

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y DE LA ANATOMIA  
DE LA ESPECIA *Terminaliacatappa L* (Almendro).**

**HANS VÉLEZ LONDOÑO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
INSTITUTO DE PROYECCIÓN REGIONAL Y EDUCACIÓN A DISTANCIA  
IPRED  
PROGRAMA DE INGENIERÍA FORESTAL  
MÁLAGA  
2016**

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y DE LA ANATOMIA  
DE LA ESPECIA *Terminaliacatappa L* (Almendro).**

**HANS VÉLEZ LONDOÑO**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Forestal**

**Director  
HERWIN RAMIRO ROA CAICEDO  
Ingeniero Forestal**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
INSTITUTO DE PROYECCIÓN REGIONAL Y EDUCACIÓN A DISTANCIA  
IPRED  
PROGRAMA DE INGENIERÍA FORESTAL  
MÁLAGA  
2016**

## DEDICATORIA

*Principalmente a DIOS por sus bendiciones y sabiduría en todo este camino de mi formación.*

*A mis padres por sus enseñanzas y consejos que han hecho de mí una persona de bien para la sociedad.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A todas las personas que de una u otra manera participaron e hicieron posible este proyecto, muchas gracias por su colaboración.

A cada una de las personas que laboran en el Laboratorio de Maderas José Anatolio Lastra Rivera, por su orientación y disposición.

Al Ingeniero Herwin Ramiro Roa, por su acompañamiento en este trabajo realizado.

## CONTENIDO

|  | Pág. |
|--|------|
| INTRODUCCIÓN                               | 20   |
| 1. OBJETIVOS                               | 21   |
| 1.1 OBJETIVO GENERAL                       | 21   |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS                  | 21   |
| 2. MARCO REFERENCIAL                       | 22   |
| 2.1 MARCO TEÓRICO                          | 22   |
| 2.1.1 Descripción de la especie            | 22   |
| 2.1.2 Propiedades anatómicas de la madera  | 23   |
| 2.1.3 Madera juvenil:                      | 24   |
| 2.1.4 Características organolépticas       | 40   |
| 2.1.5 Estructura microscópica de la madera | 43   |
| 2.1.6 Madera de reacción                   | 64   |
| 2.1.7 Propiedades físicas de la madera:    | 65   |
| 2.1.8 Peso específico                      | 65   |
| 2.1.9 Dureza                               | 65   |
| 2.1.10 Contracciones                       | 66   |
| 2.1.11 Propiedades elásticas de la madera  | 67   |

|   |    |
|---|----|
| 2.1.12 Módulo de elasticidad:   | 67 |
| 2.1.13 Módulo de rigidez  | 67 |
| 2.1.14 Módulo de Poisson  | 67 |
| 2.1.15 Propiedades mecánicas de la madera   | 68 |
| 2.1.16 Factores de corrección de las propiedades mecánicas al 12% del contenido de humedad: | 69 |
| 2.1.17 Coeficientes de variación admitidos para las propiedades.                            | 71 |
| 2.2 MARCO LEGAL   | 71 |
| 2.3 MARCO CONCEPTUAL  | 73 |
| 3. METODOLOGÍA  | 77 |
| 3.1 SELECCIÓN DE INDIVIDUOS DEL ESTUDIO   | 77 |
| 3.2 TRATAMIENTO DE LAS TROZAS OBTENIDAS   | 77 |
| 3.3 ELABORACIÓN DE PROBETAS   | 78 |
| 3.4 ESTUDIO DE LA ANATOMÍA XILEMÁTICA   | 78 |
| 3.4.1 Macroscópica de la madera   | 78 |
| 3.4.2 Microscopía de la madera  | 79 |
| 3.5 PRUEBAS FÍSICAS DE LA MADERA  | 80 |
| 3.5.1 Contenido de humedad de la madera   | 80 |
| 3.5.2 Densidades  | 80 |
| 3.5.3 Contracciones e hinchazones:  | 80 |
| 3.6 PRUEBAS MECÁNICAS DE LA MADERA  | 81 |
| 3.6.1 Desarrollo de ensayos mecánicos   | 81 |
| 3.6.2 Procesamiento de los resultados   | 83 |

|   |     |
|---|-----|
| 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS                                       | 85  |
| 4.1 PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS                                  | 85  |
| 4.2 PROPIEDADES ANATÓMICAS:                                     | 85  |
| 4.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA                            | 92  |
| 4.3.1 Contenido de humedad                                      | 92  |
| 4.3.2 Densidad de la madera                                     | 93  |
| 4.3.3 Contracciones de la madera                                | 95  |
| 4.3.4 Contracción volumétrica de la madera                      | 95  |
| 4.4 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA                          | 96  |
| 4.4.1 Flexión   | 97  |
| 4.4.2 Compresión paralela                                       | 97  |
| 4.4.3 Compresión perpendicular:                                 | 98  |
| 4.4.4 Dureza en los extremos y laterales                        | 99  |
| 4.4.5 Cizallamiento paralelo                                    | 99  |
| 4.5 CLASIFICACIÓN DE LA MADERA SEGÚN NSR-10                     | 100 |
| 4.5.1 Relación de la anatomía xilemática y resistencia mecánica | 100 |
| 4.5.2 Usos potenciales de la especie                            | 102 |
| 5. CONCLUSIONES   | 103 |
| 6. RECOMENDACIONES  | 105 |
| BIBLIOGRAFIA  | 106 |



## LISTA DE FIGURAS

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| Figura 1. Transición entre albura y duramen.                        | 27          |
| Figura 2. Poros en disposición radial.                              | 29          |
| Figura 3. Poros en disposición radial oblicua.                      | 29          |
| Figura 4. Poros en disposición dendrítica.                          | 30          |
| Figura 5. Poros en bandas tangenciales.                             | 30          |
| Figura 6. Poros sin patrón de disposición.                          | 31          |
| Figura 7. Tílices. <i>Eucalyptus tereticornis</i> .                 | 32          |
| Figura 8. Gomas. <i>Cedrela odorata</i>                             | 32          |
| Figura 9. Parénquima apotraqueal difuso                             | 33          |
| Figura 10. Parénquima apotraqueal difuso en agregados.              | 34          |
| Figura 11. Parénquima paratraqueal escaso.                          | 34          |
| Figura 12. Parénquima paratraqueal vasicéntrico.                    | 35          |
| Figura 13. Parénquima paratraqueal unilateral.                      | 35          |
| Figura 14. Parénquima paratraqueal aliforme                         | 36          |
| Figura 15. Parénquima paratraqueal aliforme confluyente             | 36          |
| Figura 16. Parénquima paratraqueal en bandas finas.                 | 37          |
| Figura 17. Parénquima paratraqueal en bandas anchas.                | 37          |
| Figura 18. Parénquima paratraqueal en bandas confluyente.           | 38          |
| Figura 19. Parénquima paratraqueal marginal.                        | 38          |
| Figura 20. Floema incluido concéntrico <i>Avicennia germinans</i> . | 40          |

|   |    |
|---|----|
| Figura 21. Floema incluido foraminado en <i>Erisma uncinatum</i> .                  | 40 |
| Figura 22. Poros solitarios en <i>Eucalyptus alba</i> .                             | 45 |
| Figura 23. Poros múltiples radiales cortos en <i>Alnus viridis</i> .                | 45 |
| Figura 24. Poros múltiples arracimados en <i>Ulmus americana</i>                    | 46 |
| Figura 25. Poros en bandas tangenciales en <i>Ulmus parviflora</i>                  | 47 |
| Figura 26. Agrupación de los poros dendrítica en <i>Bulnesia sarmientoi</i>         | 47 |
| Figura 27. Tíldes en <i>Pachira quinata</i>   | 48 |
| Figura 28. Gomas en <i>Peltogyne paniculata</i>                                     | 48 |
| Figura 29. Platina de perforación simple en <i>Grewia excelsa</i>                   | 49 |
| Figura 30. Platinas de perforación escaleriforme en <i>Liriodendron tulipifera</i>  | 50 |
| Figura 31. Platina de perforación reticulada en <i>Iryanthera lancifolia</i>        | 51 |
| Figura 32. Platina de perforación foraminada en <i>Staphylea bolanderi</i>          | 51 |
| Figura 33. Punteaduras opuestas en <i>Dillenia biflora</i>                          | 52 |
| Figura 34. Punteaduras alternas   | 53 |
| Figura 35. Punteaduras ornadas en <i>Terminalia superba</i>                         | 53 |
| Figura 36. Traqueidas vasicéntricas en <i>Fraxinus pennsylvanica</i>                | 54 |
| Figura 37. Traqueidas vasculares en <i>Celtis laevigata</i> var. <i>reticulata</i>  | 55 |
| Figura 38. Punteaduras de las fibras simples en <i>Aralia elata</i>                 | 56 |
| Figura 39. Punteaduras areoladas sobre las fibras en <i>Austrobuxus pauciflorus</i> | 56 |
| Figura 40. Fibras con paredes muy delgadas en <i>Homalanthus populneus</i>          | 57 |
| Figura 41. Paredes de las fibras muy gruesas en <i>Homalium guianense</i>           | 58 |
| Figura 42. Fibras septadas.   | 58 |
| Figura 43. Parénquima fusiforme en <i>Amphitecna latifolia</i>                      | 59 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 44. Parénquima en serie en <i>Crescentia alata</i>                             | 59 |
| Figura 45. Radios uniseriados en <i>Cerbera manghas</i>                               | 60 |
| Figura 46. Radios multiseriados de 4-10 células en <i>Bursera simaruba</i>            | 61 |
| Figura 47. Radios en agregados en <i>Gymnostoma papuanum</i> .                        | 62 |
| Figura 48. Radios Tipo I en <i>Alnus oblongifolia</i>                                 | 62 |
| Figura 49. Radios Tipo II en <i>Pemphis acidula</i> .                                 | 63 |
| Figura 50. Radios Tipo III en <i>Astronium graveolens</i>                             | 63 |
| Figura 51. Comportamiento entre el esfuerzo y la deformación unitaria de un material. | 69 |
| Figura 52. Detalle Probeta de cizallamiento.  | 82 |

## LISTA DE TABLAS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| Tabla 1 . Aumento promedio de las propiedades mecánicas por cada 1% de variación en el contenido de humedad. | 70          |
| Tabla 2. Coeficientes de variación máximos admitidos.  | 71          |
| Tabla 3. Detalle de cantidad de probetas por ensayo.   | 78          |
| Tabla 4. Detalle de dimensiones para los ensayos.  | 81          |
| Tabla 5. Factores de ajuste para el cálculo de esfuerzos básicos   | 84          |
| Tabla 6. Características físicas de la especie.  | 86          |
| Tabla 7. Características estructurales y anatómicas de la especie.   | 87          |
| Tabla 8. Parénquima longitudinal, radios, conductos y floema incluido en la especie.                         | 88          |
| Tabla 9. Estructura de los vasos de la especie.  | 89          |
| Tabla 10. Inclusiones en vasos, traqueidas, fibras y parénquima axial.                                       | 90          |
| Tabla 11. Radios en la especie.  | 91          |
| Tabla 12. Biometría de la especie.   | 92          |
| Tabla 13. Contenidos de Humedad de la Especie.   | 92          |
| Tabla 14. Clasificación de la densidad seca al aire.   | 93          |
| Tabla 15. Clasificación de la densidad anhidra.  | 94          |
| Tabla 16. Clasificación densidad básica según la JUNAC.  | 94          |
| Tabla 17. Clasificación contracción volumétrica Total.   | 95          |
| Tabla 18. Clasificación coeficiente de estabilidad dimensional.  | 96          |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 19. Clasificación propiedades mecánicas     | 96  |
| Tabla 20. Clasificación de la madera según NSR-10 | 100 |

## LISTA DE GRAFICAS

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| Grafica 1. Contenidos de humedad de la especie        | 92          |
| Grafica 2. Densidad anhidra y básica.                 | 93          |
| Grafica 3. Contracciones de la especie.               | 95          |
| Grafica 4. Valores ensayo flexión estática.           | 97          |
| Grafica 5. Valores ensayo de compresión paralela      | 98          |
| Grafica 6. Valores ensayo de compresión perpendicular | 99          |
| Grafica 7. Valores ensayo de dureza                   | 99          |

## LISTA DE ANEXOS

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| Anexo A. Corte macroscópico plano transversal.              | 110         |
| Anexo B. Corte microscópico plano transversal.              | 110         |
| Anexo C. Corte microscópico plano tangencial.               | 111         |
| Anexo D. Corte microscópico plano radial                    | 111         |
| Anexo E. Disociación de elementos.                          | 112         |
| Anexo F. Esfuerzos básicos.                                 | 112         |
| Anexo G. Resumen propiedades físicas.                       | 113         |
| Anexo H. Comportamiento prueba de flexión estática          | 114         |
| Anexo I. Comportamiento compresión paralela.                | 114         |
| Anexo J. Comportamiento compresión perpendicular            | 115         |
| Anexo K. Comportamiento dureza lateral                      | 115         |
| Anexo L. Comportamiento dureza en extremos.                 | 116         |
| Anexo M. Comportamiento cizallamiento paralelo.             | 116         |
| Anexo N. Detalle de superficie de falla en flexión          | 117         |
| Anexo O. Detalle superficie de falla en compresión paralela | 117         |
| Anexo P. Detalle superficie de falla cizallamiento paralelo | 118         |
| Anexo Q. Permiso de movilización                            | 119         |

## RESUMEN

**TITULO:** ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS Y DE LA ANATOMIA XILEMATICA DE LA ESPECIE Terminaliacatappa L (Almendo). \*

**AUTOR:** HANS VELEZ LONDOÑO \*\*

**PALABRAS CLAVES:** PROPIEDADES MECANICAS, ESFUERZOS, ANATOMIA XILEMATICA, BIOMETRÍA

### DESCRIPCIÓN:

Este trabajo se desarrolló con el fin de determinar las propiedades físico mecánicas y de la anatomía xilemática de la especie Terminaliacatappa L, en el Laboratorio José Anatolio Lastra Rivera de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

En los ensayos mecánicos se empleó una Máquina Universal MorhrFederhaff con capacidad máxima de 6000Kg, dichos ensayos fueron regulados según la metodología de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas, los resultados obtenidos fueron ajustados al 12% del contenido de humedad y procesados estadísticamente para verificar su validez mediante los valores de coeficiente de variación dictados por American SocietyforTesting and Materials (ASTM). Las propiedades mecánicas de la madera se clasificaron y se determinaron sus posibles usos.

La madera se clasifico en el grupo ES6 según la norma NSR-10 Título G, por otro lado los esfuerzos se clasificaron de la siguiente manera; En flexión, esfuerzo limite proporcional (EPL) como alto, el módulo de elasticidad (MOE) bajo, para compresión paralela su RUM y EPL se ubicaron en categoría muy alta, compresión perpendicular (EPL) arrojó una clasificación alta, cizallamiento paralelo arrojó una resistencia mediana, finalmente la prueba de dureza, para los laterales y extremos clasifico de la siguiente manera, alta para ambas.

Finalmente, la madera puede ser usada para crucetas, embalajes, embarcaciones, entre otros.

---

\* Trabajo de grado

\*\*Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Director: Herwin Ramiro Roa Caicedo, Ingeniero Forestal.

## ABSTRACT

**TITLE:.** STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES PHYSICAL AND ANATOMY XYLEM Terminalia catappa L (Almendo).\*.\*

**AUTHOR:** HANS VELEZ LONDOÑO \*\*

**KEYWORDS:** MECHANICAL PROPERTIES, EFFORTS, ANATOMY XYLEM, BIOMETRICS

### DESCRIPTION:

The object of the present work was determine the mechanical and physical properties xylem anatomy of the Almendo (Terminalia catappa L), the tests were performed in the Laboratory of the Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

For the mechanical tests was used a universal machine MorhrFederhaff with a maximum capacity of 6000Kg, such tests were regulated according to the methodology of the Pan American Standards Commission, the results were adjusted to 12% moisture content and statistically processed to verify your validity by the coefficient of variation values dictated by American Society for Testing and Materials (ASTM). The mechanical properties of the wood were classified and their possible uses were determined.

The wood was classified in the group ES6 according to NSR-10 Title G, standard on the other hand efforts were classified as follows; Flexural, Effort Limit Proportional (EPL) High, the elastic modulus (MOE) under, for parallel compression her RUM and EPL were located in very high category, Compression perpendicular (EPL) threw a high ranking, Shearing Parallel threw a resistance medium finally hardness test to classify the side and end as follows, for both high.

Finally, the wood can be used for crosspieces, packaging, boats, among others.

---

\* BachelorThesis

\*\*Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Director:Herwin Ramiro Roa Caicedo, Ingeniero Forestal.

## INTRODUCCIÓN

*Terminaliacatappa* L. (Almendra) es una especie que se distribuye en diferentes departamentos del territorio nacional Antioquia, Archipiélago de San Andrés y Providencia, Bolívar, Chocó, Cauca, Cundinamarca, Magdalena, Meta, Nariño, Santander y Tolima, según las muestras botánicas registradas en los Herbarios; Herbario Nacional Colombiano y el Herbario de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas . Dicha especie se encuentra en un estado de amenaza No evaluada según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), a pesar de ser usada principalmente como fuente de carbón vegetal, construcción y finalmente ebanistería; no se conoce el uso potencial de la especie ya que su utilización se fundamenta en el conocimiento empírico de la población en la cual se encuentra.

El estudio físico-mecánico y anatómico de esta especie es de gran importancia porque mediante estos procesos se puede conocer su estructura y su comportamiento mecánico con la finalidad de establecer un uso adecuado. Conociendo las investigaciones en esta área fundamental de la ingeniería forestal son escasas, se crea la importancia de realizar más estudios de esta índole.

El objetivo de este trabajo es realizar los ensayos físico-mecánicos de la especie, conocer su anatomía y posteriormente definir las respectivas conclusiones de su uso potencial y de caracteres sobresalientes en su estructura anatómica sin llegar a descartar posibles comparaciones con estudios existentes, consiguiendo fundamentar una relación entre sus componentes anatómicos y su comportamiento físico para finalmente construir una fuente científicamente confiable de información veraz y completa para las personas que pueda interesar.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar un estudio de las propiedades fisico-mecánicas y de la anatomía xilemática de la especie *Terminaliacatappa L.*

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Determinar las características anatómicas de la madera.

Interpretar la influencia de la estructura anatómica en la resistencia ofrecida por la especie.

Obtener los esfuerzos a los cuales puede ser sometida la madera ante diferentes cargas.

Definir el uso más adecuado de la madera teniendo en cuenta los resultados obtenidos.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1 MARCO TEÓRICO

#### 2.1.1 Descripción de la especie

##### Clasificación botánica:

Nombre común: Almendro

Nombre científico: *Terminaliacatappa L.*

Familia: Combretaceae

**Descripción dendrológica:** árbol con crecimiento en altura de 25-40m de altura en su habitat nativo y hasta 20m en zonas donde ha sido introducida, un diámetro a la altura del pecho (DAP) que va desde los 50cm – 150cm<sup>1</sup>. Hojas obovadas alternas con peciolos cortos, agrupados en la punta de las ramas en forma de espiral, miden de 15 – 36cm de largo, 8-24cm de ancho, su color es verde oscuro por el haz y más pálido por el envés, es coriácea y brillante, cuando maduran se vuelven de color amarillo a rojo o de rojo a marrón<sup>2</sup>.

Sus flores son pequeñas de 4-6mm de color blanco a cremoso de olor fetido, su largo es de 8 – 25cm. En el árbol la mayoría de sus flores son masculinas y solo unas pocas son bisexuales que se ubican generalmente en la parte más alta de su copa.

