarios, por lo cual en el momento de decidir el mejor uso que se le puede dar no debemos desestimar características como: tipo de hilo, densidad y dureza, resistencia mecánica, durabilidad natural tanto en albura como en duramen, grado de trabajabilidad, dificultad para secarse e impregnarse con sustancias preservantes, así como la estética de la madera.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- ❖ El general, la madera de *Gmelina arborea* Roxb, guarda gran similitud aun entre individuos que procedan de distinto país o distinta localidad.
- ❖ La madera en estudio presenta marcada diferencia en su textura respecto a la madera proveniente de Escárcega, Campeche, la de Michoacán es de media a fina y la de Escárcega, Campeche es moderadamente gruesa.
- ❖ El arreglo de poros agrupados de 3 y 5, múltiple radial de 4, solo se encontró en la muestra en estudio.
- ❖ Se encontraron placas foraminadas encontradas en el presente estudio al igual que Moya y Leandro (2010), y que no las reporta Richter y Dallwitz (2002) quizás se deban a que por ser escasas no es fácil localizarlas.
- ❖ Es el segundo reporte sobre la presencia de cavidades intrusivas en *Gmelina arborea* Robo.
- ❖ El tipo y distribución de punteaduras intervasculares que poseen los elementos de vaso de la especie pudieran favorecer en el proceso de secado, pero esta ventaja se ve anulada por las tílides en los vasos.
- ❖ Las platinas foraminadas solo se han observado en madera de plantaciones proveniente de; China, Venezuela, Costa Rica y ahora en México (Michoacán). Y no se registra en la madera estudiada proveniente de Campeche.
- ❖ Los cristales no presentan peligro considerable al desgastar los filos de las sierras y cuchillas debido a la naturaleza de su composición química.
- ❖ Se observaron fibras con extremos que presentan desviaciones y distorsiones al encontrarse con otras fibras o con los radios, presentando una apariencia ramificada a bifurcada.
- ❖ Todos los autores coinciden en que las fibras son de longitud y de diámetro medio así como pared delgada lo cual favorecen al uso de la madera para pulpa para papel y tableros de fibras.
- ❖ Por presentar las fibras longitud media, pared muy delgada y una relación Runkel que las clasifica a las fibras como excelente para pulpa para papel, aunado al color

claro de su madera, convierte a la *Gmelina arborea* en materia prima excelente en pulpa para papel.

- ❖ Los radios y elementos de vaso reportados en el presente trabajo resultan ser más altos del resto de los comparados.
- ❖ La presencia de tílides y cavidades intrusivas dificultan el secado y preservado de la madera.
- ❖ El hilo ligeramente entrecruzado y ondulado dificulta el usarla en piezas torneadas y bastones, así como obtener piezas con cara radial bien cepilladas.
- ❖ La baja durabilidad de la albura y la dificultad de diferenciarla del duramen nos obliga a preservarla para usos estructurales, al exterior o en contacto con el suelo, duramen moderadamente durable.
- ❖ Se debe tener gran cuidado al seleccionar la madera para darle el mejor uso y tener en cuenta que por ser una especie con médula grande y un buen porcentaje de madera de tensión, hay que evitar madera de ramas y árboles inclinados así como piezas aserradas con médula. Además el árbol de más de 12 años tiende a presentar podredumbre en la médula y zona cercana al suelo. Por lo tanto esta madera será útil para pulpa para papel y tableros partículas y de fibra.
- ❖ Es una madera contracción baja a media, la cual es favorable.
- ❖ En base a la densidad baja y dureza baja que presenta la madera de *Gmelina arborea* Roxb, no le permite ser utilizada para la elaboración de pisos, a no ser que se utilice el corte transversal.
- ❖ En flexión estática, su módulo de elasticidad la clasifica como una madera de baja elasticidad lo cual no es viable para vigas que estén sometidas a cargas considerables (se recomienda para construcción ligera). A si mismo, su baja elasticidad la limita en el uso de tarima industrial que tenga que soportar grandes pesos (solo sirve para tarimas de carga ligera).
- ❖ En compresión paralela a la fibra su esfuerzo máximo o módulo de ruptura se clasificó como bajo, y por lo tanto no es recomendable usarse en columnas o puntales en construcción pesada.

RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda clasificar la madera de *Gmelina arborea* Roxb, separando ramas para producir astilla para pulpa para papel, tableros de fibras y partículas. El fuste de buena calidad para usos más redituables como: muebles, molduras, puertas y ventanas.
- ❖ Se sugiere sea de un mejor cuidado silvícola el arbolado en las plantaciones de Michoacán, donde suele no podarse y cuidar la cantidad de agua suministrada, por lo cual crecen con un fuste limpio corto y propensos a sufrir podredumbre en el centro y secarse de la base.

