



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

**CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS Y PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS
DE LAS MADERAS DE *Swietenia macrophylla* KING.
Y *Cordia dodecandra* A. DC. PROVENIENTES DE
PLANTACIONES DE CAMPECHE, MÉXICO**

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

Presenta

MARCOS RUÍZ HERNÁNDEZ

DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

Chapingo, Texcoco, Estado de México
Noviembre de 2006

BIBLIOTECA DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES



BIBLIOTECA DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES

**CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS Y PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE
LAS MADERAS DE *Swietenia macrophylla* KING Y *Cordia dodecandra* A. DC.
PROVENIENTES DE PLANTACIONES DE CAMPECHE, MÉXICO**

Tesis realizada por Marcos Ruiz Hernández, bajo la dirección del comité asesor
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el
grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:



DRA. AMPARO MÁXIMA BORJA DE LA ROSA

ASESOR:



MC. MARIO FUENTES SALINAS

ASESOR:



DR. MIGUEL ÁNGEL MUSÁLEM SANTIAGO

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento otorgado durante mis estudios de Maestría.

A la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo por facilitar las instalaciones del Laboratorio de Tecnología de la Madera y proporcionarme los conocimientos para continuar con mi desarrollo profesional.

A la Doctora Amparo Máxima Borja de la Rosa por su confianza, apoyo y excelente asesoría y contribución a la realización de esta investigación.

Al Maestro Mario Fuentes Salinas por su asesoría, apoyo y por cada una de sus valiosas sugerencias y observaciones.

Al Doctor Miguel Dr. Miguel Ángel Musálem por la revisión y amplias sugerencias para mejorar el texto de esta tesis.

Al señor Francisco Pérez Cuevas por su paciencia y el apoyo brindado en la obtención del material de estudio.

A la ingeniera María del Carmen Hernández y María Magdalena Mendoza Díaz, por el trabajo de edición y correcciones al documento. Así como a la Bióloga Jaqueline Xelhuantzi y a la Alumna Soledad Valdéz por las correcciones finales del documento.

BIBLIOTECA DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES

DEDICATORIA

Al Ser supremo por darme la oportunidad de llegar hasta esta parte del camino.

Con amor a esa persona tan especial en mi vida, mi esposa Lisette por todo lo que significa para mi, por alentarme en los momentos de tristeza y permanecer conmigo en los días de felicidad, por el apoyo y comprensión que me ha brindado durante la realización de mi tesis.

A mis hijas Tania, Brenda y Valeria con mucho amor.

A mis padres María de la Cruz Hernández Hidalgo y Javier Ruiz Magaña, por su infinito cariño a los que le debo la vida y su apoyo incondicional. En especial a mi madre por ese amor mostrado durante mi estancia y cuidados brindados hacia mis hijas.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor es originario de la ciudad de Campeche. Estudió su nivel medio superior en el Instituto Campechano, en la disciplina físico-matemáticas. Estudió la carrera de Ingeniero Agrónomo con la especialidad de Silvicultura y Manejo Forestal en el Instituto Tecnológico Agropecuario N° 5, Chiná, Campeche. Egresó en enero del 2003. Se tituló con la tesis "Establecimiento de la especie *Cedrela odorata* (Cedro rojo) en suelos K'ancab y A'kalche".

En el año 2002, se desempeñó en el área de viveros del poblado de Castamay, Campeche, la Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de Campeche.

En el año 2003 de febrero a mayo, estuvo en un despacho de estudios forestales, como asesor técnico de aprovechamientos forestales a ejidos del Estado de Campeche. De Mayo a Diciembre del 2003, laboró como técnico en la Secretaria de Ecología del Gobierno del Estado de Campeche, realizando asesorías técnicas a productores dentro del programa plantaciones productivas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	IIX
ÍNDICE DEL APÉNDICE.....	XII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GENERAL	3
2.2 OBJETIVOS PARTICULARES	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 VALOR Y USO DE LA MADERA DE CAOBA	4
3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA DE CAOBA	4
3.3 VALOR Y USO DE LA MADERA DE SIRICOTE	5
3.4 CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA DE SIRICOTE	5
4. MATERIALES Y MÉTODOS	7
4.1 MATERIALES	7
4.1.1 Descripción de la plantación	7
4.1.2 Colecta del arbolado	9
4.2 MÉTODO.....	11
4.2.1 Procedimiento para la obtención de materiales de estudio en campo	11
4.2.2 Procedimiento para la obtención de materiales de estudio en laboratorio	11
4.2.3 Características anatómicas	12
4.2.3.1 Estudio anatómico macroscópico	12
4.2.3.2 Estudio anatómico microscópico.....	12
4.2.3.3 Medición de elementos constitutivos	15
4.2.3.4 Proporción de elementos constitutivos.....	18
4.2.4 Índices de calidad de pulpa para papel.....	19
4.2.5 Propiedades físicas.....	20
4.2.5.1 Contenido de humedad saturado y Contenido de humedad de equilibrio	20
4.2.5.2 Punto de saturación de la fibra	21
4.2.5.3 Evaluación de las densidades	21
4.2.5.4 Contracciones e hinchamientos de la madera.....	27
4.2.6 Propiedades mecánicas	31
4.2.6.1 Dureza Janka	31
4.2.6.2 Flexión dinámica	32
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
5.1 CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS	36
5.1.1 Características macroscópicas.....	36
5.1.1.1 Características macroscópicas de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING).....	36
5.1.2 Características microscópicas	41

5.1.2.1 Características microscópicas de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING)	41
5.1.2.2 Características microscópicas de la madera de siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.).....	46
5.1.3 Índices de calidad de pulpa para papel.....	51
5.1.4 Proporción de elementos constitutivos.....	56
5.2 PROPIEDADES FÍSICAS.....	56
5.2.1 Máximo Contenido de Humedad	56
5.2.2 Punto de saturación de la fibra	56
5.2.3 Densidad de la madera	56
5.2.4 Contracción	64
5.2.5 Coeficiente de contracción volumétrica ($V\beta_v$)	66
5.2.6 Hinchamiento y Coeficiente de Hinchamiento	70
5.2.7 Relación de anisotropía de las contracciones	70
5.3 PROPIEDADES MECÁNICAS.....	70
5.3.1 Dureza Janka.....	70
5.3.2 Flexión dinámica.....	74
5.4 FICHAS TECNOLÓGICAS	74
6. CONCLUSIÓN.....	82
7. LITERATURA CITADA.....	84
8. APÉNDICE	90

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Datos básicos de los árboles y los sitios de colecta de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) en la plantación de la Exhacienda José Ucuchil en el municipio de Hopelchén, Campeche, México.....	10
Cuadro 2. Datos básicos de los árboles y los sitios de colecta de siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) en la plantación de la Exhacienda José Ucuchil en el municipio de Hopelchén, Campeche, México ²	10
Cuadro 3. Características macroscópicas de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.....	37
Cuadro 4. Características macroscópicas de la madera de siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.....	42
Cuadro 5. Características anatómicas microscópicas de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.....	47
Cuadro 6. Clasificación de los elementos celulares de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche, con base en Tortorelli (1956) y Terrazas (1984).....	48
Cuadro 7. Características anatómicas microscópicas de la madera de siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.....	52
Cuadro 8. Clasificación de los elementos celulares de la madera de siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche, con base en Tortorelli (1956) y Terrazas (1936).....	53
Cuadro 9. Índices de calidad de pulpa de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.....	57
Cuadro 10. Índices de calidad de pulpa de la madera de siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.....	57

Cuadro 11. Proporción de elementos constitutivos de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.....	58
Cuadro 12. Proporción de elementos constitutivos de la madera de siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.....	58
Cuadro 13. Máximo Contenido de Humedad de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> King) y siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.	59
Cuadro 14. Punto de saturación de la fibra de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) y siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.	60
Cuadro 15. Valores de densidad de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.....	62
Cuadro 16. Valores de densidad de la madera de siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.....	62
Cuadro 17. Valores de contracciones lineales y volumétrica de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.	67
Cuadro 18. Valores de contracciones lineales y volumétrica de la madera de siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.	68
Cuadro 19. Coeficiente de contracción volumétrica de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) y de siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.	69
Cuadro 20. Valores de hinchamiento de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) y siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.	71
Cuadro 21. Coeficiente de hinchamiento de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) y de siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.	72
Cuadro 22. Valores de Anisotropía de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) y de siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.	73

Cuadro 23. Valores de dureza de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) al contenido de humedad en equilibrio procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.	76
Cuadro 24. Valores de dureza de la madera de siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) al contenido de humedad en equilibrio procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.	76
Cuadro 25. Valores de Flexión Dinámica de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) al 137 y 12 % de Contenido de Humedad, procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.	77
Cuadro 26. Ficha tecnológica madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING), procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.	78
Cuadro 27. Ficha tecnológica de la madera de siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.	79
Cuadro 28. Comparación de las características de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING), procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche, con las reportadas en la literatura para árboles maduros.	80
Cuadro 29. Comparación de las características de la madera de siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche, con las reportadas en la literatura para árboles maduros.	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la plantación de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) y siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) en la Exhacienda José Ucuchil en el municipio de Hopelchén, Campeche, México.	8
Figura 2. Localización de las rodajas de diferente grosor para diversos estudios obtenidos de la troza basal del árbol.....	13
Figura 3. Obtención del corte mediante xilotomo en cubos de madera de 2x2x2 cm de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) y siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.....	16
Figura 4. Cortes típicos, radial, tangencia y longitudinal conservados en glicerina de madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) y siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.....	16
Figura 5. Preparación de cortes típicos para evaluar características anatómicas a nivel microscópico de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.	17
Figura 6. Preparación de cortes típicos para evaluar características anatómicas a nivel microscópico de siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.	17
Figura 7. Probetas para determinar densidades de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) y siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.....	24
Figura 8. Desecador con bomba de vacío utilizado para la preparación de las probetas para la determinación densidades de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) y siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.....	24
Figura 9 Determinación del peso de la probeta con balanza de precisión de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) y siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.....	25

Figura 10. Determinación del volumen de la probeta de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) y siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.....	25
Figura 11. Estufa de laboratorio utilizada para obtener peso anhidro de las probetas de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) y siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.....	26
Figura 12. Probeta para ensayo de dureza de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) y siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.	33
Figura 13. Probeta para ensayo mecánico de impacto de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.....	35
Figura 14. Características macroscópicas de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.....	38
Figura 15. Cortes macroscópicos de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche: A) Transversal, B) Longitudinal radial y C) Longitudinal tangencial.....	39
Figura 16. Características macroscópicas de la madera de siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.....	43
Figura 17. Cortes macroscópicos de la madera de siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche: A) Transversal, B) Longitudinal radial y C) Longitudinal tangencial.....	44
Figura 18. Características anatómicas microscópicas de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.....	49
Figura 19. Cortes microscópicos de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche: A) Longitudinal tangencial, B) transversal y C) Longitudinal radial.	50

Figura 20. Características anatómicas microscópicas de la madera de siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.	54
Figura 21. Cortes microscópicos de de la madera de siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche: A) Longitudinal tangencial, B) transversal y C) Longitudinal radial.	55
Figura 22. Densidad básica de la madera de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> KING) reportada de autores comparada con la madera procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén Campeche.	63
Figura 23. Densidad básica de la madera de siricote (<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.) reportada de autores comparada con la madera procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.	65

ÍNDICE DEL APÉNDICE

ANEXOS

Anexo 1. Clasificación de color para latifoliadas (Tortorelli, 1956)	91
Anexo 2. Clasificación del veteado (Tortorelli, 1956)	91
Anexo 3. Clasificación de la textura (Tortorelli, 1956)	91
Anexo 4. Clasificación del hilo (Tortorelli, 1956).....	91
Anexo 5. Clasificación de la porosidad (Tortorelli, 1956)	92
Anexo 6. Clasificación de los rayos (Tortorelli, 1956).....	94
Anexo 7. Clasificación de fibras (Tortorelli, 1956)	95
Anexo 8. Clasificación de los índices de calidad de pulpa (Petroff y Normand, 1968).....	96
Anexo 9. Clasificación de la densidad básica (Vignote y Jiménez, 1996)	97
Anexo 10. Clasificación de la densidad al 12 % de CH (Díaz, 1960). Latifoliadas	97
Anexo 11. Clasificación de las contracciones de la madera según su intensidad (%). (Fuentes, s/f)	97
Anexo 12. Clasificación de la madera según su relación de anisotropía (Ordóñez, 1990).....	97
Anexo 13. Clasificación del punto de saturación de la fibra (Novelo, 1964).....	98
Anexo 14. Clasificación de la dureza Janka (Tortorelli, 1956).....	98
Anexo 15. Cuota de resiliencia (K/Dh^2) a un 12% de CH, Flexión Dinámica (Pérez, 1983 y Díaz, 1960)	98
Anexo 16. Clasificación de las propiedades mecánicas (Echenique, 1994).....	98
Anexo 17. Clasificación del coeficiente de hinchamiento según Pérez (1983).....	99
Anexo 18. Clasificación del coeficiente de resiliencia según Díaz (1960).	99
Anexo 19. Cota de resiliencia según Pérez (1983) y Díaz (1960).	99

Cuadro 1 del Apéndice. Características de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) procedente de bosques naturales según varios autores.... 100

Cuadro 2 del Apéndice. Características de la madera madura de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedente de bosques naturales según varios autores. . 104

BIBLIOTECA DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES

CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS Y PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LAS MADERAS DE *Swietenia macrophylla* KING Y *Cordia dodecandra* A. DC. PROVENIENTE DE PLANTACIONES DEL ESTADO DE CAMPECHE, MEXICO

ANATOMICAL CHARACTERISTICS AND PHYSICAL MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD FROM *Swietenia macrophylla* KING AND *Cordia dodecandra* A. DC. FROM PLANTATIONS IN THE STATE OF CAMPECHE, MEXICO

Marcos Ruíz Hernández² y Amparo Máxima Borja de la Rosa³

RESUMEN

La presente investigación se realizó para conocer las características anatómicas, las propiedades físicas y mecánicas de las maderas de *Swietenia macrophylla* (caoba) y *Cordia dodecandra* (siricote) de 10 años de edad provenientes de plantaciones forestales comerciales. Se colectaron 4 y 5 árboles respectivamente, en el estado de Campeche. Se evaluaron las características anatómicas macroscópicas y microscópicas, las propiedades físicas, la dureza y la resistencia al impacto. Para el estudio macroscópico se utilizaron probetas de 7 x 15 x 1 cm, para el microscópico se elaboraron preparaciones fijas de cortes y material disociado y las propiedades mecánicas de acuerdo a las normas ASTM. La madera de caoba presenta un color castaño pálido en la albura y rojizo pálido en el duramen, porosidad difusa con poros solitarios, múltiples medianos y cortos, placa perforada simple, parénquima en bandas concéntricas, los rayos multiseriados pocos biseriados heterogéneos, fibras de pared delgada. Presenta densidad básica y contracciones lineales y volumétricas medias, es una madera semidura y muy poco resiliente. La madera de siricote presenta un color amarillo pálido en la albura y castaño marrón en el duramen, porosidad difusa con poros solitarios medianos y cortos, placa perforada simple, parénquima paratraqueal con bandas confluentes aliforme, poco vacicentrico, rayos multiseriados y heterogéneos, fibras de pared delgada, densidad básica y contracciones lineales y volumétricas medias, la madera se clasifica como semidura.

Palabras Claves: anatomía de la madera, densidad básica, contracción, dureza Janka, impacto, caoba, siricote

ABSTRACT

The present research was done to determine the anatomical characteristics, the physical properties and the mechanical properties of wood from ten year old mahogany and siricote trees at a commercial forestry plantation. Four mahogany trees and five siricote trees were collected in the state of Campeche. Their anatomical characteristics were macroscopically and microscopically evaluated, as well as their physical properties, hardness, and impact. 7 x 15 x 1 cm test tubes were used for the macroscopic study. Fixed samples of wood cuts and disassociated material were elaborated for the microscopic study. The mechanical properties of the two species were evaluated according to ASTM norms. The mahogany had a pale brown color in the alburnum and pale red color in the duramen, diffuse porosity with lone pores, multiple medium pores and short pores, a simple perforated plate, concentric bands in the parenchyma, mainly heterogeneous multiseriate rays, heterogeneous biseriate rays in a few cases, and thin fibered walls. This wood has a basic density, lineal contractions and average volumes. It is a semi hard wood with little resilience. On the other hand, the siricote wood is pale yellow in the alburnum and a reddish brown in the duramen, has diffuse porosity with medium sized and short pores, a simple perforated plate, a paratraqueal not very vacicentric parenchyma with aliform confluent bands, multiseriate and heterogeneous rays, thin walled fibers, basic density, lineal contractions, and medium volumes. The wood is classified as semi hard.

Key words: wood anatomy, basic density, contraction, Janka hardness, impact, mahogany, siricote.

Parte de la Tesis de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales del primer autor, presentada al Programa de Postgrado de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, México el 23 de noviembre de 2006.

² Ingeniero Forestal. Actualmente Inspector Federal de PROFEPA. Cancún Quintana Roo, México. Tel: 55 34 24 35 65, E-mail: maruhe3@hotmail.com.

³ Doctora en Ciencias. Anatomía de la Madera. Laboratorio de Anatomía de la Madera. DICIFO. UACH. Chapingo, México. Tel: (595) 9521639; e-mail: aboria@correo.chapingo.mx.

1. INTRODUCCIÓN

La demanda creciente de productos forestales para abastecer las necesidades de la sociedad, ha venido incentivando la creación de plantaciones forestales comerciales aparte de las fuentes tradicionales de los bosques naturales. Al mismo tiempo, se observa la tendencia mundial de dedicar los bosques naturales como áreas para satisfacer las necesidades de servicios ambientales y conservación de la biodiversidad, debido a la baja productividad y a los impactos ambientales que genera el aprovechamiento forestal (Arteaga y Musálem, 2004).

México ha ingresado a este camino, por un lado, para reducir sus importaciones de material celulósico y papel, a través de plantaciones industriales a base de eucaliptos, y por otra parte, la demanda insatisfecha de productos maderables para muebles, pisos y cubiertas por la vía de plantaciones de maderas preciosas. Además, en México las perspectivas de las plantaciones forestales comerciales cada vez son mayores, debido a que se han identificado dentro del país regiones con gran potencial para su establecimiento.

En el país se han venido plantando especies forestales, especialmente, especies exóticas de rápido crecimiento, de uso reconocido, para abastecimiento industrial como *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, y *Gmelina arborea*, principalmente en los estados del sureste de México. En el caso de las maderas preciosas se han venido plantando especies exóticas como *Tectona grandis* y *Acrocarpus fraxinifolius*, y especies nativas como *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla* y *Tabebuia rosea*.

Las especies nativas establecidas en plantaciones han mostrado buenos crecimientos, pero se ha postulado, sin embargo, que a pesar de que tienen un uso establecido y un valor de uso y de mercado muy conocido, se espera que los productos derivados de ellas presenten diferencias sensibles o marcadas en algunas de sus características conocidas tradicionalmente en el mercado.

Por otro lado, la mayor parte de los estudios sobre la madera de las especies nativas plantadas en la actualidad, se refieren a arbolado y productos procedentes del bosque natural con turnos y dimensiones muy grandes, alrededor de 50 años y 60 centímetros, respectivamente. Por lo anterior, se hace necesario confrontar las características anatómicas y físico-mecánicas de los árboles plantados, que muestran crecimientos notables y son capaces de producir productos en turnos cortos y de dimensiones menores, de 20 a 25 años y 30 a 50 centímetros, respectivamente, en relación con las procedentes de bosques naturales.

Al respecto, se ha postulado que la madera de árboles jóvenes presenta características anatómicas y propiedades físicas y mecánicas diferentes a las de la madera madura, como densidad básica menor, resistencia mecánica más baja, mayor contracción axial y, en algunos casos, mayor porcentaje de madera de tensión (Panshin y De Zeeuw, 1970).

Por lo anterior, en este trabajo, se aborda la descripción de las características anatómicas y físico-mecánicas de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) y siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.), especies de madera preciosa ampliamente plantadas en el sureste de México procedentes de plantaciones de diez años de edad, y para establecer las diferencias postuladas en los párrafos anteriores, con las procedentes de los bosques naturales.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Conocer las características anatómicas y las propiedades físico-mecánicas de las maderas de *Swietenia macrophylla* KING (caoba) y *Cordia dodecandra* A. DC.(siricote), provenientes de plantaciones forestales comerciales de diez años de edad, del estado de Campeche.

2.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Conocer las características anatómicas macroscópicas y microscópicas de la madera de caoba y siricote.
- Calcular la proporción de elementos constitutivos en las maderas.
- Determinar los valores de las propiedades físicas: densidad verde, densidad básica, densidad al h % de contenido de humedad, densidad anhidra, las contracciones e hinchamientos lineales y volumétricas y el punto de saturación de la fibra.
- Obtener los valores de dureza para ambas maderas y resistencia al impacto para la madera de caoba.
- Comparar las características de la madera procedente de plantaciones con las de las maderas de uso tradicional procedente de los bosques naturales.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

Las características y propiedades de las maderas de caoba y siricote revisadas en este capítulo corresponden sin excepción a muestras de madera obtenidas de árboles maduros de bosques naturales. No se encontró literatura correspondiente a estas especies que provengan de arbolado joven de plantaciones forestales comerciales.

3.1 VALOR Y USO DE LA MADERA DE CAOBA

La caoba tiene gran aceptación en el mercado y es la base de las industrias forestales de las zonas tropicales del país. La madera de caoba, debido a su belleza, alta durabilidad natural, fácil trabajabilidad y alta estabilidad dimensional en general, puede usarse en construcciones livianas y molduras, embarcaciones, parquet doméstico, duela, partes de molinos, moldes, instrumentos científicos, acabados y divisiones interiores para baños sauna, muebles de lujo, gabinetes de primera clase, chapa plana decorativa, artículos torneados, triplay, duela, lambrín, decoración de interiores y ebanistería fina, fósforos, palillos, lápices, entre otras aplicaciones. También, se indica que es una especie maderable de importancia artesanal, para artículos torneados, esculpidos e instrumentos musicales. Así mismo, se ha indicado que las semillas contienen un aceite con el que se pueden preparar cosméticos, y que la infusión de la corteza y las semillas se usan como tónico y contra tifoidea, diarrea y fiebre (Petexbatum, 2007; CONABIO, 2001).

3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA DE CAOBA

Una descripción general de la madera de caoba, extraída de diversos autores se presenta a continuación, basada en una concentración de resultados para cada característica de la madera citada por cada autor (Cuadro 1 del Apéndice): la madera de caoba madura presenta un color rojizo en el duramen con bello veteado, con olor y sabor no característico, hilo recto con un veteado pronunciado. Las fibras son de

tipo libriforme de una longitud mediana y diámetro fino, parénquima marginal apotraqueal, los rayos son medianos uniseriados, biseriados y multiseriados, los vasos solitarios y multiples. Presenta una densidad básica de 0.42 g/cm³ y una contracción volumétrica de 10.42% clasificada como semidura. El punto de saturación de la fibra es de 27% y la dureza lateral de 364 a 388 kilogramos (Irena, 1987; Camacho, 1988; Fuentes, 1998; Guridi, 1998; Pennington y Sarukhán, 1998; Richter y Dallwitz, 2000; León, 2003).