El fruto es duro de color verde cuando esta inmadura y rojiza conforme su maduración se produce, es redondeada aplanada con dos crestas cada una en

---

<sup>1</sup>THOMSON, Lex AJ; EVANS, Barry. *Terminalia catappa* (tropical almond). En: ELEVITCH, CRAIG., ed. *Species Profiles for Pacific Island Agroforestry*. Hawaii: PermanentAgricultureResources., 2006. p 1-20.

<sup>2</sup> ORWA C.; [...y otros]. *Terminaliacatappa* [En línea]. Nairobi (Kenya): World Agroforestry Centre, 2009. p.1-5. [Citado septiembre 2016]. Disponible en: [http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Terminalia\\_catappa.pdf](http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Terminalia_catappa.pdf)

sus lados, tiene unas dimensiones de 2.5cm x 3 – 6cm de largo. Sus semillas son cilíndricas con un gran contenido de aceite se encuentran cubiertas de una cascara dura y de consistencias fibrosa<sup>3</sup>.

Distribución y ecología: su origen se encuentra en Malasia a pesar que se encuentra en muchas zonas del mundo, en Colombia se encuentra en territorios como, Antioquia, Bolívar, Chocó, Cauca, Meta, Santander, Sucre y en el Archipiélago de San Andrés y Providencia, según registros del Herbario de la Universidad Nacional de Colombia. Requiere condiciones de temperatura de 15° - 35°, alturas 0-800 msnm, precipitaciones que oscilan entre 2000 a 7000mm anuales, las necesidades edafológicas deben ser suelos profundos, arenosos o arenoso – franco, se adapta a suelos con influencia de piedra caliza, su pH tiene que ser neutro a moderadamente alcalino<sup>4</sup>.

**Estado de conservación:** se encuentra en un estado de conservación de no evaluado (NE) según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza<sup>5</sup>.

**2.1.2 Propiedades anatómicas de la madera:** la madera es la parte dura del árbol que se encuentra debajo de la corteza del tallo. Es un material heterogéneo y anisótropo, que aún en individuos de la misma especie puede llegar a ser diferente. El estudio de su composición anatómica ha sido de gran importancia e interés en la tecnología y en la industria.

Las características más sobresalientes de la madera son<sup>6</sup>:

---

<sup>3</sup>Ibíd. p. 21

<sup>4</sup>AGUILERA R., Manuel. Terminaliacatappa. [En línea]. México: SIRE Paquetes Tecnológicos, 2001, [consulta 7-09-2016]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/vekerly/1013-terminalia-catappa>

<sup>5</sup>IUCN SPECIES SURVIVAL COMMISSION. Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1. Cambridge: Gland and Cambridge, 2012. 34p. ISBN 978-2- 8317-1539- 1

<sup>6</sup> UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA. Anatomía de madera. [En línea]. Montevideo (Uruguay): Universidad De La Republica, 2010.p.1.[Consultado en septiembre de 2016]. Disponible en: [http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp/materiales/2010/01\\_Quimica\\_y\\_Estructura\\_de\\_la\\_madera/qyedlm1.pdf](http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp/materiales/2010/01_Quimica_y_Estructura_de_la_madera/qyedlm1.pdf)

- Es material que contiene poros.
- Está compuesto por diferentes tipos de células y debido a esto es un material heterogéneo.
- Su principal disposición de los componentes del árbol están dispuestos en el eje longitudinal del árbol.
- Tiene lignina y hemicelulosa entre las cadenas de celulosa.

La madera es un material heterogéneo por su estructura<sup>7</sup>, por lo que demanda investigaciones en el ámbito de la tecnología de madera y del mejoramiento genético para aumentar las probabilidades de tener un leño lo más homogéneo anatómicamente, también se compenetra mucho con la silvicultura ya que las actividades silviculturales en un determinado árbol definen la calidad de la madera.

Existe un nivel de importancia de las variaciones de los caracteres estructurales que se encuentran ligados a la especie, ambiente, individuos dentro de la misma especie e inclusive a la posición de la muestra dentro de cada individuo<sup>8</sup>. En este orden de ideas, la estructura de la madera es el resultado de la incidencia de factores ambientales y genéticos.

**2.1.3 Madera juvenil:** se conoce como la madera que se origina en los primeros anillos de crecimiento, al principio del periodo vegetativo, posee ciertas características que difieren con relación a la madera tardía es el carácter pared celular-lumen que hacen que las propiedades varíen, principalmente su resistencia mecánica, además que para el caso de la anatomía xilemática sea de importancia en la demarcación de anillos de crecimiento y su reconocimiento está en la

---

<sup>7</sup>SALINAS, Carlos; ANANIAS, Rubén A.; ALVEAR, Mara. Simulación del secado convencional de la madera. *Revista Maderas Ciencia y tecnología*. 2004, nro 6, p. 3-18. ISSN 0718-221X.

<sup>8</sup>ZOBEL, BRUCE; BUIJTENEN, J.; JOHANNES P., VAN. Wood Variation. En: Causes and Control. *Springer-VerlagBerlinHeidelberg*. Berlín, Springer, 1989. 249-290 p. ISBN 978-3- 642-74071- 8

conjunción de una sección concéntrica más oscura y con mayor densidad (madera tardía) y otra con sección menos densa y un más clara (madera temprana)<sup>9</sup>.

### **Estructura macroscópica de la madera:** Características estructurales

**Anillos de crecimiento:** son círculos concéntricos que se forman conforme al crecimiento del árbol, resaltando que pueden variar su conformación entre especies de un mismo género e inclusive entre individuos de una misma especie, estos anillos pueden representar las condiciones en que se desarrolló el individuo, como también los eventos adversos, se manifiesta con los denominados anillos falsos.

Para las zonas templadas son más notables los anillos de crecimiento, se comportan de manera estacional o anuales, en contraste en la zonas tropicales en algunas ocasiones no se diferencian los anillos debido a que el árbol tiene un crecimiento durante todo el año, además de la carencia de estaciones.

Los anillos de crecimiento se pueden ver de otra forma dependiendo los cortes que realicemos sobre determinada troza de madera, desde el corte transversal se ve los círculos concéntricos es el más conocido, para un corte tangente a los anillos se verán figuras en forma de V uno dentro de otro, en el corte radial se observan líneas más o menos paralelas entre sí<sup>10</sup>.

Características estructurales de los anillos de crecimiento:

- Porosidad circular: La madera con este tipo de estructura posee en la madera temprana poros de diámetros más amplios que en la madera tardía, ayudando a la diferenciación de los anillos de crecimiento.

---

<sup>9</sup> RIAÑO, Diego y CORREA, Ludwin. Determinación de las características anatómicas y propiedades físico-mecánicas en la madera de las especies *Pseudolmedia laevigata* (LECHE DE PERRA) y *Uribeatamarindoides* (TAMARINDO DE MONTE). Trabajo de grado Ingeniería Forestal. Málaga: Universidad Industrial de Santander, 2014, p. 28.

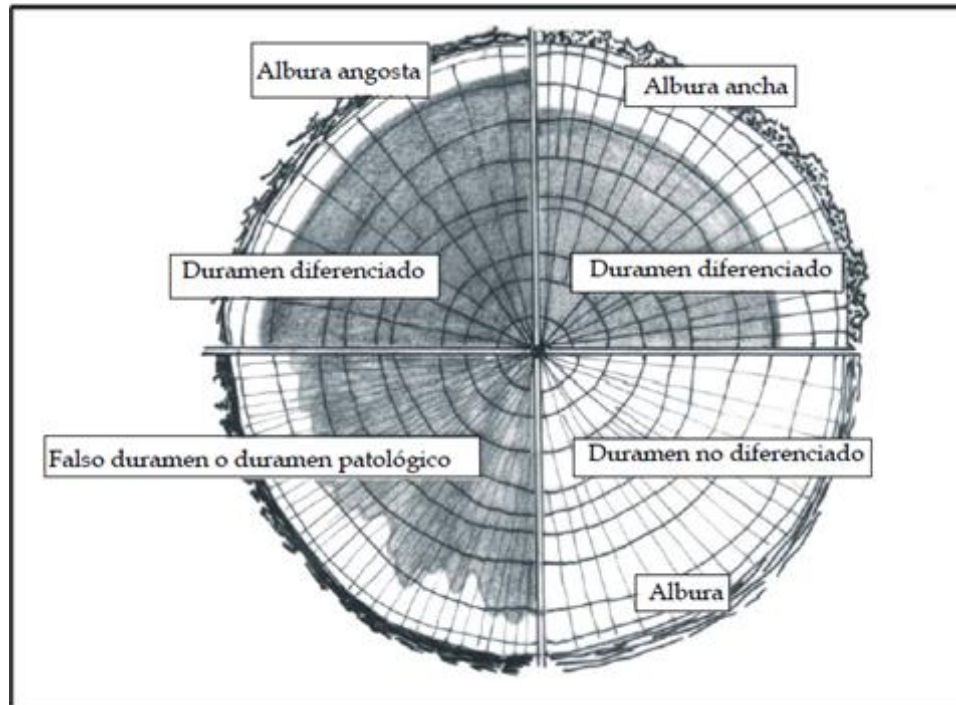
<sup>10</sup> PULIDO, Nancy. Características macroscópicas de las maderas latifoliadas (Diapositivas). Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2014. p.43.

- Porosidad semicircular: Es el término medio entre la porosidad circular y difusa existe un contraste entre los poros más grandes y los de menor tamaño pero no tan notable como la porosidad circular.
- Porosidad difusa: Hay poros de un solo tamaño sin ninguna distribución uniforme que permita la diferenciación entre la madera tardía y temprana.
- Presencia de parénquima marginal: Es una banda de parénquima lineal compacto y uniforme que marca el anillo de crecimiento.
- Engrosamiento de las paredes de las fibras: Es un carácter que demarca el anillo de crecimiento, es por el cambio en el grosor de las paredes de las fibras, encontrándose una sección de fibras con paredes más gruesas que las que se encuentran más común en las estructura del xilema observado.
- Zona ausente de poros: Es una característica de interés que marca los anillos de crecimiento, se identifica como una zona delgada de madera tardía en la cual no se presentan poro alguno.
- Zona compacta de parénquima: Se presenta de manera en que el parénquima se ve agrupado en mayor cantidad y en poco espacio, pareciendo que hubiese sido sometido a una fuerza de compactación a diferencia de otras zonas del trozo de madera.

**Albura y duramen:** la albura es la parte externa del xilema, se encuentra bajo la corteza y contiene sustancias de reserva, en otras palabras es la parte viva del tronco a diferencia del duramen que es un tejido que biológicamente ha perdido la capacidad de conducción de savia y sus células han llegado a su senescencia celular, llegando a tener intrusión de taninos y otras sustancias, además de sus procesos de oxidación se ha tornado de color oscuro; se caracteriza por tener mayor resistencia mecánica y ser resistente a agentes patógenos.

La proporción de albura y duramen están limitados por ciertas características intrínsecas de la especie como la genética y la edad; y extrínsecas tales como el vigor del árbol, crecimiento anual, y diámetro del árbol<sup>11</sup>.

**Figura 1. Transición entre albura y duramen.**



Fuente: Baraňao et al. (2008).

**Medula:** es la parte central del tronco que primero se desarrolla, lleva a cabo la función principal de sostén en los estadios tempranos de la planta; es un material esponjoso y de baja densidad desde este elemento se despliegan los radios hacia el exterior del tronco.

**Corte de planos anatómicos:** por ser un material heterogéneo, que se encuentra constituido por células dispuestas en todas las direcciones posibles, el aspecto de

---

<sup>11</sup> ibíd.p.24.

la madera varía de acuerdo con la sección observada. En estudios anatómicos es importante manejar las secciones de corte<sup>12</sup>:

- Corte transversal (Tr): es el corte perpendicular al eje del árbol.
- Corte tangencial (Tx): tangencial a los anillos de crecimiento o perpendicular a los radios.
- Corte radial (R): paralelo a los radios o perpendicular a los anillos de crecimiento.

### **Características anatómicas:**

**Poros/vasos – contenidos:** los poros es una estructura que tiene distintas características, las cuales se deben observar correctamente para poder hacer una debida identificación de distintas especies. Entre las características que le podemos observar a los poros están: tamaño, disposición, agrupación y contenidos en los poros.

### **Tamaño:**

- Grandes: son visibles a simple vista llegando a medir 1mm de diámetro.
- Medianos: a pesar de tener menor tamaño <1mm de diámetro se pueden seguir observando.
- Pequeños: a la vista ya no son perceptibles y se debe emplear el uso de una lupa de 8x o mayor, para obtener mayor detalle.

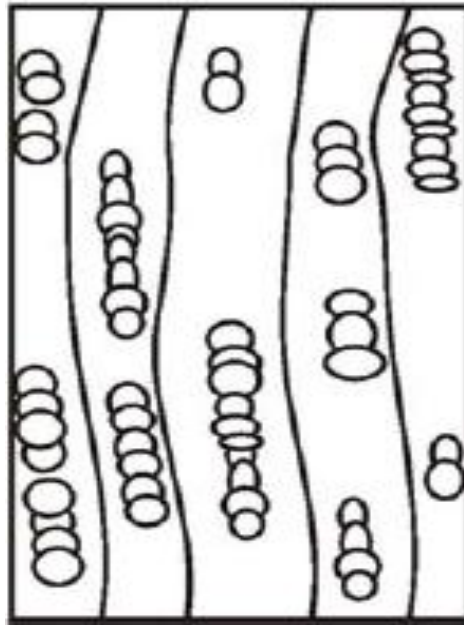
### **Disposición:**

- Radial: su ordenación es paralela a los radios, no tocan esas estructuras.

---

<sup>12</sup>Ibid.p. 22

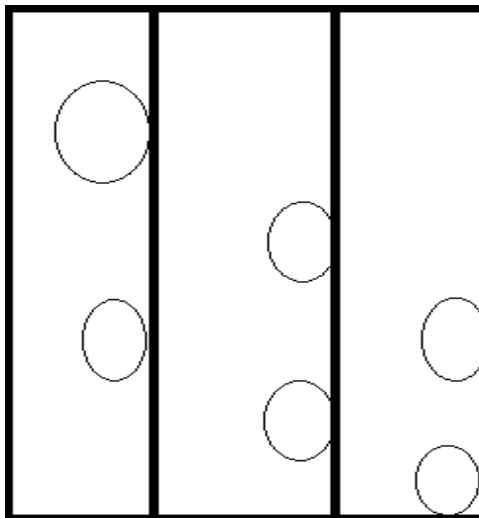
**Figura 2. Poros en disposición radial.**



Fuente: FING, 2010.

- Radial oblicua: esta posicionados de manera en que forman "V" o simplemente se encuentran dispuestos diagonalmente.

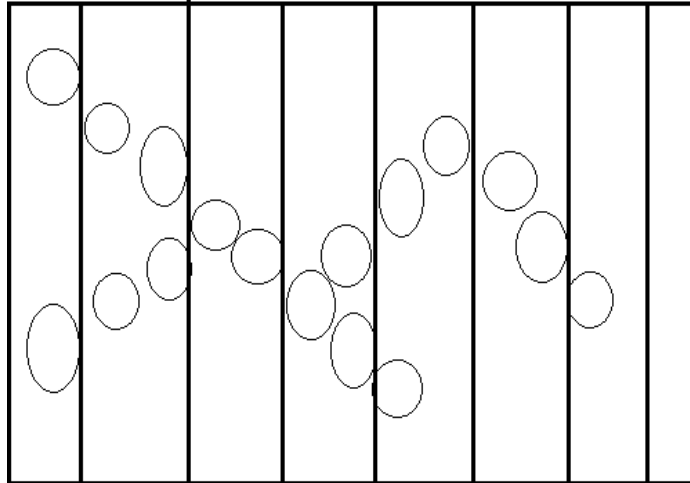
**Figura 3. Poros en disposición radial oblicua.**



Fuente: Modificado de Iawa (1989).

- Dendrítico: Forman ramificaciones dando un tipo de forma de árbol en que el tamaño del poro reduce gradualmente.

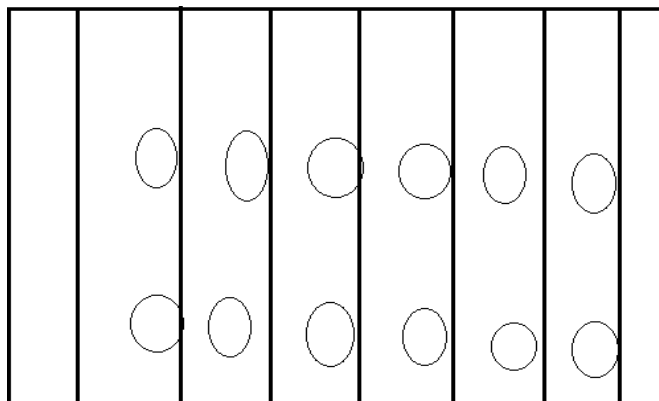
**Figura 4. Poros en disposición dendrítica.**



Fuente: Modificado de Iawa (1989).

- Bandas tangenciales: se distribuyen los poros perpendicularmente a los radios en forma de bandas o forma dendrítica, llegándose a confundir con característica que demarca el anillo de crecimiento.

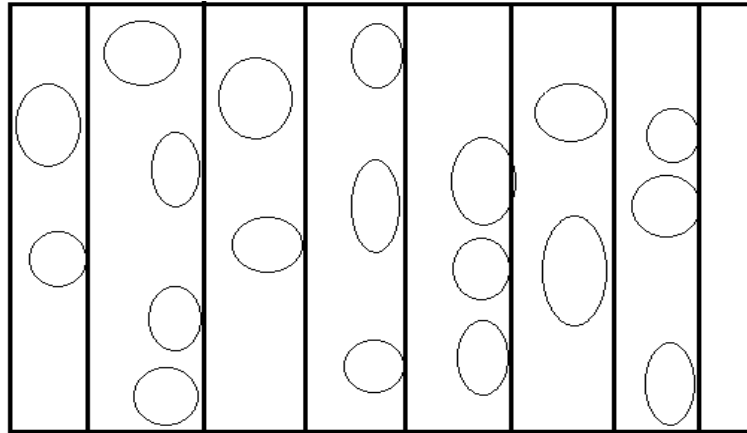
**Figura 5. Poros en bandas tangenciales.**



Fuente: Modificado de Iawa (1989).

- Sin ningún patrón de disposición: ninguna de las categorías anteriormente mencionadas se asemeja y por ello se clasifica de tal manera.

**Figura 6. Poros sin patrón de disposición.**



**Fuente:** Modificado de Iawa (1989).

**Contenidos en poros:** son secreciones que se presentan en los poros debido a caracteres fisiológicos o externos que afectan al xilema de árbol y que en respuesta de ello emite estas sustancias en estructuras como vasos, radios y células de parénquima.

- **Tílides:** se generan por células parenquimatosas adyacentes a elementos vasculares que por ende bloquean totalmente el vaso impidiendo el paso de savia, es un carácter de interés para la caracterización de especies maderables.