9. BIBLIOGRAFÍA

- ASTM. 2000. (American society for testing and materials). D143-94 Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber. Annual Book of ASTM Standards. Section 4, Construction. Volume 04.09 Wood. Philadelphia, U. S. A.
- Arévalo, R.L. y Londoño, A. 2005. Manual para la Identificación de Maderas que se Comercializan en el Departamento de Tolima (CORTOLIMA). Ibagué.
- Benítez, R.F. y Montesinos, J.L. 1988. Catálogo de cien especies forestales de Honduras (Distribución, propiedades y usos). Escuela Nacional de Ciencias Forestales (ESCANIFOR). 216p.
- Blanco, M.L. y Carpio, I.M. y Muñoz, F.M. 2005. Fichas técnicas de veinte especies maderables de importancia comercial en Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 102p.
- Carpio, I.M. 2003. Maderas de Costa Rica, 150 Especies Forestales. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 338pp.
- CATIE. Centro Agronómico tropical de Investigación y Enseñanza. 1986. Silvicultura de especies promisorias para la producción de leña en América Central. Resultado de cinco años de investigación. Serie técnica. Informe técnico No. 86. Centro agronómico Tropical del Investigación y Enseñanza. Departamento de Recursos Naturales Renovables. Turrialba Costa Rica. 228p.
- CONAFOR. Comisión Nacional Forestal. Plantaciones Forestales Comerciales. Documentos disponibles en: <http://www.conafor.gob.mx>.
- CONAFOR. Comisión Nacional Forestal. Fichas técnicas sobre características tecnológicas y usos de maderas comercializadas en México. Documentos disponibles en: <http://www.conafor.gob.mx>.

- DETENAL. Descripción de Estudio del Territorial Nacional. 1979. Descripción de la leyenda de la carta edafológica. Folleto explicativo. Pub. FAO/UNESCO. México, D. F. México. pp. 87-88.
- Downs, G. 2003. Estudio tecnológico de la madera de *Gmelina arborea* Roxb., proveniente de plantaciones jóvenes del estado de Campeche. Campeche, México. 72p.
- Echenique, R. y Plumptre R, A. 1994. Guía para el uso de Maderas de Belice y México. Universidad de Guadalajara, Consejo Británico, Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Madera, A. C., Universidad de Oxford. Oxford. 196 p.
- Fuentes S, M. 1990. Apuntes para el curso de tecnología de la madera I. Serie de apoyo académico No. 33. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 99p.
- González, G; Serrano, JR. 2004. Propiedades y utilizaciones de la madera de melina (*Gmelina arborea* Roxb) procedente de árboles plantados en Costa Rica. (En línea). Kurú: Revista Forestal. 1(1): 1-9. Consultado 10 noviembre del 2014. Disponible en <http://tecdigital.tec.ac.cr/servicios/ojs/index.php/kuru/article/viewFile/598/523>
- INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- IAWA (International Association of Wood Anatomists) Committee. 1989. List of Microscopic Features for Hardwood Identification. E. A. Wheeler, P. Baas and P. E. Gasson. Rijksherbarium, Leiden, The Netherlands. Bulletin 10 (3).
- León, H, W. J. 2005. Cavidades intrusivas en fibras y parénquima de *Gmelina arborea* (Verbenaceae). Revista forestal venezolana. 49(1). Consultada 10 de febrero del 2015. Disponible en <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24416/2/articulo10.pdf>.
- Lincoln, W. A. 2006. World woods in color. Linden Publishing Co. Inc. California.

- Moya, R, R; Leandro Z, L. 2010. Melina: *Gmelina arborea* Kunth. Vervaceae. Ficha técnica 5. In tecnología de la madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas. R. moya R., [et al]. (En línea). Revista Forestal Mesoamericana Kuru 7(18-19):87-101. (Editorial Corporación Garro y Moya, (ISBN: 978-9968-9968-9643-3-3). Disponible en www.tec.ac.cr/revistaforestal.
- Munsell soil color charts. 1975. Edition. Baltimore, Maryland. 17p.
- Muñoz, F.M.1998. Propiedades y Usos de las maderas de jaúl y melina. Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Niembro, A. 1986. Árboles y arbustos útiles de México. Ed. Limusa. México, D. F. México. 206 p.
- Patiño V, F., Juárez G, V. M. y Cedeño S, O. 1982. *Gmelina arborea* Roxb. Una especie promisorio en el trópico mexicano. Boletín técnico No. 3. CIFTROH. Campeche México.
- Petroff, G. y D. Normand. 1968. The correlation between the physical and mechanical properties of paper and dimensional characteristics of fiber, from tropical hardwoods Pulp and paper development in Africa and the Near East. FAO I: 269-287.
- Rojas, F; Arias, D; Moya, R; Meza, A; Murillo, O. y Arguedas, M. (2004). *Manual para productores de melina Gmelina arborea en Costa Rica*. Internet. Disponible: http://www.fonafifo.com/tex_files/proyectos/Manual%20prod%20Melina.pdf. Consultada el 13 de noviembre del 2014.
- Ramos, C. y Díaz, V. 1981. Instrucciones Para Recolectar Muestras de Madera Para Estudios Tecnológicos. Boletín divulgativo No. 54. Instituto nacional de investigaciones Forestales.
- Richter, H.G., and Dallwitz, M.J. 2000 onwards. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. In English, French,

German, Portuguese, and Spanish. Version: 25th June 2009. <http://delta-intkey.com>'.