3.3 VALOR Y USO DE LA MADERA DE SIRICOTE

El árbol del siricote es un recurso de alto valor potencial. La madera es oscura, con un bello veteado y produce una de las chapas más vistosas entre las maderas tropicales, su escasez y diámetros pequeños impiden la producción a gran escala. La madera es de buena calidad, fuerte y resistente. Se usa para carpintería en forma de barrotes, reglas y tablas, lambrín, carrocerías, puentes, artículos de escritorio, durmientes, artículos deportivos, postes, ebanistería, remos, embarcaciones; también se utiliza como chapa, muebles finos, culatas de rifle, parquet, duela, torno, pisos, muebles mobiliario y ebanistería, artesanías, instrumentos musicales, decoración. El tronco se utiliza para horcones y columnas en las construcciones rurales. La corteza y la madera se utilizan para el tratamiento de catarros, se elabora un jarabe y se utiliza como medicamento para el resfriado. Los niños construyen collares con las flores atravesándolas con un hilo de henequén. Los frutos se pueden preparar en mermelada, también se utilizan como alimento para marranos (CONABIO, 2001; Vazquez- Yanes, 1999).

3.4 CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA DE SIRICOTE

Una descripción general de la madera de siricote, extraída de diversos autores se presenta a continuación, basada en una concentración de resultados para cada característica de la madera citada por cada autor (Cuadro 2 del Apéndice) la madera de siricote madura presenta un color oscuro en el duramen con bello veteado

pronunciado, con olor y sabor no característico, hilo recto. Las fibras son de tipo libriforme de una longitud mediana y diámetro fino, parénquima apotraqueal difuso agregado, aliforme confluyente, los rayos son medianos uniseriados y multiseriados, los vasos difusos y solitarios. Se reporta una densidad básica de 0.89 g/cm^3 y una contracción volumétrica de 8.7% clasificada como baja, el punto de saturación de la fibra es de 17% y la dureza lateral de 1012 kilogramos (Díaz y Huerta, 1986; Irena, 1987; Camacho, 1988; Barajas y León, 1989; Fuentes, 1998; Guridi, 1998; Pennington y Sarukhán, 1998).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 MATERIALES

4.1.1 Descripción de la plantación

La plantación de donde se obtuvo el material de este estudio se localiza en la Ex-hacienda San José Ucuchil, la que se ubica en el municipio de Hopelchén, estado de Campeche, a dos kilómetros sobre la carretera a Santa Rosa Xtampak.

La localidad de Hopelchén se encuentra entre los 19° 46' de latitud Norte y 89° 48' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich. El municipio de Hopelchén limita al Norte con el estado de Yucatán y el municipio de Tenabo, al Sur con el municipio de Calakmul, al Oeste con el estado de Yucatán, y al Sur con la capital del estado de Campeche (Figura 1).

Características del sitio. La plantación cubre una superficie aproximada de 50 hectáreas, y contiene bloques de plantación de cedro rojo, caoba, siricote y melina. Se estableció en el año de 1995 a densidades de 833 plantas/ha en marco real de 4 x 3 metros, en terrenos prácticamente planos, profundos, de textura migajón arcilloso, clasificado como rendzina (Lengua maya: Yax-xoóm), con pH que varía de 4.9 a 7.5, y a una altitud promedio de 80 msnm (Comisión Nacional de Estudios Municipales, 1989).

Vegetación. La vegetación natural que rodea la plantación es, por una parte, vegetación secundaria en acahuals de diversa edad, y por otra, vegetación compuesta por selvas bajas de, aproximadamente, 15 metros de altura, donde se encuentran árboles maderables como *Bursera simaruba* (chacá), *Lysiloma bahamensis* (tzalam), *Piscidia communis* (jabín), *Cecropia obtusifolia* (guarumbo), *Metopium yucatanum* (chechem negro) y *Platymiscium yucatanum* (granadillo), entre

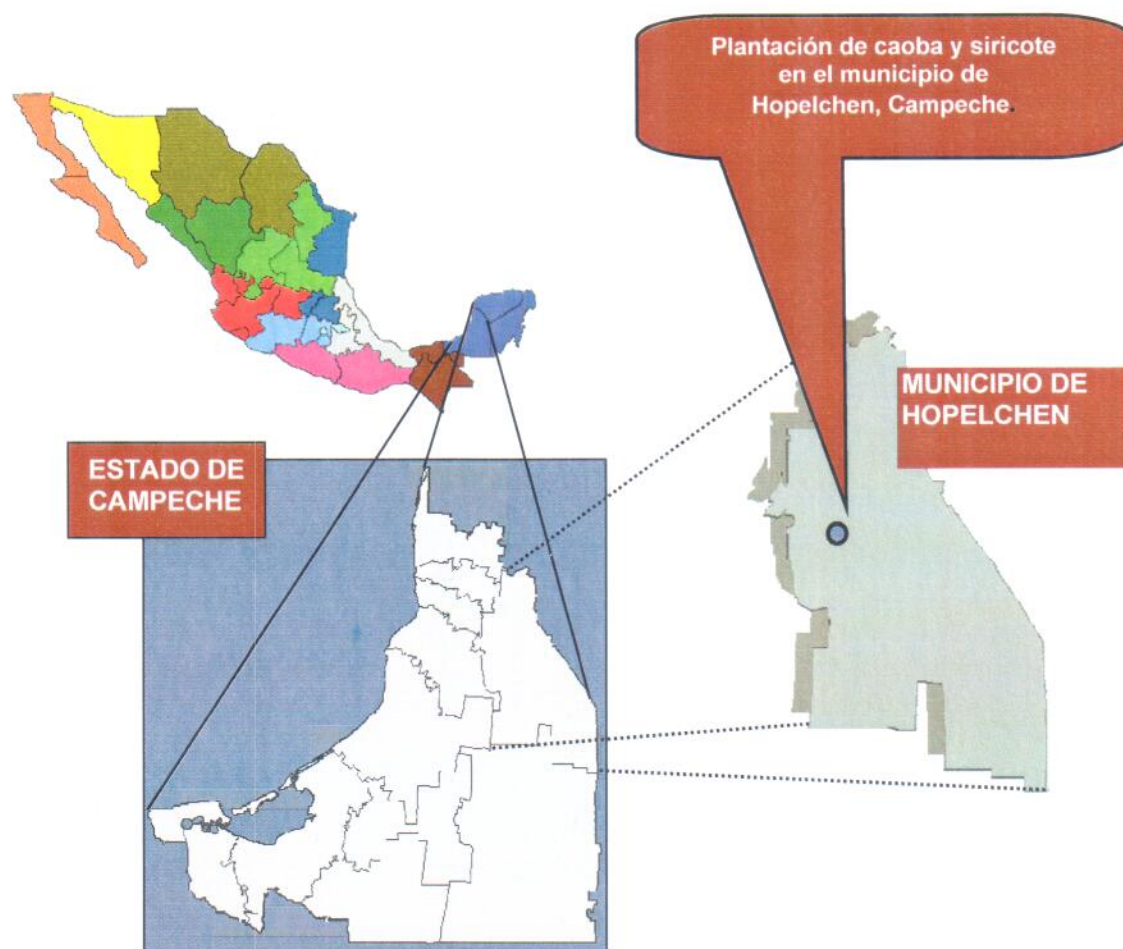


Figura 1. Ubicación de la plantación de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) y siricote (*Cordia dodecandra* A DC.) en la Exhacienda José Ucuchil en el municipio de Hopelchén, Campeche, México.

otros (Comisión Nacional de Estudios Municipales, 1989).

Clima. La zona presenta clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (AW). La temperatura media es de 26.3 °C con precipitación anual que va de 1 100 a 1 500 mm. La temporada de lluvias se inicia con un marcado ascenso de precipitación en junio, aumenta paulatinamente durante julio y agosto, alcanza su máximo en septiembre y octubre (Comisión Nacional de Estudios Municipales, 1989).

La plantación fue establecida en 1995/¹, con financiamiento de FIRA. Las especies caoba, siricote, cedro y melina se seleccionaron con el objetivo de producción de madera para aserrío. El establecimiento se realizó manualmente, con planta con cepellón, en cepa común de 20 x 20 x 30 cm, a espaciamientos de 4 x 3 m, resultando una densidad de 833 plantas/ha. A los diez años de la plantación, la caoba presentó altura promedio de 6.1 m y diámetro promedio de 14 cm; el siricote, altura promedio de 4.7 m y diámetro promedio de 8.0 cm.

4.1.2 Colecta del arbolado

Del 20 al 25 de abril de 2005, en la plantación descrita se seleccionaron y se recolectaron cuatro árboles de caoba y cinco árboles de siricote, elegidos completamente al azar. De cada árbol se tomaron los datos de colecta individuales: diámetro normal, altura total, altura de fuste, inclinación del fuste; así como de las del sitio: altitud sobre el nivel del mar, pendiente, tipo de suelo y asociación vegetal. El material colectado se acompañó de muestras de herbario del cada árbol y se procedió a la identificación y montaje en el Laboratorio de Botánica de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, México. Las especies resultaron identificadas positivamente como: *Swietenia macrophylla* KING. (caoba) y *Cordia dodecandra* A. DC. (siricote) (Cuadro 1)

¹ Comunicación Personal con el Capitán Rafael Hermosillo Propietario del predio. 2005.

Cuadro 1. Datos básicos de los árboles y los sitios de colecta de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) en la plantación de la Exhacienda José Ucuchil en el municipio de Hopelchén, Campeche, México.²

Número de árbol	Diámetro normal (cm)	Altura total (m)	Altura de fuste limpio (m)	Número de trozas de 1.20 metros por árbol
1	15.0	5.90	3.20	3
2	10.0	5.00	2.40	2
3	14.5	6.50	2.20	2
4	15.0	7.10	4.10	3
Promedio	13.5	6.12	2.97	2.5

Cuadro 2. Datos básicos de los árboles y los sitios de colecta de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) en la plantación de la Exhacienda José Ucuchil en el municipio de Hopelchén, Campeche, México.²

Número de árbol	Diámetro normal (cm)	Altura total (m)	Altura de fuste limpio (m)	Número de trozas de 1.20 metros por árbol
1	7.5	3.40	1.40	1
2	8.0	5.00	2.20	2
3	8.5	5.00	2.10	2
4	8.5	6.00	4.00	3
5	7.0	4.20	2.10	2
Promedio	7.9	4.72	2.36	2

² Sitio: Topografía: Plana; Tipo de suelo: Rendzina; Vegetación Asociada: Guarumbo, tzalam, chacá, chechen, jabín, granadillo y acahual.

4.2 MÉTODO

4.2.1 Procedimiento para la obtención de materiales de estudio en campo

Antes de derribar los árboles se marcaron y se tomaron muestras botánicas de los nueve árboles seleccionados con el fin de tener la seguridad de que se trataba de la especie de interés. De cada uno de los árboles derribados se colectaron dos muestras botánicas. A continuación, se levantaron datos de las características principales del terreno en donde se encontraba el árbol a estudiar.

Una vez identificados, los árboles se seleccionaron bajo la consideración de que tuviese el fuste recto, estuvieran sanos y sin defectos, sin bifurcaciones ni deformaciones, con la finalidad de obtener la mayor cantidad de material de estudio (probetas). Enseguida se procedió a registrar las características de cada árbol, tales como altura total, altura de fuste limpio, diámetro normal e inclinación del fuste.

Posteriormente se procedió al derribo, desramado y troceo de los árboles. En cada árbol, las trozas de 1.20 cm, se cortaron a partir de los 20 cm de la base. En cada árbol se obtuvo diferente número de trozas en función de la altura de fuste limpio. En promedio, en caoba se obtuvo dos y media trozas, y en siricote dos (Cuadro 1).

Las trozas se sellaron con pintura vinílica en los cortes, y con encalado en toda la troza. Las trozas se trasladaron por vía terrestre debidamente protegidas del sol al Laboratorio de Productos Forestales de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, México.

4.2.2 Procedimiento para la obtención de materiales de estudio en laboratorio

De cada uno de los árboles se hicieron rodajas para luego obtener probetas para la caracterización anatómica tanto macroscópicas y microscópicas así como las

propiedades físicas y mecánicas. Las probetas se elaboraron en la planta Piloto de Dimensionado del Departamento de Productos Forestales de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, México.

La primera troza de cada uno de los árboles de las dos especies se dividió de la siguiente manera: se cortó una rodaja de 5 cm de grosor, para el estudio de las características anatómicas; seguidamente se obtuvo una rodaja de 5 cm de grosor para la determinación de la densidad; consecutivamente se obtuvo tres rodajas de 10 cm de grosor cada una para determinar contracción radial, contracción tangencial, y contracción axial, respectivamente; enseguida se cortaron dos rodajas de 15 cm cada una para determinar la dureza; y la parte restante se utilizó para evaluar las características macroscópicas. La segunda y tercera troza se utilizó para los ensayos mecánicos (Figura 2).

4.2.3 Características anatómicas

4.2.3.1 Estudio anatómico macroscópico

Se utilizaron tablillas de dimensiones de 1 x 7 x 15 cm de los tres cortes típicos (longitudinal-radial, longitudinal-tangencial y transversal), en las cuales se realizaron observaciones a simple vista y con la ayuda de una lupa de 10x. Las características a observar y a determinar fueron: color, olor, brillo, hilo, textura, veteado y porosidad. Para la determinación del color se utilizó como referencia la tabla de Munsell (1954).

4.2.3.2 Estudio anatómico microscópico

Para evaluar las características anatómico microscópicas se utilizó el material procedente de la primera rodaja de 5 cm de espesor de la primera troza de cada árbol. Para la caracterización anatómica microscópica se utilizaron preparaciones fijas y material disociado.

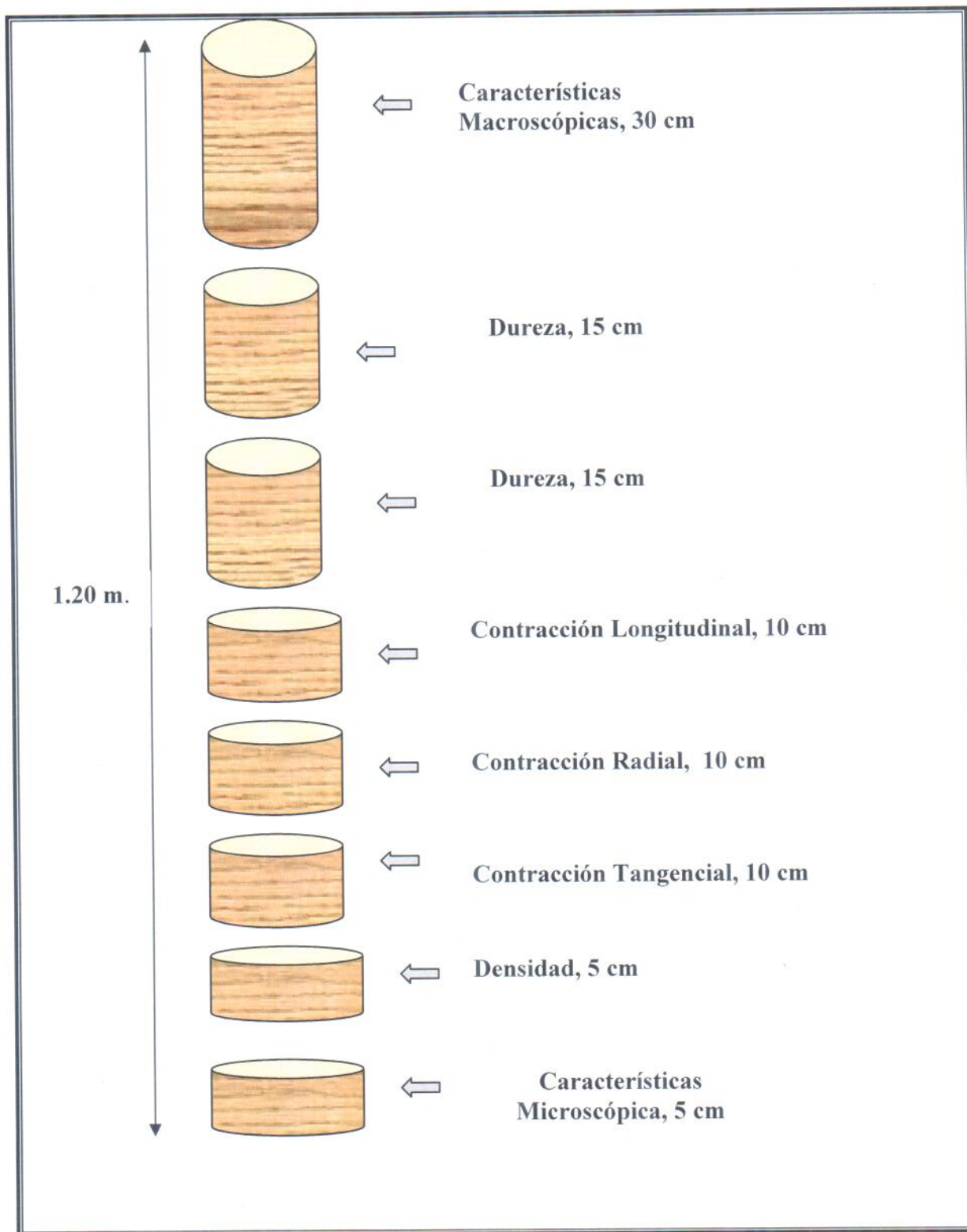


Figura 2. Localización de las rodajas de diferente grosor para diversos estudios obtenidos de la troza basal del árbol.

Obtención de los cortes típicos. Se elaboraron para la madera de siricote veinticinco preparaciones fijas de cortes típicos provenientes de varios cubos de 1.5 cm de arista, tomados de cada uno de los cinco árboles de las partes central, media y periférica de una rodaja extraída a la altura de 1.20 m. Se elaboraron para la madera de caoba, cuarenta y cinco preparaciones fijas de cortes típicos provenientes de varios cubos de 2 cm de arista, tomados de cada uno de los cuatro árboles de las partes central, media y periférica de una rodaja extraída a la altura de 1.20m. Las mediciones de las características anatómicas y propiedades físicas fueron realizadas en el Laboratorio de Anatomía y Tecnología de la Madera de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, México.

En las rodajas de la madera se marcaron probetas para caoba de 2 x 2 x 2 cm de lado y para siricote de 1.5 x 1.5 x 1.5 cm de lado para la obtención de los cubos. Estos cubos se sometieron a un proceso de ablandamiento en agua, se colocaron en una autoclave a una presión de $1/2 \text{ kg/cm}^2$ durante 1 minuto para la madera de caoba y de $1 \text{ } 1/2 \text{ kg/cm}^2$ durante 1 minuto para la madera de siricote. Una vez que se ablandaron los cubos, se realizaron, con un xilotomo, cortes típicos (transversal, longitudinal-tangencial y longitudinal-radial) con un espesor de 25μ (Figuras 3 y 4).

Los cortes se tiñeron con pardo de Bismarck durante 15 minutos; una vez teñidos, se lavaron con agua destilada hasta eliminar el exceso de colorante; posteriormente se deshidrataron con alcohol al 96% y luego con alcohol absoluto; se llevaron a un recipiente con xilol: se procedió a hacer las preparaciones, utilizando la resina sintética (Entellan) como sellador; en las preparaciones realizadas se hicieron las evaluaciones de las características anatómicas a nivel microscópico (Figuras 5 y 6).

Elaboración de material disociado. De los cubos utilizados para los cortes típicos, se procedió a obtener pequeñas virutas que fueron disociadas con una mezcla de peróxido de hidrógeno al 30%, con ácido acético glacial al 20%, en partes iguales. Las virutas se colocaron en frascos junto con la solución disociadora, se sellaron y se colocaron en una estufa a $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas, con la finalidad de lograr la

separación de las células. El material disociado se retiró de la estufa y se lavó con agua destilada hasta eliminar la sustancia disociadora; posteriormente se tiñeron con pardo de Bismarck por 15 minutos. Finalmente se elaboraron preparaciones temporales para la medición de los elementos constitutivos en un analizador de imágenes con el programa IM1000 y objetivo de 10x y 40x.

4.2.3.3 Medición de elementos constitutivos

Para cada una de las especies se describieron y se midieron los elementos constitutivos siguientes:

- Elementos de vaso: longitud, diámetro total, diámetro del lumen, grosor de pared, tipo de puntuaciones y placa perforada.
- Fibras: longitud, diámetro total, diámetro del lumen y grosor de pared
- Parénquima: tipo
- Rayos: tipo, altura, ancho

Para la medición de las dimensiones de las fibras se utilizó una premuestra de 20 fibras midiendo los parámetros antes mencionados. Posteriormente de esos datos se calculó el tamaño de la muestra mediante la siguiente expresión:

$$n = \frac{t^2 s^2}{E^2}$$

donde:

- n : Tamaño de la muestra
- t : Valor de la tabla de Student
- E : Error corregido al 95%
- S^2 : Varianza.

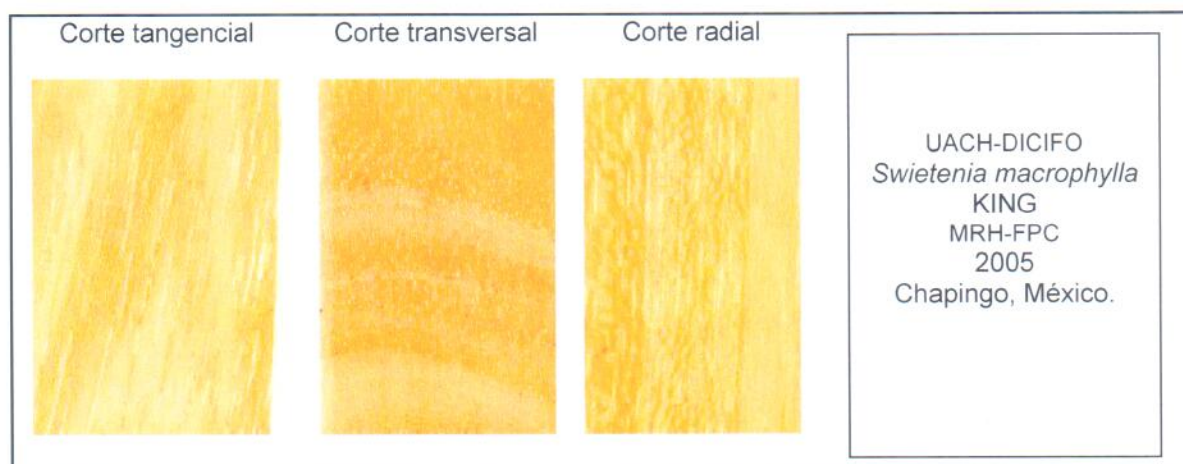
El tamaño de la muestra se determinó de acuerdo a la longitud de las fibras, grosor



Figura 3. Obtención del corte mediante xilotomo en cubos de madera de 2x2x2 cm de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) y siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

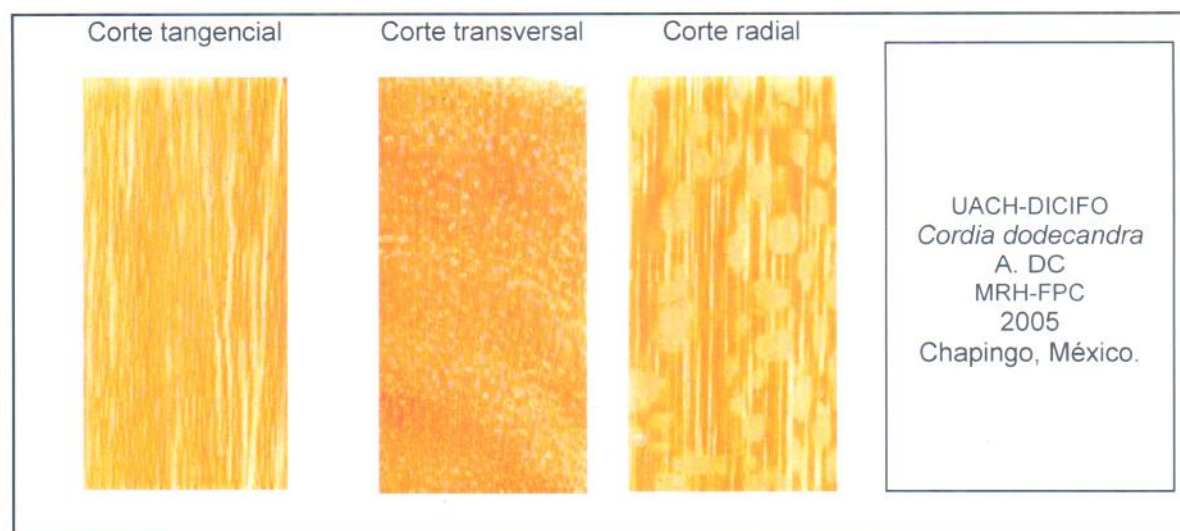


Figura 4. Cortes típicos, radial, tangencial y longitudinal conservados en glicerina de madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) y siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.