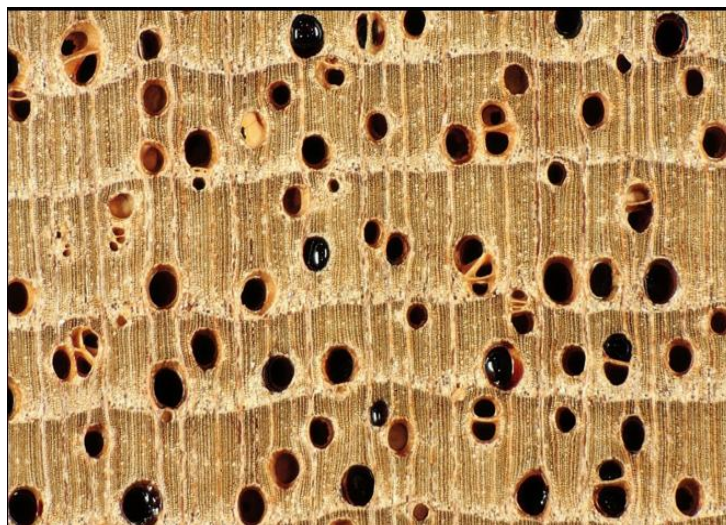
**Figura 7. Tíldes. *Eucalyptustereticornis*.**



Fuente: Cerre (2000).

- Gomas: es un material orgánico, generalmente de color rojo, pero en otras ocasiones se presenta de color amarillo, marrón.

**Figura 8. Gomas. *Cedrelaodorata***



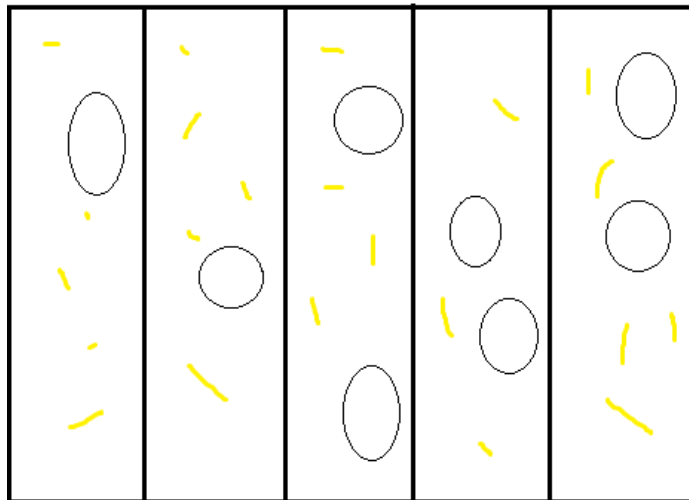
Fuente: Cerre (2000).

**Parénquima axial:** el parénquima axial cumple la función de almacenaje en el leño, estas células tienen como características tener paredes delgadas no lignificadas, poseer punteaduras y tener forma rectangular. Dentro de esta estructura podemos clasificar de distintas maneras el parénquima, y es básicamente a su contacto con los vasos denominado parénquima apotraqueal, aquellos que tienen contacto con el vaso; paratraqueal y por último el parénquima en bandas.

***-Parénquima apotraqueal.***

- Apotraqueal difuso: Estas células se encuentran dispersas en las fibras en forma de pequeños puntos y muy poco perceptible a la vista.

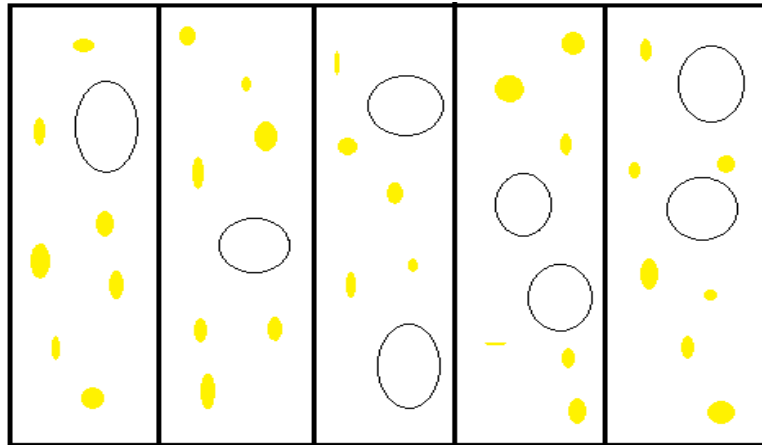
**Figura 9. Parénquima apotraqueal difuso**



**Fuente:** Modificado de Iawa (1989).

- Apotraqueal difuso en agregados: son células de parénquima asociadas formando líneas dispuestas de manera diagonal u horizontal.

**Figura 10. Parénquima apotraqueal difuso en agregados.**

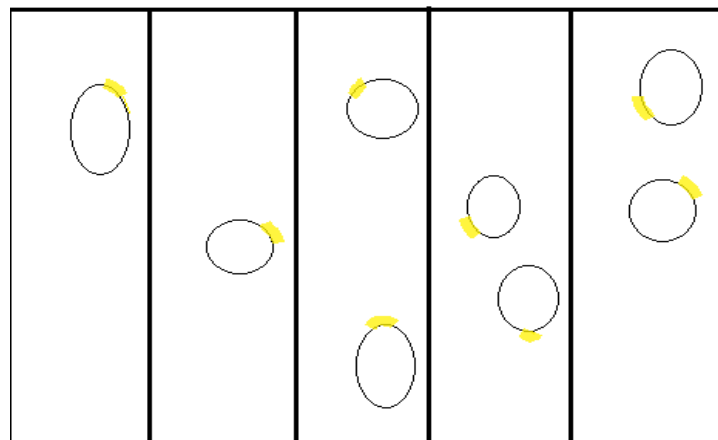


Fuente:Modificado de Iawa (1989).

***Parénquima paratraqueal.***

- Paratraqueal escaso: Pequeña porción de células de parénquima a los lados de los vasos.

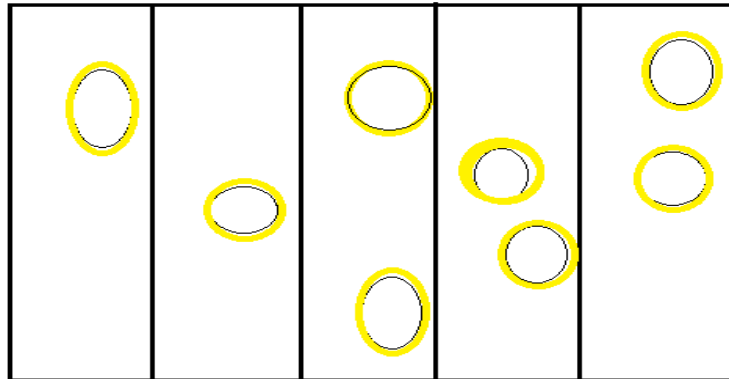
**Figura 11. Parénquima paratraqueal escaso.**



Fuente:Modificado de Iawa (1989).

- Paratraquealvasicéntrico: las células se encuentran en todo el entorno del vaso, el vaso se ve rodeado por lo general de una sombra blanquecina a amarilla; dependiendo la especie.

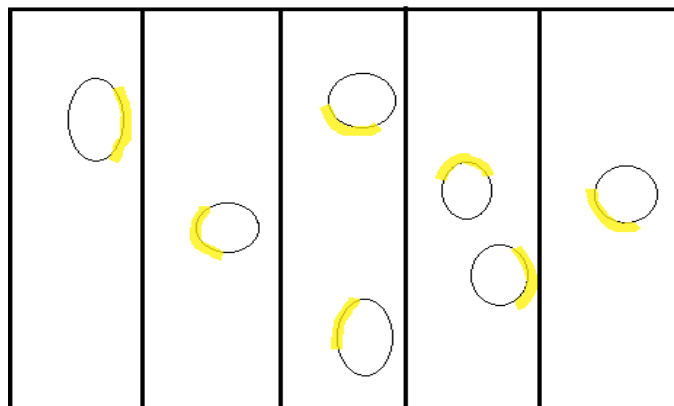
**Figura 12. Parénquima paratraquealvasicéntrico.**



**Fuente:**Modificado de Iawa (1989).

- Paratraqueal unilateral: el parénquima se encuentra a un lado del vaso o en un contorno incompleto del vaso.

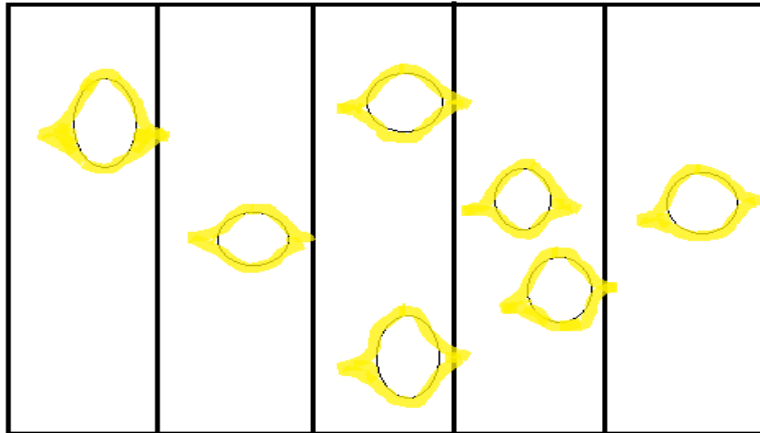
**Figura 13. Parénquima paratraqueal unilateral.**



**Fuente:** Modificado de Iawa (1989).

- Paratraqueal aliforme: rodea el vaso y se extiende lateralmente hacia una dirección o bilateralmente en forma de ala.

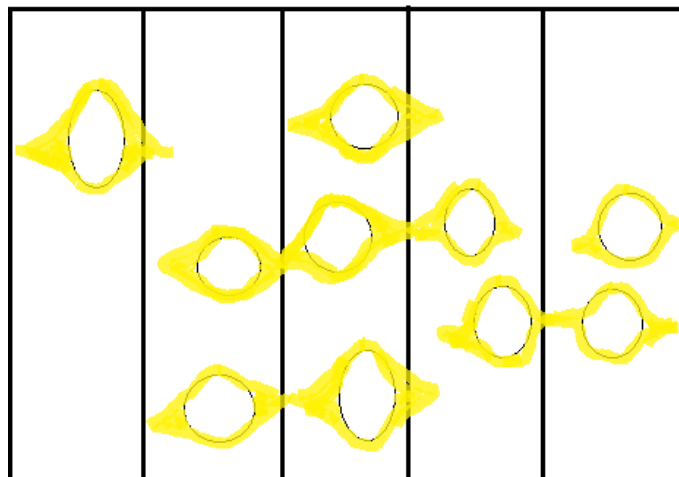
**Figura 14. Parénquima paratraqueal aliforme**



Fuente: Modificado de Iawa (1989).

- Paratraqueal aliforme confluyente: de la misma manera que el parénquima aliforme rodea al vaso pero con la breve diferencia que para este rodea varios vasos a la vez.

**Figura 15. Parénquima paratraqueal aliforme confluyente**

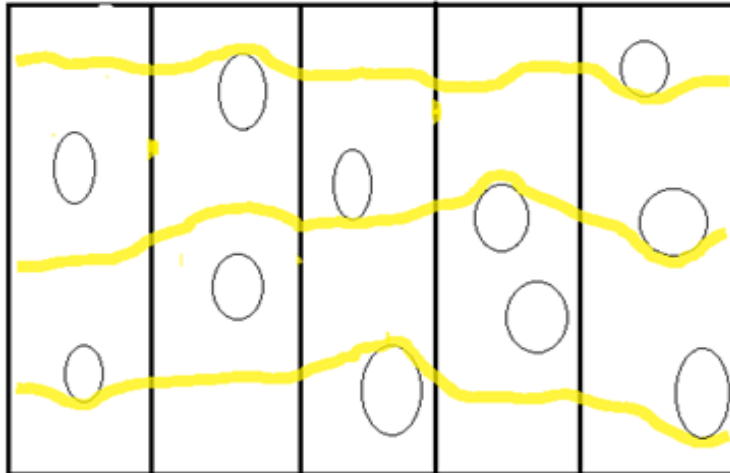


Fuente: Modificado de Iawa (1989).

### ***Parénquima en bandas***

- Parénquima en bandas finas: el parénquima se muestra en bandas distribuidas en líneas continuas tangencialmente que suavemente pasan por el vaso.

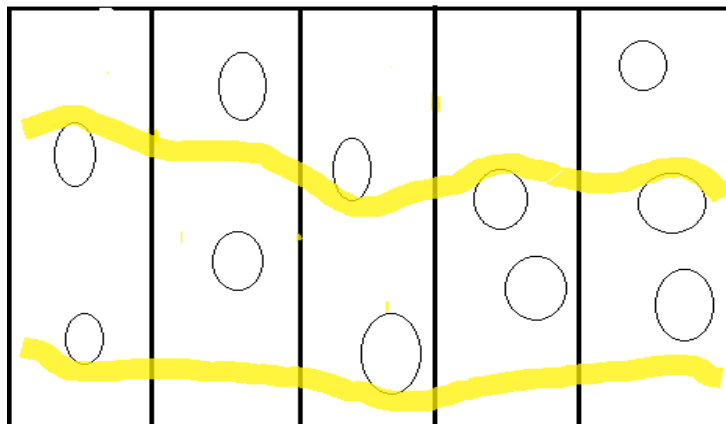
**Figura 16. Parénquima paratraqueal en bandas finas.**



Fuente: Modificado de Iawa (1989).

- Parénquima en bandas anchas: bandas de parénquima más pronunciadas que las finas y su comportamiento es similar.

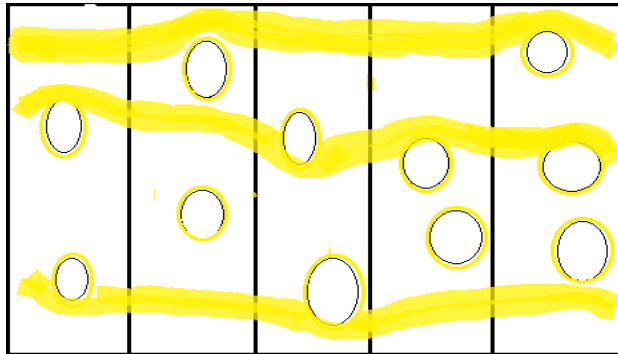
**Figura 17. Parénquima paratraqueal en bandas anchas.**



Fuente: Modificado de Iawa (1989).

- Parénquima en bandas confluyente: Su disposición son en bandas notables que rodean gran parte los vasos de manera continua uno a otro.

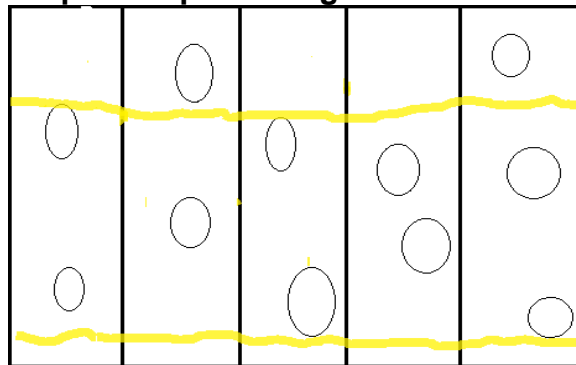
**Figura 18. Parénquima paratraqueal en bandas confluyente.**



Fuente: Modificado de Iawa (1989).

- Parénquima marginal: es una banda de parénquima bien definida que se dispone de manera concéntrica en el leño.

**Figura 19. Parénquima paratraqueal marginal.**



Fuente: Modificado de Iawa (1989).

**Parénquima transversal – radios:** son las células parenquimatosas en forma de líneas o bandas pequeñas que cumplen la función de almacenamiento y transporte que se distribuyen desde la medula hasta la corteza cortando de

manera casi perpendicular los anillos de crecimiento o en sentido radial. Les podemos identificar de distintas formas dependiendo el corte realizado sobre el trozo de madera, siendo esta característica de aporte para la caracterización del individuo.

- Corte transversal: son líneas que pueden ir desde las más finas hasta las anchas, están paralelamente separadas entre sí.
- Corte tangencial: se presencian como líneas a trazos, en algunos individuos, estratificadas, distribuidas en el eje vertical del árbol, estas líneas se llegan a ver con un tipo de abertura debido al corte realizado para su visualización.
- Corte radial: se ubican como bandas anchas de superficie lisa que reflejan la luz.

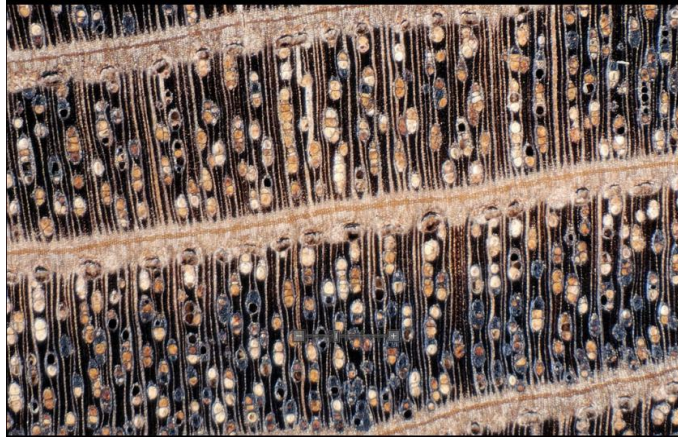
#### **Conductos:**

- Conductos transversales: se visualizan como pequeños agujeros coloreados de tonalidad roja-marrón cerca de la madera tardía
- Conductos longitudinales: en este caso se presentan como líneas brevemente distinguibles por su tonalidad con respecto a las fibras y otras estructuras longitudinales.

**Floema incluido:** es una estructura distintiva, floema dentro del xilema, en donde se distinguen dos tipos.

- Concéntrico: floema dispuesto en bandas tangenciales concéntricamente en el leño.

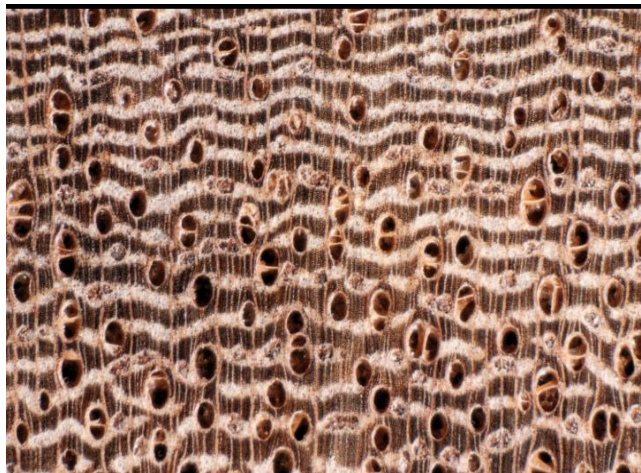
**Figura 20. Floema incluido concéntrico Avicenniagerminans.**



Fuente: Cerre (2000).

- Foraminado: floema dispuesto aisladamente pudiendo estar acompañado de parénquima o por elementos no perforados.

**Figura 21. Floema incluido foraminado en Erismauncinatum.**



Fuente: Cerre (2000).

**2.1.4 Características organolépticas:** comprende olor, color, grano, lustre, textura

**Olor:** es la fragancia o sensación que se puede percibir por medio de las fosas nasales en el caso de la madera se puede distinguir ciertos tipos de olor.

- Fragante: olor distintivo y agradable al sentirlo, similar al perfume
- Desagradable: olor poco gustoso, en algunas especies es más fuerte.
- No distintivo: cuando al olerlo no se puede asociar con ningún otro existente.

**Sabor:** sensación identificable por medio del gusto, encontramos los siguientes sabores en el área que nos compete.

- Dulce: muy fácil de identificar por medio del gusto, dado por ciertos azúcares que han sido transportador por el leño durante su desarrollo.
- Amargo: sabor totalmente desagradable por ciertas sales inorgánicas.
- Astringente: sabor poco agradable y está influenciado por la presencia de taninos en su estructura.
- Picante: al someterse al gusto, se percibe una sensación de hormigueo de la lengua con la que ha sido probada la sustancia.
- No distintivo: no se logra reconocer que sabor tiene.