Silva, J.A. y Fuentes, Fco. y col. 2010. Fichas de propiedades tecnológicas y usos de maderas nativas de México e importadas. Universidad de Guadalajara.

Tamarit, J.C. y López, J.L. 2007. Xilotecología de los principales árboles tropicales de México. Libro Técnico No. 3. INAFAP-CIR golfo centro, campo Experimental San Martinito. Tlahuapan, Puebla. México. 264 p.

Tortorelli, L. A. 1956. Maderas y Bosques Argentinos. ACME. S.A.C.I. Buenos Aires. Argentina. 910 p.

Troncoso, N.S. 1979. Verbenaceae, en A. Burkart (ed.), Fl. Entre Ríos. Col. Ci. INTA.

Ugalde, L.A. 1997. Resultados de 10 años de investigación silvicultura del proyecto Madeleña en Salvador. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Zeledón, D. 2004. Algunos aspectos de la anatomía de la madera de melina (*Gmelina arborea* Roxb) y su relación con las propiedades de secado y durabilidad. (En línea). Kurú: Revista Forestal. 1(1):1-6. Consultada 10 de febrero del 2015. Disponible en <http://tecdigital.tec.ac.cr/servicios/ojs/index.php/kuru/article/viewFile/594/519>

Apéndice 1. Mediciones de elementos mensurables de *Gmelina arborea* Roxb

	DISOCIADO	POROS CORTE TRANSVERAL		RADIOS CORTE TANGENCIAL			FIBRAS DISOCIADO			
	ELEMENTOS DE VASO 10X(mod)	DIAMETRO DE POROS 10X (µm)	POROS X MM² 10X (µm)	ALTO (MM)	ANCHO (MM)	RADIOS X MM	LONGITUD	DIAMETRO DE FIBRA	LUMEN	GROSOR DE PARED
1	363.6	101	14	464.6	80.8	7	1131.2	40	31.25	3.75 5
2	333.3	40.4	7	606	80.8	4	888.8	30	17.5	5 7.5
3	161.6	60.6	5	535.3	60.6	6	1010	32.5	16.25	8.75 7.5
4	383.8	90.9	7	676.7	80.8	7	1282.7	30	20	2.5 7.5
5	282.8	101	12	121.2	70.7	4	1090.8	45	32.5	6.25 6.25
6	303	111.1	9	520.15	65.65	5	858.5	41.25	32.5	5 3.75
7	181.8	126.25	10	464.6	70.7	5	1333.2	32.5	26.25	3.75 2.5
8	383.8	101	9	555.5	70.7	4	1151.4	45	38.75	2.5 3.75
9	101	111.1	6	535.3	70.7	7	989.8	40	25	6.25 8.75
10	313.1	90.9	6	585.8	70.7	5	1333.2	32.5	22.5	5 5
11	303	131.3	9	525.2	70.7	4	1141.3	33.75	27.5	3.75 2.5
12	111.1	121.2	5	494.9	70.7	4	898.9	38.75	28.75	5 5
13	323.2	121.2	5	747.4	70.7	7	989.8	35	28.75	3.75 2.5
14	262.6	136.35	2	565.6	60.6	7	1010	35	26.25	5 3.75
15	232.3	121.2	2	444.4	70.7	5	969.6	42.5	30	7.5 5
16	171.7	90.9	3	525.2	70.7	4	989.8	46.25	37.5	5 3.75
17	282.8	106.05	3	393.9	80.8	5	707	37.5	28.75	5 3.75
18	181.8	121.2	4	555.5	70.7	4	1222.1	37.5	25	7.5 5
19	111.1	161.6	5	737.3	70.7	5	959.5	32.5	25	2.5 5
20	303	111.1	4	616.1	55.55	7	969.6	35	26.25	5 3.75
21	434.3	116.15	4	368.65	75.75	7	1131.2	28.75	21.25	5 2.5
22	232.3	136.35	4	383.8	70.7	4	969.6	42.5	36.25	2.5 3.75
23	232.3	121.2	4	530.25	70.7	5	1343.3	31.25	22.5	5 3.75
24	171.7	111.1	5	595.9	75.75	5	1040.3	27.5	17.5	5 5
25	252.5	90.9	5	282.8	60.6	7	1282.7	35	23.75	7.5 3.75
26	101	151.5	4	131.3	70.7	5	1171.6	27.5	21.25	2.5 3.75
27	181.8	101	4	101	70.7	4	989.8	32.5	23.75	3.75 6.25
28	232.3	101	5	565.6	55.55	5	1525.1	42.5	36.25	2.5 3.75
29	232.3	90.9	6	888.8	60.6	5	1262.5	27.5	18.75	5 3.75
30	80.8	131.3	6	787.8	70.7	6	1010	32.5	23.75	5 3.75
31	161.6	161.6	3	555.5	60.6	7	1343.3	31.25	25	2.5 3.75
32	151.5	116.15	4	808	80.8	4	1242.3	30	21.25	5 3.75
33	232.3	106.05	3	505	70.7	4	1181.7	33.75	23.75	3.75 6.25
34	242.4	146.45	5	696.9	65.65	4	1111	27.5	18.75	5 3.75
35		146.45	5	606	70.7	5	1484.7	32.5	23.75	3.75 5
36		111.1	5	505	80.8	7	1161.5	26.25	20	2.5 3.75
37		141.4	5	707	70.7	7	1040.3	27.5	16.25	6.25 5
38		121.2	3	373.7	50.5	5	828.2	25	18.75	3.75 2.5
39		111.1	5	459.55	60.6	5	1292.8	35	26.25	5 3.75
40		116.15	5	434.3	75.75	5	1040.3	25	20	2.5 2.5
41		121.2	5	575.7	65.65	6	999.9	41.25	21.25	10 10
42		111.1	2	545.4	55.55	4	1302.9	26.25	16.25	6.25 3.75
43		131.3	4	616.1	75.75	4	919.1	26.25	20	3.75 2.5
44		131.3	4	828.2	60.6	4	1181.7	25	25	5 5
45		141.4	3	717.1	60.6	6	828.2	25	15	6.25 3.75
46		146.45	5	757.5	70.7	4	1403.9	30	23.75	3.75 2.5
47		106.05	5	525.2	70.7	4	787.8	27.5	20	5 2.5
48		161.6	4	626.2	80.8	5	1131.2	28.75	20	5 3.75
49		202	4	393.9	70.7	4	1121.1	35	25	5 5
50		196.95	5	292.9	60.6	5	1111	28.75	22.5	3.75 2.5