MRH-FPC (Marcos Ruíz Hernández; Francisco Pérez Cuevas)

Figura 5. Preparación de cortes típicos para evaluar características anatómicas a nivel microscópico de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.



MRH-FPC (Marcos Ruíz Hernández; Francisco Pérez Cuevas)

Figura 6. Preparación de cortes típicos para evaluar características anatómicas a nivel microscópico de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

de pared y diámetro de lumen. Como se obtuvieron premuestras de longitud de fibra, de grosor de pared y lumen, se consideró la muestra más grande para el estudio, resultando de 45 para caoba y 46 para siricote, esto por cada árbol.

4.2.3.4 Proporción de elementos constitutivos

La metodología utilizada para determinar la proporción de elementos constitutivos fibras, vasos, rayos multiseriados y parénquima de la madera de caoba y siricote, se basa en Machuca (1995). Se dispusieron 3 preparaciones fijas, por cada árbol, en total 12 para caoba y 15 para siricote. Todas las mediciones se realizaron en el corte transversal con el lente de 10 x.

Proporción de rayos. La proporción de rayos se midió en el área del corte transversal en μ^2 , con el programa de medición Motic. Se determinó el número de rayos multiseriados existentes en el campo y a cada uno se le midió el área para calcular el área total de rayos multiseriados presentes. La proporción de rayos multiseriados (PRM) se calculó como sigue:

$$\text{PRM} = (\text{Área de rayos multiseriados} / \text{Área de campo}).$$

Proporción de poros. Para el cálculo de la proporción de poros, primeramente se obtuvo un campo dentro del corte proyectado a la pantalla de la computadora de $1000 \times 1000 \mu^2$ (1mm^2) de área, donde se midieron todos los poros existentes en ese campo. Con el programa Motic se calcularon todas las formas que presentan los elementos de vasos, en la siguiente forma:

Se calculó la proporción de células de vasos promedio en los campos (VPC)

$$\text{VPC} = (\text{AVPC} / \text{Área de interés})$$

$$\text{AVPC} = \text{Área de vasos promedios por campo}.$$

Proporción de parénquima. En el campo proyectado por el objetivo de 10x a la pantalla de la computadora se midieron a través del programa Motic, el ancho y altura de células de parénquima y se calculó el área existente de ésta por campo. Se calculó la proporción de células de parénquima promedio en los campos (PPC) así:

$$PPC = (APC/\text{área de interés})$$

donde:

APC: área de parénquima promedio por campo

Proporción de fibras. La proporción de fibras por campo (PF) se calculó de la siguiente manera:

$$PF = (1 - \text{proporción de rayos} - \text{proporción de vasos} - \text{proporción de parénquima}).$$

Los valores obtenidos se multiplicaron por 100 para expresarlos en porcentaje. La clasificación de la proporción de elementos se basó en Kollman (1959). Cabe señalar que todos los cálculos de área se hicieron con el objetivo de 10x debidamente calibrados.

4.2.4 Índices de calidad de pulpa para papel

Con los datos obtenidos de longitud, diámetro de lumen y diámetro total de las fibras, así como el grosor de pared, se procedió a calcular los siguientes coeficientes:

Coeficiente de rigidez (C.R.)	$C.R. = 2W / D$
Coeficiente de flexibilidad (C.F.)	$C.F. = I / D$
Coeficiente de Peteri o Índice de esbeltez (I.E.)	$I.E. = L / D$
Relación de Runkel (R.R.)	$R.R. = 2W / I$

donde:

2W	: Dos veces el grosor de la pared celular
D	: Diámetro de la fibra
I	: Diámetro del lumen
L	: Longitud de la fibra

Proporción de parénquima. En el campo proyectado por el objetivo de 10x a la pantalla de la computadora se midieron a través del programa Motic, el ancho y altura de células de parénquima y se calculó el área existente de ésta por campo. Se calculó la proporción de células de parénquima promedio en los campos (PPC) así:

$$PPC = (APC/\text{área de interés})$$

donde:

APC: área de parénquima promedio por campo

Proporción de fibras. La proporción de fibras por campo (PF) se calculó de la siguiente manera:

$$PF = (1 - \text{proporción de rayos} - \text{proporción de vasos} - \text{proporción de parénquima}).$$

Los valores obtenidos se multiplicaron por 100 para expresarlos en porcentaje. La clasificación de la proporción de elementos se basó en Kollman (1959). Cabe señalar que todos los cálculos de área se hicieron con el objetivo de 10x debidamente calibrados.

4.2.4 Índices de calidad de pulpa para papel

Con los datos obtenidos de longitud, diámetro de lumen y diámetro total de las fibras, así como el grosor de pared, se procedió a calcular los siguientes coeficientes:

Coeficiente de rigidez (C.R.)	$C.R. = 2W / D$
Coeficiente de flexibilidad (C.F.)	$C.F. = I / D$
Coeficiente de Peteri o Índice de esbeltez (I.E.)	$I.E. = L / D$
Relación de Runkel (R.R.)	$R.R. = 2W / I$

donde:

2W	: Dos veces el grosor de la pared celular
D	: Diámetro de la fibra
I	: Diámetro del lumen
L	: Longitud de la fibra

contenido de humedad de equilibrio (CHE), después se colocaron en una estufa a 103 ± 2 °C hasta que alcanzaron un peso constante, para lo cual se sacaron muestras de la estufa cada 24 horas y se pesaron. Cuando ya no hubo diferencia entre dos pesadas se considero que se había llegado al peso anhidro (Po).

4.2.5.2 Punto de saturación de la fibra

El punto de saturación de la fibra (PSF) corresponde al estado de humedad de la madera cuando ya no contiene nada de agua libre, pero sus paredes celulares están saturadas de agua higroscópica (Fuentes, 2000). Para determinar el PSF, se utilizaron los valores de densidad básica y contracción volumétrica total determinados previamente y aplicando la formula reportada por Fuentes (2000).

$$PSF = \frac{\% \beta Vt}{Db * 0.9}$$

donde:

PSF : Punto de saturación de la fibra
%βVt : Contracción volumétrica total
Db : Densidad básica

4.2.5.3 Evaluación de las densidades

La densidad (D) es la cantidad de materia que existe en una pieza por unidad de volumen y se expresa de la siguiente manera:

$$D = \frac{P}{V}$$

donde:

D : Densidad
P : Peso o masa (g)

V : Volumen (cm³)

En el caso de la madera, la densidad está influenciada por el contenido de humedad (CH) de la misma, debido a que es un material higroscópico, por esta razón se determinaron cuatro densidades: densidad básica, densidad anhidra, densidad normal y densidad saturada. Las densidades se evaluaron aplicando la norma NOM EE-117-1981 (Dirección General de Normas, 1981). A partir de las probetas de densidad para obtener el peso saturado (P_s) y volumen saturado (V_s) (Figura 7) éstas se depositaron en un desecador con bomba de vacío con el fin de sacar el aire que había dentro de las probetas y a su vez introducir en los espacios vacíos el agua para saturar las probetas (Figura 8). Posteriormente las probetas se pesaron en una balanza de precisión, obteniendo el peso saturado en gramos (P_s); el volumen saturado (V_s) se obtuvo por el método de desplazamiento del agua (Vignote y Jiménez, 1996).

Las muestras se dejaron expuestas al medio ambiente del laboratorio, hasta llegar al contenido de humedad en equilibrio (CHE); las probetas se volvieron a pesar y a determinar el volumen para tener el peso y volumen al contenido de humedad en equilibrio (CHE), como se muestra en las Figuras 9 y 10.

Finalmente se introdujeron a una estufa a 103 ± 2 °C para obtener su peso anhidro (P_o) y su volumen anhidro (V_v) (Figura 11).

El cálculo de la densidad saturada, básica, normal y anhidra se realizó con las formulas y de acuerdo a las definiciones establecidas.

³/Densidad saturada (**Ds**). La densidad saturada (DS) es la relación entre el peso saturado de la madera por unidad de volumen en estado saturado. Se expresa como:

$$D_s = \frac{P_s}{V_s}$$

donde:

D_s : Densidad saturada (g/cm^3)

P_s : Peso saturado (g)

V_s : Volumen saturado (cm^3)

Densidad básica (Db). Relaciona el peso anhidro de la madera por unidad de volumen en estado verde. Se expresa como:

$$Db = \frac{P_o}{V_v}$$

donde :

Db : Densidad básica (g/cm^3)

P_o : Peso anhidro (g)

V_v : Volumen verde (cm^3)

Densidad normal (Dh). Relaciona el peso normal de la madera a un contenido de humedad de equilibrio o al 12% de CH, por unidad de volumen a ese mismo contenido de humedad. Se expresa como:

$$Dh = \frac{P_h}{V_h}$$

donde:

Dh : densidad normal al h % de CH (g/cm^3)

P_h : peso de la muestra al h % de CH (g)

V_h : volumen de la muestra al h % de CH (cm^3)

Densidad anhidra (Do). Relaciona el peso anhidro de la madera por unidad de volumen anhidro. Es expresa como:

^{3/} Comunicación personal con el M. C. Mario Fuentes Salinas de la División de Ciencias forestales, Texcoco, Chapingo, México.

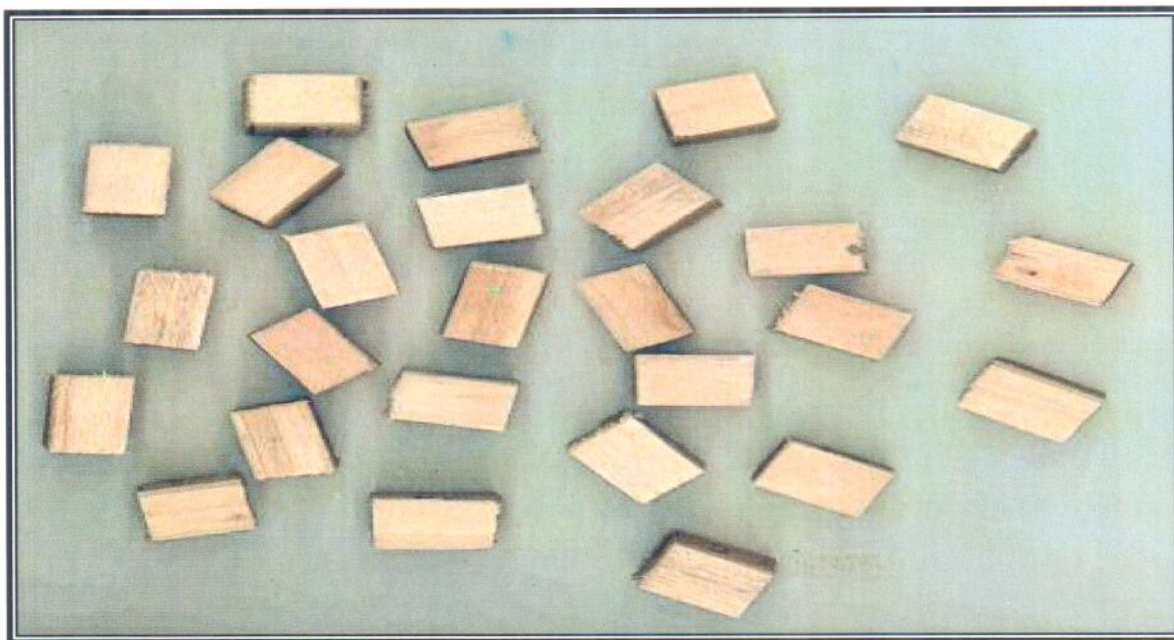


Figura 7. Probetas para determinar densidades de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) y siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

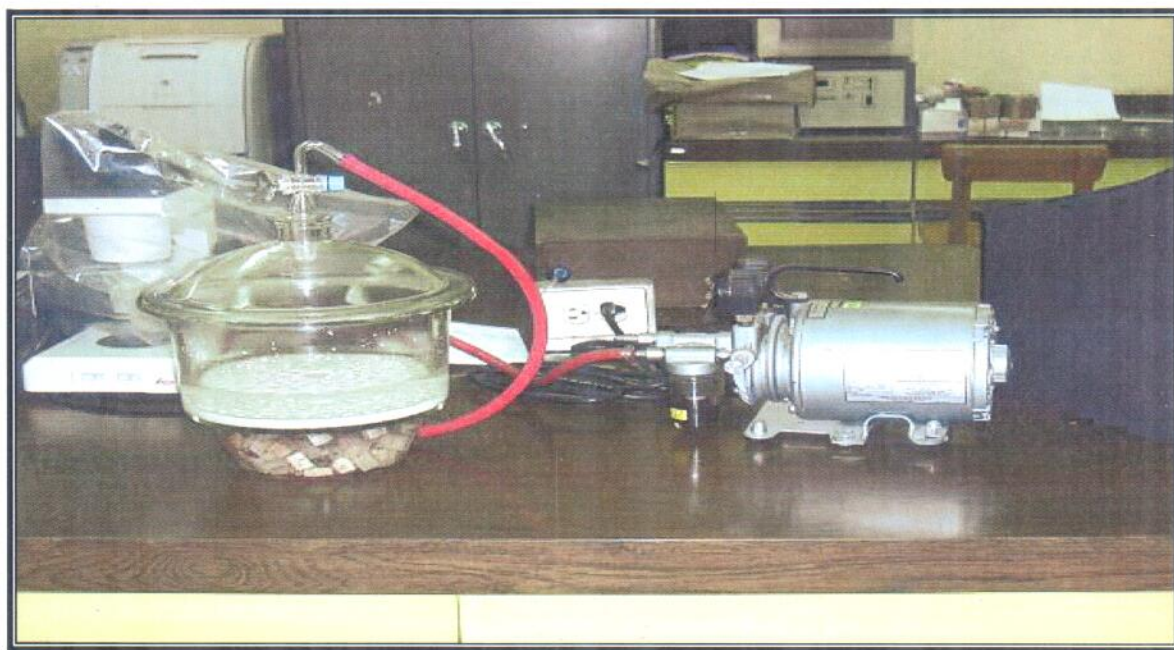


Figura 8. Desecador con bomba de vacío utilizado para la preparación de las probetas para la determinación densidades de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) y siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

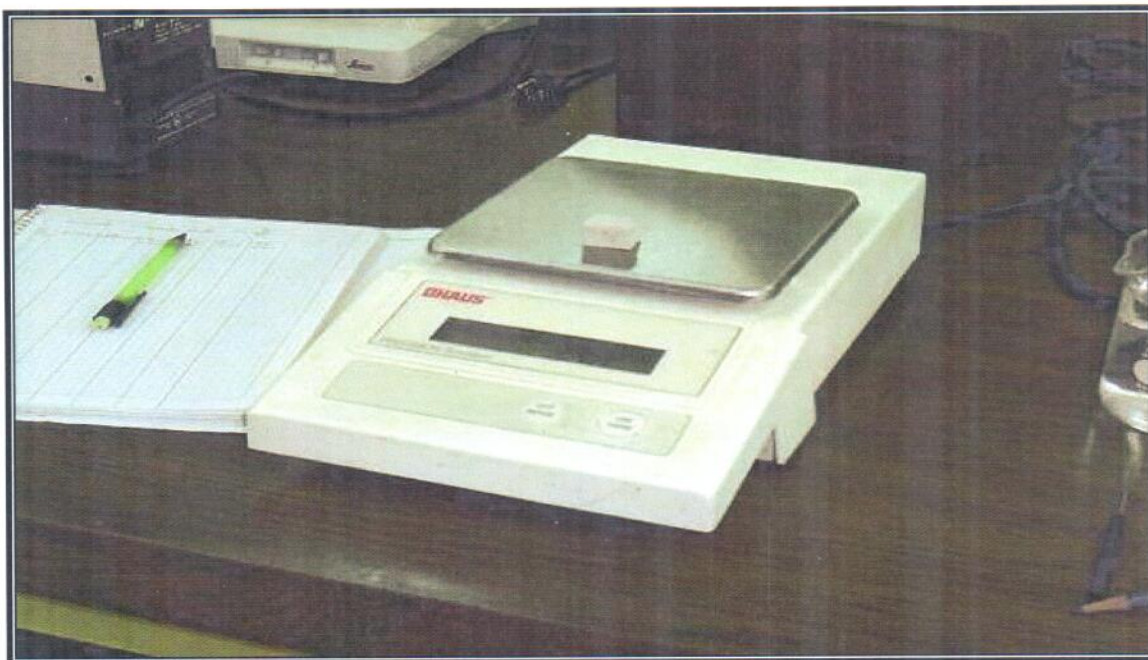


Figura 9 Determinación del peso de la probeta con balanza de precisión de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) y siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

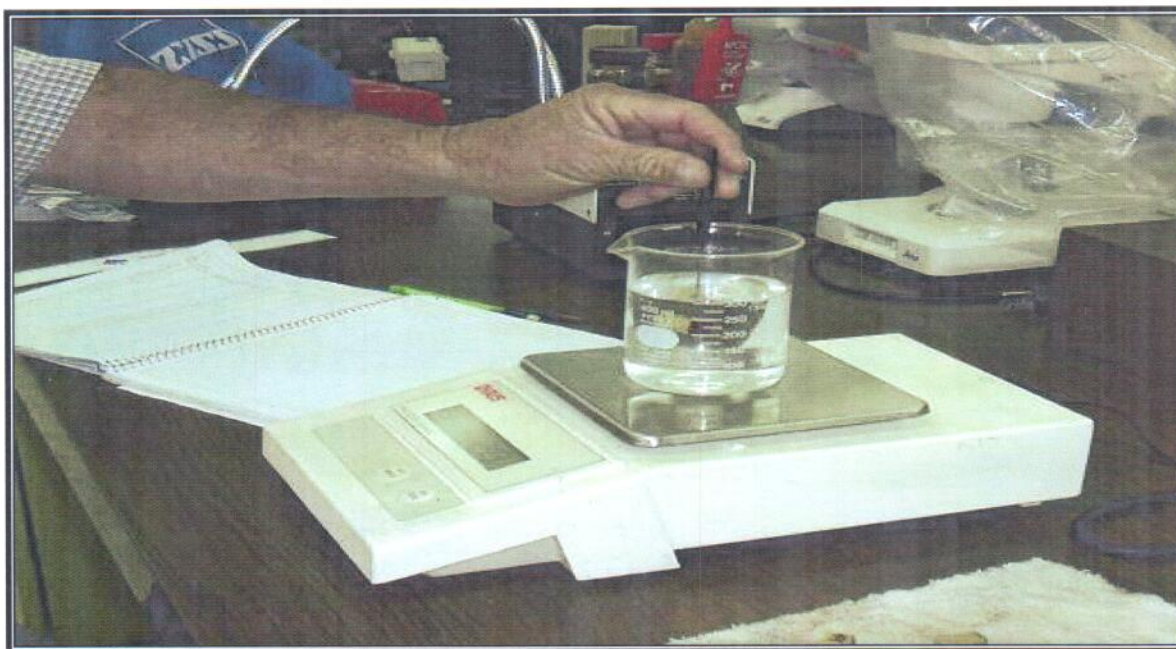


Figura 10. Determinación del volumen de la probeta de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) y siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.



Figura 11. Estufa de laboratorio utilizada para obtener peso anhidro de las probetas de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) y siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

$$Do = \frac{Po}{Vo}$$

donde:

Do : Densidad anhidra (g/cm^3)

Po : Peso anhidro (g)

Vo : Volumen anhidro (cm^3)

4.2.5.4 Contracciones e hinchamientos de la madera

Contracciones e hinchamientos volumétricos. Los términos contracción e hinchamiento de la madera, se refiere a los cambios en sus dimensiones y volumen, como resultados de los cambios en el contenido de humedad por abajo del punto de saturación de la fibra, es decir dentro del rango del agua higroscópica.