**Grano:** el grano es la disposición en que se encuentra las fibras de la madera, pudiéndose comprobar con un elemento de punta fina y delgado deslizándolo a mano alzada.

- Grano recto: no hay desviación de la marca que deja el elemento por la superficie de la madera.
- Grano inclinado: se nota que a la vez que el elemento va deslizándose hacia abajo la línea que queda tiene una cierta inclinación a un lado.
- Grano entrecruzado: se da por su entrelazado de las fibras formando ciertas áreas irregulares.
- Grano ondulado: la dirección de los elementos xilemáticos es ondeada.
- Grano espiralado: los elementos toman una distribución helicoidal alrededor del eje principal del árbol.
- Grano irregular: no tiene un patrón definido en la dirección de las fibras de la madera.

**Lustre:** es el brillo natural que tiene la madera, identificable a la vista.

- Alto: se observa que el trozo de madera refleja la luz fácilmente.
- Medio: logra reflejar la luz que llega al trozo de madera.
- Bajo: no refleja considerablemente la luz.

### **Textura**

- Fina: el tamaño de sus estructuras es diminuto, posee poros pequeños y abundante fibra, por lo general son maderas densas.
- Mediana: esta entre la fina y gruesa tiene un comportamiento más que aceptable en su manejo y diversas aplicaciones.
- Gruesa: sus elementos son grandes, los poros pueden ser observables a simple vista, abundancia de parénquima y escasas de fibra, maderas livianas debido a la poca densidad que tiene.

**Diseño:** corresponde a las figuras formadas en el eje longitudinal de la madera dado por la disposición de los elementos del xilema.

- Parabólico: se presenta en forma similar a los arcos superpuestos.
- Espigado: se presenta cuando los elementos se distribuyen de manera alternada con cierta regularidad<sup>13</sup>.
- Rayado: es diferenciable en la cara radial; en aquellas maderas que se demarca el cambio de madera tardía y madera temprana.
- Veteado: están definidos por los elementos que demarcan los anillos de crecimiento este tipo de diseño se visualiza en el corte tangencial.
- Ondeado: forma ondas a lo largo de la cara tangencial solo es apreciable en trozar de gran tamaño.

---

<sup>13</sup>GATICA SANCHEZ, Nilton Luis. Características generales, organolépticas, macroscópicas y estructura microscópica de la madera de coníferas y latifoliadas [En línea] Iquitos (Perú): Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, 2010 . p.7. [Consultado en septiembre 2015]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/estructura-macro-y-microscopica-madera/estructura-macro-y-microscopica-madera.pdf>

- **Jaspeado:** visible en el corte radial y está dado por el ancho y largo de los radios logrando ser muy común en maderas frondosas.
- **Irregular:** son aquellos que son producidos en su mayoría por acciones externas; ataques de insectos, fuertes vientos entre otras anomalías.

### **Dureza**

- **Blanda.** Cuando logra ser rayada profundamente por el uso de una moneda.
- **Medianamente dura.** Al rayarla con una moneda deja una marca superficial.
- **Dura.** La moneda con la que se intenta rayar la madera no deja ninguna marca.

### **Peso**

- **Liviana:** se verifica mediante el tacto, tiene poco peso aun en probetas grandes.
- **Moderadamente pesada.**
- **Pesada:** en pequeñas probetas llega a sentirse un peso considerable, está influido por la densidad de poros por mm<sup>2</sup>.

**2.1.5 Estructura microscópica de la madera:** hace relación a los elementos de las maderas latifoliadas de acuerdo al Sentido longitudinal y los elementos prosenquimáticos

### **Elementos vasculares (vasos)**

*-Porosidad:* igual que en la estructura macroscópica encontramos la porosidad circular, semicircular y difusa que a nivel microscópico conserva sus criterios a diferencia de su visualización bajo el microscopio.

*-Forma:* le podemos caracterizar de la siguiente manera redonda, ovalada, angular.

- **Forma redonda:** la forma es circular, teniendo un radio de igual medida en toda su sección transversal.

- Forma ovalada: la sección vertical tiende a ser más alargada que la horizontal concediendo la forma elíptica u ovalada.
- Forma angular: Presenta vértices en alguno de los extremos del poro.

*-Longitud del vaso*

- Longitud menor a 350micras
- Longitud de 350-800micras
- Longitud mayor a 800 micras

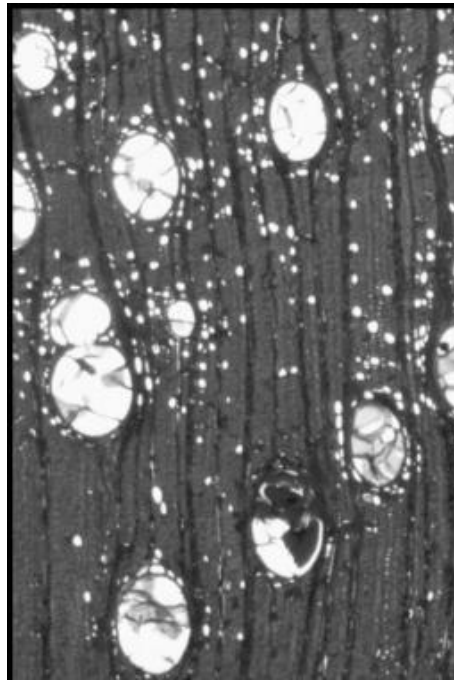
*-Diámetro*

- Tamaño menor a 50micras
- Tamaño 50-100micras
- Tamaño 100-200micras
- Tamaño mayor a 200micras

*-Agrupación de poros*

- Poros solitarios: caracterizado de esta manera al tener un porcentaje mayor del 90% de poros sin ningún tipo de asociación.

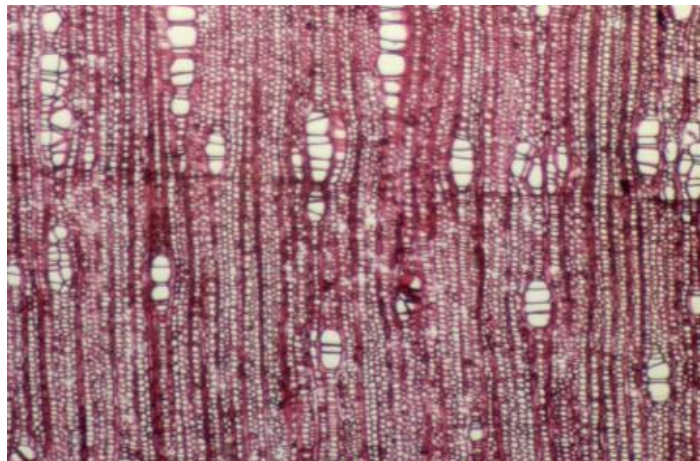
**Figura 22. Poros solitarios en *Eucalyptus alba*.**



**Fuente:** ILIC, Jugo

- Poros múltiples radiales cortos: Los poros se encuentran agrupados de tal manera, que forman hileras de hasta cuatro de ellos.

**Figura 23. Poros múltiples radiales cortos en *Alnusviridis*.**



**Fuente:** Bakker (2000)

- Poros múltiples radiales largos: Los poros están agrupados por más de 4 poros en el xilema regularmente en dirección a los radios.
- Poros múltiples arracimados: Tienen contacto 3 o más poros tanto en dirección radial y tangencial.

**Figura 24. Poros múltiples arracimados en *Ulmus americana***



**Fuente:**Wheeler (2003)

*-Disposición*

- Bandas tangenciales: se distribuyen perpendicularmente a los radios de manera corta a larga, dichas bandas pueden ser de forma recta u ondulada.

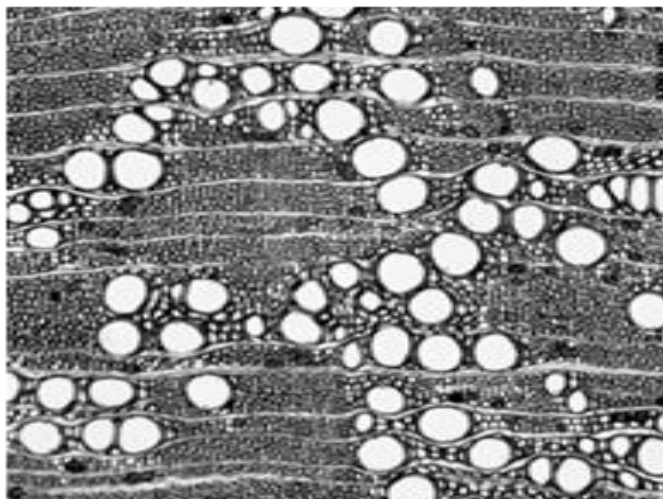
**Figura 25. Poros en bandas tangenciales en *Ulmusparviflora***



**Fuente:** Itoh (1995)

- Patrón radial: los poros se encuentran dispuestos paralelamente a los radios.
- Patrón diagonal: tienen una configuración entre tangencial y radial, van ordenados de manera inclinada.
- Patrón detritico: son vasos dispuestos de manera en que da el aspecto de ramificaciones o de “v” ocasionando que se originen áreas considerables sin la presencia alguna de vasos.

**Figura 26. Agrupación de los poros dendrítica en *Bulnesiasarmientoi***



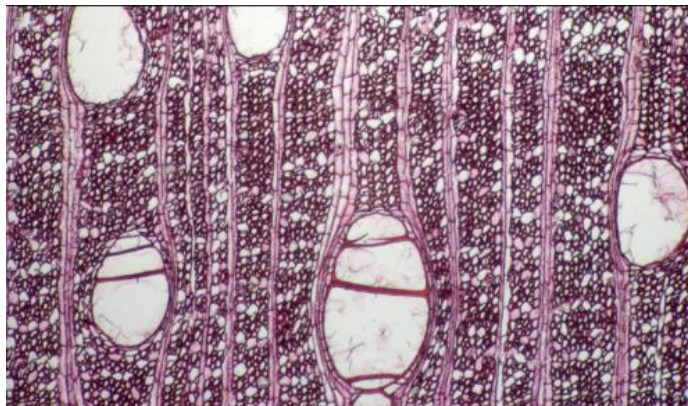
**Fuente:**Gasson (2011)

- Sin patrón: se da cuando no se reconoce ninguna de las disposiciones anteriormente descritas.

-Contenidos en los poros

- Tíldes: se visualizan como intrusiones en los poros de color blanco con cierta tonalidad cristalina.

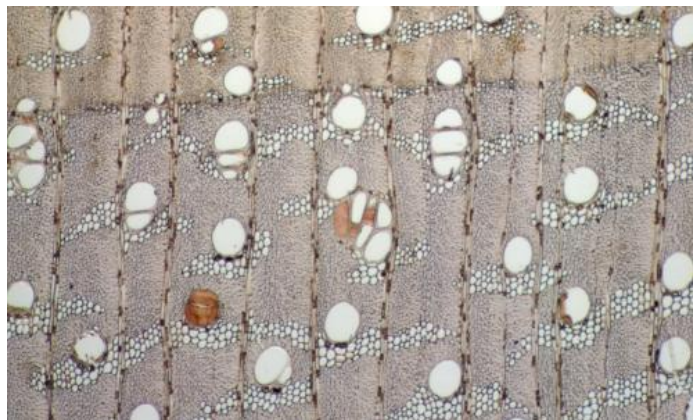
**Figura 27. Tíldes en Pachiraquinata**



Fuente: Bakker (2000)

- Gomas: hacen presencia en los poros y son de tonalidades rojas a amarillas.

**Figura 28. Gomas en Peltogynepaniculata**



Fuente: Bakker (2000).

*-Platinas de perforación en los vasos*

- Platinas de perforación simple: se reconocen en forma de aberturas en los vasos con una forma redonda u ovalada.

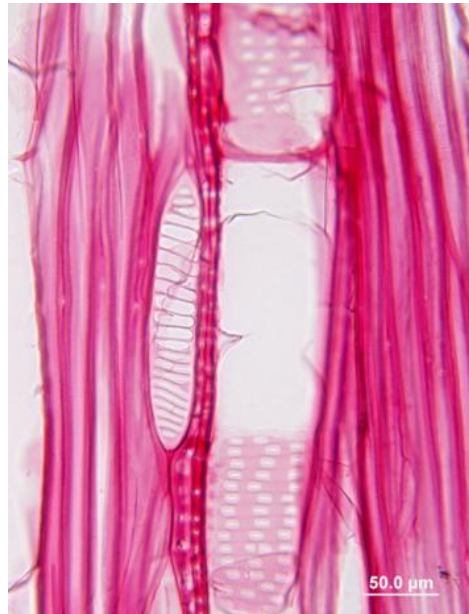
**Figura 29. Platina de perforación simple en *Grewia excelsa***



**Fuente:**Wheeler (2011)

- Platinas de perforación escaleriforme de menos de 10 barras: Son platinas de perforación que poseen forma de barras que se agrupan una debajo de otra en cantidades no mayor a 10 de estas.

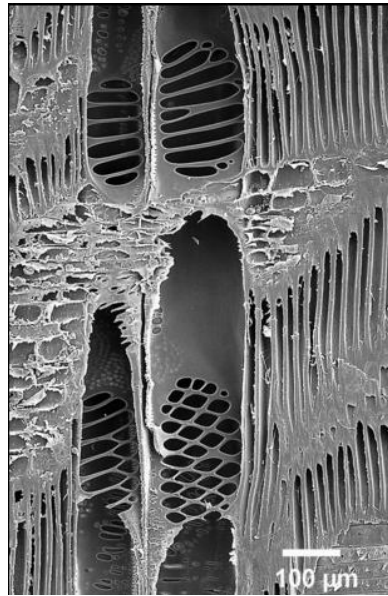
**Figura 30. Platinas de perforación escaleriforme en Liriodendrontulipifera**



**Fuente:**Wheeler (2005).

- Platinas de perforación escaleriforme de más de 10 barras: conserva las mismas características que el ítem anterior pero a diferencia que hay más de 20 barras apiñadas.
- Platina de perforación reticulada: tiene una representación distintiva, se reúnen varias platinas de perforación con posiciones no caracterizadas en un área similar a un círculo.

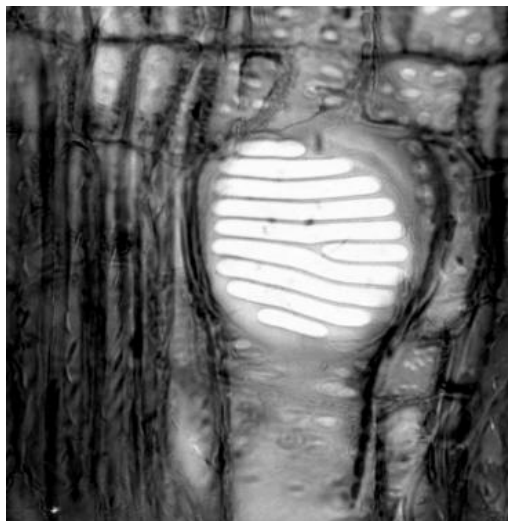
**Figura 31. Platina de perforación reticulada en *Iryantheralancifolia***



Fuente: Miller (2001).

- Platinas de perforación foraminada: estas platinas se ubican de manera que unas son completas hasta cierto punto medio en que aparecen dos platinas y finalmente terminar en una sola platina.

**Figura 32. Platina de perforación foraminada en *Staphyleabolanderi***

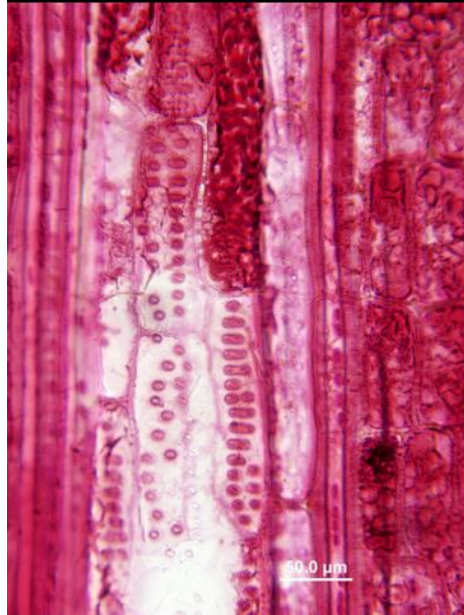


Fuente: Carlquist (2006)

*-Punteaduras en los vasos*

- Punteaduras opuestas: Se les denomina así cuando se conforman más o menos una debajo de otra.

**Figura 33. Punteaduras opuestas en Dillenia biflora**



**Fuente:**Wheeler (2007).

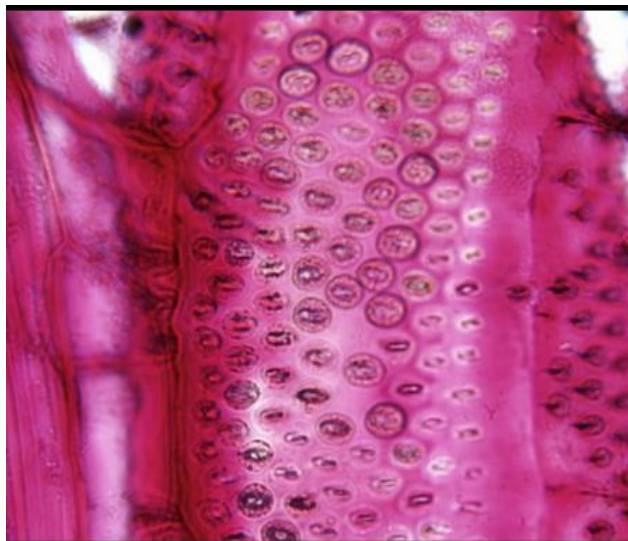
- Punteaduras alternas: como su propia palabra lo dice las punteaduras están ubicadas alternamente una con otra o también dando el aspecto de están dispuestas diagonalmente.

**Figura 34. Punteaduras alternas**



- Punteaduras ornadas: despliegan proyecciones desde la pared secundaria sobre los lados internos de la cavidad de la punteadura.

**Figura 35. Punteaduras ornadas en Terminalia superba**



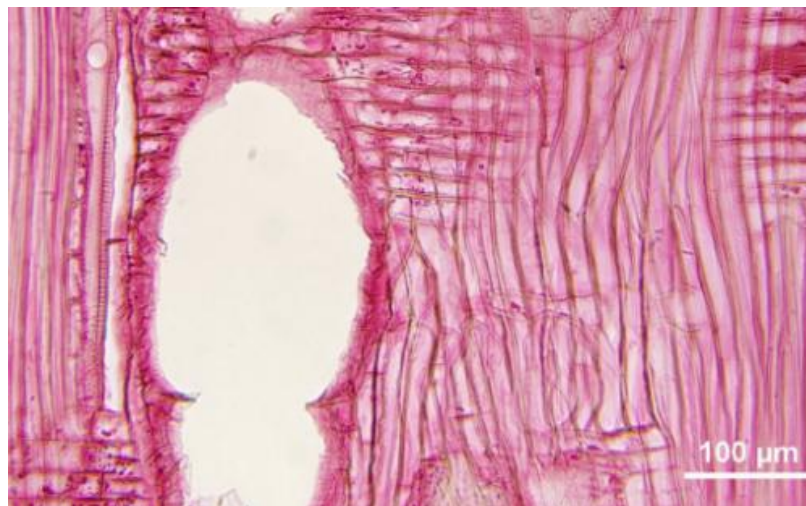
**Fuente:**Wheeler (2009).

- Punteaduras de abertura extendida: la abertura de la punteadura se extiende entre varios de estos elementos.
- Punteaduras de abertura incluida: la abertura comprende gran área de la estructura de la punteadura.