50		196.95	5	292.9	60.6	5	1111	28.75	22.5	3.75	2.5
51		161.6	3	636.3	80.8	5	1201.9	30	12.5	2.5	2.5
52		121.2	5	444.4	80.8	4	1282.7	26.25	16.25	5	5
53		111.1	5	515.1	70.7	4	1181.7	30	21.25	5	3.75
54		121.2	5	545.4	80.8	6	1151.4	32.5	22.5	5	5
55		161.6	4	585.8	70.7	4	808	27.5	21.25	2.5	3.75
56		121.2	4	525.2	75.75	4	939.3	30	23.75	2.5	3.75
57		121.2	6	505	70.7	6	888.8	25	12.5	2.5	2.5
58		141.4	7	393.9	70.7	6	1020.1	30	25	2.5	2.5
59		121.2	4	434.3	80.8	5	1050.4	22.5	16.25	3.75	2.5
60		85.85	4	444.4	70.7	5	1030.2	30	25	2.5	2.5
61		151.5	4	686.8	70.7	6	1161.5	20	15	2.5	2.5
62		121.2	3	464.6	80.8	5	1363.5	27.5	22.5	2.5	2.5
63		101	5	575.7	70.7	5	878.7	32.5	25	3.75	3.75
64		101	4	616.1	70.7	4	1111	27.5	22.5	2.5	2.5
65		90.9	4	434.3	70.7	4	777.7	25	18.75	3.75	2.5
66		111.1	3	580.75	80.8	5	989.8	27.5	20	3.75	3.75
67		126.25	6	484.8	70.7	4	1343.3	22.5	17.5	2.5	2.5
68		121.2	11	505	70.7	4	1616	25	20	2.5	2.5
69		101	4	606	60.6	5	1111	25	15	5	5
70		131.3	6	676.7	90.9	6	737.3	30	21.25	3.75	5
71		75.75	4	111.1	60.6	4	939.3	27.5	22.5	2.5	2.5
72		151.5	5	474.7	60.6	4	1515	23.75	18.75	2.5	2.5
73		111.1	6	313.1	60.6	4	1222.1	32.5	27.5	2.5	2.5
74		161.6	5	696.9	80.8	4	1040.3	35	30	2.5	2.5
75		141.4	3	424.2	60.6	4	1050.4	22.5	17.5	2.5	2.5
76		101	7	818.1	70.7	6	1121.1	27.5	22.5	2.5	2.5
77		141.4	6	686.8	70.7	5	1121.1	27.5	22.5	2.5	2.5
78		121.2	10	202	60.6	6	858.5	40	35	2.5	2.5
79		111.1	3	323.2	60.6	4	1111	25	20	2.5	2.5
80		116.15	4	525.2	70.7	4	737.3	30	25	2.5	2.5
81		101	5	616.1	60.6	4	1070.6	26.25	21.25	2.5	2.5
82		151.5	7	404	60.6	5	949.4	22.5	17.5	2.5	2.5
83		101	5	595.9	70.7	6	929.2	27.5	22.5	2.5	2.5
84		101	5	626.2	70.7	4	1070.6	27.5	22.5	2.5	2.5
85		116.15	7	494.9	70.7	4	1212	22.5	16.25	3.75	2.5
86		40.4	6	595.9	70.7	4	949.4	30	25	2.5	2.5
87		121.2	3	484.8	40.4	4	818.1	22.5	16.25	3.75	2.5
88		141.4	18	595.9	60.6	4	969.6	30	25	2.5	2.5
89		121.2	6	393.9	60.6	4	1040.3	32.5	27.5	2.5	2.5
90		116.15	5	454.5	70.7	6	848.4	35	30	2.5	2.5
91		111.1	5	464.6	70.7	4	929.2	27.5	22.5	2.5	2.5
92		131.3	8	828.2	70.7	5	969.6	20	15	2.5	2.5
93		131.3	13	767.6	70.7	4	989.8	22.5	17.5	2.5	2.5
94		111.1	10	515.1	70.7	5	1070.6	25	16.25	5	3.75
95		111.1	5	616.1	65.65	4	989.8	30	25	2.5	2.5
96		191.9	6	515.1	70.7	5	888.8	30	22.5	2.5	5
97		131.3	14	565.6	60.6	6	1060.5	20	15	2.5	2.5
98		121.2	8	550.45	70.7	4	1434.2	20	15	2.5	2.5
99		101	6	160	35.35	4	828.2	30	25	2.5	2.5
100		131.3	20	545.4	85.85	4	818.1	27.5	17.5	2.5	2.5
PROM	236.2	120.7	5.7	528.6	69.1	4.9	1073.6	30.2	22.6	3.8	3.6