Para determinar la contracción volumétrica parcial y total, así como el hinchamiento parcial y total, se utilizaron tamaños establecidos de probetas para las dos especies. La contracción y el hinchamiento se evaluaron hasta el contenido de humedad de equilibrio de las probetas para las condiciones normales de laboratorio. Así mismo, las contracciones e hinchamientos volumétricos se determinaron aplicando las formulas basadas en Fuentes (s/f). Para determinar las contracciones de las maderas de caoba y siricote se obtuvieron las siguientes probetas:

Contracción	Caoba		Siricote	
	No. de probetas	Medida	No. de probetas	Medida
Radial	20	2x2x10	10	2x2x 5
Tangencial	28	2x2x10	18	2x2x 4
Longitudinal	28	2x2x10	21	2x2x10
Volumétrica	54	2x2x10	21	2x2x10

$$\% \beta V_t = \frac{V_v - V_o}{V_v} * 100$$

$$\% \beta V_h = \frac{V_v - V_h}{V_v} * 100$$

$$\% \alpha V_t = \frac{V_v - V_o}{V_o} * 100$$

$$\% \alpha V_h = \frac{V_h - V_o}{V_o} * 100$$

donde:

$\% \beta V_t$: contracción volumétrica total

$\% \beta V_h$: contracción volumétrica parcial (al h% de CH)

$\% \alpha V_t$: hinchamiento volumétrico total

$\% \alpha V_h$: hinchamiento volumétrico parcial (al h% de CH)

V_v : volumen verde

V_h : volumen al h% de CH

V_o : volumen anhidro

Coefficiente de contracción volumétrica. El coeficiente de contracción volumétrica ($V\beta_v$) es la contracción que experimenta la madera por cada 1% de humedad que ésta disminuye dentro del rango de agua higroscópica a partir del PSF, y refleja parte del grado de estabilidad dimensional que caracteriza a la madera o especie en particular (Fuentes, 1998). Este valor se determina de la siguiente expresión.

$$V\beta_v = \frac{\% \beta V_t}{PSF}$$

donde:

$V\beta_v$: Coeficiente de contracción volumétrica

$\% \beta V_t$: Contracción volumétrica total

PSF : punto de saturación de la fibra

Coefficiente de hinchamiento. El coeficiente de hinchamiento (V) corresponde al hinchamiento que experimenta la madera por cada 1 % de contenido de humedad que ésta aumenta, dentro del rango de agua higroscópica, y refleja en parte el grado de estabilidad dimensional que caracteriza a la madera o especie en particular. El

coeficiente de hinchamiento se evalúa mediante la aplicación de la siguiente formula (Fuentes, s/f).

$$V = \frac{\% \alpha v h}{h}$$

donde:

- V : Coeficiente de hinchamiento
 % α vh : Hinchamiento volumétrico al h % de CH
 H : contenido de humedad al que se evaluó el hinchamiento

Contracciones e hinchamientos lineales. Las contracciones e hinchamientos radiales, tangenciales y axiales, tanto totales como parciales se evaluaron en diferentes tamaños de probetas debido a los diámetros pequeños de los árboles: para siricote 2 x 2 x 10 cm de arista longitudinal, 2 x 2 x 5 cm de arista radial y 2 x 2 x 4 cm de arista tangencial; para caoba 2 x 2 x 10 cm de arista longitudinal, radial y tangencial; en ambos casos la dimensión mayor se obtuvo en dirección del tipo de contracción o hinchamiento a evaluar en cada caso, es decir, radial, tangencial o axial. El ensayo se realizó siguiendo la metodología indicada por la norma mexicana NOM EE- 167-1983 (Dirección General de Normas, 1981).

Para obtener las contracciones e hinchamientos de las maderas, se llevó acabo un proceso de cálculo, mediante las formulas y ecuaciones indicadas a continuación:

$$\% \beta Rt = \frac{Rv - Ro}{Rv} * 100$$

$$\% \beta Rh = \frac{Rv - Rh}{Rv} * 100$$

$$\% \beta Tt = \frac{Tv - To}{Tv} * 100$$

$$\% \beta Th = \frac{Tv - Th}{Tv} * 100$$

$$\% \beta Lt = \frac{Lv - Lo}{Lv} * 100$$

$$\% \beta Lh = \frac{Lv - Lh}{Lv} * 100$$

$$\% \alpha Rt = \frac{Rv - Ro}{Ro} * 100$$

$$\% \alpha Rh = \frac{Rh - Ro}{Ro} * 100$$

$$\% \alpha Tt = \frac{Tv - To}{To} * 100$$

$$\% \alpha Th = \frac{Th - To}{To} * 100$$

$$\% \alpha Lt = \frac{Lv - Lo}{Lo} * 100$$

$$\% \alpha Lh = \frac{Lh - Lo}{Lo} * 100$$

donde:

% βRt : Contracción radial total
 % Rh : Contracción radial al h% de CH
 % βTt : Contracción tangencial radial
 % βTh : Contracción tangencial al h% de CH
 % βLt : Contracción axial total
 % βLh : Contracción axial al h% de CH

% αRt : Hinchamiento radial total
 % αRh : Hinchamiento radial al h% de CH
 % αTt : Hinchamiento tangencial total
 % αTh : Hinchamiento tangencial al h% de CH
 % αLt : Hinchamiento axial total

% αLh : Hinchamiento axial al h% de CH
 Rv : Dimensión radial verde
 Rh : Dimensión radial al h% de CH
 Ro : Dimensión radial anhidra
 Tv : Dimensión tangencial verde
 Th : Dimensión tangencial al h% de CH
 To : Dimensión tangencial anhidra
 Lv : Dimensión axial verde
 Lh : Dimensión axial al h% de CH
 Lo : Dimensión axial anhidra

Relación de anisotropía. La relación de anisotropía es un valor que permite inferir también el grado de estabilidad dimensional de una especie de madera y representa la relación que existe entre la magnitud de la contracción tangencial total (% βTt) y la magnitud de la contracción radial total (% βRt), de manera que la relación de anisotropía (A) se expresa por la formula siguiente (Fuentes, s/f):

$$A = \frac{\% \beta Tt}{\% \beta Rt}$$

donde:

A : Relación de anisotropía
 % βTt : Contracción tangencial total
 % βRt : Contracción radial total

4.2.6 Propiedades mecánicas

El término propiedad mecánica se refiere a la capacidad que tienen los materiales para resistir fuerzas externas o aplicadas y se refieren básicamente a su resistencia, elasticidad y/o rigidez y dureza de la madera. Para la determinación de las propiedades mecánicas de un material, se requiere la utilización de aparatos y aditamentos específicos para registrar la magnitud de la misma. Para este estudio se realizaron pruebas de dureza e impacto, considerando que estas propiedades mecánicas son las que pueden influir en su trabajabilidad con máquinas y herramientas, su resistencia al corte, su lisura y resistencia al desgaste (dureza), así como, en el caso del siricote, su resistencia al impacto para casos donde se destine como mangos de herramienta, cuchillos, implementos agrícolas y otros similares.

4.2.6.1 Dureza Janka

Es la resistencia que ofrece la madera a la penetración de cuerpos que tengan mayor solidez y consistencia que ella, generalmente de origen metálico. Para este ensayo se aplicó la Norma de la American Standard Testing Materials (ASTM), número D 143- 94 (2000) y se utilizaron 22 probetas de caoba y 20 de siricote en estado verde y al contenido de humedad en equilibrio. Las dimensiones de las probetas fueron de 2.5 x 2.5 x 15 cm. La dureza se evaluó en las caras transversal, radial y tangencial, como se muestra en la Figura12. Las pruebas mecánicas de dureza se realizaron en el laboratorio de maderas de la Unidad Azcapotzalco de la Universidad Autónoma Metropolitana en el Distrito Federal, en una maquina universal con capacidad de 400 000 libras.

Dureza en el plano transversal. Indica la resistencia que ofrece la madera a la penetración en el corte transversal. Se expresa como el promedio aritmético de las resistencias de sus dos extremos.

Dureza en los planos laterales. Indica la resistencia que ofrece la madera a la penetración en el sentido perpendicular a la dirección de las fibras, se expresa como el promedio aritmético de la resistencia obtenida en las caras tangenciales y radiales de la probeta.

4.2.6.2 Flexión dinámica

La prueba de flexión dinámica o impacto de llevó acabo en el laboratorio de pruebas físicas y mecánicas del Campo Experimental San Martinito, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias en San Martinito Tlahuapan, Puebla. Se utilizo una máquina AMSLER con capacidad de 6 toneladas.

Con la finalidad de determinar la resistencia de la madera a la aplicación de cargas dinámicas o de impacto, se realizó la evaluación de su coeficiente de resiliencia y el trabajo total de ruptura solamente en la madera de caoba. Para este ensayo se utilizaron 40 probetas de caoba, 20 probetas en estado verde y 20 al contenido de humedad en equilibrio (Figura13). Cabe mencionar que no se hicieron pruebas para la madera de siricote debido al poco material obtenido. Las dimensiones de las probetas se rigen por la norma francesa NFB51-009-42, que indica probetas de 2 x 2 x 30 cm.

En este ensayo se determinó:

Trabajo a la ruptura (W)

W = se registra directamente de la maquina (kg)

Coeficiente de resiliencia (K)

$$K = \frac{W}{ba^{1.666}} (kg / cm^2)$$

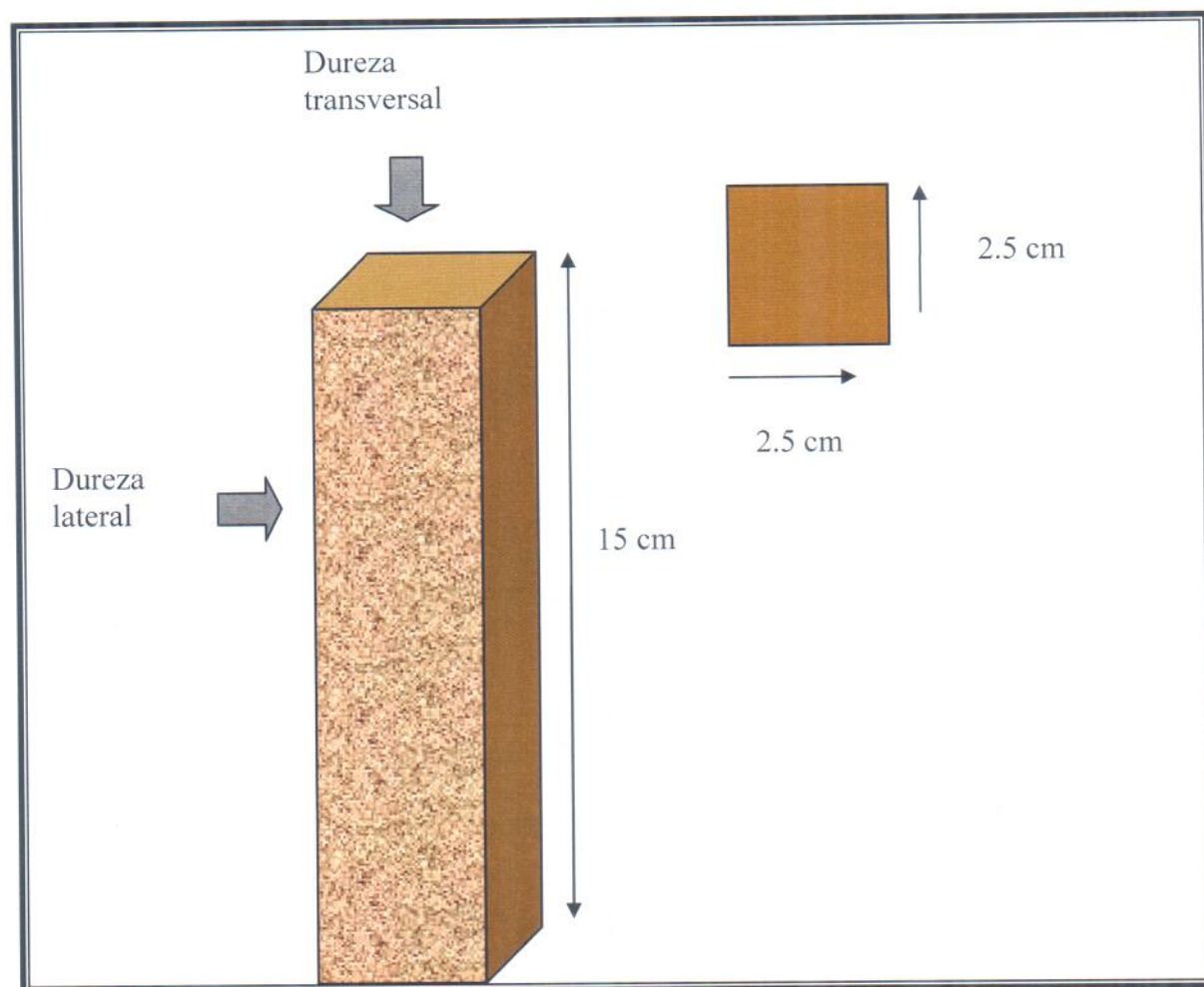


Figura 12. Probeta para ensayo de dureza de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) y siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

Cuota de resiliencia (ck)

$$ck = \frac{K}{(Dh)^2}$$

Reacción instantánea de ruptura (R)

$$R = FH \quad (\text{kg})$$

Resistencia unitaria a la flexión dinámica (Fd)

$$Fd = \frac{3(2R)l}{2(ba^2)} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

Cuota de flexión dinámica (cFd)

$$cFd = \frac{Fd}{100(Dh)}$$

donde:

- b : Ancho de la probeta (cm)
- a : Alto de la probeta (cm)
- Dh : Densidad normal de la madera (al h% de CH)
- F : Valor correspondiente al diámetro (θ) de impresión en la barra de aluminio (kg). $F = \text{EXP} (-0.24475 + 2.02595 * \text{LN}(\theta))$
- H : Numero de dureza de la barra de aluminio
- L : Longitud del claro entre apoyos (cm)

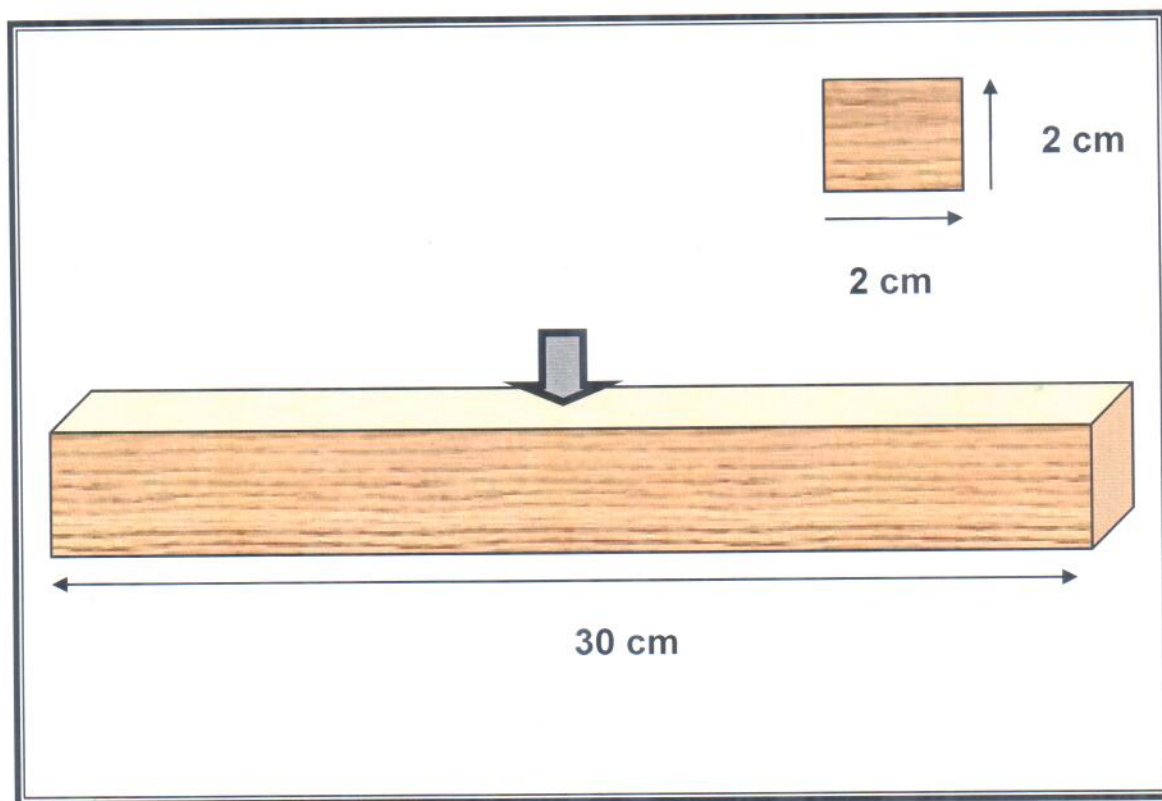


Figura 13. Probeta para ensayo mecánico de impacto de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS

5.1.1 Características macroscópicas

5.1.1.1 Características macroscópicas de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING)

En el Cuadro 3 y Figuras 14 y 15 se presentan las características macroscópicas de la madera de caoba. Se observa que el color es castaño pálido en la albura, y de color rojizo ligero en el duramen. En el corte transversal presentó 53 % de albura y 47% de duramen.

La madera de caoba no presentó olor, y el sabor es amargo. Presentó un brillo medio y veteado pronunciado, la textura va de media a gruesa, y el hilo es de entrecruzado a ondulado. Los poros y rayos pueden observarse a simple vista.

Cuando se comparan los resultados obtenidos sobre las características macroscópicas de la madera juvenil de caoba de plantaciones de 10 años de edad con las de las correspondientes a maderas maduras, se observa que en éstas el color es rojizo más intenso y el brillo más alto, aunque coinciden en que la madera no presenta olor ni sabor característico.

Aunque Camacho (1988) y Guridi (1998) coinciden en que el hilo es recto, Pennington y Sarukhán (1998) añaden que el hilo puede ser recto, ondulado y con frecuencia entrecruzado, al igual que León (2003), en este estudio el hilo es entrecruzado a ondulado. Esta es una característica determinante dado que puede influir en la estabilidad del secado y en la trabajabilidad, provocando fallas superficiales como el rasgado o el astillado (Pérez y Carmona, 1980).

Cuadro 3. Características macroscópicas de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN
Color	Albura	Castaño pálido
	Duramen	Rojizo ligero
Olor		Sin olor
Sabor		Amargo
Brillo		Medio
Veteado		Pronunciado
Textura		Media a gruesa
Hilo		Entrecruzado a ondulado
Visibilidad de elementos constitutivos.		Poros y rayos a simple vista



Figura 14. Características macroscópicas de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

BIBLIOTECA DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES

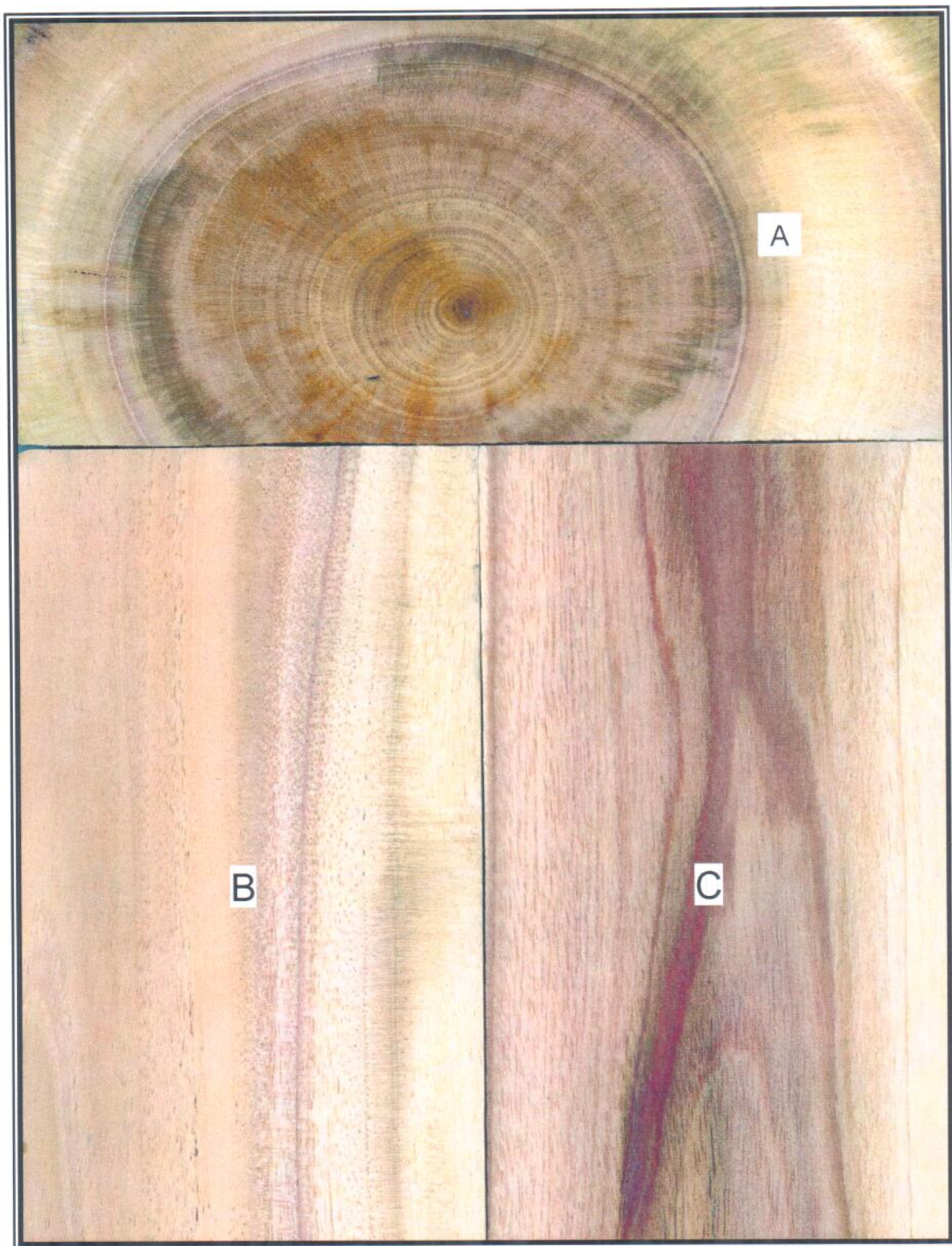


Figura 15. Cortes macroscópicos de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche: A) Transversal, B) Longitudinal radial y C) Longitudinal tangencial.

Características macroscópicas de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.)

En el Cuadro 4 y Figuras 16 y 17 se presentan las características macroscópicas de la madera de siricote. Se observa que el color es amarillo pálido en la albura, y de color castaño marrón en el duramen. En el corte transversal presenta 80% de albura y 20% de duramen.

La madera de siricote no presenta olor ni sabor característico. El brillo es opaco (medio) y vetado pronunciado, la textura va de media a gruesa, y el hilo es entrecruzado. Los poros y rayos son visibles con la ayuda de un aumento 10x.

Cuando se comparan los resultados obtenidos sobre las características macroscópicas de la madera juvenil de siricote de plantaciones de 10 años de edad con las de las correspondientes a maderas maduras, los autores coinciden en el color de la albura (Camacho, 1988; Barajas y León, 1989; Guridi, 1998; Pennington y Sarukhán, 1998; Irena, 1987) contrastan el color del duramen como de color café grisáceo (Camacho, 1988) o verde olivo grisáceo, con zonas de color café más oscuro casi negro (Barajas y León, 1989).

Aunque los autores coinciden en que la madera no presenta olor (Camacho, 1988; León, 1989; Guridi (1998); sí enfatizan el sabor amargo de la madera (León, 1989; Guridi, 1998).

En este estudio el brillo es medio, coincide con Camacho (1998) y Guridi (1998) pero no con Barajas y León (1989) que lo considera alto. El vetado en este estudio resultó pronunciado, coincidente con Camacho (1988), Barajas y León (1989) y Guridi (1998). Los autores que han estudiado la madera madura de caoba, coinciden en que presenta vetado muy atractivo, dado por la presencia de franjas de color más oscuros alternadas con franjas de color más claros (Barajas y León, 1989) en el caso de este estudio no se pudo apreciar esta alternancia de colores debido al porcentaje de duramen ya formado,

Aunque Camacho (1988) menciona que el hilo es recto, y Guridi (1998) considera que es inclinado, en este estudio el hilo es entrecruzado. Esta es una característica determinante dado que puede influir en la estabilidad del secado y en la trabajabilidad, provocando fallas superficiales como el rasgado o el astillado (Pérez y Carmona, 1979).

Resalta también el aspecto de la textura que en este estudio fue reportado como media a gruesa en tanto que los autores reportan para la madera madura de siricote textura media solamente (Camacho, 1988; Barajas y León, 1989; Guridi, 1998)

El hilo es entrecruzado, esto puede influir en la estabilidad del proceso de secado y en la trabajabilidad provocando el defecto de astillado (Pérez y Carmona, 1979).