**Traqueidas vasculares – vasicéntricas:** células del leño que son imperforadas, que sirven de sostén y conducción de sustancias gracias a las punteaduras que presentan en sus extremos adyacentes:

- Traqueidasvasicéntricas: traqueidas de forma irregular y de longitudes cortas que se asocia con el vaso, no forma parte de una serie axial definida.

**Figura 36. Traqueidasvasicéntricas en Fraxinus pennsylvanica**



**Fuente:**Wheeler (2007)

- Traqueidas vasculares: semejante en forma y disposición a un elemento vascular, esta célula imperforada forma columnas axiales, a pesar de poseer punteaduras estas carecen de perforaciones.

**Figura 37. Traqueidas vasculares en *Celtis laevigata* var. *reticulata***



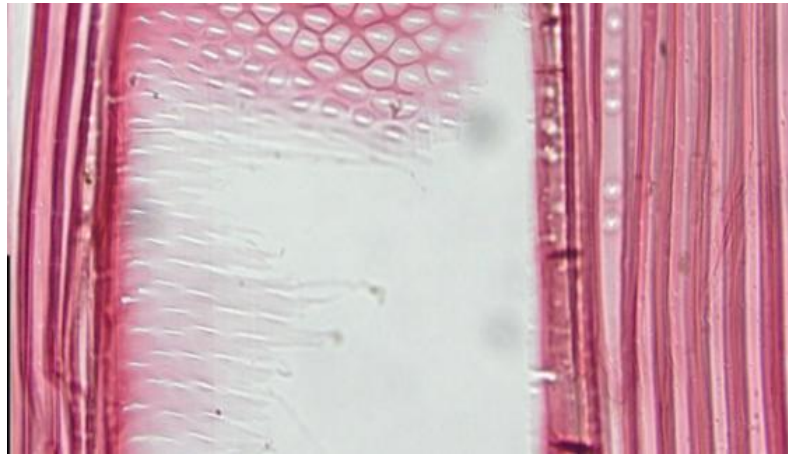
**Fuente:**Wheeler (2004)

**Fibras:**es el elemento principal que da soporte al xilema, su estructura es alargada y en sus extremos agudos, pueden presentar punteaduras simples, areolada fácil de distinguir o no.

*-Punteaduras de las fibras*

- Punteaduras simples: este tipo de punteadura se caracteriza por ser una abertura aproximadamente redonda se visualiza de color blanco o sin fondo.

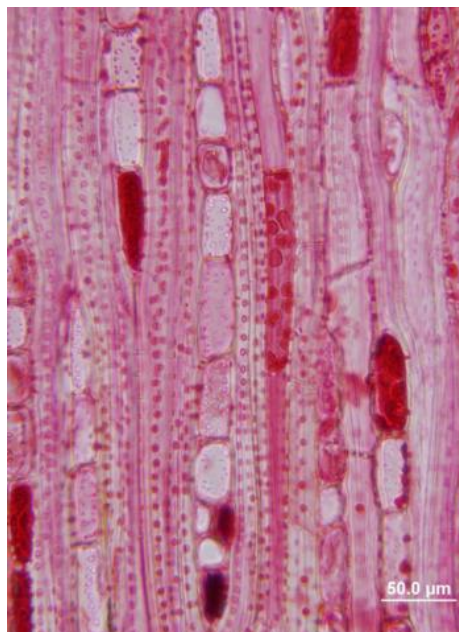
**Figura 38. Punteaduras de las fibras simples en *Aralia elata***



**Fuente:**Wheeler (2010).

- Punteaduras areoladas: para esta su color se ve negro y correspondiente con forma areolada.

**Figura 39. Punteaduras areoladas sobre las fibras en *Austrobuxus pauciflorus***

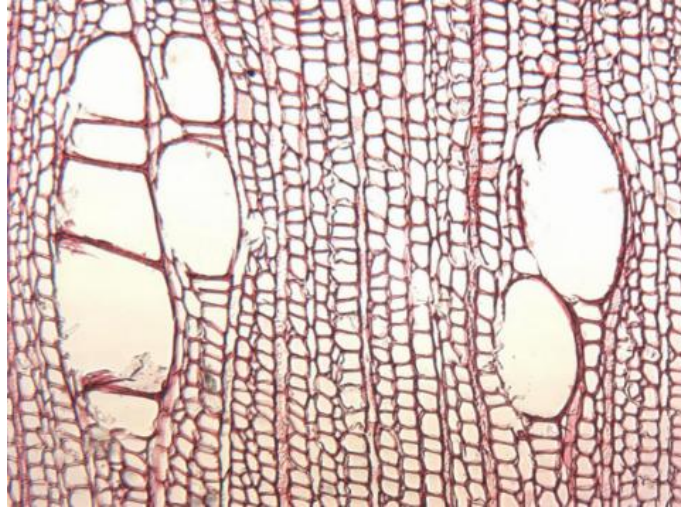


**Fuente:**Wheeler (2004)

*-Grosor de las paredes de las fibras*

- Fibras con paredes muy delgadas: Se muestra cuando el lumen posee de tres a más veces el tamaño de las paredes de las fibras.

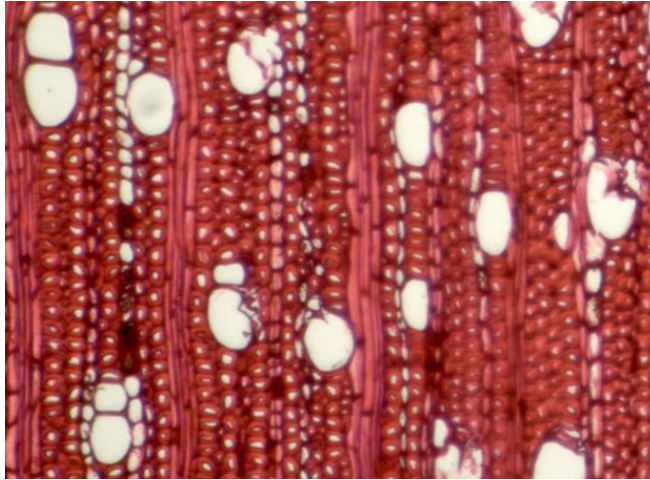
**Figura 40. Fibras con paredes muy delgadas en Homalanthus populneus**



**Fuente:** Ilic, Jugo.

- Fibras con paredes gruesas: en contraste con las paredes muy delgadas, el lumen es 3 veces más pequeño que el área que ocupa la pared para este caso, a pesar de ello el lumen se ve abierto.
- Fibras con paredes muy gruesas: la pared de la fibra ocupa el mayor porcentaje del área dejando casi imperceptible el lumen.

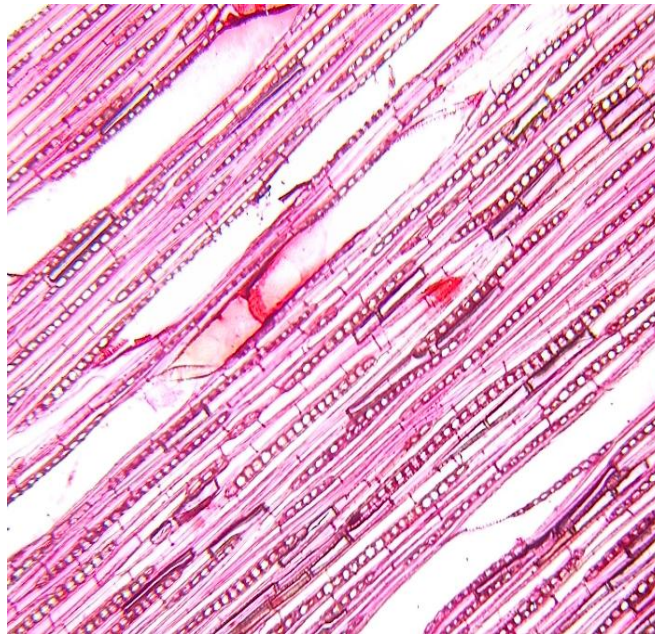
**Figura 41. Paredes de las fibras muy gruesas en Homaliumguianense**



Fuente: Bakker, M.E

- Fibras septadas: Son paredes horizontales que atraviesan el lumen de la fibra.

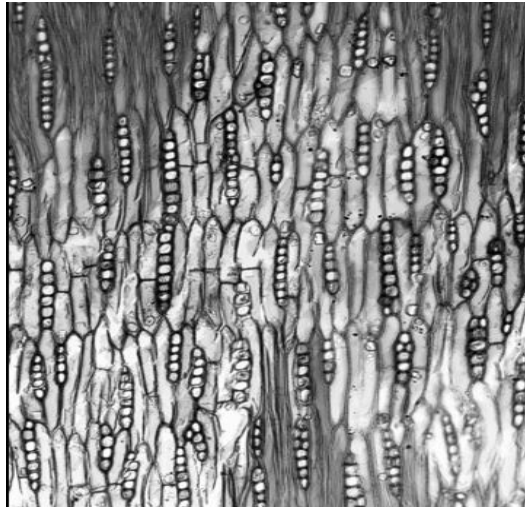
**Figura 42. Fibras septadas.**



**Elementos parenquimatosos**

**Parénquima fusiforme:**este parénquima se asemeja en su forma a las fibras pero con la diferencia que son mucho más cortas y en lo general están asociadas con células del radio.

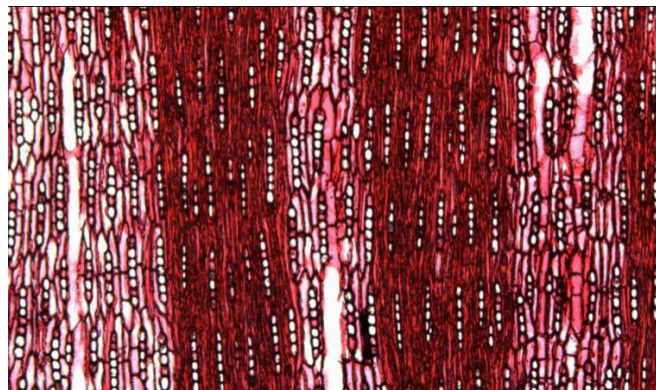
**Figura 43. Parénquima fusiforme en *Amphitecna latifolia***



**Fuente:** Pace (2012).

**Parénquima en serie:**el parénquima se encuentra dispuesto uno tras otro axialmente de manera indefinida, dando el aspecto de estar estratificado.

**Figura 44. Parénquima en serie en *Crescentialata***



**Fuente:** Pace (2012)

**Parénquima epitelial (Conductos longitudinales):** canales axiales o canales intercelulares: Son aquellos que están distribuidos en el eje longitudinal del árbol y se encuentran rodeados de parénquima especial y dichos canales contienen sustancias como gomas, tálides. Son por lo regular los mismos pero se distribuyen de manera diferente; difusa, en bandas tangenciales de más de 5 canales, cortas líneas tangenciales de 2-5 canales; y origen traumático.

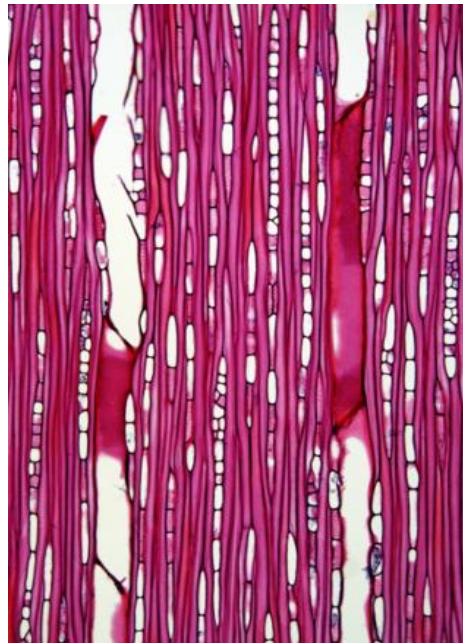
**Sentido transversal:** elementos parenquimatosos

### **Células de parénquima radial**

*-Ancho de los radios plano tangencial*

- Radios uniseriados: está compuesto por una serie de células dispuestas axialmente.

**Figura 45. Radios uniseriados en Cerberamanghas**



**Fuente:** Forestry and Forest Products Research Institute.

- Radios de 2-3 células: el parénquima radial tiene de dos a tres células tangencialmente.
- Radios multiseriado: de 4-10 células.

**Figura 46. Radios multiseriados de 4-10 células en *Bursera simaruba***



**Fuente:**Wheeler (2004)

- Radios multiseriados: >10 células.
- Radios con igual proporción de multiseriados y uniseriados.
- Radios en agregados: Un numero de radios individuales, muy cerca entre sí pero separados por elementos axiales.

**Figura 47. Radios en agregados en *Gymnostomapapuanum*.**

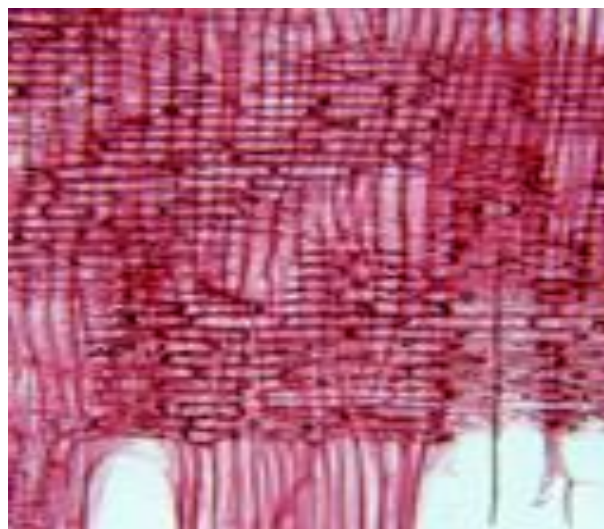


Fuente:Wheeler (2007).

### **Células procumbentes**

Radios I: todos los radios compuestos por células procumbentes

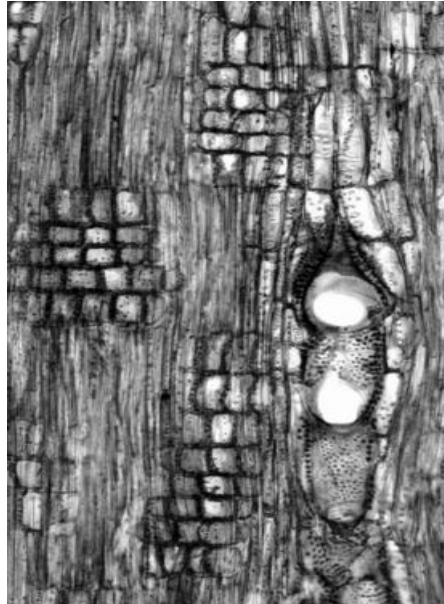
**Figura 48. Radios Tipo I en *Alnusoblongifolia***



Fuente:Wheeler (2004).

- Radios II: todas las células de los radios erectos o cuadrados.

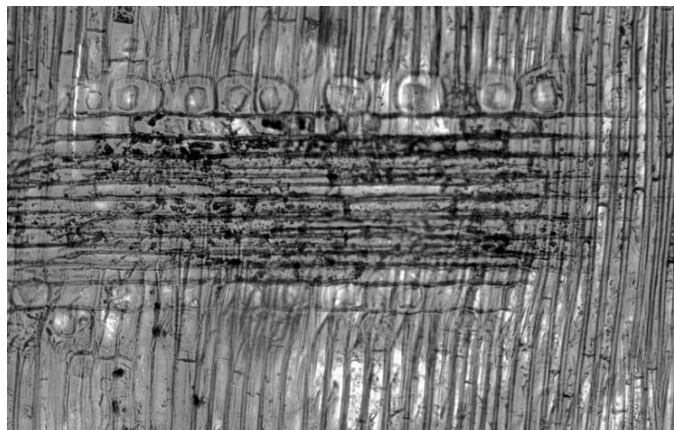
**Figura 49. Radios Tipo II en *Pemphis acidula*.**



**Fuente:**Gasson, Peter.

- Radios III: células de los radios procumbentes con una fila de células marginales erectas y/o cuadradas.

**Figura 50. Radios Tipo III en *Astroniumgraveolens***



**Fuente:**Wheeler (2007).

- Radios IV: células de los radios procumbentes con 2-4 filas de células marginales erectas y/o cuadradas.
- Radios V: células de los radios procumbentes con más de 4 filas de células marginales erectas y/o cuadradas.
- Radios VI: células procumbentes, cuadradas y/o erectas mezcladas a lo largo del radio.

### **Parénquima epitelial (conductos transversales)**

- Células oleíferas y mucilaginosas: una abertura llena de aceite en la mayoría de las veces, pero no siempre, en algunas ocasiones con una extensión axial considerable. Para el caso de la célula mucilaginosa la abertura se encuentra llena de mucilago y tiene la misma apariencia que las células oleíferas.
- Tubos laticíferos: son tubos que contienen latex de distintos colores que van del transparente, amarillo al marrón; su distribución está en el orden radial o con la excepción axial para el caso de la familia de la Moraceae.
- Tubos taniníferos: conductos que contienen taninos que se observan de color marrón-rojizo, se conoce como una característica de la familia Myristicaceae.

**2.1.6 Madera de reacción:** se presenta por fuerzas externas (viento principalmente) y naturales como la pendiente que hacen que el tronco genere en respuesta a las fuerzas la llamada madera de reacción, que a su vez se puede encontrar de dos tipos.

- Madera de compresión: es el resultado de la madera de tracción, es decir, la sección que sufre la compresión de su estructura a razón de la fuerza de tracción anteriormente percibida al otro lado del tronco.
- Madera de tracción: Es la sección del árbol que recibe directamente las fuerzas externas generando que la madera se mantenga en tensión.

**2.1.7 Propiedades físicas de la madera:** estas propiedades tienen influencia sobre el comportamiento de la madera exactamente en sus propiedades físico – mecánicas.

**2.1.8 Peso específico:** es el peso determinado en cierta unidad de volumen, tiene una importancia considerable en el comportamiento mecánico de la madera, el xilema en su estructura posee espacios porosos que contienen agua, se deben tener en cuenta para la diferenciación entre dos pesos específicos; peso específico aparente básico y peso específico aparente verde<sup>14</sup>. Uno en el que se divide el peso del material en estado anhidro sobre el volumen en estado verde y el otro tipo de peso específico se realiza mediante el cociente del peso de la probeta cuando en su estructura presenta agua libre, sobre el volumen del material con el mismo contenido de agua correspondientemente. Aunque para efectos de operación se calcula el peso específico aparente básico, también denominado densidad básica.

$$Densidad\ basica = \frac{P_{ch} = 0\%}{V_{ch} > 30\%} \quad (1)$$

Donde:

$P_{ch}=0\%$  es el peso de la probeta en estado seco-

$V_{ch}>30\%$  corresponde al volumen de la probeta en estado húmedo.

**2.1.9 Dureza:** consiste en la resistencia que tiene la madera a ser rayada, clavada, a la resistencia a los agentes externos que puedan desgastarla y otros fenómenos. La dureza se relaciona con la estructura anatómica de la madera, con los poros, las fibras; haciendo que en presencia de menor cantidad de poros se aumente la

---

<sup>14</sup>RANGEL, Gilberto y RINCON, Pedro. Análisis de las propiedades físico – mecánicas de tres especies forestales representativas del bosque alto andino colombiano: (*Escalloniapaniculata*), colorado (*Polylepisboyacensis*), y pino colombiano (*Prumnopitys montanus*). Trabajo de grado Ingeniería Forestal. Malaga: Universidad Industrial de Santander, 2003, p. 28.

resistencia o dureza y de igual manera las fibras al presentar paredes más gruesas ofrecen mejor oposición a las fuerzas externas.