Apéndice 2. Características macroscópicas y microscópicas de la madera de *Gmelina arborea* obtenidas, comparadas con los reportados por otros autores.

	Resultados obtenidos de arbolado de 12 años	H.G Richter y M.J. Dallwitz	Resultados obtenidos por Moya Roque en arbolado de 6 años
Color (albura / duramen)	Blanco rosado color de la albura y amarillo pálido color del duramen	Blanco grisáceo a café amarilloso color de la albura similar al duramen	En condicion seca, el duramen es de color palido y con zonas de color rosado, albura de color blanco
Olor	Imperceptible	n/d	Imperceptible
Sabor	Imperceptible	n/d	Imperceptible
Brillo	Alto (tg) y en franjas opacas y brillantes (r)	n/d	De moderado a brillante
Hilo	Ligeramente entrecruzado en cara radial y inclinado a ligeramente ondulado en cara tangencial	n/d	Regularmente recto a muy recto, en ocasiones es posible encontrar grano entrecruzado
Textura	De media a fina	n/d	Mediana a fina
Veteado y Diseño	Suave a liso, con diseño eliptico (tg) y espigado (r)	n/d	Poco definido, con lineas verticales, satinadas, con bandas anchas contrastadas, irregulares.
Zonación	Ligera zonacion por fibras de pared mas gruesa	Puede o no apreciarse	Presente por fibras de pared mas gruesa y parenquima marginal
Porosidad	Difusa a semicircular	Semianular y difusa	Difusa, anular y semi anular
Arreglo de poros	Solitarios, múltiples radiales de 2,3 y 4, multiples en diagonal de 2 y agrupados de 3 y 5	Solitarios y multiples radiales de 2 y 3.	Solitarios, multiples radiales de 2 a 3 celulas
Parenquima leñoso	Paratraqueal vasicentrico, P. aliforme confluyente, P. unilateral, P. en bandas tendiendo a marginal	Paratraqueal vasicéntrico o aliforme en forma de rombo	Tipo paratraqueal vasicentrico escaso, en bandas aparenteme marginales
Diámetro tangencial de poros (µm)	Medianos con 120. 7 µm (40.4-202)	130-240 µm	Medianos con 189 µm
Poros por mm ²	Poco numerosos con 5.7 (2-20)	Poco numerosos con (3-6)	Poco numerosos con 5 (3-6)
Placa perforada	Simple y foraminadas	Simple	Simple y multiperforada
Diametro vertical de puntuaciones intervasculares	7-9 µm	7-9 µm	5 (4-9 µm)
Longitud de Elemento de vaso (µm)	Cortos con 236.2 µm (80.8-434.3)	n/d	Cortos con 150 µm (94-342)
Tipo de radios	Escasos uniseriados y biseriados, triseriados y poliseriados 4,5,6	2,5	3,4,5
Composicion de radios	Homogéneos y Heterogéneos	Homogéneos y Heterogéneos	Heterogeneos
Estratificación	Ausente	Ausente	Ausente
Radios por mm	Poco numerosos con 4.9 (4-7)	5 a 13	Poco numerosos con 5.6 (4-7)
Alto del radios (µm)	Medianos con 528.6 µm (101-888)	n/d	Bajos con 270 µm (100-498)
Ancho de radios (µm)	Mediano con 69.1 (35.5-90.9)	n/d	Moderadamente anchos con 115 µm (86-126)
Tipo de fibras	Septadas y con <u>cavidades intrusivas</u>	Septadas	Septadas de 1 a 3
Longitud de fibra (µm)	Medianas con 1074.6 µm (707-1616)	700-1500 µm	Medianas con 1020 µm (940-1590)
Diametro de fibra (µm)	Medianas con 29.96 µm (17.5-46.25)	Medianas (25-40 µm)	Medianas con 35 µm (23-47)
Diametro de lumen (µm)	22.6 µm (12.5-38.75)	n/d	23 µm (12-36)
Grosor de pared	Delgada con 3.7 µm (2.5-10)	n/d	Delgada con 5 µm (2-6)
Extraibles	Tilides de pared delgada en los vasos y abundantes cristales aciculares en los radios	Cristales, aciculares (en forma de agujas), tilides en los vasos	Presencia de tilides en los vasos y cristales prismaticos