En general, las características de la madera de siricote procedente de plantaciones jóvenes se puede considerar similares a las de la madera madura, sin embargo, el duramen, que es lo que se usa comercialmente su formación es incipiente.

5.1.2 Características microscópicas

5.1.2.1 Características microscópicas de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING)

En los el Cuadro 5 y en las Figuras 18 y 19, se indican las características anatómicas microscópicas de caoba, y en el Cuadro 6 su clasificación, de acuerdo con Tortorelli (1956), Terrazas (1984) y Jane (1970).

En relación a los poros, en este estudio su distribución es difusa, su agrupación es solitarios y múltiples, con puntuaciones alternas y placa perforada simple. Estos son similares a los de la madera madura lo que coincide con Guridi (1998), Pennington y Sarukhán (1998), Richter y Dallwitz (2000) y con León (2003). Las magnitudes son

Cuadro 4. Características macroscópicas de la madera de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN
Color	Albura	Amarillo pálido
	Duramen	Castaño marrón
Olor		Sin olor
Sabor		Sin sabor característico
Brillo		Opaco
Veteado		Pronunciado
Textura		Media a gruesa
Hilo		Entrecruzado
Visibilidad de elementos constitutivos.		Poros y rayos, con la ayuda de aumento de 10x.



Figura 16. Características macroscópicas de la madera de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

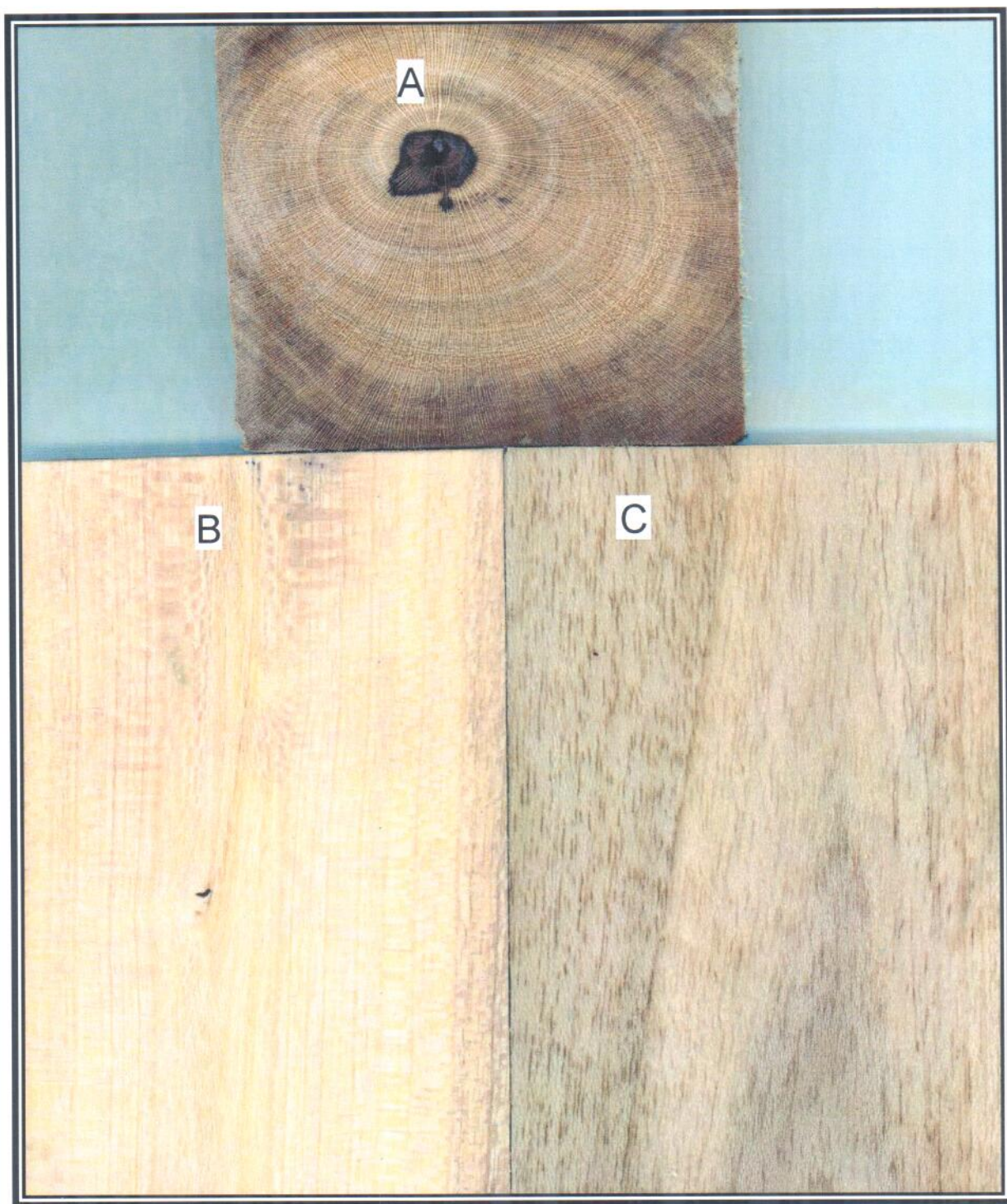


Figura 17. Cortes macroscópicos de la madera de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche: A) Transversal, B) Longitudinal radial y C) Longitudinal tangencial.

de diámetro tangencial de 116 micras y de longitud de 315 micras, clasificadas como medianos y cortos, respectivamente (Cuadro 6).

En el caso del parénquima axial, en este estudio se presentan en bandas concéntricas, aunque Irena (1987) en madera madura lo describe como con líneas marginales, al igual que Camacho (1988), Guridi (1998), Pennington y Sarukhán (1998), Richter y Dallwitz (2000), y León (2003). La no coincidencia se debe a que para los autores antes mencionados están considerando que el parénquima concéntrico está determinando una zona de crecimiento.

Los rayos medulares se describen como multiseriados de tipo heterogéneo. Resultados similares son reportados por Camacho (1988); Guridi (1998); y León (2003). A excepción de Richter y Dallwitz (2000) que también encontró rayos homocelulares. Las magnitudes de altura son de 353 micras y de ancho de 69, clasificándose altos y moderadamente anchos, respectivamente (Cuadro 6).

Respecto a las fibras en este estudio, se reportan de tipo libriforme, con longitud media de 976 μ , diámetro medio de 21 μ , y con grosor de pared de 9 μ . Lo cual coincide con Camacho (1988) en cuanto al diámetro, con Guridi (1998) en longitud y grosor de pared. Estas dimensiones las clasifica como fibras finas, de longitud media, de paredes delgadas, y de ancho de lumen moderado (Cuadro 6). Richter y Dallwitz (2000) coinciden con esta clasificación con excepción de que encuentran paredes medianas en la madera madura.

En los contenidos celulares de la madera de caoba, se incluyen en los vasos gomas, y en el parénquima axial y radial gomas y cristales, en tanto que las fibras no presentan estos contenidos. Estos resultados coinciden plenamente con los reportados por los autores que han estudiado la madera madura de caoba (Guridi, 1998; Pennington y Sarukhán, 1998; Richter y Dallwitz, 2000; León, 2003).

Si se toma en consideración los resultados generales en cuanto a las características anatómicas microscópicas la madera de caoba de árboles jóvenes de este estudio, es similar a las características de la madera de árboles maduros.

5.1.2.2 Características microscópicas de la madera de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.)

En el Cuadros 7 y las Figuras 20 y 21, se indican las características anatómicas microscópicas de siricote y en el Cuadro 8 su clasificación de acuerdo con Tortorelli (1956); Terrazas (1984) y Jane (1970).

En relación a los poros, en este estudio su distribución es difusa, su agrupación es solitarios, con puntuaciones alternas y placa perforada simple. Estos son similares a los de la madera madura, lo que coincide con Díaz y Huerta (1986), Camacho (1988), Guridi (1998), aunque Barajas y león 1989 mencionan que la porosidad es semi anular. Las magnitudes son de diámetro tangencial de 116 micras y de longitud de 235 micras, clasificadas como medianos y cortos, respectivamente (Cuadro 8).

En el caso del parénquima axial, en este estudio se presentan bandas paratraqueales confluentes, aliforme confluyente, y algunos vasicentricos, lo que coincide con Díaz y Huerta (1986), Irena (1987), Camacho (1988), Barajas y León (1989), Pennington y Sarukhán (1998).

Los rayos medulares se describen como multiseriados de tipo heterogéneo. Resultados similares son reportados por Díaz y Huerta (1986), Camacho (1988), Barajas y león (1989), Guridi (1998). Las magnitudes de altura son de 227 micras y de ancho de 168, clasificándose como altos y moderadamente anchos, respectivamente (Cuadro 8).

Los rayos medulares se describen como multiseriados de tipo heterogéneo. Resultados similares son reportados por Díaz y Huerta (1986), Camacho (1988),

Cuadro 5. Características anatómicas microscópicas de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

POROS			ELEMENTOS VASCULARES			
Distribución	Agrupación	Nº/m:n²	Diámetro Tangencial (µ)	Longitud (µ)	Puntuación	Placa Perforada
Difusa	Solitarios y múltiples	9	Máx = 162.39	419.25	Alternas	Simple
			Med = 115.94	314.85		
			Mín = 79.12	202.62		
			Sd = 25.27	53.10		

PARENQUIMA

AXIAL		RADIAL			
Tipo	Clase	Tipo	Nº/mm²	Altura Multiseriado (µ)	Anchura Multiseriado (µ)
En bandas concéntricas	Multiseriados, poco biseriados y raras veces uniseriados	Heterogéneo	9.8	Máx = 544.30	109.30
				Med = 353.11	69.14
				Min = 237.90	43.60
				Sd = 50.03	8.81

FIBRAS

Tipo	Longitud (µ)	Diámetro total (µ)	Grosor de pared (µ)
Libriiformes	Máx = 1251.90	Máx = 29.30	Máx = 13.21
	Med = 976.07	Med = 21.46	Med = 9.14
	Mín = 716.80	Mín = 15.69	Mín = 5.59
	Sd = 123.37	Sd = 3.03	Sd = 1.77

CONTENIDO CELULAR

Vasos	Parénquima axial y radial	Fibras
Gomas	Gomas, Cristales	Ausente

Máx: Máximo, Med: Media, Mín: Mínimo, Sd: Desviación estándar.

Cuadro 6. Clasificación de los elementos celulares de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche, con base en Tortorelli (1956) y Terrazas (1984).

ELEMENTOS CELULARES	CARACTERISTICA CONSIDERADA	MAGNITUD (μ)	CLASIFICACIÓN
Vasos	N_0/mm^2	9.00	Poco numerosos
	Diámetro medio tangencial	115.94	Medianos
	Longitud media	314.85	Cortos
Fibras	Diámetro total medio	21.46	Finas
	Longitud media	976.07	Medianas
	Espesor de pared medio	9.14	Delgadas
	Diámetro medio del lumen	12.31	Moderadamente Ancho
Rayos Multiseriados	N_0/mm^2	9.80	Numerosos
	Altura media	353.11	Bajos
	Anchura media	69.14	Medianos

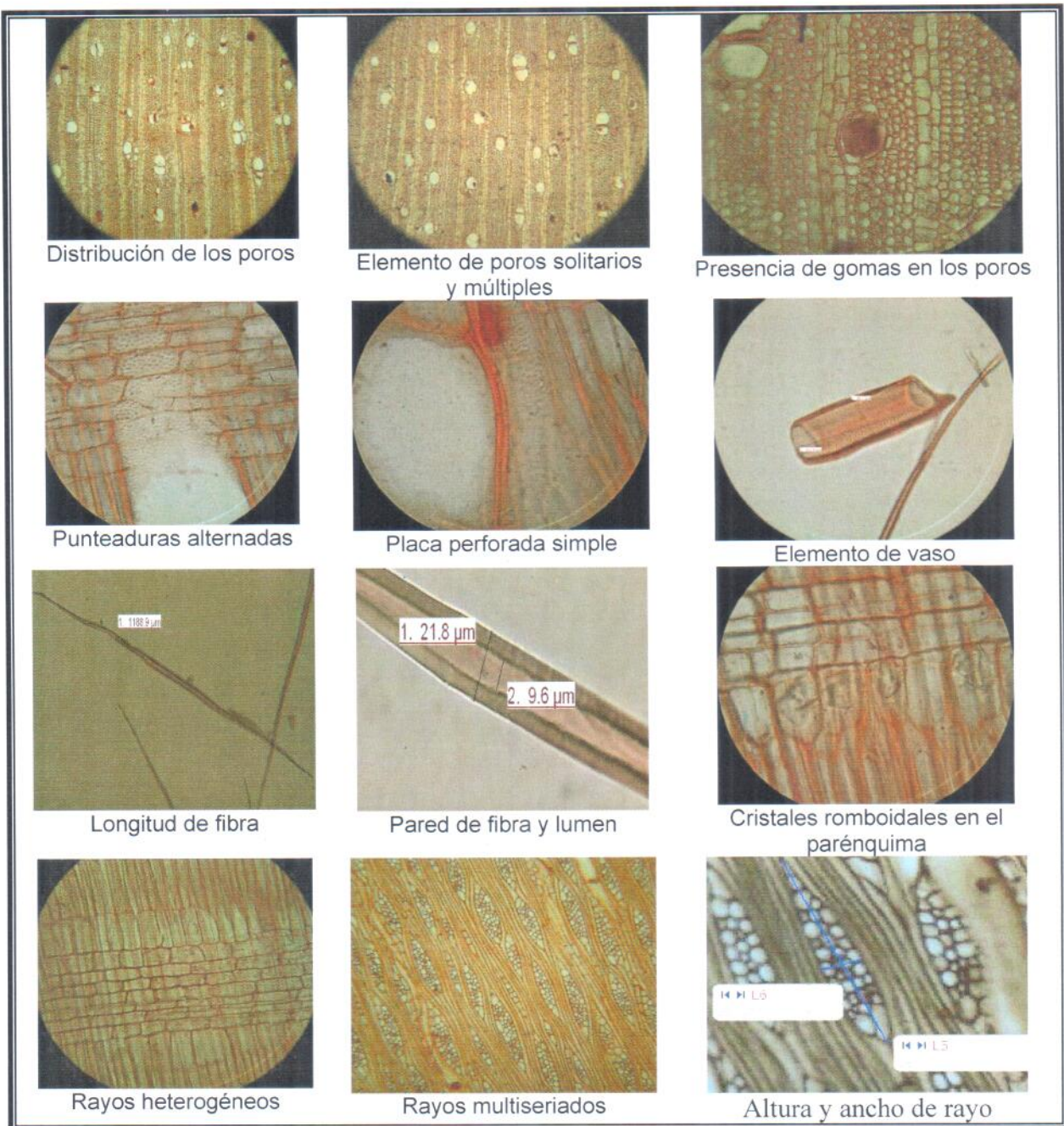


Figura 18. Características anatómicas microscópicas de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

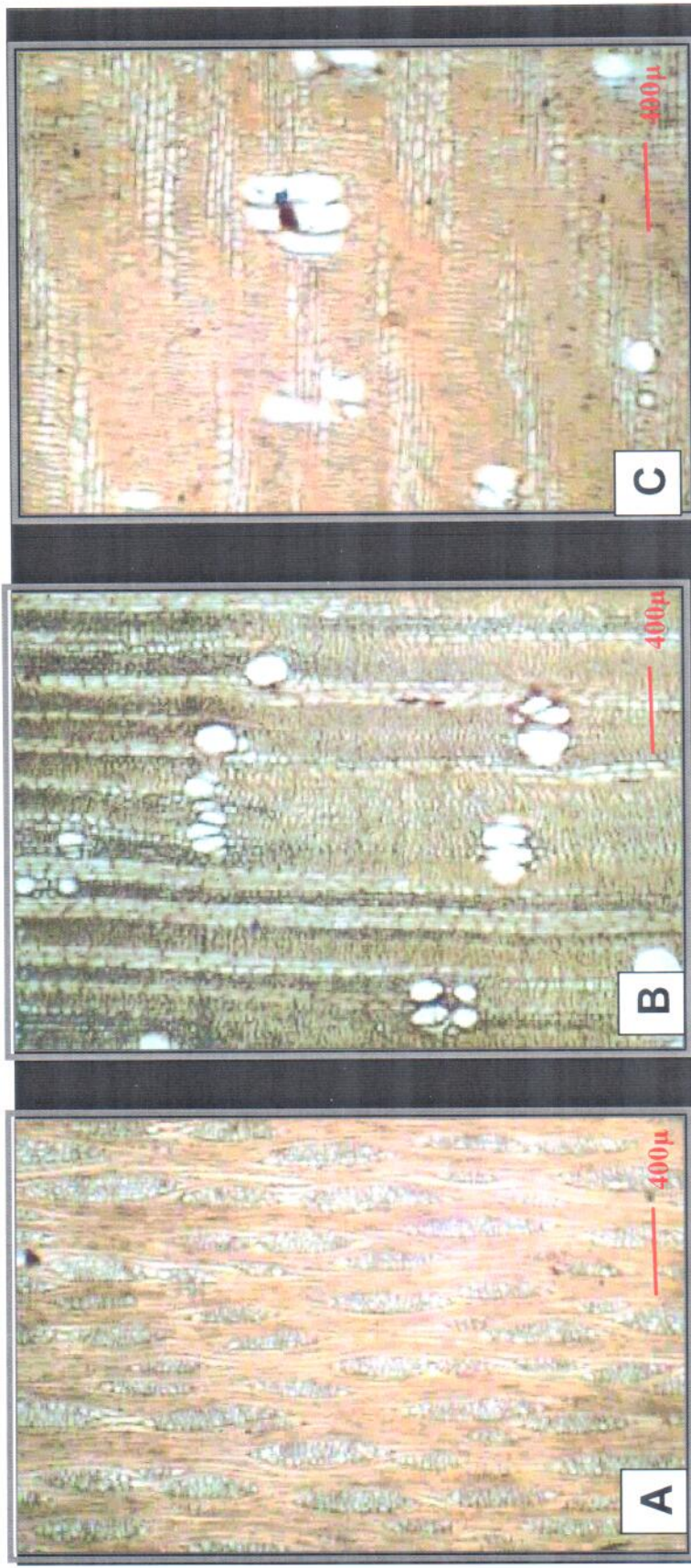


Figura 19. Cortes microscópicos de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche: A) Longitudinal tangencial, B) transversal y C) Longitudinal radial.

Barajas y león (1989), Guridi (1998). Las magnitudes de altura son de 227 micras y de ancho de 168, clasificándose como altos y moderadamente anchos, respectivamente (Cuadro 8).

Respecto a las fibras en este estudio, se reportan de tipo libriforme, con longitud media de 146 μ , diámetro medio de 22 μ , y con grosor de pared de 10 μ . Barajas y León (1989) reporta para estas características de madera madura, menores valores, en cuanto a longitud 1050 micras, diámetro 5 micras y diámetro tangencial de 13 micras. Las dimensiones encontradas en este estudio las clasifica como fibras finas, de longitud media, de paredes delgadas, y de ancho de lumen mediano (Cuadro 8).

En los contenidos celulares de la madera de caoba, se incluyen en los vasos gomas, y en el parénquima axial y radial gomas y cristales, en tanto que las fibras no presentan estos contenidos. Estos resultados coinciden plenamente con los reportados por los autores que han estudiado la madera madura de caoba (Díaz y Huerta, 1986, Guridi, 1998).

Si se toma en consideración los resultados generales en cuanto a las características anatómicas microscópicas la madera de árboles jóvenes de este estudio, es similar a las características de la madera de árboles maduros.

5.1.3 Índices de calidad de pulpa para papel

En los Cuadros 9 y 10 se muestran los valores obtenidos para los índices de calidad de pulpa para papel de la madera de caoba y siricote. Como se observa, ambas especies tienen malas características para ser utilizada en la elaboración de papel, y se encuentran fuera de la clasificación para ser utilizada para la elaboración de este producto.

Tradicionalmente estas maderas no se utilizan con el propósito de elaboración de papel. Sin embargo, en este estudio se consideró la oportunidad de estas

Cuadro 7. Características anatómicas microscópicas de la madera de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

POROS			ELEMENTOS VASCULARES			
Distribución	Agrupación	Nº/mm ²	Diámetro Tang. (µ)	Longitud (µ)	Puntuación	Placa perforada
Difusa	Solitarios	8.5	Máx = 194.30	349.90	Alternas Areoladas	Simple
			Med = 115.81	235.10		
			Mín = 72.40	159.60		
			Sd= 41.89	27.58		

PARENQUIMA

AXIAL		RADIAL			
Tipo	Clase	Tipo	Nº/mm ²	Altura Multiseriado (µ)	Anchura Multiseriado (µ)
Paratraqueal con bandas confluentes, aliforme confluyente y algunas vacicentricos	Multiseriados	Heterogéneo	11.7	Máx = 2280.50	276.80
				Med = 1226.65	168.36
				Min = 678.20	106.20
				Sd = 248.21	22.06

FIBRAS

Tipo	Longitud (µ)	Diámetro total (µ)	Grosor de pared (µ)
Libriformes	Máx = 1596.20	Máx = 30.80	Máx = 17.30
	Med = 1146.42	Med = 21.86	Med = 10.43
	Mín = 831.10	Mín = 12.00	Mín = 2.30
	Sd = 150.31	Sd = 3.16	Sd = 2.32

CONTENIDO CELULAR

En vasos	En parénquima axial y radial	En fibras
Gomas	Gomas , Cristales	Ausente

Máx: Máximo, Med: Media, Mín: Mínimo, Sd: Desviación estándar

Cuadro 8. Clasificación de los elementos celulares de la madera de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche, con base en Tortorelli (1956) y Terrazas (1936).