**2.1.10 Contracciones:** la higroscopicidad de la madera, causa las irregularidades en las dimensiones de los tres planos anatómicos de la madera, aunque la contracción tangencial suele ser más o menos el doble de la ocurrida en la radial y en su cara longitudinal se produce la menor variación<sup>15</sup>. Para obtener los resultados pertinentes es necesario tener los siguientes datos y formulas.

**Contracción lineal:** se calcula con la medición con micrómetro de las dimensiones longitudinal, tangencial, y radial de la probeta (cl, ctg, crd), en estado húmedo y en estado anhidro. Dicho resultado ofrece la posibilidad de expresarse en porcentaje, al multiplicarlo por cien.

$$\text{Contraccion} = \frac{\text{dimension humeda} - \text{dimension anhidra}}{\text{dimension anhidra}} \quad (2)$$

**Contracción volumétrica:** es la suma de los valores obtenidos de contracción lineal de los tres planos anatómicos.

$$\text{Contraccion } V = C_l + C_{tg} + C_{rd} \quad (3)$$

Donde:

$C_l$  = La contracción longitudinal.

$C_{tg}$  = La contracción total en el plano tangencial.

$C_{rd}$  = La contracción total en el plano radial.

### **Coefficiente de estabilidad dimensional**

$$C_{ED} = \frac{C_{tg}}{C_{rd}} \quad (4)$$

**Contenido de humedad:** es el porcentaje de agua que se encuentra en la madera ya sea agua de constitución, agua libre o agua de saturación. Este

---

<sup>15</sup>SALAZAR, Jaime. Maderas colombianas propiedades y criterios de diseño. Bogotá DC.: Universidad Nacional de Colombia, 2011. 86p. ISBN 978-958-761-057-4.

porcentaje es de 50 -60 al estar recién cortada la troza y llega como máximo 300 por imbibición. La madera al disminuir su contenido de humedad, aumenta su resistencia y su duración.

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{\text{Peso verde} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} * 100\% \quad (5)$$

**2.1.11 Propiedades elásticas de la madera:** dichas propiedades demuestran la rigidez e indican la opción que el material posee para recobrar su forma inicial, es decir antes de aplicar la carga<sup>16</sup>.

**2.1.12 Módulo de elasticidad:** es la relación en que existe entre el esfuerzo unitario y la deformación unitaria, dicho dato puede obtenerse de la gráfica de carga deformación, que se construye a partir de los ensayos de resistencia. El correspondiente resultado es una base que indica la elasticidad del material. Por consiguiente un módulo de elasticidad bajo indica que la madera es considerablemente elástica o en su efecto se deforma con facilidad.

**2.1.13 Módulo de rigidez:** es también denominado esfuerzo de corte y relaciona las deformaciones con los esfuerzos de cizallamiento. Aunque hay distintos módulos de rigidez dependiendo el plano en que es evaluado<sup>17</sup>.

**2.1.14 Módulo de Poisson:** es la relación existente entre las deformaciones laterales y longitudinales de la madera, para el caso de la madera de los planos tangencial, radial sobre la longitudinal<sup>18</sup>.

---

<sup>16</sup>Ibid.p.64

<sup>17</sup>JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. Manual de diseño para maderas del grupo andino. Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales Tropicales. Cartagena: Carvajal SA, 1984. p.1-27

<sup>18</sup>Ibid. p.66

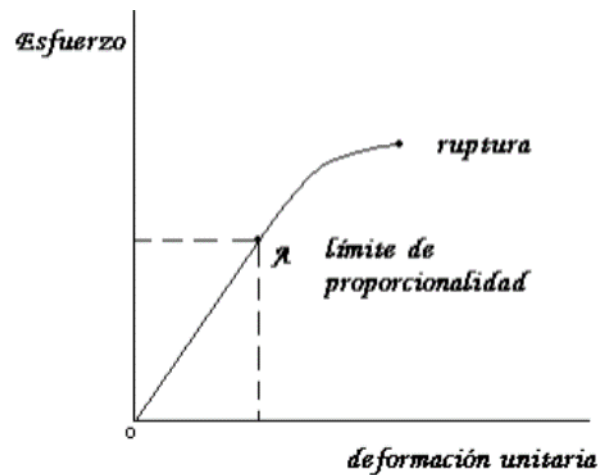
**2.1.15 Propiedades mecánicas de la madera:** determinan la resistencia de la madera a las fuerzas externas que la pueden llegar a afectar, conociendo esto se puede controlar su manejo. La madera como cualquier otro material puede someterse a distintos ensayos para analizar la resistencia a diferentes tipos de cargas (tensión, compresión, cizallamiento, entre otras), los cuales veremos a continuación.

La capacidad de resistencia de la madera depende de distintos factores intrínsecos, extrínsecos como, la composición y estructura de la madera, contenido de humedad, tipos de cargas, defectos de la madera y la duración de la carga.

- Resistencia a la flexión: este fenómeno se produce al estar presentes fuerzas generalmente verticales sobre cuerpos de considerada longitud con respecto a su grosor, produciendo que el elemento o estructura se deforme.
- Resistencia a la tracción: es la fuerza tendiente a estirar o separar la estructura, para el caso de la madera ofrece mayor resistencia en sentido de las fibras. Sin descartar su producción a nivel perpendicular de las fibras.
- Resistencia al cizallamiento: este ensayo se produce cuando el canto de madera es sometido a fuerzas contrarias, es decir horizontalmente (izquierda y derecha); haciendo que las fibras se separen o se corten.

Los resultados obtenidos en cada uno de estos ensayos se analizan mediante la gráfica esfuerzo/deformación en donde se tienen en cuenta diversos términos como límite proporcional, zona elástica, zona plástica.

**Figura 51. Comportamiento entre el esfuerzo y la deformación unitaria de un material.**



Fuente: Pérez (1983).

El gráfico muestra un comportamiento proporcional entre el esfuerzo y la deformación del material, hasta cierto momento en que el límite proporcional se pierde, la madera sale de la zona elástica, que se refiere a la capacidad del material de volver a su estado inicial luego de recibir determinada carga. A continuación empezará a comportarse como un material plástico y finalmente llegará a la ruptura.

**2.1.16 Factores de corrección de las propiedades mecánicas al 12% del contenido de humedad:** estos factores son usados para corregir el contenido de humedad al 12% ya que en la práctica es tedioso obtener exactamente este valor al momento de realizar los ensayos, con la aplicación de este concepto se estabiliza la humedad y se aumenta los esfuerzos obtenidos<sup>19</sup>.

---

<sup>19</sup>LASTRA, J. A. Aspectos generales sobre la estructura anatómica, propiedades físico mecánicas y secado de la madera. Bogotá DC: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1984. p 48.

**Tabla 1 . Aumento promedio de las propiedades mecánicas por cada 1% de variación en el contenido de humedad.**

| ENSAYO                                |  | VARIACIÓN POR CADA 1% DE CAMBIO EN EL CH (%) |
|---------------------------------------|--|--|
| Flexión                               | Esfuerzo de las Fibras al Límite Proporcional (EFLP) | 5  |
|                                       | Módulo de ruptura                                    | 4  |
|                                       | Módulo de elasticidad                                | 2  |
| Compresión Paralela a las Fibras      | Esfuerzo de las Fibras al Límite Proporcional (EFLP) | 5  |
|                                       | Módulo de ruptura                                    | 6  |
|                                       | Módulo de elasticidad                                | 2  |
| Compresión Perpendicular a las Fibras | Esfuerzo de las Fibras al Límite Proporcional (EFLP) | 5.5  |
| Cizallamiento                         |  | 3  |
| Dureza                                | Lateral  | 2.5  |
|                                       | Longitudinal   | 4  |

**Fuente:** Lastra (1984).

Dichos datos, mediante la aplicación de la fórmula para hallar el valor de la propiedad ajustado a un contenido de humedad del 12%.

$$V_a = V_i + \frac{(CH_i - 12) * (\%_a) * V_i}{100} \quad (6)$$

Dónde:

$V_a$  = Valor de la propiedad ajustado a un contenido de humedad del 12%.

$CH_i$  = Contenido de humedad de la madera en el instante de las pruebas

$\%_a$  = Porcentaje de aumento por cada 1% de CH.

$V_i$ : Valor hallado en laboratorio para la propiedad.

## 2.1.17 Coeficientes de variación admitidos para las propiedades.

**Tabla 2. Coeficientes de variación máximos admitidos.**

| ENSAYO                                |                        | COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%) |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------------|
| Flexión                               | Módulo de ruptura o EM | 16                           |
|                                       | RLP                    | 30                           |
|                                       | Módulo de elasticidad  | 22                           |
| Compresión Paralela a las Fibras      | Esfuerzo máximo        | 18                           |
|                                       | Límite proporcional    | 24                           |
|                                       | Módulo de elasticidad  | 29                           |
| Compresión Perpendicular a las Fibras | Esfuerzo máximo        | 28                           |
|                                       | Límite Proporcional    | 28                           |
| Cizallamiento                         | Esfuerzo máximo        | 14                           |
| Dureza                                | Lateral                | 20                           |
|                                       | Longitudinal           | 17                           |

Fuente: Norma ASTM D-2555-78

## 2.2 MARCO LEGAL

### Normas técnicas:

Comisión Panamericana de Normas Técnicas, Norma COPANT 460, Abril de 1972. Determinación del Contenido de Humedad.

Comisión Panamericana de Normas Técnicas, Norma COPANT 461, Abril de 1972. Determinación del Peso Específico.

Comisión Panamericana de Normas Técnicas, Norma COPANT 462, Abril de 1972. Determinación de las Contracciones de la madera.

Comisión Panamericana de Normas Técnicas, Norma COPANT 463, Abril de 1972. Ensayos de Cizallamiento Paralelo.

Comisión Panamericana de Normas Técnicas, Norma COPANT 464, Abril de 1972. Ensayo de Compresión Paralela.

Comisión Panamericana de Normas Técnicas, Norma COPANT 465, Abril de 1972. Determinación de la Dureza Hanka.

Comisión Panamericana de Normas Técnicas, Norma COPANT 466, Abril de 1972. Ensayo de Compresión Perpendicular.

Comisión Panamericana de Normas Técnicas, Norma COPANT 555, Abril de 1973. Ensayos de Flexión Estática.

**DECRETO 1375 de 2013:** entró en vigencia el 27 junio del 2013, expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por el cual se reglamentan las colecciones biológicas.

**Artículo 4.** Actividades a desarrollar en colecciones biológicas. Las colecciones biológicas además de ser receptores de especímenes y de adelantar de actividades de curaduría para garantizar el mantenimiento y cuidado de estos podrán adelantar, entre otras:

- a. Actividades con fines científicos, orientadas en manera exclusiva a generar conocimiento e información científica básica, con el fin de descubrir y explicar los fenómenos y procesos naturales, sin que incluyan actividades de prospección biológica, aplicación industrial o aprovechamiento comercial.
- b. Labores educativas y divulgativas sobre la diversidad nacional.
- c. Apoyo a la implementación de programas de conservación.
- d. Proveer especímenes para el desarrollo de investigaciones.
- e. Prestar e intercambiar especímenes con otras colecciones biológicas nacionales o internacionales.

**Artículo 5.** Obligación de registrar las colecciones biológicas. La persona natural o jurídica que administre una colección biológica deberá realizar el registro único de colección biológica ante el instituto de investigación de recursos biológicos

“Alexander von Humboldt” de acuerdo con el procedimiento que se establece en el artículo 7 del presente decreto.

**Artículo 6.** Obligaciones de las colecciones biológicas. Las colecciones biológicas deberán cumplir con las siguientes obligaciones:

- a. Ingresar y mantener actualizada la información de la colección biológica en el registro único nacional de colecciones biológicas mediante el formato de registro y actualización de colecciones biológicas.
- b. Mantener actualizada y compartir, bajo previo acuerdo, la información asociada a los especímenes depositados en las colecciones, con el sistema de información sobre biodiversidad de Colombia – SiB.
- c. Remitir en forma digital al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, a través de la dirección de bosques, biodiversidad y servicios ecosistémicos las publicaciones derivadas de las investigaciones adelantadas de los especímenes de esta misma. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible deberá respetar los derechos de propiedad intelectual correspondientes.
- d. Dar cumplimiento al protocolo de manejo de colección.
- e. Elaborar y mantener actualizado un reglamento interno para el uso de cada colección y hacerlo disponible a los interesados<sup>20</sup>.

### **2.3 MARCO CONCEPTUAL**

**Albura:** es la parte activa del xilema, que en el árbol vivo, contiene células vivas y material de reserva (IAWA, 1964).

**Área de sección recta (a):** superficie en cm<sup>2</sup> de la sección transversal de la probeta calculada antes del ensayo.

---

<sup>20</sup>COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 1375 (27, junio, 2013). Por el cual se reglamenta las colecciones biológicas. En: Diario Oficial. Junio, 2013. Nro. 48.834. p. 1-8.

**Carga (c):** carga en kilogramos aplicada a en la probeta en cualquier instante del ensayo, o también denominadas cargas externas.

**Carga de límite proporcional (clp):** valor de carga leído en el límite proporcional (esfuerzo/deformación).

**Carga máxima (c max):** valor de la carga en el instante que se produce la falla en la probeta.

**Carga paralela a la fibra:** cuando la carga actúa en dirección paralela a las fibras, se considera como carga axial.

**Carga perpendicular a la fibra:** cuando la carga se aplica en dirección normal a las fibras.

**Células oleíferas:** son células parenquimáticas especializadas que contienen aceites, mucílagos, resinas; características de la familia lauraceae.

**Deformación (d):** es el cambio en cualquiera de las dimensiones de un cuerpo que ha sido alterado por la aplicación de una carga.

**Deformación normal (€):** es la deformación por unidad de longitud.

**Deformación por esfuerzo cortante (g):** es el cambio de ángulo entre los dos planos, que en el material no cargado son ortogonales.

**Desplazamiento (d):** valor leído en milésimas de pulgada en el deformímetro de que corresponde a la deformación total de la probeta.

**Duramen:** parte del xilema, muerta o inactiva, que cumple la función de sostenimiento en el árbol, generalmente es de coloración más oscura que la albura.

**Dureza:** es la resistencia que opone un material a la penetración por acción estática de otro material de más resistencia.

**Esfuerzo de flexión:** esfuerzo normal que se presenta en la sección recta de una viga cuando se somete a cargas transversales.

**Esfuerzos:** resistencia que opone un material a la aplicación de una carga, son las fuerzas internas del material.

**Fibras:** células de resistencia y función mecánica en la madera, únicamente en latifoliadas.

**Floema incluido:** estructura típica, se refiere a floema que puede presentarse dentro del xilema, se observa microscópicamente como un grupo de células desorganizadas.

**Higroscopicidad:** capacidad de absorber o perder agua según las condiciones del ambiente (humedad relativa y temperatura del aire). De esta forma a cada estado ambiental corresponde un grado de humedad de la madera, llamado humedad de equilibrio higroscópico (heh). Así por ejemplo, una madera colocada en un local a 20°C de temperatura y con una humedad relativa del 40%, alcanzará una humedad de equilibrio del 8%. Por tanto será necesario secarla previamente hasta esta humedad, para que sufra las mínimas alteraciones dimensionales posibles. La madera deberá tener la humedad correspondiente a la humedad de equilibrio higroscópico de las condiciones higrotérmicas de servicio. De esta manera se reducen los movimientos que podrían ocasionarse a causa de la variación de su grado de humedad.

**Impacto:** resistencia que opone un material a la penetración por acción dinámica de un material más duro.

**Madera:** sustancia dura y fibrosa de los árboles que se encuentra debajo de la corteza, también llamado xilema con propiedades higroscópicas.

**Parénquima axial:** grupo de células no lignificadas, que se encargan del almacenamiento de azúcares y agua dentro de la madera.

**Radios:** células de parénquima que se encargan del almacenamiento y conducción transversal de sustancias nutritivas.

**Superficie en cm<sup>2</sup> impresa sobre la probeta (s):** superficie impresa por el apoyo de presión.

**Traqueidas:** células de transporte de agua y savia de la raíz a las hojas, generalmente en coníferas y en menor cantidad en latifoliadas.

**Vasos:** grupo de células que forman hileras verticales, las cuales cumplen funciones de transporte de líquidos. Se presentan únicamente en latifoliadas.

### **3. METODOLOGÍA**

La metodología usada para el presente estudio es de carácter descriptiva y analítica.

#### **3.1 SELECCIÓN DE INDIVIDUOS DEL ESTUDIO**

Los dos individuos objeto de estudio se localizaron en el Municipio de Villavicencio, bajo las siguientes coordenadas geográficas 4°08'41.19"N 73°37'02.83"O y 4°08'43.51"N 73°37'42.02"O respectivamente; los especímenes tenían alturas superiores a los doce metros, diámetros de 45cm y estado fitosanitario bueno, no se pudo obtener mayor número de árboles ya que CORMACARENA denegó la petición de tumba. Los arboles usados para los ensayos los suministró la Secretaria de Infraestructura de Villavicencio, gracias a peticiones realizadas por la población del municipio al representar un peligro para sus viviendas y destrucción de la infraestructura pública. Debido a esto y a que la especie manejada es una especie exótica no posee poblaciones definidas, solamente arboles dispersos que hacen parte de arboricultura urbana del municipio, por esto no fue posible realizar un muestreo, como lo indica la norma COPANT 458.

#### **3.2 TRATAMIENTO DE LAS TROZAS OBTENIDAS**

Se extrajeron cinco trozas de un metro de largo y transversalmente de 15cm x 15cm a 15cm x 35cm aproximadamente, posteriormente se llevaron a un lugar bajo techo en donde se les aplicó aceite vegetal en sus extremos para evitar el agrietamiento y rajadura de las piezas. Se mantuvieron en secado al aire durante siete meses, debido a las dificultades en la disposición de laboratorio que retrasaron los ensayos; cumplido este tiempo las trozas fueron llevadas a instalaciones de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en la Facultad

de Medio Ambiente y Recursos Naturales en donde se llevaría a cabo las etapas de laboratorio del estudio.

### 3.3 ELABORACIÓN DE PROBETAS

Las trozas fueron llevadas a la carpintería, para la posterior elaboración de las probetas, con las siguientes especificaciones.

**Tabla 3. Detalle de cantidad de probetas por ensayo.**

| ENSAYO   | Nº PROBETAS | ESTADO       |
|--|-------------|--------------|
| Dureza, Compresión perpendicular                                 | 30          | Seco al aire |
| Compresión paralela  | 30          | Seco al aire |
| Flexión estática   | 60          | Seco al aire |
| Cizallamiento tangencial, radial                                 | 60          | Seco al aire |
| Pruebas físicas<br>Contenido de humedad ,densidad, contracciones | 30          | Seco al aire |

### 3.4 ESTUDIO DE LA ANATOMÍA XILEMÁTICA

El análisis de la anatomía se hizo según la metodología establecida por el comité de la International Association Wood Anatomist (IAWA Committee, 1989) y el Laboratorio de Tecnología de Maderas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

**3.4.1 Macroscópica de la madera:** se estudió la macroscópica con la ayuda de una lupa de 10x y bisturí, en donde se hizo la respectiva descripción de los elementos anatómicos a nivel transversal, adicionalmente de las propiedades organolépticas que presentaba la especie.

**3.4.2 Microscopia de la madera:** se dispuso de pequeños trozos de madera de dimensiones de 0.5cm x 0.5cm x 0.5cm que ya habían sido sometidos a ablandamiento por medio de remojo en agua por el transcurso de tres días.