Anexo 1. Estándares de IAWA (1989).

Longitud de elementos de vaso y fibras			
Clase	Subclase	Elemento de vaso	Fibra
Cortos	Extremadamente largos	Menos de 175 μm	Menos de 500 μm
	Muy cortos	175-200 μm	500-700 μm
	Moderadamente cortos	250-350 μm	700-900 μm
Medianos	_____	350-800 μm	900-1600 μm
Largos	Moderadamente largos	800-1100 μm	1600-2200 μm
	Muy largos	1100-1900 μm	2200-3000 μm
	Extremadamente largos	Más de 1900 μm	Más de 3000 μm

Abundancia de poros	
No/mm²	Clase
Menos de 2	Muy pocos
2 – 5	Pocos
5 -10	Moderadamente pocos
10 – 20	Moderadamente numerosos
20 – 40	Numerosos
Más de 40	Muy numerosos

Anexo 2. Clasificación de los elementos mensurables para latifoliadas de acuerdo a Tortorelli (1956).

Abundancia de elemento de vaso número de poros por /mm²	
2 a 10	Pocos números
10 a 20	Números
20 a 40	Muy numerosos
Más de 40	Extremadamente numeroso
Longitud de elementos de vaso	
Menos de 350 µm	Cortos
350-800 µm	Medianos
Más de 800 µm	Largos
Diámetro de fibra	
Menos de 25 µm	Finas
25-40 µm	Medianas
Más de 40 µm	Anchas
Diámetro tangencial de poro	
25-100 µm	Pequeños
100-200 µm	Medianos
200-300 µm	Grandes
Más de 300 µm	Muy grandes
Ancho de los rayos poliseriados	
Muy angostos	Hasta 25 µm
Moderadamente angostos	25-50 µm
Medianos	50-100 µm
Moderadamente anchos	100-200 µm
Muy anchos	Más de 200 µ

Longitud de fibra	
400-900 μm	Cortas
900-1600 μm	Medianas
Más de 1600 μm	Largas
Altura de los rayos poliseriados	
Muy bajos	Hasta 200 μm
Bajos	200-500 μm
Medianos	500-800 μm
Altos	800-2mm
Muy altos	Más de 2mm
Grosor de pared	
Muy delgadas	Cuando el lumen ocupa $\frac{3}{4}$ ó más
Delgadas	Cuando el lumen ocupa $\frac{3}{4}$ a $\frac{1}{2}$
Gruesas	Cuando el lumen ocupa de $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{3}$
Muy gruesas	Cuando el lumen es menor a $\frac{1}{3}$ del diámetro
Parámetros para determinar la textura (basados en el diámetro tangencial de los poros)	
Textura gruesa	La presentan aquellas maderas con diámetro tangencial de poros de mayor a 25 μm
Textura media	La presentan aquellas maderas con diámetro tangencial de poros menos a 150 μm .
Textura fina	La presentan aquellas maderas con diámetro tangencial de poros menos a 150 μm .

Clasificación de coeficiente de rigidez (Petroff 1968, Porres 1979 *fide* Fuentes 1987).

Rango ()	Grosor de pared
<0.20	Muy delgada
0.20-0.35	Delgada
0.35-0.50	Media
0.50-0.70	Gruesa
>0.70	Muy gruesa

Clasificación del coeficiente de flexibilidad (Petroff 1968, Porres 1979 *fide* Fuentes 1987).