ELEMENTOS CELULARES	CARACTERISTICA CONSIDERADA	MAGNITUD (μ)	CLASIFICACIÓN
Vasos	N_0/mm^2 Diámetro tangencial Longitud media	8.50 115.81 235.10	Poco numerosos Medianos Cortos
Fibras	Diámetro total medio Longitud media Espesor de pared medio *Diámetro medio de lumen	20.29 1146.20 10.43 9.41	Finas Medianas Delgadas Mediano
Rayos Multiseriados	N_0/mm^2 Altura media Anchura media	11.70 1126.65 168.35	Muy numerosos Altos Moderadamente Anchos

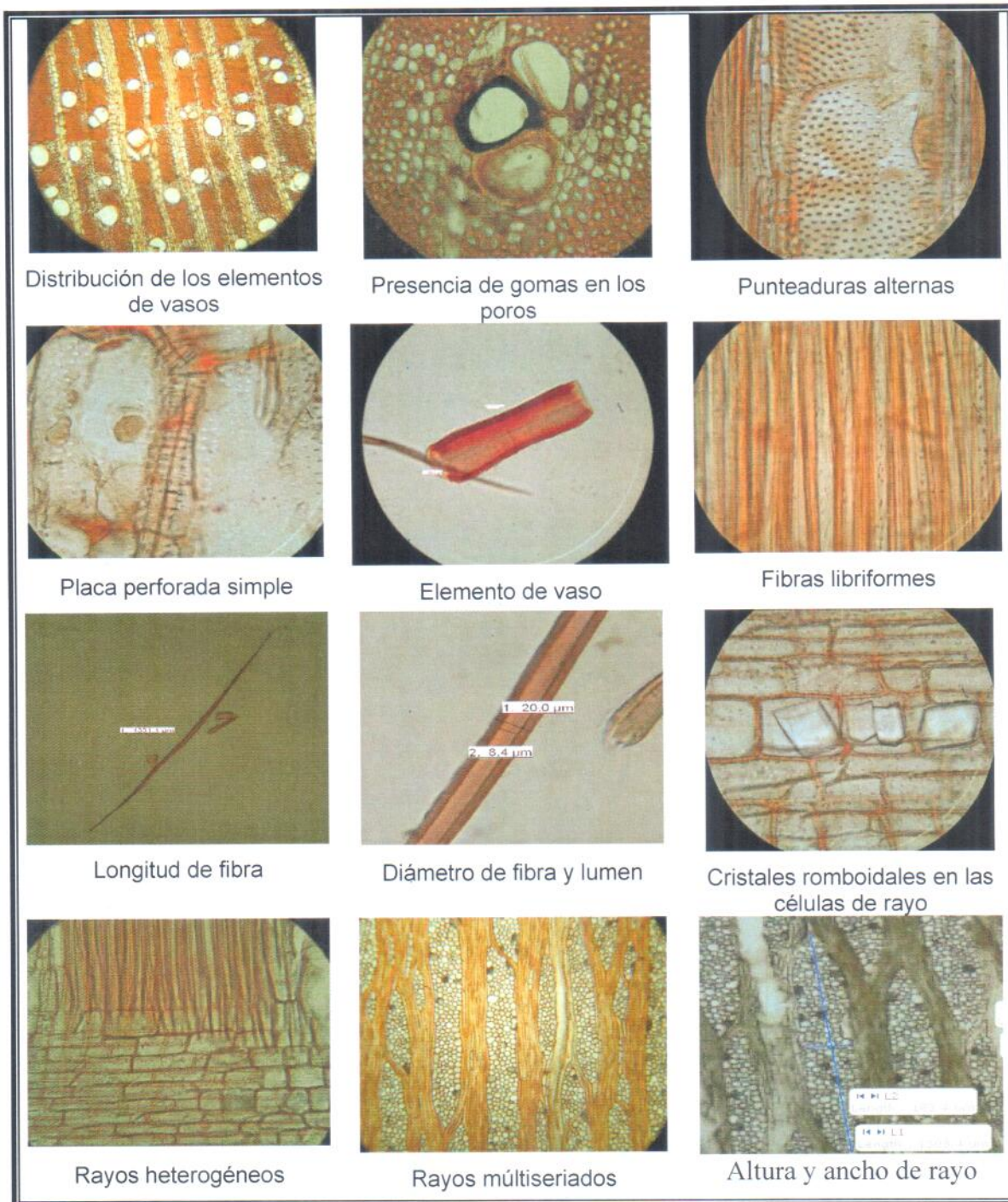


Figura 20. Características anatómicas microscópicas de la madera de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

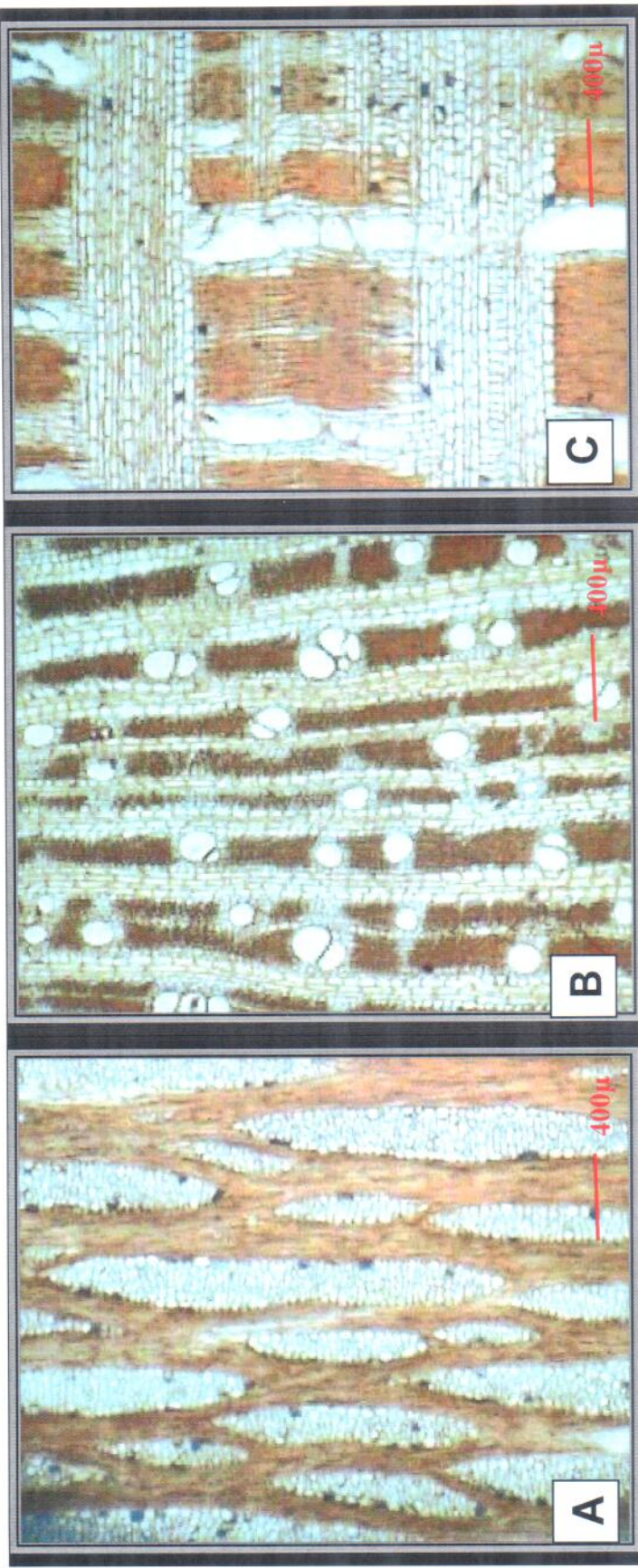


Figura 21. Cortes microscópicos de de la madera de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche: A) Longitudinal tangencial, B) transversal y C) Longitudinal radial.

determinaciones dado que en la fase anatómica microscópica se contaba ya con los valores que se utilizaron para el cálculo de estos índices.

En el Cuadro 9 la relación de Runkel que es el índice principal para saber si una madera es buena para la elaboración de papel, indica que la caoba es Regular para papel; y en el caso de siricote indicó que la madera es mala para papel (Cuadro 10).

5.1.4 Proporción de elementos constitutivos

En los Cuadros 11 y 12 se presentan las proporciones de elementos constitutivos de la madera de caoba y siricote, así como su clasificación.

5.2 PROPIEDADES FÍSICAS

5.2.1 Máximo Contenido de Humedad

En el Cuadro 13 se puede apreciar el Máximo Contenido de Humedad (MCH) de la madera de ambas especies. El conocimiento de este contenido de humedad es importante en el proceso de secado (Salinas, 2000).

5.2.2 Punto de saturación de la fibra

En el Cuadro 14 se puede notar que la madera de siricote presentó un punto de saturación de la fibra (PSF) mayor que la madera de caoba, lo cual quiere decir que esta madera comenzará a experimentar cambios dimensionales a partir de 30.83 % de contenido de humedad, y la madera de caoba a un 19.7%.

5.2.3 Densidad de la madera

La densidad básica es la propiedad donde se puede apreciar la calidad de la madera, pues de ella depende la trabajabilidad, la extensión de los cambios dimensionales y la calidad de acabado, principalmente.

Cuadro 9. Índices de calidad de pulpa de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

Índice	Valor	Clasificación
Coeficiente de rigidez (C.R.)	0.42	Media
Coeficiente de flexibilidad (C.F.)	0.57	Media
Coeficiente de Peteri o índice de esbeltez (I.E.)	45.47	No reportada
Relación de Runkel (R.R.)	0.74	Buena para papel

Petroff y Normand, 1968.

Porres y Valladares (1979). citado por Fuentes (1987).

Cuadro 10. Índices de calidad de pulpa de la madera de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

Índice	Valor	Clasificación
Coeficiente de rigidez (C.R.)	0.51	Gruesa
Coeficiente de flexibilidad (C.F.)	0.46	Gruesa
Coeficiente de Peteri o índice de esbeltez (I.E.)	57.94	No reportada
Relación de Runkel (R.R.)	1.10	Regular para papel

Petroff y Normand, 1968.

Porres y Valladares (1979). Citado por Fuentes (1987).

Cuadro 11. Proporción de elementos constitutivos de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

Tipos de células	Proporción (%)	Clasificación (Machuca, 1995)
Fibras	52.00	Media
Vasos	9.10	Media
Rayos	24.30	Mayor
Parénquima	14.60	Mayor

Kollmann (1959)

Cuadro 12. Proporción de elementos constitutivos de la madera de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

Tipos de células	Proporción (%)	Clasificación (Machuca, 1995)
Fibras	48.30	Media
Vasos	10.10	Media
Rayos	32.80	Mayor
Parénquima	8.80	Media

Kollmann (1959)

Cuadro 13. Máximo Contenido de Humedad de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* King) y siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

Estadístico	Máximo Contenido de Humedad (%)	
	Caoba	Siricote
Máximo	175.45	154.44
Media	126.88	122.85
Mínimo	55.48	101.20
Desviación estándar	21.95	12.41

Cuadro 14. Punto de saturación de la fibra de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) y siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

Punto de saturación de la fibra (%)			
Madera			
Caoba		Siricote	
Valor	Clasificación	Valor	Clasificación
19.70	Baja	30.83	Normal

Novelo (1964)

Densidad de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING)

En el Cuadro 15 se puede notar que tanto la densidad normal como la densidad básica son clasificadas como ligeras, esta última con un valor de 0.48 g/cm^3 la cual coincide con Camacho (1988) que reporta 0.49 g/cm^3 , y es más alta a lo reportado por IRENA (1987) que es de 0.45 g/cm^3 , y a Fuentes (1998) que es de 0.42 g/cm^3 , y mas bajaron respecto a León (2003) que fue de 0.54 g/cm^3 . Considerando esta propiedad la madera de caoba a los 10 años de edad, presenta una media dentro del rango de variación de la densidad básica reportada para la misma por los demás autores.

La densidad básica de la madera de caoba de los cuatro árboles muestreados presentó un rango de 0.47 a 0.50 g/cm^3 ; aunque existió una diferencia de valor entre árboles muestreados, ésta se clasifica como ligera para los cuatro árboles (Vignote y Jiménez, 1996).

En la Figura 22 se puede apreciar el rango de valores medios de la densidad básica, de la madera reportado por varios autores, la cual varia entre 0.43 a 0.57 g/cm^3 , y la de la madera de este estudio, que es de 0.48 g/cm^3 . Por lo que se puede observar que la densidad básica está en el nivel medio de la reportada en la literatura.

Densidad de la madera de Siricote (*Cordia dodecandra* A.DC)

En el Cuadro 16 se observa que tanto los valores de la densidad normal como los de la densidad básica son clasificados como ligeros; esta última no coincide con lo reportado por Camacho (1988) que es de 0.70 g/cm^3 , y por Fuentes (1998) que fue de 0.89 g/cm^3 . Es conveniente recalcar que a esta edad y para este estudio solo se utilizó la albura de la madera, que generalmente presenta una densidad básica menor al duramen por lo que la madera de siricote a los 10 años de edad se puede

Cuadro 15. Valores de densidad de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

Densidad (g/cm ³)						
Estadístico	Densidad saturada al 128.85 % de CH (Ds)	Densidad anhidra (Do)	Densidad normal (Dh) al 10.18 % de CH		Densidad básica (Db)	
			Valor	Clasificación (Díaz,1960)	Valor	Clasificación (Vignote y Jiménez,1996)
Máxima	1.23	0.81	0.72		0.74	
Media	1.10	0.52	0.56	Ligera	0.48	Ligera
Mínima	0.91	0.41	0.44		0.38	
Desviación estándar	0.06	0.07	0.06		0.06	

Dh: media ajustada al 12 % de CH

Cuadro 16. Valores de densidad de la madera de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

Densidad (g/cm ³)						
Estadístico	Densidad saturada (Ds) al 123.46 % de CH	Densidad anhidra (Do)	Densidad normal (Dh) al 11.47 % de CH		Densidad básica (Db)	
			Valor	Clasificación (Díaz,1960)	Valor	Clasificación (Vignote y Jiménez,1996)
Máxima	1.18	0.61	0.92		0.56	
Media	1.09	0.52	0.58	Ligera	0.49	Ligera
Mínima	0.90	0.42	0.45		0.39	
Desviación estándar	0.05	0.04	0.05		0.03	

Dh: media ajustada al 12 % de CH

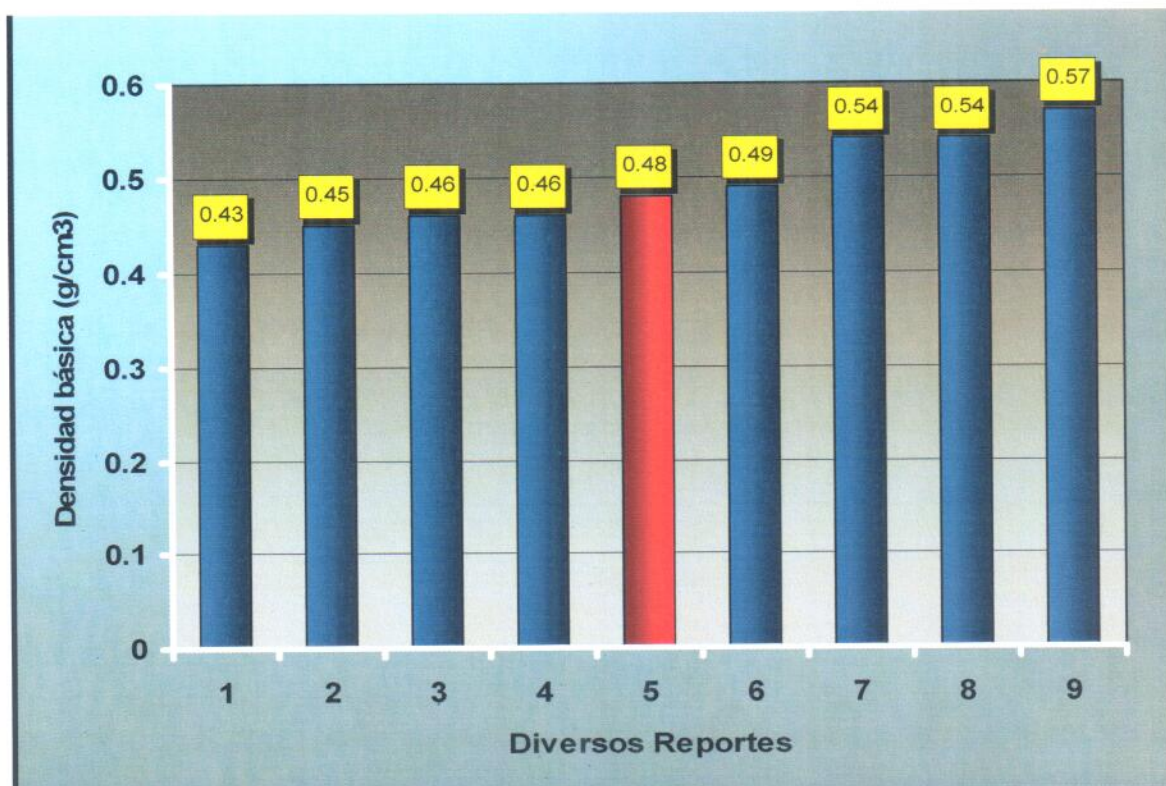


Figura 22. Densidad básica de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) reportada de autores comparada con la madera procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén Campeche.

N°	Referencia	Especie	Edad (años)
1	html.rincondelvago.com	<i>Swietenia macrophylla</i>	Maduro
2	Richter y Dallwitz (2000)	<i>Swietenia macrophylla</i>	Maduro
3	www.petexbatum.net	<i>Swietenia macrophylla</i>	Maduro
4	IRENA (1992)	<i>Swietenia macrophylla</i>	Maduro
5	En este estudio	<i>Swietenia macrophylla</i>	10
6	Camacho (1988)	<i>Swietenia macrophylla</i>	Maduro
7	Pennington y Sarukhán (2005)	<i>Swietenia macrophylla</i>	Maduro
8	www.2fpl.fs.us	<i>Swietenia macrophylla</i>	Maduro
9	www.uco	<i>Swietenia macrophylla</i>	Maduro

utilizar para construcción de tallados en madera, marcos, barandales, puertas, pasamanos, peldaños de escaleras, pisos, artículos torneados y artesanías (Fuentes, 1998).

La variación de la densidad básica de la madera de siricote de los cuatro árboles muestreados presentó un rango de 0.48 a 0.50 g/cm³; aunque existió una diferencia de valor, la madera de estos árboles se clasifica como ligera (Vignote y Jiménez, 1996).

En la Figura 23 se puede notar el rango de valores medios de la densidad básica de la madera de siricote según varios autores, varía entre 0.70 a 0.89 g/cm³, y la de la madera de este estudio, es de 0.49 g/cm³. Según Vignote y Jiménez (1996), hasta 0.50 g/cm³ se clasifica como ligera, de 0.50 a 0.70 g/cm³ como semipesada, y de 0.71 a 0.95 g/cm³ como pesada. Los valores de densidad básica de la madera de siricote reportada por la literatura se clasifican como pesada, por lo que en comparación a la madera de este estudio los usos a los que es destinada son diferentes.

5.2.4 Contracción

La madera se contrae a medida que el contenido de humedad disminuye por abajo del punto de saturación de la fibra, esto puede ocasionar diversos defectos como grietas, rajaduras y deformaciones.

En el Cuadro 17 se puede observar que la contracción radial, tangencial y volumétrica de la madera de caoba procedente de plantaciones de 10 años de edad se clasifican como medias, las dos primeras son mayores a lo reportado por IPetexbatum (2007) que fue de 3.0% y 4.11 %; y menores a lo reportado por Fuentes (1998) que fue de 4.27% y 6.11%, respectivamente. La contracción volumétrica es menor a lo reportado por Camacho (1988) que fue de 10.42% y Fuentes (1998) que

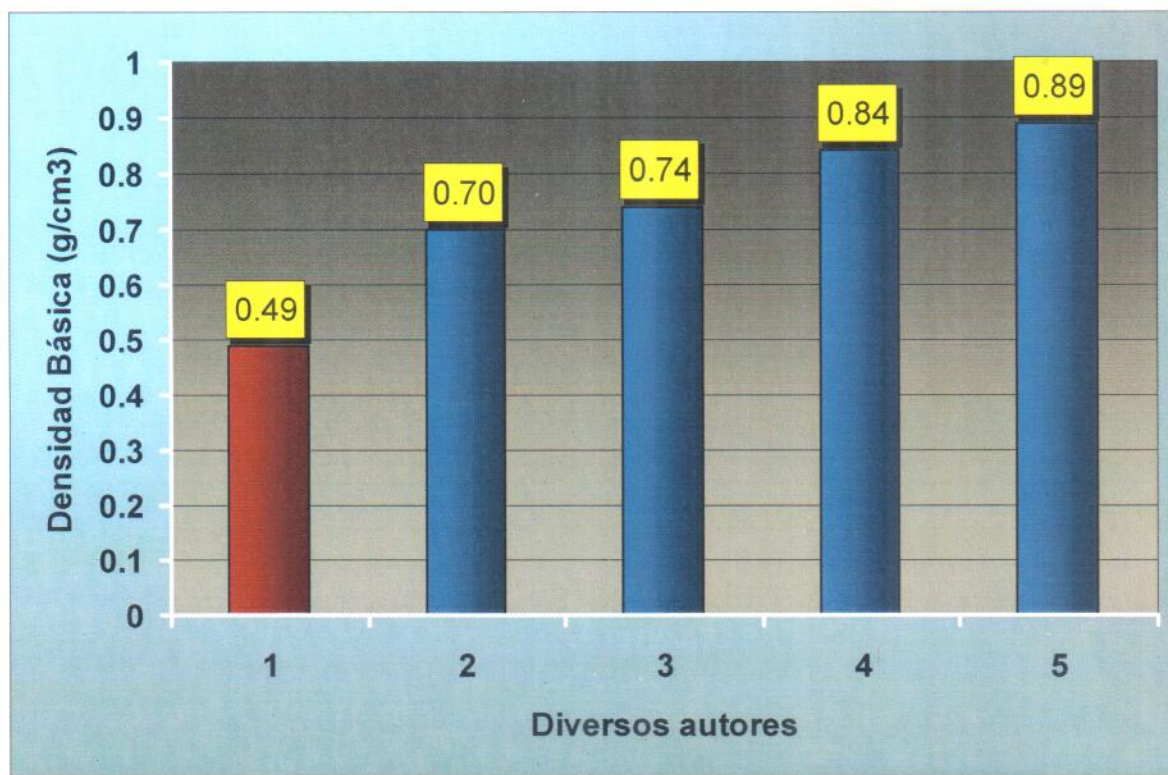


Figura 23. Densidad básica de la madera de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) reportada de autores comparada con la madera procedentes de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

N°	Referencia	Especie	Edad (años)
1	En este estudio	<i>Cordia dodecandra</i>	10
2	Camacho (1988)	<i>Cordia dodecandra</i>	Maduro
3	http.%3a%2Fwww.exotichar.	<i>Cordia dodecandra</i>	Maduro
4	Fuentes (s/f.)	<i>Cordia dodecandra</i>	Maduro
5	Fuentes (1998)	<i>Cordia dodecandra</i>	Maduro

fue de 9.10%. La contracción axial que generalmente en maderas maduras es del orden de 0.10% (Panshin y De Zeeuw, 1970), en madera juvenil es mayor a éste porcentaje; para la caoba de 10 años de edad resultó cinco veces mayor a lo reportado por Panshin y De Zeeuw (1970), lo que indica que se debe tener cuidado en el secado para evitar deformaciones.

En el Cuadro 18 se muestran los valores de contracción encontrado para siricote. La contracción radial se clasifica como muy alta, ésta es más alta que la reportada por Fuentes (1998) que fue de 4.49% y Camacho (1988); la contracción tangencial resulta clasificada como alta, el valor numérico es más alto que lo reportado por Fuentes (1998) que fue de 6.77 %; la contracción volumétrica resulta media, ésta es menor que lo reportado por Camacho (1988) que fue de 8.7% y por Fuentes (1998), que fue de 11.06%. La contracción axial generalmente en maderas maduras es del orden de 0.10% (Panshin y De Zeeuw, 1970), pero en madera joven es mayor, para siricote de 10 años de edad resultó 4.5 veces mayor a lo reportado por Panshin y De Zeeuw (1970), lo que indica que se debe tener cuidado en el secado para evitar deformaciones y menos riesgos de rajaduras y grietas superficiales.