Los cubos de madera fueron dispuestos en un micrótopo Leica, realizando cortes en los tres planos anatómicos y agrupándolos en distintas laminillas para seguir con el paso de tinción en donde se usó el químico safranina administrando 1 a 2 gotas por corte y se dejó actuar por 30 segundos, pasado esto se le aplicó alcohol 50% de concentración con el fin de retirar los excedentes de safranina para luego dejar secar, nuevamente se aplicó alcohol pero al 90% de concentración y se dejó secar, se suministró xilol en una caja petri y se dejó los cortes para deshidratarlos, además se liberó de impurezas; se montó entre la lámina y laminilla aplicando 1-2 gotas de bálsamo de Canadá entre los tres cortes para el montaje.

Ya teniendo montados los cortes microscópicos se les realiza las microfotografías con ayuda de un microscopio a distintos aumentos (5x, 10x, 40x y 100x) y de una cámara fotográfica, con el fin de realizar la descripción de los elementos constitutivos de la madera a nivel microscópico, que corresponde en su totalidad a caracteres cualitativos y una parte a caracteres cuantitativos. Para completar todo el análisis cuantitativo de elementos se realizó el desfibrado, partiendo de los cubos usados para los cortes se les ejecuto longitudinalmente cortes para sacar diminutas astillas que fueron tratadas por medio de una solución 1:1 de peróxido de hidrogeno y ácido acético en un tubo de ensayo y finalmente se llevó a estufa regulando su temperatura a 60°C hasta que la solución se evaporara lo suficiente, como para cubrir las pequeñas astillas.

Ya finalizado este paso se le añade alcohol al 50%, y un par de gotas de safranina dejando actuar por el termino de treinta minutos, se recogió un poco del material para ser fotografiado para su medición. El proceso final culminó con un lavado con ayuda de un filtro en un biker y alcohol al 90%, el residuo se colecto para montarlo en laminillas.

### **3.5 PRUEBAS FÍSICAS DE LA MADERA**

Estas pruebas se rigieron con las normas COPANT (460, 461, 462), utilizando 30 probetas de dimensiones de 2.5x2.5x10cm para el cálculo de contenido de humedad, densidades, contracciones e hinchazones, bajo tres estados de la madera, verde, seco al aire y anhidro. Mediante el uso de calibrador, probeta graduada y balanza analítica en donde se calculó caracteres como el volumen, peso y la medición de los planos anatómicos.

**3.5.1 Contenido de humedad de la madera:** para el cálculo de este parámetro en condición verde, las 30 probetas fueron introducidas en agua por el periodo de una semana para que absorbieran la mayor cantidad de líquido posible para la medición de su volumen, peso y distancias transversales, longitudinales de cada una de las piezas.

Este mismo procedimiento se realizó para los dos estados restantes (seco al aire, anhidro), en donde para el secado al aire tuvo una duración 19 días y para el estado anhidro se empleó una estufa eléctrica graduada según la norma COPANT 460, por el periodo de cuatro días.

**3.5.2 Densidades:** se calculó la densidad verde, anhidra y seca al aire, con estos datos se determinó la densidad básica y el volumen poroso.

**3.5.3 Contracciones e hinchazones:** como procedimiento final se calcularon las contracciones e hinchazones con base a los parámetros de volúmenes, medición de los planos tangenciales, radiales y longitudinales. Adicionalmente se determinó el valor del coeficiente de estabilidad dimensional (CED).

### 3.6 PRUEBAS MECÁNICAS DE LA MADERA

Los ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Maderas José Anatolio Lastra Rivera de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales en donde se tenía a disposición una maquina universal MohrFederhaff A.G con capacidad máxima de 6000kg y los aditamentos necesarios para las pruebas propuestas, los ensayos de tracción no se realizaron debido a dificultades en la elaboración de las probetas y disposición de los aditamentos de la máquina.

**Tabla 4. Detalle de dimensiones para los ensayos.**

| ENSAYO   | DIMENSIONES (CM) | NORMA                   |
|--|------------------|-------------------------|
| Dureza, Compresión perpendicular                       | 5x5x15           | COPANT 465, 466         |
| Compresión paralela                                    | 2x2x10           | COPANT 464              |
| Flexión estática                                       | 2.5x2.5x41       | COPANT 555              |
| Cizallamiento Tangencial, Radial                       | 5x5x6.5          | COPANT 463              |
| Pruebas físicas<br>CH%, Peso específico, Contracciones | 2.5x2.5x10       | COPANT 460, 461,<br>462 |

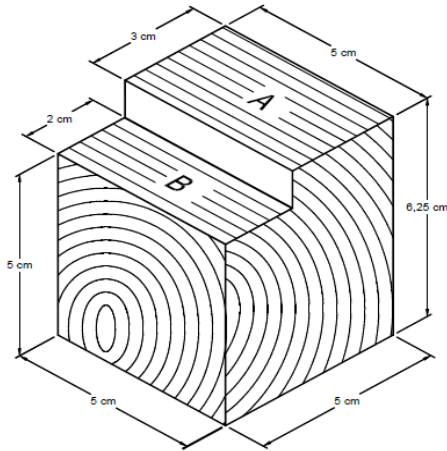
Las dimensiones de las probetas de la prueba de Compresión paralela fueron modificadas por efectos de disposición del material y de la capacidad de la maquina universal, no genera ninguna diferencia al realizar con dimensiones menores o mayores, ya que la norma técnica COPANT 464 se aconseja que las medidas de las probetas sean de 5cm en su lados y 20cm longitudinalmente.

#### 3.6.1 Desarrollo de ensayos mecánicos

**Cizallamiento:** se toman dos probetas de 5cm x 5cm y 6.25 con una de sus caras recortadas, según lo indicado en la figura 52, las caras A, B, deben ser perpendiculares al grano<sup>21</sup>.

<sup>21</sup> COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS. Método de ensayo de cizallamiento paralelo.[En línea]. Santiago (chile): COPANT 463, 1972. p.1-3. [Consultado en septiembre de 2016]. Disponible en: <https://www.coursehero.com/file/p34jgrk/COMISION-PANAMERICANA-DE-NORMAS-T%C3%89CNICAS-COPANT-Norma-Panamericana-COPANT/>

**Figura 52. Detalle Probeta de cizallamiento.**



**Fuente:** NTC 775

**Compresión paralela al grano:** para esta prueba se usan probetas de 2.5cm de sección transversal y de cuatro veces de estas medidas para el largo, y en el ensayo se le sometió a una carga continua a razón de producir una deformación de 0.6mm por minuto, la toma de datos se hace de igual manera después de la rotura<sup>22</sup>.

**Compresión perpendicular al grano:** las probetas que se utilizaron en esta prueba deben ser de dimensiones de 5cm x 5cm transversalmente y 15 cm de longitud y deben estar cortadas de manera que las caras longitudinales sean paralelas al grano, dos de sus caras opuestas tangenciales y las otras dos radiales. La máquina debe ajustarse a una deformación de 0.3mm/min y el ensayo se culmina hasta llegar a una deformación de 2.5mm

**Dureza Hanka:** las probetas usadas deben tener secciones de 5cmx5cmx15cm el procedimiento consiste en que la prensa debe estar provista de una semiesfera con un diámetro de 1.13cm que eventualmente se hace penetrar el prisma a una velocidad de 6mm por minuto, en sus extremos y en una cara radial y tangencial hasta lograr la penetración total de la semiesfera

---

<sup>22</sup>Ibid.p.80

**Flexión:** para este ensayo se emplearon probetas de dimensiones 25mm en sus lados transversales y un largo de 41mm. La probeta se somete a una carga continua y constante hasta obtener una deformación de 2.5 mm por cada minuto, hasta que se produzca su ruptura en donde finalmente se registrara la deformación y la carga correspondiente.

**3.6.2 Procesamiento de los resultados:** los datos obtenidos fueron procesados para regular su contenido de humedad al 12%<sup>23</sup>; y estadísticamente para calcular su media, coeficiente de variación, desviación estándar entre otros parámetros de estadística descriptiva con la finalidad de indicar si los coeficientes de variación estaban en los máximos permitidos dictados en la norma ASTM 2555-78.

A continuación se determinó el valor probable de cada una de las propiedades usando las ecuaciones ecuaciones (7) y (8) (Tomadas de Klinger 1994).

$$VP = X - \frac{Sx * t}{\sqrt{n} - 1} \quad (7)$$

$$VP = X - (Z * Sx) \quad (8)$$

Dónde:

X = Media aritmética del esfuerzo.

S<sub>x</sub> = Desviación estándar con respecto a la media.

t = Valor obtenido de la tabla de distribución de T-Student, con n-1 grados de libertad y 95% de probabilidad.

n = número de datos.

Z = Valor de la tabla de distribución normal, con 95 % de probabilidad.

Adicionalmente se les aplico unos factores de ajuste para el cálculo de esfuerzos básicos a cada una de las propiedades.

---

<sup>23</sup>KLINGER, William. Propiedades mecánicas y aplicaciones estructurales de la madera. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1994. p.22.

**Tabla 5. Factores de ajuste para el cálculo de esfuerzos básicos**

| <b>ESFUERZO O MÓDULO</b>                 | <b>FACTOR DE AJUSTE</b> |
|--|-------------------------|
| Módulo de elasticidad a flexión          | 1,61                    |
| Esfuerzo de rotura a flexión             | 3,39                    |
| Esfuerzo de rotura a compresión paralela | 3,06                    |
| Carga máxima a cizallamiento             | 6,61                    |

**Fuente:** Normas ASTM

Por último se lleva el contenido de humedad al 0% para determinar los usos potenciales<sup>24</sup>.

---

<sup>24</sup> KLINGER, William, TALERO, Yamile. Propuesta Metodológica para la Determinación de Usos Potenciales de la Madera a Partir de Parámetros Físico-Mecánicos Cuantitativos. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas., 2001. p. 7-24.

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS

Madera de color 7,5Y 7/3, 2.5Y 8/6 según la escala de Munsell, tiene una transición entre albura y duramen tenue. Olor ausente, sin sabor. Lustre mediano. Textura media. Grano ondulado. Liviana y de baja dureza.

### 4.2 PROPIEDADES ANATÓMICAS:

Anillos de crecimiento definidos por banda de madera tardía. Porosidad difusa. Poros sin patrón de disposición, solitarios y múltiples radiales cortos. Platinas de perforación predominantemente simple. Punteaduras intervasculares aeroladas alternas, ovaladas de abertura incluida. Punteaduras radiovasculares similares a las vasculares. Fibras no septadas, punteaduras simples. Parénquima predominantemente aleiforme de ala fina y extendida, en algunas ocasiones paratraqueal unilateral y escaso. Radios heterocelulares, Células del cuerpo del radio procumbentes con una ruta de células marginales cuadradas y/o erectas. Drusas en parénquima axial.

Williams León encontró en una investigación de la especie "Presencia de Drusas en parénquima axial"<sup>25</sup>. Concuerta en esta característica predominante y en la totalidad de su descripción anatómica.

---

<sup>25</sup>LEON, William. Anatomía de la Madera de Siete Especies del Genero Terminalia L. en Venezuela. Revista ScieloErnestia. 2007, nro.17 p. 40-41. ISSN 0252-8274.

**Tabla 6. Características físicas de la especie.**

| Características físicas | Especies estudiadas         |                            |   |
|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|---|
|                         | Nombre Científico           | <i>Terminaliacatappa L</i> |   |
|                         | Nombre Común                | Almendro                   |   |
|                         | <b>Olor</b>                 | Ausente                    | X |
|                         |                             | Presente                   |   |
|                         |                             | Fragante                   |   |
|                         |                             | Desagradable               |   |
|                         |                             | No distintivo              |   |
|                         | <b>Sabor</b>                | Dulce                      |   |
|                         |                             | Amargo                     |   |
|                         |                             | Astringente                |   |
|                         |                             | Picante                    |   |
|                         |                             | Sin sabor                  | X |
|                         | <b>Grano</b>                | No distintivo              |   |
|                         |                             | Recto                      |   |
|                         |                             | Inclinado                  |   |
|                         |                             | Entrecruzado               |   |
|                         |                             | Ondulado                   | X |
|                         | <b>Lustre</b>               | Espiralado                 |   |
|                         |                             | Irregular                  |   |
|                         |                             | Bajo                       |   |
|                         |                             | Medio                      | X |
|                         |                             | Alto                       |   |
| <b>Textura</b>          | Fina                        |                            |   |
|                         | Mediana                     | X                          |   |
|                         | Gruesa                      |                            |   |
| <b>Peso</b>             | Liviana                     | X                          |   |
|                         | Moderadamente pesada        |                            |   |
|                         | Pesada                      |                            |   |
| <b>Dureza</b>           | Blanda                      | X                          |   |
|                         | Medianamente dura           |                            |   |
|                         | Dura                        |                            |   |
| <b>Diseño</b>           | Parabólico elíptico angular |                            |   |
|                         | Espigado                    |                            |   |
|                         | Rayado                      |                            |   |
|                         | Veteado                     |                            |   |
|                         | Ondeadado                   |                            |   |
|                         | Jaspeado                    |                            |   |
|                         | Irregular                   | X                          |   |

**Tabla 7. Características estructurales y anatómicas de la especie.**

| Especies estudiadas           |                        |                            |                                  |   |
|-------------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------------|---|
| Nombre Científico             |                        | <i>Terminaliacatappa L</i> |                                  |   |
| Nombre Común                  |                        | Almendra                   |                                  |   |
| Características estructurales | Albura y duramen       | Transición                 | Abrupta                          |   |
|                               |                        |                            | Tenue                            | X |
|                               |                        |                            | Imperceptible                    |   |
|                               | Anillos de crecimiento | Visibilidad                | Visibles a simple vista          | X |
|                               |                        |                            | Visibles con lupa 10x            |   |
|                               |                        |                            | No visibles con lupa 10x         |   |
|                               |                        | Diferenciación             | Porosidad circular               |   |
|                               |                        |                            | Porosidad semicircular           |   |
|                               |                        |                            | Parenquima marginal              |   |
|                               |                        |                            | Banda de madera tardía           |   |
|                               |                        |                            | Banda de madera tardía sin poros | X |
|                               |                        |                            | Banda de parenquima              |   |
|                               |                        |                            | No diferenciable                 |   |
| Características anatómicas    | Poros                  | Visibilidad                | Visibles a simple vista          | X |
|                               |                        |                            | Visibles con lupa 10x            |   |
|                               |                        |                            | No visibles con lupa 10x         |   |
|                               |                        | Porosidad                  | Circular                         |   |
|                               |                        |                            | Semicircular                     | X |
|                               |                        |                            | Difusa                           |   |
|                               |                        | Tamaño                     | Pequeños                         |   |
|                               |                        |                            | Medianos                         |   |
|                               |                        |                            | Grandes                          | X |
|                               |                        | Disposición                | Radial                           |   |
|                               |                        |                            | Radial oblicua                   |   |
|                               |                        |                            | Diagonal                         |   |
|                               |                        |                            | Patrón dendrítico                |   |
|                               |                        |                            | Tangencial                       |   |
|                               |                        |                            | Sin patrón                       | X |
|                               |                        | Agrupación                 | Solitarios                       | X |
|                               |                        |                            | Múltiplos radiales cortos        |   |
|                               |                        |                            | Múltiplos radiales largos        |   |
|                               |                        |                            | Múltiplos arracimados            |   |
|                               |                        | Contenidos                 | Tilides                          | X |
|                               |                        |                            | Gomas                            |   |
| Otro tipo de sustancias       |                        |                            |                                  |   |
| Ausentes                      |                        |                            |                                  |   |

**Tabla 8. Parénquima longitudinal, radios, conductos y floema incluido en la especie.**

| Especies estudiadas        |                               |             | Nombre científico                             | <i>Terminaliacatappa L</i> |
|----------------------------|-------------------------------|-------------|---|----------------------------|
|                            |                               |             | Nombre común                                  | Almendro                   |
| Características anatómicas | Parénquima longitudinal       | Visibilidad | Visibles a simple vista                       | X                          |
|                            |                               |             | Visibles con lupa 10x                         |                            |
|                            |                               |             | No visibles con lupa 10x                      |                            |
|                            |                               | Tipo        | Apotraqueal difuso                            |                            |
|                            |                               |             | Apotraqueal difuso en agregados               |                            |
|                            |                               |             | Paratraqueal escaso                           |                            |
|                            |                               |             | Paratraquealvasicéntrico                      |                            |
|                            |                               |             | Paratraqueal aliforme de ala ancha y corta    |                            |
|                            |                               |             | Paratraqueal aliforme de ala fina y extendida | X                          |
|                            |                               |             | Paratraqueal confluyente                      | X                          |
|                            |                               |             | Paratraqueal unilateral                       | X                          |
|                            |                               |             | En bandas finas                               |                            |
|                            |                               |             | En bandas anchas                              |                            |
|                            |                               |             | En bandas marginales                          |                            |
|                            |                               |             | Reticulado                                    |                            |
|                            | Radios                        | Visibilidad | Visibles a simple vista                       |                            |
|                            |                               |             | Visibles con lupa 10x                         | X                          |
|                            |                               |             | No visibles con lupa 10x                      |                            |
|                            |                               | Tamaño      | Estructura estratificada                      |                            |
|                            |                               |             | Fina  |                            |
|                            |                               |             | Media   | X                          |
|                            | Conductos                     | Visibilidad | Gruesa  |                            |
|                            |                               |             | Visibles a simple vista                       |                            |
|                            |                               |             | Visibles con lupa 10x                         | X                          |
|                            |                               | Tipo        | No visibles con lupa 10x                      |                            |
|                            |                               |             | Gomíferos transversales                       | X                          |
|                            |                               |             | Gomíferos normales                            |                            |
|                            | Gomíferos traumáticos         |             |   |                            |
|                            | Floema incluido (no presente) | Visibilidad | Visibles a simple vista                       |                            |
|                            |                               |             | Visibles con lupa 10x                         |                            |
|                            |                               |             | No visibles con lupa 10x                      |                            |
|                            |                               | Tipo        | Concéntrico                                   |                            |
|                            |                               |             | Foraminado                                    |                            |

**Tabla 9. Estructura de los vasos de la especie.**

| Especies estudiadas |                             |                | Nombre científico         | <i>Terminaliacatappa L.</i> |
|---------------------|-----------------------------|----------------|---------------------------|-----------------------------|
|                     |                             |                | Nombre común              | Almendro                    |
| Vasos               | Poros                       | Porosidad      | Circular                  |                             |
|                     |                             |                | Semicircular              |                             |
|                     |                             |                | Difusa                    | X                           |
|                     |                             | Disposición    | En bandas tangenciales    |                             |
|                     |                             |                | Patrón radial             |                             |
|                     |                             |                | Patrón diagonal           |                             |
|                     |                             |                | Patrón dendrítico         |                             |
|                     |                             |                | Sin patrón                | X                           |
|                     |                             | Agrupación     | Solitarios                |                             |
|                     |                             |                | Múltiplos radiales cortos | X                           |
|                     |                             |                | Múltiplos radiales largos |                             |
|                     |                             |                | Múltiplos arracimados     |                             |
|                     |                             | Forma          | Redonda                   | X                           |
|                     |                             |                | Ovalada                   |                             |
|                     |                             |                | Angular                   |                             |
|                     | Platinas de perforación     | Simple         | X                         |                             |
|                     |                             | Escaleriformes |                           |                             |
|                     |                             | Reticuladas    |                           |                             |
|                     |                             | Foraminadas    |                           |                             |
|                     | Punteaduras intervasculares | Tipo-arreglo   | Escaleriformes            |                             |
|                     |                             |                | Aeroladas opuestas        |                             |
|                     |                             |                | Aeroladas alternas        | X                           |
|                     |                             | Forma          | Redonda                   |                             |
| Ovalada             |                             |                | X                         |                             |
| Poligonal           |                             |                |                           |                             |
| Abertura            |                             | Incluida       | X                         |                             |
|                     |                             | Extendida      |                           |                             |
| Punteaduras ornadas |                             |                |                           |                             |