Rango	Grosor de pared	Características
< 0.30	Muy gruesa	Las fibras no se colapsan. Hay muy poca superficie de contacto y poca unión fibra-fibra
0.30-0.50	Gruesa	Las fibras se colapsan muy poco. Hay muy poca superficie de contacto y poca unión de fibra=fibra
0.50-0.65	Media	Fibras con sección transversal elíptica, parcialmente colapsadas; buena superficie de contacto y buena unión fibra= fibra
0.65-0.80	Delgada	<i>Idem</i>
>0.80	Muy delgada	Las fibras se colapsan. Hay buena superficie de contacto y buena unión fibra= fibra

Clasificación de la relación Runkel (Larios, 1979 *fide* Tamarit, 1996)

Grado	Rango	Clasificación
I	< 0.25	Excelente
II	0.25-0.50	Muy buena
III	0.50-1.00	Buena
IV	1.00-2.00	Regular
V	>2.00	Mala

Anexo 3. Parámetros de clasificación para la densidad según Echenique y Plumptre (1994) y Fuentes (1990).

Densidad (gr/cm ³)	Clasificación
Menos de 0.26	Muy bajo
0.27-0.38	Bajo
0.39-0.56	Mediano
0.57-0.70	Alto
0.71-0.89	Muy alto
Mayor de 0.90	Extremadamente alto

Anexo 4. Parámetros de clasificación para contracciones según Tamarit y López, 2007.

Tv-To	Tv-T12	Clasificación
Menor de 3.5	Menor de 2.5	Muy baja
3.2-5.0	2.6-4.0	Baja
5.1-6.5	4.1-5.5	Mediana
6.6-8.0	5.6-7.0	Alta
Mayor de 8.1	Mayor de 7.1	Muy alta

Fuente: Fuentes (1990)

Clasificación de contracción radial

Tv-To	Tv-T12	Clasificación
Menor de 2.0	Menor de 1.0	Muy baja
2.1-3.0	1.1-2.0	Baja
3.1-4.0	2.1-3.0	Mediana
4.1-5.0	3.1-4.0	Alta
Mayor de 5.1	Mayor de 4.1	Muy alta

Clasificación de contracción volumétrica

Vv – Vo	Vv - V12	Clasificación
Menor de 7.5	Menor de 4.1	Muy baja
7.6 – 10.0	4.2 – 5.6	Baja
10.1 – 15.0	5.7 – 8.5	Mediana
15.1 – 19.0	8.6 – 10.8	Alta
Mayor de 19.1	Mayor de 10.9	Muy alta

Clasificación de la relación de anisotropía según su intensidad

Valor de anisotropía ($+\beta$ tang. Total/ $+\beta$ rad. Total)	Clasificación
Menor de 1.70	Baja
1.71 – 2.30	Alta
Mayor de 2.31	Muy alta

Fuente: Fuentes (1990)

Anexo 5. Parámetros de clasificación para pruebas mecánicas según Echenique y Plumptre (1994).

Flexión estática en kg/cm²

Propiedad	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
MOR	<400	401-900	901-1350	1351-1800	>1800
MOE x 10 ³	>70	71-100	101-150	151-200	>200

Compresión paralela al grano kg/cm²

Propiedad	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
MCS	<300	301-450	451-700	701-950	>950

Compresión perpendicular al grano kg/cm²

Propiedad	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
SLP	<35	35-75	76-120	121-175	>175

Nota; MOR= Módulo de ruptura; MOE= Módulo de elasticidad; MCS= Máxima resistencia a la compresión; SLP= Resistencia perpendicular al grano.

Dureza Janka en kg

Propiedad	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Lateral	<200	201-400	401-800	801-1200	>1200
Transversal	<250	251-500	501-1000	1001-1500	>1500

Anexo 6. Requisitos y propiedades de la madera para diversos usos, según Echenique y Plumptre (1994).

Tabla 5. Elementos no estructurales para interiores de edificios	
Requisitos de uso	Límites de propiedades
• Capaces de recibir y retener conectores comunes de metal (tornillos). • Las uniones preparadas con maquinas y herramientas (en combinación con adhesivos), no deben ser difíciles de preparar. • Baja a mediana tendencia a la distorsión. • Capaz de obtener buenas superficies del maquinado. • Baja tendencia a exudación de resina • Capaz de resistir rayones e indentaciones (de perforación). • Baja tendencia a la exudación de resina y manchado por extractivos.	• Rango de densidad= 0.38-0.65 g/cm³ • Grano= derecho a entrecruzado • Rango de MOE=71000-150000 kg/cm² • Rango de MOR =400-1350 kg/cm² • Rango de dureza lateral=200-800 kg • Resistencia a rajarse por tornillos= aceptable a excelente • Fácil de pegar con adhesivos • Textura= de mediana/gruesa a fina • Cambio de las dimensiones= de mediano a pequeño • Maquinado en general= fácil y bueno, es decir, fácil de aserrar y cepillar obteniendo excelentes superficies, así como lijado, ensamble a caja y espiga, rebajado y moldurado.