5.2.5 Coeficiente de contracción volumétrica ($V\beta_v$)

El Coeficiente de contracción volumétrica ($V\beta_v$) es el porcentaje de contracción por cada uno por ciento de humedad que pierde la madera por abajo del punto de saturación de la fibra. Los valores obtenidos del coeficiente de contracción volumétrica de la madera de caoba y de siricote se presentan en el Cuadro 19.

Este coeficiente representa el grado de estabilidad de la madera; según la clasificación de Fuentes (1998) el coeficiente de contracción volumétrica de la madera de caoba es medio. Por lo que la madera de este estudio es más contráctil, lo que representa un factor negativo en comparación con lo reportado por Fuentes (1998).

Cuadro 17. Valores de contracciones lineales y volumétrica de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

Contracción	Parcial (17.7%)		Clasificación Fuentes (s/f)	Total (%)	Clasificación Fuentes (s/f)
Radial	Máximo	2.25	Baja	3.99	Media
	Media	1.53		3.40	
	Mínimo	0.74		2.39	
	Sd	0.29		0.37	
Tangencial	Máximo	3.49	Muy baja	6.22	Media
	Media	2.50		5.07	
	Mínimo	1.73		4.13	
	Sd	0.37		0.45	
Axial	Máximo	0.62	No reportada	1.55	No reportada
	Media	0.10		0.54	
	Mínimo	0.01		0.14	
	Sd	0.13		0.34	
Volumétrica	Máximo	4.31	Baja	11.67	Media
	Media	3.31		8.69	
	Mínimo	0.56		5.79	
	Sd	0.79		0.89	

Sd = Desviación estándar

Cuadro 18. Valores de contracciones lineales y volumétrica de la madera de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

Contracción	Parcial (16.6%)		Clasificación Fuentes (s/f)	Total (%)	Clasificación Fuentes (s/f)
Radial	Máximo	3.91	Alta	7.73	Muy alta
	Media	3.26		5.98	
	Mínimo	1.99		5.43	
	Sd	0.52		0.70	
Tangencial	Máximo	5.24	Media	8.75	Alta
	Media	4.25		7.19	
	Mínimo	2.37		4.30	
	Sd	0.74		1.17	
Axial	Máximo	1.52	No reportada	1.95	No reportada
	Media	0.11		0.45	
	Mínimo	0.01		0.08	
	Sd	0.32		0.41	
Volumétrica	Máximo	8.69	Media	15.50	Media
	Media	7.07		13.56	
	Mínimo	5.39		11.53	
	Sd	0.98		1.02	

Sd = Desviación estándar

Cuadro 19. Coeficiente de contracción volumétrica de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) y de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

Especie	Maderas de árboles maduros ($V\beta_v$) (%) (Fuentes, 1998)	Madera de árboles de plantación de 10 años ($V\beta_v$) (%)
Caoba	0.33 Bajo	0.43 Medio
Siricote	0.65 Alto	0.44 Medio

Fuentes (1998).

El coeficiente de contracción volumétrica de la madera de siricote se clasificó como medio (Fuentes, 1998). Por lo que la madera de este estudio será más estable que lo reportado por Fuentes (1998).

5.2.6 Hinchamiento y Coeficiente de Hinchamiento

En los Cuadros 20 y 21 se presentan los valores de hinchamiento y coeficiente de hinchamiento de la madera de caoba y de siricote procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

5.2.7 Relación de anisotropía de las contracciones

En el Cuadro 22 se presenta el valor de anisotropía (A). En el caso de caoba resultó de 1.49 clasificándose como muy estable. Este valor fue muy cercano al reportado por Fuentes (1998) que fue de 1.43. Para la madera de siricote fue de 1.20, clasificada como muy estable. Esta relación de anisotropía es menor a la reportada por Fuentes (1998) de 1.58.

5.3 PROPIEDADES MECÁNICAS

5.3.1 Dureza Janka

Los valores de dureza son un indicador de la resistencia que presenta la madera a ser penetrada por otro sólido de mayor dureza, esta propiedad es importante en el comportamiento de la madera a maquinas y herramientas y cuando se somete al desgaste por frotamiento, por ejemplo, cuando se pretende utilizarla para la elaboración de pisos, cubierta de mesa, plataforma y madera que se relacione con el desgaste mecánico.

Cuadro 20. Valores de hinchamiento de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) y siricote (*Cordia dodecandra* A. DC) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

Hinchamiento	Porcentaje (%)	Caoba		Siricote	
		Parcial (17.7%)	Total (%)	Parcial (16.6%)	Total (%)
Radial	Máximo	2.29	4.03	4.52	8.38
	Media	1.80	3.34	2.79	6.36
	Mínimo	1.30	2.45	2.08	5.74
	Sd	0.24	0.39	0.81	0.80
Tangencial	Máximo	3.20	6.63	4.82	9.59
	Media	2.68	5.46	3.13	7.76
	Mínimo	2.42	4.79	2.09	4.50
	Sd	0.26	0.51	0.73	1.35
Axial	Máximo	2.28	2.44	0.81	1.97
	Media	0.41	0.52	0.29	0.46
	Mínimo	0.06	0.14	0.06	0.08
	Sd	0.36	0.42	0.20	0.42
Volumétrica	Máximo	9.01	13.21	8.85	18.35
	Media	5.67	9.47	7.48	15.76
	Mínimo	4.15	6.15	6.41	13.03
	Sd	0.92	1.07	0.66	1.37

Sd = Desviación estándar

BIBLIOTECA DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES

Cuadro 21. Coeficiente de hinchamiento de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) y de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

Especie	Vh (%)	Clasificación Pérez (1983)
Caoba	0.48	Medianamente nerviosa
Siricote	0.51	Medianamente nerviosa

Pérez (1983). Citado por Salinas (2000).

Cuadro 22. Valores de Anisotropía de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) y de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

Especie	Relación de anisotropía	Clasificación Ordóñez (1990)
Caoba	1.49	Muy estable
Siricote	1.20	Muy estable

En el Cuadro 23 se puede observar que la madera de caoba se clasifica en las caras laterales y en las transversales como media (Fuentes, 1998), estos valores son mayores a los reportados por Petexbatum (2007) que es de 312 kg/cm en las caras laterales.

En el Cuadro 24 se presentan los valores de dureza de la madera de siricote, que se clasifican en las caras laterales y en las caras transversales clasificándose como media (Fuentes, 1998); este mismo autor reporta valores de 1012 kg/cm² en caras laterales. La madera puede ser utilizada en muebles de alta calidad y partes visibles de muebles tapizados, artículos torneados, escritorios, tallados y juguetes (Echenique y Plumptre, 1994).

5.3.2 Flexión dinámica

La resiliencia es la capacidad que presenta un cuerpo elástico de almacenar energía, propiedad que le permite a un material deformarse y recuperar su forma original cuando cesa la carga o acción que provocó esta deformación. En el Cuadro 25 se puede observar que la madera de caoba es poco resiliente y frágil según Díaz (1960) y Pérez (1983) citado por Salinas (2000), lo cual quiere decir que esta madera no puede ser utilizada en usos expuestos a choques y a vibraciones.

5.4 FICHAS TECNOLÓGICAS

Como resultado final de este estudio, se elaboraron las fichas tecnológicas para las maderas de caoba y siricote. Estas fichas se muestran en los Cuadros 26 y 27, las características completas, determinadas comúnmente para todas las maderas aun cuando el uso determinante de estas especies no sea industrial como en el caso de los índices de calidad de papel y otras.

Las fichas indican desde luego variación de acuerdo con los valores reportados por la literatura para los correspondientes para la madera de árboles maduros, sin embargo, en varias de estas características indican un uso extensivo importante, sobre todo en grandes volúmenes disponibles (Cuadros 28 y 29).

Así mismo, se espera que las características decorativas de caoba y sobre todo siricote vayan cambiando según se avance en la edad de cosecha planeada para 20 a 25 años y 25 a 30 años para caoba y siricote, respectivamente.

Estas características determinadas en la madera juvenil serán fundamentales para la planeación de las plantaciones forestales comerciales de estas especies en el futuro.

Cuadro 23. Valores de dureza de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) al contenido de humedad en equilibrio procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

Dureza	Valor (kg) 12.3% CH	Clasificación (Fuentes,1998)
Lateral	Máximo= 1008.00 Media = 569.00 Mínimo = 282.00 Sd = 202.93	Media
Transversal	Máximo= 808.00 Media = 608.00 Mínimo= 423.00 Sd = 119.26	Media

Sd = Desviación estándar

Cuadro 24. Valores de dureza de la madera de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) al contenido de humedad en equilibrio procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

Dureza	Valor (kg) 11.4% CH	Clasificación (Fuentes,1998)
Lateral	Máximo= 689.00 Media= 549.00 Mínimo = 398.00 Sd = 75.14	Media
Transversal	Máximo= 670.00 Media= 617.30 Mínimo= 398.00 Sd= 64.84	Media

Sd = Desviación estándar

Cuadro 25. Valores de Flexión Dinámica de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) al 137 y 12 % de Contenido de Humedad, procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

Parámetro	Contenido de humedad al 137%		Contenido de humedad al 12%	
	Valor	Clasificación		Clasificación
Trabajo de ruptura (W)	Máx = 2.50 Med = 1.84 Mín = 1.50	Muy bajo	Máx = 1.50 Med = 0.96 Mín = 0.70	Muy bajo
Coeficiente de resiliencia (K)	Máx = 0.24 Med = 0.18 Mín = 0.14	Poco resiliente (Díaz, 1960)	Máx = 0.145 Med = 0.09 Mín = 0.06	Poco resiliente (Díaz, 1960)
Cuota de resiliencia (cK)	Máx = 0.20 Med = 0.15 Mín = 0.12	Frágil (Pérez 1983 y Díaz, 1960)	Máx = 0.45 Med = 0.31 Mín = 0.22	Frágil o quebradiza (Pérez, 1983 y Díaz, 1960)
Reacción instantánea (R)	Máx = 193.74 Med = 132.09 Mín = 97.85		Máx = 123.29 Med = 98.04 Mín = 76.20	
Resistencia unitaria de la flexión dinámica (Fd)	Máx = 871.83 Med = 594.41 Mín = 440.32		Máx = 554.80 Med = 441.80 Mín = 342.92	
Cuota de flexión dinámica (CFd)	Máx = 7.20 Med = 4.91 Mín = 3.63		Máx = 10.08 Med = 8.03 Mín = 6.23	

Pérez (1983). Citado por Salinas (2000)

Max.= máximo, Med.= media Min.=mínimo.

Cuadro 26. Ficha tecnológica madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING), procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS			
Característica		Descripción	
Color	Albura	Castaño pálido	
	Duramen	Rojizo ligero	
Olor		Sin olor	
Sabor		Amargo	
Brillo		Medio	
Veteado		Pronunciado	
Textura		Media a Gruesa	
Hilo		Entrecruzado a ondulado	
Porosidad		Difusa	
Parénquima		En bandas concéntricas	
Contenidos celulares		Gomas y cristales en parénquima y vasos	
		Valor	Clasificación
Índice de calidad de pulpa para papel	Relación de Runkel	0.74	Buena para papel
Proporción de elementos constitutivos (%)	Fibras	52.00	Media
	Vasos	9.10	Media
	Rayos	24.30	Mayor
	Parénquima	14.60	Mayor
PROPIEDADES FÍSICAS			
Densidad	Densidad Básica	0.48	Ligera
	Densidad normal	0.56	Ligera
Contracción total (%)	Tangencial	5.07	Media
	Radial	3.40	Media
	Axial	0.54	No reportada
	Volumétrica	8.69	Media
Punto de saturación de la fibra		19.70	Baja
Coeficiente de contracción volumétrica		0.43	Medio
Coeficiente hinchamiento volumétrico		0.48	Medianamente nerviosa
Anisotropía		1.49	Muy estable
PROPIEDADES MECANICAS			
Dureza 12% C.H.	Transversal	608.00	Media
	Lateral	569.00	Media
Flexión dinámica	Trabajo de ruptura	0.96	Muy bajo
	Coeficiente de resiliencia	0.09	Poco resiliente
	Cuota de resiliencia	0.31	Frágil
Usos	Marcos, ebanistería, moldes, etc.		

Cuadro 27. Ficha tecnológica de la madera de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche.

CARACTERÍSTICAS ANATOMICAS

Característica		Descripción	
Color	Albura	Amarillo pálido	
	Duramen	Castaño marrón	
Olor		Sin olor	
Sabor		Sin sabor característico	
Brillo		Opaco	
Veteado		Pronunciado	
Textura		Media a Gruesa	
Hilo		Entrecruzado	
Porosidad		Difusa	
Parénquima		Paratraqueal en bandas confluentes, poco aliforme confluyente	
Contenidos celulares		Gomas y cristales en parénquima y vasos	
		Valor	Clasificación
Índice de calidad de pulpa para papel		Relación de Runkel 1.10	Regular para papel
Proporción de elementos constitutivos (%)	Fibras	48.30	Media
	Vasos	10.10	Media
	Rayos	32.80	Mayor
	Parénquima	8.80	Media
PROPIEDADES FÍSICAS			
Densidad	Densidad Básica	0.49	Ligera
	Densidad normal	0.58	Ligera
Contracción total (%)	Tangencial	7.19	Alta
	Radial	5.98	Muy alta
	Axial	0.45	No reportada
	Volumétrica	13.56	Media
Punto de saturación de la fibra		30.83	Normal
Coeficiente de contracción volumétrica		0.44	Medio
Coeficiente de hinchamiento volumétrico		0.51	Medianamente nerviosa
Anisotropía		1.20	Muy estable
PROPIEDADES MECANICAS			
Dureza 12% CH	Transversal	617.3	Media
	Lateral	549.0	Media
Usos		Marcos, pisos, artículos torneados y artesanías.	

Cuadro 28. Comparación de las características de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING), procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche, con las reportadas en la literatura para árboles maduros.

CAOBA En este estudio	CAOBA Reportados en la literatura
Color rojizo ligero	Color rojizo más intenso
Brillo medio	Brillo alto
Hilo entrecruzado a ondulado	Hilo recto, ondulado a entrecruzado
Veteado pronunciado	Veteado pronunciado
Distribución difusa	Distribución difusa
Agrupación solitarios múltiples	Agrupación solitarios múltiples
Puntuaciones alternas	Puntuaciones alternas
Placa perforada simple	Placa perforada simple
Parénquima en banda concéntrico	Parénquima en líneas marginales
Rayo multiseriado de tipo heterogéneo	Rayo multiseriado de tipo heterogéneo
Fibras libriformes	Fibras libriformes
Vasos con gomas	Vasos con gomas
En el parénquima axial y radial gomas y cristales	En el parénquima axial y radial gomas y cristales
PSF 19.70 %	PSF 27 %
Densidad básica 0.48 g/cm ³	Densidad básica 0.42 g/cm ³ , 0.49 g/cm ³
Contracción volumétrica 8.69 %	Contracción volumétrica 9.10 % 10.42 %
Dureza lateral 569 kg/cm ²	Dureza lateral 312 kg/cm ²

Cuadro 29. Comparación de las características de la madera de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC) procedente de plantaciones de 10 años de edad de Hopelchén, Campeche, con las reportadas en la literatura para árboles maduros.

SIRICOTE En este estudio	SIRICOTE Reportados en la literatura
Color castaño marrón	Color café más oscuro casi negro
Brillo medio	Brillo alto
Hilo entrecruzado a ondulado	Hilo recto, inclinado
Veteado pronunciado	Veteado pronunciado
Distribución difusa	Distribución difusa
Parénquima en banda paratraqueales	Parénquima en banda paratraqueales
confluentes, aliforme confluyente y algunos	confluentes, aliforme confluyente y algunos
vasicentricos	vasicentricos
Rayo multiseriado de tipo heterogéneo	Rayo multiseriado de tipo heterogéneo
Fibras libriformes	Fibras libriformes
Vasos con gomas	Vasos con gomas
En el parénquima axial y radial gomas y	En el parénquima axial y radial gomas y
cristales	cristales
PSF 30.83 %	PSF 17 %
Densidad básica 0.49 g/cm ³	Densidad básica 0.70 g/cm ³ , 0.89 g/cm ³
Contracción volumétrica 13.60 %	Contracción volumétrica 8.7 %, 11.06 %
Dureza lateral 549 kg/cm ²	Dureza lateral 1012 kg/cm ²

6. CONCLUSIÓN

La madera de caoba de plantación de 10 años de este estudio por sus características anatómicas puede ser utilizada en ebanistería, puertas, mesas, pasa manos, peldaños de escaleras, artículos torneados entre otros usos, sin embargo para la madera de siricote a la edad de 10 años por presentar un 80% de albura y un color amarillo los usos que se pueden recomendar serán muy diferentes a los recomendados para madera de duramen

La madera de caoba, por su densidad básica ligera y cambios dimensionales medios, se esperará que en los procesos de transformación, si se presentan deformaciones, sean mínimas.

En cuanto a la madera de siricote debido a su densidad básica ligera y cambios dimensionales medios, se esperará que en los procesos de transformación, si se presentan deformaciones, sean mínimas; cabe recalcar que la madera de siricote de este estudio es albura.

La madera de caoba puede utilizarse en ebanistería debido a su dureza media aunque por su fragilidad no puede utilizarse en aplicaciones sometidas a impacto. Se recomienda que la madera de siricote se emplee en la fabricación de pisos de tráfico ligero, debido a que el valor de la dureza de esta madera se encuentra dentro del rango para ser utilizada en esos usos.

Las características y propiedades de las maderas determinadas en el presente trabajo muestran que pueden ser utilizadas en el caso de caoba en partes decorativas, marcos, barandales, puertas, peldaños de escaleras, zoclos, pasamanos, entre otros. En cuanto a la madera de siricote se puede utilizar en pisos generales, duelas, parquet, molduras, zoclos, tallados, juguetes, artesanías y muebles de alta calidad.

A pesar de una gran cantidad de usos que se le puede dar a estas maderas, el aprovechamiento de la plantación dependerá de los diámetros y del turno en el que se pretende llevar a cabo la corta y/o cosecha.

7. LITERATURA CITADA

- Arteaga M., B.; M. A. Musálem. 2004. Plantaciones Forestales. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. de México. 548 p.
- Barajas M., J.; C. León G. 1989. Anatomía de Maderas de México; Especies de una Selva Baja Caducifolia. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología, Departamento de Botánica. México, D F. 128 p.
- Camacho U., D. 1988. La madera: estudio anatómico y catálogo de especies mexicanas. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Colección científica. México. D. F. 361 p.
- Gobierno del Estado de Campeche. 1989. Comisión Nacional de estudios municipales, Campeche, México.
- CONABIO. 2001. Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Instituto de ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 263 p.
- Díaz G., V.; J. Huerta. 1986. Utilización de las maderas tropicales en México. Ciencia Forestal. México D. F. 60 p.

Díaz G., V. 1960. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Tesis de Licenciatura. Unidad y Enseñanza e Investigación en Bosques. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Texcoco, México. 119 p.

Dirección General de Normas. 1981 NOM-EE 167-1983 Envase y Embalajes-Madera-Contracción lineal. Método de prueba. Dirección general de Normas. Secretaría de Patrimonio y Fomento industrial. México, D.F. 7 p.

Dirección General de Normas. 1981 NOM-EE 117-1981 Envase y Embalajes. Determinación de peso específico aparente en maderas. Dirección general de Normas. Secretaría de Patrimonio y Fomento industrial. México, D.F. 137 p.

Echenique M., R.; R. A. Plumptre. 1994. Guía para el uso de maderas de México y Belice. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal. 196 p.

Fuentes S., M. s/f. Apuntes para el curso de tecnología de la madera. Serie de apoyo académico No. 33. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. de México. 97p.

Fuentes S., M. 1998. Propiedades Tecnológicas de las Maderas Mexicanas de Importancia en las Construcción. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 4 (1): 221-229 p.

- Fuentes S., M. 2000. Estimación del Punto de Saturación de la Fibra (PSF) de las maderas. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 6(1): 79-81 p.
- Gobierno del Estado de Campeche. 1989. Enciclopedia de los Municipios de Campeche. Comisión Nacional de estudios municipales. Secretaria de Gobernación. Talleres Gráficos de la Nación. Campeche, México. 331p.
- Guridi G., L. 1998. Notas correspondientes al curso de Anatomía de la Madera II. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Morelia Michoacán. 89 p.
- IRENA. 1987. Manual de Identificación Microscópica de 50 Especies Maderables Nicaragüenses. Managua, Nicaragua. 115 p.
- Jane, F. W. 1970 The structure of Wood. 2ª Edición. Adam & Charles Black. London. 478 p.
- Kollmann, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Tomo I. Ministerio de Agricultura. Instituto Forestal de Investigaciones, experiencias y servicios de la madera. Madrid, España. 675 p.

- Machuca V., R. 1995. Estudio Tecnológico de la Madera de *Quercus insignis* de Huatusco, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 144 p.
- Munsell Color Company. 1954. Munsell soil color charts. Baltimore, Maryland. 17p.
- Novelo G., G. 1964. Aplicaciones de la Madera de cuatro especies tropicales con base a sus propiedades físicas y mecánicas. Tesis profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Departamento de Bosque. Chapingo, Texcoco, México. 65 p.
- Ordóñez, V.; G. Barcenas; A. Quiroz. 1990. Características físico-mecánicas de la madera de 10 especies de San Pablo Macualtianguis, Oaxaca, LACITEMA, Xalapa, Veracruz. 29 p.
- Panshin A., J.; C. de Zeeuw. 1970. Textbook of Wood Technology. Vol.I. Third Edition. McGraw-Hill. Series in forest Resources. New York. 705 p.
- Pennington T., D.; J. Sarukhán. 1998. Árboles tropicales de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México, D.F. 238 p.
- Pérez O., C.; V. Carmona ; M. Rogel G. 1980. Estudio Anatómico de la Madera de 63 Especies Maderables. Boletín Técnico Instituto Nacional de Investigación Forestal Num. 63 México, D.F. 276 p.

- Petroff, G.; 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 269-287 p.
- Salinas H., S. 2000. Sistemas de Clasificación de las Características, Propiedades y Procesos de Transformación Primaria de las maderas. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Tesis de Licenciatura. Chapingo, México. 196 p.
- Terrazas S., T. 1984. Promoción para clasificar el tamaño de algunas estructuras de madera de angiospermas mexicanas. Tesis profesional. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 116 p.
- Tortorelli L., A. 1956. Maderas y Bosques Argentinos. ACME, S.A. Buenos Aires 910 p.
- Vázquez-Yanes, C.; Batis Muñoz, A. I.; Alcocer Silva., M. I.; Gual Díaz, M.; Sánchez Dirso, C. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO-Instituto de Ecología, UNAM. pp. 138- 140.
- Vignote, S.; F. Jiménez. 1996. Tecnología de la madera. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 606 p.

Documentos en Línea:

Petexbatum, S. A. 2007. Las mejores maderas de Guatemala: Caoba de Petén. (En línea). Guatemala. 27 de noviembre de 2005. Disponible en: <http://www.petexbatun.net/es/caoba.html>

León H., W. 2003. Maderas de Venezuela *Swietenia macrophylla* KING. (En línea). Venezuela. 5 de diciembre de 2005. Disponible en <http://www.forest.ula.ve/wleon/maderas.htm/caoba.pdf>.

Richter, H. G. y Dallwitz, M.J. 2000. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification and information retrieval. (En Línea) Buenos Aires. Argentina. (18 de octubre). Disponible en [www: http://biodiversity.uno.edu/delta/](http://www.biodiversity.uno.edu/delta/)

8. APÉNDICE

Anexo 1. Clasificación de color para latifoliadas (Tortorelli, 1956)

GRUPO	COLOR	CLAVE
1	Blanco amarillento	Tabla de Munsell
2	Blanco rosáceo	Tabla de Munsell
3	Amarillo ocre	Tabla de Munsell
4	Amarillo verdoso	Tabla de Munsell
5	Pardo	Tabla de Munsell
6	Castaño rosáceo	Tabla de Munsell
7	Castaño rojizo	Tabla de Munsell
8	Castaño violeta	Tabla de Munsell

Anexo 2. Clasificación del veteado (Tortorelli, 1956)

TIPO	CARACTERÍSTICAS
Pronunciado	Elementos amplios o gruesos, diferencia de color notable.
Suave	Termino medio respecto al veteado pronunciado y el liso.
Liso	Elementos constitutivos apenas perceptibles a simple vista, coloración uniforme.

Anexo 3. Clasificación de la textura (Tortorelli, 1956)

TIPO	CARACTERÍSTICAS
Gruesa	Elementos constitutivos amplios diámetros de poros > de 250 μ , rayos grandes y parénquima abundante.
Fina	Elementos constitutivos pequeños menores a 150 μ de diámetro, parénquima escaso y fibras abundantes.
Media	Termino medio entre las anteriores, poros de 150 a 250 μ .

Anexo 4. Clasificación del hilo (Tortorelli, 1956)

TIPO	CARACTERÍSTICAS
Derecho	Dirección paralela al eje vertical del fuste del árbol
Oblicuo	Se desvía formando un ángulo con el eje, se nota en la cara tangencial
Entrecruzado	Tiene dirección opuesta y alterna en anillos sucesivos
Crespo	La dirección del haz longitudinal es regularmente ondulado

Anexo 5. Clasificación de la porosidad (Tortorelli, 1956)

Distribución

DISTRIBUCIÓN	DESCRIPCIÓN
Difusa	Distribución uniformemente en toda la zona de crecimiento
Circular	Poros de cavidad amplia a lo largo del límite extremo de la zona de crecimiento en la madera temprana
Semicircular	Los poros van disminuyendo de diámetro gradualmente hacia la madera tardía.

Agrupación

AGRUPACIÓN	DESCRIPCIÓN
Solitarios	Poros individuales rodeados por otro tipo de elementos
Múltiples	Dos o más poros unidos comprimidos uno contra otro en sentido radial
En cadena	Poros separados pero alineados en serie
Agrupados	Poros separados pero distribuidos en grupos de tres o más

Diámetro

RANGO (μ)	CLASIFICACIÓN
< 100	Pequeños
100 – 200	Medianos
200 – 300	Grandes
>300	Muy grandes

Longitud de vasos

LONGITUD (μ)	CLASIFICACIÓN
< 350	Cortos
350 – 800	Medianos
> 500	Largos

Abundancia

RANGO (Nº)	CLASIFICACIÓN
< 10	Poco numerosos
10 – 20	Numerosos
20 – 40	Muy numerosos
> 40	Extremadamente numerosos

Placa Perforada

TIPO	OBSERVACIÓN
Simple	Abertura única grande
Múltiple	Dos o más aberturas
Orlada	Cuando el remanente de la pared en la abertura simple forma un margen alrededor
Escaleriforme	Varias perforaciones alargadas o paralelas
Reticulada	Varias perforaciones pequeñas en forma de red, numerosas
Esferoide	Aberturas pequeñas pocos numerosas y más o menos circulares

Anexo 6. Clasificación de los rayos (Tortorelli, 1956)

Abundancia

No/mm	CLASIFICACIÓN
< 2	Muy escasos
3 – 4	Escasos
5 – 7	Poco numerosos
8 – 10	Numerosos
10 – 15	Muy numerosos
> 15	Extremadamente numerosos

Altura

ALTURA (μ)	CLASIFICACIÓN
< 200	Muy bajos
200 – 500	Bajos
500 – 800	Medianos
800 – 2000	Altos
> 2000	Muy altos

Anchura

ANCHURA (μ)	CLASIFICACIÓN
<25	Muy angostos
25 – 50	Moderadamente angostos
50 – 100	Medianos
100 – 200	Moderadamente anchos
>200	Muy anchos

Anexo 7. Clasificación de fibras (Tortorelli, 1956)

Longitud de fibras

LONGITUD (μ)	CLASIFICACIÓN
400 – 900	Cortas
900 – 1600	Medianas
>1600	Largas

Diámetro de fibras

RANGO DE DIÁMETRO (μ)	CLASIFICACIÓN
<25	Finas
25 - 40	Medianas
>40	Anchas

Espesor de la pared

MAGNITUD	CLASIFICACIÓN
El lumen es $\frac{3}{4}$ o más del diámetro total de la fibra	Muy delgada
El lumen ocupa $\frac{3}{4}$ a $\frac{1}{3}$ del diámetro total	Delgada
El lumen de $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{3}$ del diámetro total	Gruesa
Lumen menor a $\frac{1}{3}$ del diámetro total	Muy gruesa

Clasificación del grosor del lumen según (Terrazas, 1984)

Rango (μ)	CLASIFICACIÓN
< 3.0	Extremadamente fino
3.0 – 4.0	Muy fino
4.0 – 5.0	Moderadamente fino
5.0 – 10.0	Mediano
10.0 -14.0	Moderadamente ancho
14.0 – 19.0	Muy ancho
> 19	Extremadamente ancho

Anexo 8. Clasificación de los índices de calidad de pulpa (Petroff y Normand, 1968).

Clasificación de Coeficiente de Rigidez

Rango	Clasificación
Mayor de 0.70	Muy gruesa
De 0.70 a 0.50	Gruesa
De 0.50 a 0.35	Media
De 0.35 a 0.20	Delgada
Menor de 0.20	Muy delgada

Clasificación de la relación de Runkel (Porres y Valladares, 1979).

Rango	Clasificación
Menor de 0.25	Excelente para papel
De 0.25 a 0.50	Muy buena para papel
De 0.50 a 1.0	Buena para papel
De 1.0 a 2.0	Regular para papel
Mayor de 2.0	Mala para papel

Clasificación del Coeficiente de Flexibilidad (Petroff y Normand, 1968).

Rango	Clasificación
Menor de 0.30	Muy gruesa
De 0.30 a 0.50	Gruesa
0.50 a 0.65	Media
0.65 a 0.80	Delgada
Mayor de 0.80	Muy delgada

Anexo 9. Clasificación de la densidad básica (Vignote y Jiménez, 1996)

Db (g/cm ³)	CLASIFICACIÓN
<0.40	Muy ligera
0.40 – 0.49	Ligera
0.50– 0.59	Semipesada
0.60 – 0.70	Pesada
> 0.70	Muy pesada

Anexo 10. Clasificación de la densidad al 12 % de CH (Díaz, 1960). Latifoliadas

Db (g/cm ³)	CLASIFICACIÓN
<0.50	Muy ligera
0.50 – 0.65	Ligera
0.65– 0.80	Semipesada
0.80 – 1.00	Pesada
> 1.00	Muy pesada

Anexo 11. Clasificación de las contracciones de la madera según su intensidad (%).
(Fuentes, s/f)

CLASIFICACIÓN	TANGENCIAL		RADIAL		VOLUMÉTRICA	
	t _v a t _o	t _v a t ₁₂	r _v a r _o	r _v a r ₁₂	v _v a v _o	v _v a v ₁₂
Muy baja	< 3.5	< 2.5	< 2.0	< 1.0	< 7.5	< 4.1
Baja	3.6 – 5.0	2.6 – 4.0	2.1 – 3.0	1.1 – 2.1	7.6 – 10.0	4.2 – 5.6
Media	5.1 – 6.5	4.1 – 5.5	3.1 – 4.0	2.1 – 3.0	10.1 – 15.0	5.7 – 8.5
Alta	6.6 – 8.0	5.6 – 7.0	4.1 – 5.0	3.1 – 4.0	15.1 – 19.0	8.6 – 10.8
Muy alta	> 8.1	> 7.1	> 5.1	> 4.1	> 19.1	> 10.9

t_v, r_v, v_v = Dimensiones en estado verde
t_o, r_o, v_o = Dimensiones en estado anhidro
t₁₂, r₁₂, v₁₂ = Dimensiones al 12% de CH

Anexo 12. Clasificación de la madera según su relación de anisotropía (Ordóñez, 1990).

RANGO	CLASIFICACIÓN
< 1.5	Muy estable
1.5 – 2.0	Estable
2.0– 2.5	Moderadamente estable
2.5 – 3.0	Inestable
> 3.0	Muy inestable

Anexo 13. Clasificación del punto de saturación de la fibra (Novelo, 1964).

PSF (%)	CLASIFICACIÓN
<25	Bajo
25 – 35	Normal
> 35	Alto

Anexo 14. Clasificación de la dureza Janka (Tortorelli, 1956).

VALOR (kg)	CLASIFICACIÓN
<300	Blanda
351 – 600	Semidura
>600	Dura

Anexo 15. Cuota de resiliencia (K/Dh^2) a un 12% de CH, Flexión Dinámica (Pérez, 1983 y Díaz, 1960)

CUOTA DE RESILIENCIA	CLASIFICACIÓN	CALIFICACIÓN
<0.8	Poco resilientes	Madera inservible para empleo móviles
0.8 – 1.2	Resilientes	Madera para durmientes, cajas de empaque, carrocerías, vagones
>1.2	Muy resilientes	Maderas de aviación, mangos de herramientas, artículos deportivos.

Anexo 16. Clasificación de las propiedades mecánicas (Echenique, 1994).

CLASIFICACIÓN	MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
Propiedad	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
Impacto (Kg-m) Impacto	<2.07	2.07-3.8	3.8-5.53	5.53-7.26	> 7.26

Anexo 17. Clasificación del coeficiente de hinchamiento según Pérez (1983).

Vh	Clase	Observación
<0.75	Nerviosas	Madera que se deforma mucho con las variaciones de humedad, se deben emplear en medios de humedad constante.
0.75 a 0.55		Madera de corte radial
0.55 a 0.35	Medianamente nerviosas	Madera de construcción
0.35 a 0.15	Poco nerviosas	Madera de carpintería, ebanistería, tornería, escultura, etc.

Anexo 18. Clasificación del coeficiente de resiliencia según Díaz (1960).

K	Clase
<0.4	Poco resistente
0.4 a 1.0	Medianamente resistente
>1.0	Muy resistente

Anexo 19. Cota de resiliencia según Pérez (1983) y Díaz (1960).

CDi	Calidad	Aplicación
<0.8	Frágil o quebradiza	Madera impropia para empleos móviles
0.8 a 1.2	Medianamente resiliente	Madera para aplicaciones que exigen choques y vibraciones (vagones, durmientes, embalajes, etc.)
>1.2	Resiliente	Madera que puede resistir choques violentos (aviación, mangos de herramientas, implementos deportivos).

Cuadro 1 del Apéndice. Características de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* KING) procedente de bosques naturales según varios autores.

Característica	Descripción	Autor
Macroscópica	La madera de caoba presenta que presenta es color rojizo, con olor y sabor no característico, lustre alto, textura media, hilo recto, con un veteado suave y pronunciado.	Camacho (1988)
	La madera es de color castaño en varias tonalidades, el olor y el sabor no se perciben, brillo alto, veteado suave ha pronunciado en la cara tangencial, textura media e hilo recto.	Guridi (1998)
	La madera es de color marrón café pálido, rosa, rojo claro, rojo oscuro o café rojizo. La albura muy estrecha es de color claro, casi blanca, el duramen después de cortado es de color rosa reluciente, pasando con la luz a marrón, tiene un olor fragante y muy característico. El hilo puede ser recto, ondulado y con frecuencia entrecruzado. Textura media, fácil de trabajar y toma un alto acabado lustroso dorado.	Pennington y Sarukhán (1998)
	La madera presenta albura de color amarillo rojizo y duramen castaño rojizo, transición gradual entre albura y duramen. Olor y sabor ausente, lustre alto, textura mediana, grano recto entrecruzado	León (2003)
Microscópicas	Radios estratificados poros obstruidos por goma y algunas por sustancia blanca, medianos solitarios y múltiples, anillos de crecimiento delimitados por parénquima marginal. Parénquima visible a simple vista, en fajas y/o en líneas marginales regularmente separadas; poros visibles a simple vista, medianos, solitarios o múltiples, obstruidos por goma y algunos con sustancia blanca; radios visibles a simple vista en la superficie transversal y tangencial, observándose en esta última la estratificación de los radios: anillos de crecimiento delimitados por fajas de parénquima marginal, duramen castaño claro a amarillo rojizo.	Irena (1987)

Vasos solitarios múltiples y radiales de diámetro mediano numerosos semicirculares, parénquima tipo marginal y apotraqueal con presentación terminal y difusa. Las fibras son de diámetro fino, con el espesor de pared grueso, puntuaciones areoladas alternas, los rayos son de tipo uniseriados, biseriados y poliseriados.

**Camacho
(1988)**

Las zonas de crecimiento bien definidas por el parénquima marginal, la porosidad difusa, los poros a simple vista, son medianos, numerosos, solitarios o múltiples radiales de 2 a 6 y agrupados de 2 a 4, los elementos de vasos son medianos, con puntuaciones intervasculares areoladas alternas, con goma de color rojo, placa con perforación simple y frecuentemente con depósitos de goma de color rojizo.

**Guridi
(1998)**

Presenta fibras libriformes y pocas fibrotraqueidas, son de longitud mediana, diámetro medio y de pared muy delgada. Parénquima leñoso marginal en líneas concéntricas de 2 a 10 células de ancho, paratraqueal vasicentrico de 1 a 3 células de ancho y apotraqueal difuso, contiene ocasionalmente cristales solitarios. Los rayos poco visibles a simple vista en la sección transversal pero fácilmente en la tangencial, donde se observan formando líneas de estratificación, son heterogéneos, escasos uniseriados y de 3 a 4 series que contienen hasta 35 células de alto que presentan cristales en las células marginales.

Anillos de crecimientos visibles, pero poco marcados debido a las líneas concéntricas de parénquima terminal, su anchura es muy desigual. Vasos de tamaño mediano visibles a simple vista, tienen distribución difusa. En las caras, los vasos se ven como un pequeño surco hueco con fondo oscuro. Radios y parénquima no visibles a simple vista. Lumen con goma roja, fibras septadas. Parénquima terminal en líneas concéntricas con células anchas de 2 a 10, células vasicentricas de 1 a 3 y difusas, lumen ocasionalmente con cristales solitarios.

**Pennington
y Sarukhán
(1998)**

Anillos de crecimiento están delimitados por bandas de parénquima marginal. Duramen de color café (castaño claro) café a rojizo (oscureciendo con el tiempo, lustre dorado), de color uniforme. Color de la albura distinto del color del duramen. Densidad básica que va de un rango de: 0,40 a 0,65 g/cm³. Hilo entrecruzado (rayado) y/o muy irregular cerca de las ramas.

**Richter y
Dallwitz
(2000)**

Madera de porosidad difusa, vasos generalmente en grupos radiales cortos de 2 a 3 vasos. Promedio del diámetro tangencial de los vasos es de 160 µm, el rango del número de vasos/mm² va de 2 a 18, el rango del largo de los elementos vasculares va de 480 a 890 µm. Placas de perforación simples. Punteaduras intervasculares alternas, rango del diámetro (vertical) de las punteaduras intervasculares: 2 a 4 µm. Punteaduras radiovasculares con aréolas distintas, similares a las punteaduras intervasculares. Otros depósitos en vasos como gomas generalmente de color castaño rojizo oscuro.

Fibras de espesor medio, el promedio del largo de las fibras es de 1000 µm. Punteaduras de las fibras en su mayoría restringidas a las paredes radiales, simples o con aréolas minúsculas. Fibras septadas distribuidas uniformemente.

Parénquima axial presente en bandas marginales, (o aparentemente marginales), finas, hasta 3 células de ancho y en serie con células de 4 a 8. Parénquima axial paratraqueal vasicéntrico escaso.

El número de radios por mm es de 5 a 10 multiseriados, muy pocos radios que van de 1 a 4 células de ancho. Radios compuestos por uno o más tipos de células. Células de los radios homocelulares procumbentes, cuadradas o erectas. Radios heterocelulares con células cuadradas y erectas restringidas a hileras marginales. Número de hileras marginales de células cuadradas o erectas de 1 a 4 células de los radios de tamaños diferentes, sección tangencial. Cristales prismáticos, localizados en células de los radios y células del parénquima axial.

Anillos de crecimientos definidos por bandas de parénquima marginal. Porosidad difusa con poros sin patrón definidos de disposición, solitarios y múltiples radiales de 2 a 4 algunos arracimados de 4 a 13 poros de mm^2 , diámetro tangencial de 105 a 250 micras, longitud de vasos vasculares de 150-650 micras. Placas de perforación simple. Punteaduras intervascuales alternas, circulares a ovaladas, diminutas a pequeñas, punteaduras radiovasculares similares a las vasculares; engrosamientos espiralados ausentes, fibras septadas, paredes delgadas a medianas.

**León
(2003)**

Parénquima paratraqueal escaso, vasicentrico delgado, bandas marginales, ocasionalmente apotraqueal difuso, difuso en agregados. Radios heterocelulares con una o dos rutas de células marginales, radios agregados ausentes. Cristales prismáticos en células parenquimatosas radiales y ocasionalmente en los axiales, un cristal por célula. Conductos gomíferos traumáticos presentes.

Con densidad de 0.49 g/cm^3 semidura. Con una contracción volumétrica de 10.42%.

**Camacho
(1988)**

Peso específico básico de 0.45 a $0.46 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ clasificado como mediano, peso específico anhidro de 0.50 a $0.52 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ moderadamente pesada, contracción volumétrica total de 7.80 a 8.40%, baja, contracción tangencial total de 4.11%, baja, contracción radial total de 3.00 %, baja. Contenido de humedad fue de 364 a 388 kg.

**Irena
(1937)**

Propiedades físicas

Densidad básica de $0.42 \text{ (g/cm}^3\text{)}$, contracción volumétrica 9.10%, contracción tangencial 6.11%, contracción radial 4.27%, relación de anisotropía de 1.43, coeficiente de contracción volumétrica 0.33, punto de saturación de la fibra 27% y dureza lateral 312 kg. Moderadamente dura y pesada.

**Fuentes
(1998)**

Densidad básica media es de 0.54 g/cm^3 , según las procedencias, varía entre 0.45 a 0.70 g/cm^3 .

**León
(2003)**

Cuadro 2 del Apéndice. Características de la madera madura de siricote (*Cordia dodecandra* A. DC.) procedente de bosques naturales según varios autores.

Característica	Descripción	Autor
	Madera color café amarillo, con olor y sabor no característico, lustre opaco, textura media, hilo recto, con un veteado pronunciado.	Camacho (1988)
	Reportan que la albura es de color amarillo claro uniforme y duramen de color café grisáceo con veteado muy atractivo, dado por la presencia de franjas de color más oscuros alternadas con franjas de color más claros, sin olor, en fresco presenta sabor amargo, muy lustrosa, textura media, grano recto, dureza mediana y moderadamente pesada.	Barajas y León (1989)
Macroscópicas	La albura de color amarilla pálida y el duramen verde olivo grisáceo, con zonas de color café más oscuro casi negro. No tiene olor y el sabor es amargo, la textura es mediana homogénea, el hilo inclinado, el veteado pronunciado y es opaca. No presenta zonas de crecimiento.	Guridi (1998)
	La albura es color crema amarillento cambiando a pardo.	Pennington y Sarukhán (1998)
	Duramen amarillo pálido.	Irena (1987)
Microscópicas	Parénquima apotraqueal difuso agregado, paratraqueal vasicentrico, aliforme confluyente, porosidad difusa, agrupaciones solitarias, múltiples radiales, con diámetro mediano, vasos con puntuaciones areoladas alternas de longitud corta y platina simple. Rayos medianos poco numerosos, clase heterogénea, con cristales romboidales.	Díaz y Huerta (1986)

La madera presenta rayos no estratificados visibles a simple vista en la superficie transversal y tangencial, parénquima aliforme y eventualmente vasicentrico y en líneas marginales, poros visibies a simple vista ocasionalmente obstruidos por tilides, medianos, solitarios y múltiples, anillos de crecimientos distinguibles demarcados con líneas de parénquima marginal

Irena (1987)

Poros solitarios múltiples y radiales de diámetros pequeños y medianos, numerosos y difusos. Parénquima tipo apotraqueal y paratraqueal, presentación difuso vasicentrico y aliforme confluyente. Las fibras son de diámetro fino, con el espesor de pared gruesa, puntuaciones areoladas alternas, los rayos son medianos uniseriados y poliseriados.

Camacho (1988)

Porosidad semianular con poros en grupos de 2 a 3, moderadamente escasos, $5/\text{mm}^2$ y medianos, con diámetro tangencial de $200\ \mu\text{m}$, placa de perforación simple, puntuaciones intervasculares, tilides y gomas presentes en los vasos.

Barajas y León (1989)

Parénquima axial paratraqueal vasicentrico, abundante, a veces confluyente y marginal, con inclusiones de cristales rectangulares y cuadrados. Los radios son pocos abundantes $3/\text{mm}$, heterogéneos, multiseriados. Fibras de tipo libriforme y medianas, con longitud promedio de $1050\ \mu\text{m}$ y un rango de 670 a $1340\ \mu\text{m}$, pared muy gruesa de $5\ \mu\text{m}$ de espesor y $13\ \mu\text{m}$ de diámetro tangencial.

La porosidad es difusa, los poros solo visibles con lupa, de diámetro medio, poco numerosos, solitarios y en hileras tangenciales de 2, 3 y 4, los elementos de vaso medianos, con puntuaciones intervasculares areoladas alternas, placas con perforación simple y lúmenes con gomas de color café, fibras libriformes y fibrotraqueidas. Los rayos heterogéneos multiseriados y biseriados, algunos uniseriados, pocos numerosos, medianos y anchos.

Guridi (1998)

Los vasos son grandes y los rayos cortos, con parénquima vasicéntrico, aliforme y algunas bandas paratraqueales

Pennington y Sarukhán (1998)

Presenta problemas al secarse porque se agrieta con facilidad aun con programas de secado muy lentos. Madera muy pesada, con dureza alta y contracciones bajas.

Díaz y Huerta (1986)

Propiedades físicas

Con densidad básica de 0.70 g/cm³ y una contracción volumétrica de 8.7 % clasificándose como muy baja y dura.

Camacho (1988)

Densidad básica de 0.89 g/cm³, contracción volumétrica total de 11.06%, contracción tangencial total de 6.77%, contracción radial total de 4.29%, relación de anisotropía de 1.58, coeficiente de contracción volumétrica 0.65, punto de saturación de la fibra 17% y dureza lateral de 1012 kg.

Fuentes (1998)