Tabla 6. Elementos no estructurales para interiores de edificios	
Requisitos de usos	Límite de propiedades
• Capaces de recibir y retener conectores comunes de metal (tornillos). • Las uniones preparadas con maquinas y herramientas (en combinación con adhesivos), no deben ser difíciles de preparar. • Baja a mediana tendencia a la distorsión. • Capaz de obtener buenas superficies del maquinado. • Baja tendencia a exudación de resina • Capaz de resistir rayones e indentaciones (de perforación). • Baja tendencia a la exudación de resina y manchado por extractivos.	• Rango de densidad=0.38-0.65 g/cm³ • Rango de MOE=71000-150000 kg/cm² • Rango de MOR =400-900 kg/cm² • Máximo esfuerzo en compresión paralela=300-450 kg/cm² • Rango de dureza lateral=200-400 kg • Resistencia a ser rajado por clavos y tornillos = de buena a excelente • Fácil de pegar con adhesivos, clavar y atornillar • Textura= todo el rango • Cambio de las dimensiones= de mediano a pequeño • Maquinado en general= fácil y bueno a excelente, esto es fácil de aserrar y cepillar, moldurar, lijar, taladrar, ensamble a caja y espiga con superficies resultantes buenas a excelentes. • Pintado= debe recibir y retener bien los acabados

	El duramen debe ser resistente al ataque de termitas.
--	---

Tabla 11. Muebles económicos y partes visibles de muebles tapizados económicos	
Requisitos de usos	Límites de propiedades
- Que puedan ser trabajadas con maquinas y herramientas de mano y motor con pocas dificultades. - Que puedan resistir esfuerzos mecánicos - Deben ser bastantes estables en cuanto a cambios por variación de su contenido de humedad. - Que puedan ser usadas con adhesivos y herrajes comunes para muebles. - No se recomiendan piezas con textura gruesa y pesadas, tanto como las ligeras y textura uniforme - Tener una baja tendencia a la exudación de resinas y al manchado por extractivos.	- Rango de densidad=0.38-0.65 g/cm³ - Rango de MOE=71000-150000 kg/cm² - Rango de MOR =400-1350 kg/cm² - Máximo esfuerzo en compresión perpendicular =300-700 kg/cm² - Rango de dureza lateral=200-800 kg - Resistencia a ser rajado por clavos y tornillos = de buena a excelente - Fácil de pegar con adhesivos, clavar y atornillar - Textura= todo el rango - Cambio de las dimensiones= de mediano a pequeño - Grano = recto, entrecruzado - Maquinado en general= fácil y bueno a excelente, esto es fácil de aserrar y cepillar moldurar, lijar, taladrar, ensamble a caja y espiga con superficies resultantes buenas a excelentes. - Pintado= debe intentarse con facilidad y aceptar y retener bien pinturas y barnices. - El duramen debe ser resistente al ataque de termitas. De lo contrario la albura y el duramen deben ser resistentes a permeables.
Tabla 13. Cajas de empaque, embalaje y tarimas	

Requisitos de usos	Límites de propiedades
• Que pueda ser trabajada con maquinas y herramientas de mano • Que puedan resistir esfuerzos mecánicos con una relación de peso/resistencia • Que puedan ser unidas con adhesivos t herrajes metálicos comunes como clavos y tornillos	• Rango de densidad=0.38-0.56 g/cm³ • Rango del MOE= 71000-100000 kg/cm² • Rango de MOR= 400-900 kg/cm² • Esfuerzo máximo en compresión paralela= 300-450 kg/cm² • Dureza lateral= 200-400 kg • Resistencia a ser rajada por clavos y tornillos • Facial de clavar, atornillar y pegar con adhesivo • Textura= todo el rango • Grano derecho a entrecruzado • Maquinado en general= fácil el cepillado, torneado, taladrado, y ensamble a caja y espiga, y de pobres a excelentes • De preferencia que pueda aceptar tintas para impresiones • Cuando sean usadas para transportar alimentos, no usar maderas con extractivos altamente volátiles o solubles al agua • Durabilidad natural del duramen= de no durable a muy durable

Tabla 17. Artículos de cocina

Requisitos de usos	Límites de propiedades
• Que puedan ser maquinados para obtener superficies redondas y muy lisas • Que puedan ser mojadas sin sufrir cambios dimensionales muy grandes ni agrietamientos, esto sin la aplicación de acabados • Que puedan obtener figuras vistosas o interesantes en las superficies de las piezas por patrones atractivos del grano de la madera • Peso bajo o relativo mediano • No debe contener resinas de extractivos que puedan impartir sabores u olores tóxicos	• Rango de densidad=0.38-0.65 g/cm³ • Rango de dureza lateral=200-800 kg • Dureza transversal= 250-1000 kg • Grano = todo el rango • Textura= de mediana a fina • Cambio de las dimensiones= de mediano a pequeño • Maquinado en general= fácil de aserrar, cepillar, tornear moldear y lijado, y de buenas a excelentes superficies, especialmente el torneado • Pintado= debe entintarse con facilidad y aceptar y retener bien pinturas y barnices • Figura= atractivo patrón o color