**Tabla 10. Inclusiones en vasos, traqueidas, fibras y parénquima axial.**

| Especies estudiadas |                      | Nombre científico       | <i>Terminaliacatappa L</i>          |   |
|---------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------------------|---|
|                     |                      | Nombre común            | Almendro                            |   |
| Vasos               | Inclusiones          |                         | Tilides                             |   |
|                     |                      |                         | Esclerotilides                      |   |
|                     |                      |                         | Gomas                               | X |
|                     |                      |                         | Otro tipo de depositos              |   |
|                     |                      |                         | Ausentes                            |   |
| Traqueidas y fibras | Traqueidas           |                         | Vasculares                          |   |
|                     |                      |                         | Vasicentricas                       |   |
|                     |                      |                         | Ausentes                            | X |
|                     |                      |                         |                                     | X |
|                     | Fibras               | Tipos de punteadura     | Simples o con areolas diminutas     | X |
|                     |                      |                         | Areolas distingibles                |   |
|                     |                      |                         | Restringidas a pared radial         |   |
|                     |                      | Septas                  | En pared radial y tang              |   |
|                     |                      |                         | Engrosamiento espiralados           |   |
|                     |                      |                         | Fibras septadas                     |   |
|                     |                      |                         | Fibras no septadas                  | X |
| Fibras              | Grosor               |                         | Pared celular delgada               |   |
|                     |                      |                         | Pared celular mediana               | X |
|                     |                      |                         | Pared celular gruesa                |   |
| Parenquima axial    | Tipo                 |                         | Apotraqueal difuso en agregados     |   |
|                     |                      |                         | Paratraqueal escaso                 | X |
|                     |                      |                         | Paratraquealvasicentrico            |   |
|                     |                      |                         | P.aliforme de ala ancha y corta     | X |
|                     |                      |                         | P aliforme de ala fina y extendida  |   |
|                     |                      |                         | Paratraqueal confluyente            |   |
|                     |                      |                         | Paratraqueal unilateral             | X |
|                     |                      |                         | En bandas finas                     |   |
|                     |                      |                         | En bandas anchas                    |   |
|                     |                      |                         | En bandas marginales                |   |
|                     |                      |                         | En bandas reticulado                |   |
|                     |                      |                         | En bandas escaleriforme             |   |
|                     |                      |                         | Tipo de celulas de parenquima axial |   |
|                     | En serie 2 celulas   |                         |                                     |   |
|                     | En serie 3-4 celulas | X                       |                                     |   |
|                     | En serie 5-8 celulas |                         |                                     |   |
|                     | En seria >8 celulas  |                         |                                     |   |
|                     |                      | Presencia de contenidos |                                     |   |

**Tabla 11. Radios en la especie.**

| Especies estudiadas |                                | Nombre científico  | <i>Terminaliacatappa L</i> |
|---------------------|--------------------------------|--|----------------------------|
|                     |                                | Nombre común   | Almendro                   |
| Radios              | Ancho                          | Uniseriados  |                            |
|                     |                                | Biseriados   |                            |
|                     |                                | 1-3 células  | X                          |
|                     |                                | Multiseriados 4-10   |                            |
|                     |                                | En agregados   |                            |
|                     |                                | Multiseriados >10  |                            |
|                     | Composición celular            | Todas las células procumbentes   |                            |
|                     |                                | Todas las células cuadradas y/o erectas  |                            |
|                     |                                | Células del cuerpo del radio procumbentes con una ruta de células marginales cuadradas y/o erectas     | X                          |
|                     |                                | Células del cuerpo del radio procumbentes con 2-4 rutas de células marginales cuadradas o erectas      |                            |
|                     |                                | Células del cuerpo del radio procumbentes con más de 4 rutas de células marginales cuadradas o erectas |                            |
|                     |                                | Células procumbentes, cuadradas y/o erectas mezcladas a través del cuerpo del radio                    |                            |
|                     | Punteaduras radio vasculares   | Punteaduras similares a las intervasculares  | X                          |
|                     |                                | Con borde reducido aparentemente simples, redondeadas a angulares                                      |                            |
|                     |                                | Con borde muy reducido, abertura horizontal (escaleriforme), abertura diagonal vertical (empalizada)   |                            |
|                     |                                | Punteaduras en dos tamaños o tipos diferentes en una misma célula                                      |                            |
|                     |                                | Punteaduras con reborde unilateral   |                            |
|                     |                                | Punteaduras restringidas a líneas marginales   |                            |
|                     | otras variantes en las células | Células envolventes  |                            |
|                     |                                | Células de tipo baldosa  |                            |
|                     |                                | Células radiales perforadas  | X                          |
|                     |                                | Parénquima radial disyuntivo   |                            |
|                     |                                | Células oleífera asociada a parénquima radial  |                            |
| Ausentes            |                                |  |                            |
|                     |                                | Presencia de contenidos  | X                          |

**Tabla 12. Biometría de la especie.**

| Características cuantitativas (biometría) de poros, elementos vasculares, punteaduras intervasculares, fibras y radios. Valores mínimos, (valores promedio) , valores máximos |                               |                       |                                       |                           |                                 |                            |                       |
|---|-------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Especie   | Diámetro de poros (µm)        | Poros/mm <sup>2</sup> | Longitud de elementos vasculares (µm) | Diámetro punteaduras (µm) | Longitud fibras (µm)            | Altura radios (µm)         | Radios/m <sup>2</sup> |
| <i>Terminalia catappa</i> L   | 657.9<br>(922-1261)<br>1447.4 | 4                     | 284.926<br>(341.022)<br>397.118       | 40 (41-55) 59.5           | 610.015<br>(769.032)<br>928.049 | 793<br>(1309-2272)<br>3187 | 7<br>(9-13)<br>16     |

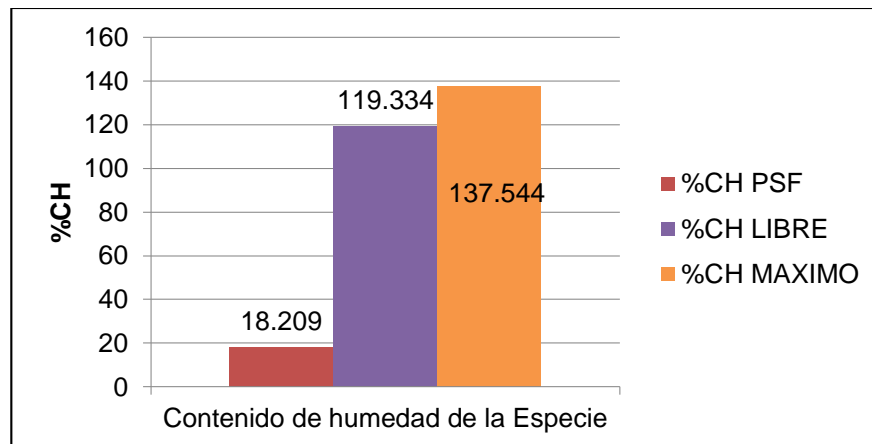
### 4.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA

#### 4.3.1 Contenido de humedad

**Tabla 13. Contenidos de Humedad de la Especie.**

| Contenido de humedad de la Especie |           |            |                  |           |
|------------------------------------|-----------|------------|------------------|-----------|
| %CH PSF                            | %CH LIBRE | %CH MAXIMO | %CH Seco al Aire | %CH Verde |
| 18.634                             | 119.760   | 138.394    | 16.775           | 62.898    |

**Grafica 1. Contenidos de humedad de la especie**



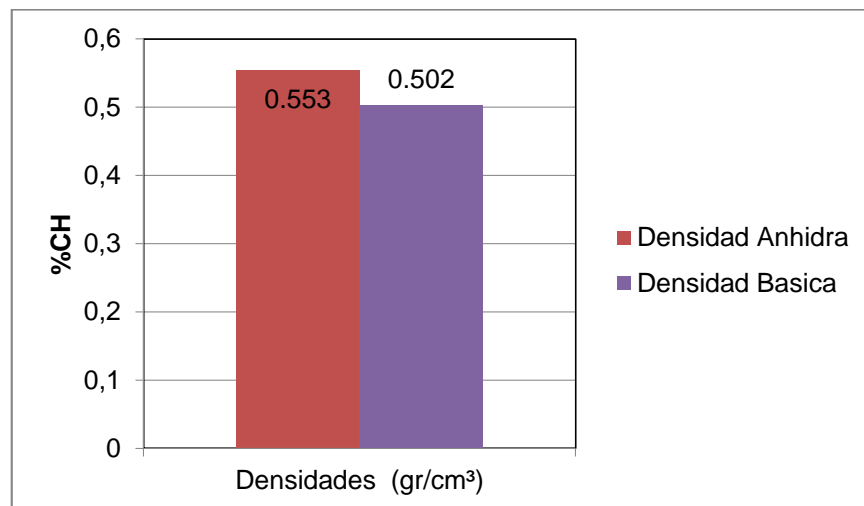
Se puede visualizar que hay un porcentaje de 86.76% de diferencia entre los contenido de humedad máximo y el punto de saturación de las fibras. El contenido

de humedad máximo hace referencia a la suma de los dos contenido de humedad, libre y punto de saturación de fibras.

El valor del contenido de humedad al punto de saturación de las fibras al ser del 18.209%, quiere expresar que bajo sus paredes celulares existe poca agua y a la hora del secado puede tener contracciones bajas.

#### 4.3.2 Densidad de la madera

**Grafica 2. Densidad anhidra y básica.**



Entre estas densidades se presenta una diferencia de 9.283% teniéndose como una madera posiblemente liviana.

**Tabla 14. Clasificación de la densidad seca al aire.**

| Clase        | Densidad seca al aire (g/cm³) |
|--------------|-------------------------------|
| Muy livianas | <0,500                        |
| Livianas     | 0,500-0,649                   |
| Semi-pesadas | 0,650 – 0,799                 |
| Pesadas      | 0,800-0,950                   |
| Muy pesadas  | >0,950                        |

Fuente: Sallenave (1955).

La especie obtuvo una densidad seca al aire de 0,6044dr/cm<sup>3</sup> clasificándose en la categoría de madera liviana.

La densidad anhidra obtenida fue de 0,5537 gr/cm<sup>3</sup> y se categorizo como liviana bajo los siguientes rangos.

**Tabla 15. Clasificación de la densidad anhidra.**

| Clase                | Densidad anhidra (g/cm <sup>3</sup> ) |
|----------------------|---------------------------------------|
| Muy livianas         | <0,35                                 |
| Livianas             | 0,35-0,55                             |
| Medianamente pesadas | 0,56-0,75                             |
| Pesadas              | 0,76-1,00                             |
| Muy pesadas          | >1,00                                 |

Fuente: Guevara (2001).

La densidad básica obtuvo un valor medio de 0.5023gr/cm<sup>3</sup> y se clasifico según la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC) establecida para la subregión Andina.

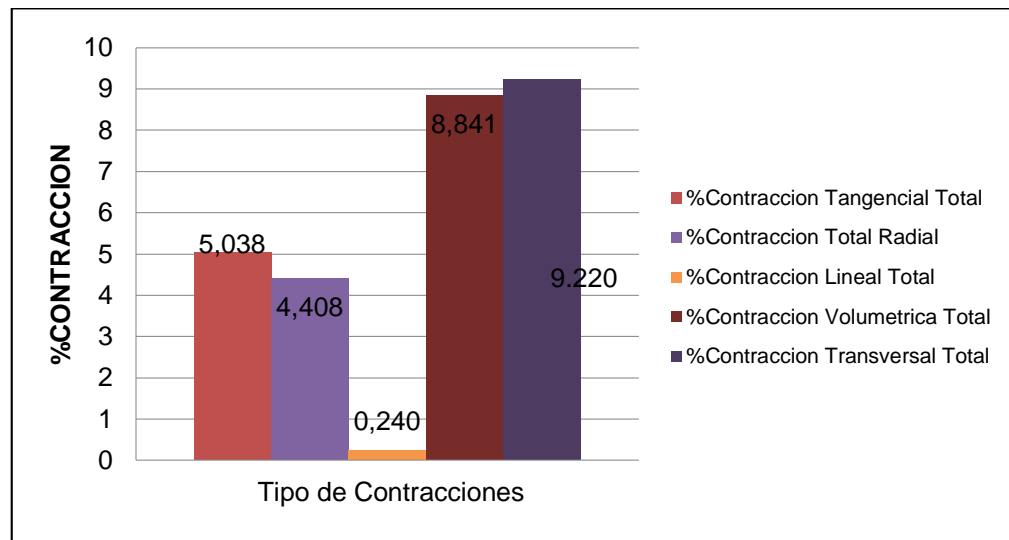
**Tabla 16. Clasificación densidad básica según la JUNAC.**

| Categoría | Rango (g/cm <sup>3</sup> ) | Valor (g/cm <sup>3</sup> ) | Nombre Común | Nombre Científico          |
|-----------|----------------------------|----------------------------|--------------|----------------------------|
| <b>A</b>  | <b>Mayor a 0,71</b>        | NA                         | NA           | NA                         |
| <b>B</b>  | <b>0,56-0,70</b>           | NA                         | NA           | NA                         |
| <b>C</b>  | <b>0,41-0,55</b>           | 0.5023                     | Almendro     | <i>Terminaliacatappa L</i> |

Fuente: JUNAC.

### 4.3.3 Contracciones de la madera

**Grafica 3. Contracciones de la especie.**



Se puede ver que la contracción tangencial es mayor a la radial, debido a la disposición de las fibras<sup>26</sup>.

**4.3.4 Contracción volumétrica de la madera:** el resultado para este parámetro fue una contracción volumétrica igual a 8.841% y clasifica en una madera con contracciones pequeñas.

**Tabla 17. Clasificación contracción volumétrica Total.**

| Categoría | Contracción volumétrica total (%) |
|-----------|-----------------------------------|
| Pequeña   | < 10                              |
| Moderada  | 10 – 15                           |
| Alta      | 15-20                             |
| Muy alta  | > 20                              |

**Fuente:** Londoño (2007).

<sup>26</sup> KOLLMANN, Franz FP.; COTE JR., W. A. Principles of Wood Science and Technology. New York: I Solid Wood, 1968. 592p. ISBN 3642879284.

**4.3.5 Coeficiente de estabilidad dimensional:** la especie arroja un CED de 1.148 y se ubica como una especie muy estable para ser usada para exteriores, aunque falta evaluar características como la resistencia al medio natural.

**Tabla 18. Clasificación coeficiente de estabilidad dimensional.**

| Clase                 | Coeficiente de estabilidad dimensional |
|-----------------------|--|
| Muy estable           | <1,5                                   |
| Estable               | 1,5-1,8                                |
| Moderadamente estable | 1,8-2,4                                |
| Inestable             | >2,4                                   |

Fuente: Lastra (1986).

Este parámetro es de especial importancia ya que indica el peligro que tiene la madera de tener agrietamientos y rajaduras a la hora de efectuarse el secado.

#### 4.4 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA

**Tabla 19. Clasificación propiedades mecánicas**

| PROPIEDAD                                      | CLASIFICACIÓN |         |          |           |          | Clasificación Especie |
|--|---------------|---------|----------|-----------|----------|-----------------------|
|  | Muy Bajo      | Bajo    | Mediano  | Alto      | Muy Alto |                       |
| Flexión (kg/cm <sup>2</sup> ) L.P              | < 250         | 252-500 | 501-750  | 751-1000  | > 1001   | ALTO                  |
| Flexión (kg/cm <sup>2</sup> )                  | 400           | 401-900 | 901-1350 | 1351-1800 | 1801     | MEDIANO               |
| Módulo de rotura                               |               |         |          |           |          |                       |
| Flexión (1000kg/cm <sup>2</sup> )              | 70            | 71-100  | 101-150  | 151-200   | 201      | BAJO                  |
| MOE  |               |         |          |           |          |                       |
| Compresión paralela (kg/cm <sup>2</sup> )      | < 200         | 201-300 | 301-450  | 451-600   | > 601    | MUY ALTO              |
| Esfuerzo en L.P                                |               |         |          |           |          |                       |
| Compresión paralela (kg/cm <sup>2</sup> )      | 300           | 301-450 | 41-700   | 701-950   | 951      | MUY ALTO              |
| Resistencia máxima                             |               |         |          |           |          |                       |
| Compresión perpendicular (kg/cm <sup>2</sup> ) | < 35          | 34-75   | 76-120   | 121-175   | 176      | MUY ALTO              |
| Esfuerzo en L.P.                               |               |         |          |           |          |                       |
| Dureza lateral (kg/cm <sup>2</sup> )           | < 200         | 201-400 | 401-800  | 801-1200  | > 1201   | ALTO                  |
| Dureza extremos (kg/cm <sup>2</sup> )          | <250          | 251-500 | 500-1000 | 1000-1500 | >1501    | ALTO                  |
| Cizallamiento (kg/cm <sup>2</sup> )            | <40           | 41-85   | 86-120   | 121-175   | >175     | MEDIANO               |

Fuente: Lastra (1981).

**4.4.1 Flexión:** en este tipo de ensayo al momento de la ruptura se pudo visualizar distintos tipos de falla, pero dentro de las más frecuentes se encontraban fallas por astillado por tensión, fractura horizontal y tensión con ruptura total.

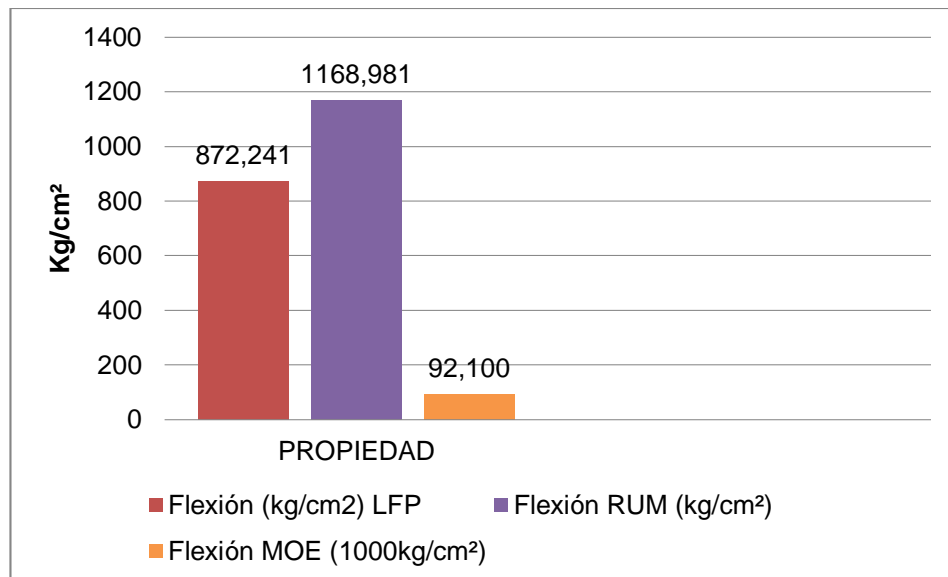
Para el límite proporcional a las fibras (LFP), la especie se clasificó como ALTO.

Para el Módulo de ruptura se posicionó con una resistencia MEDIANA.

El Módulo de elasticidad se categorizó como BAJO.

Esta prueba es base para la posterior formulación o recomendación de su uso ya sea como vigas, marcos de puertas, cerchas entre otros; dependiendo el valor de sus resultados.

**Grafica 4. Valores ensayo flexión estática.**

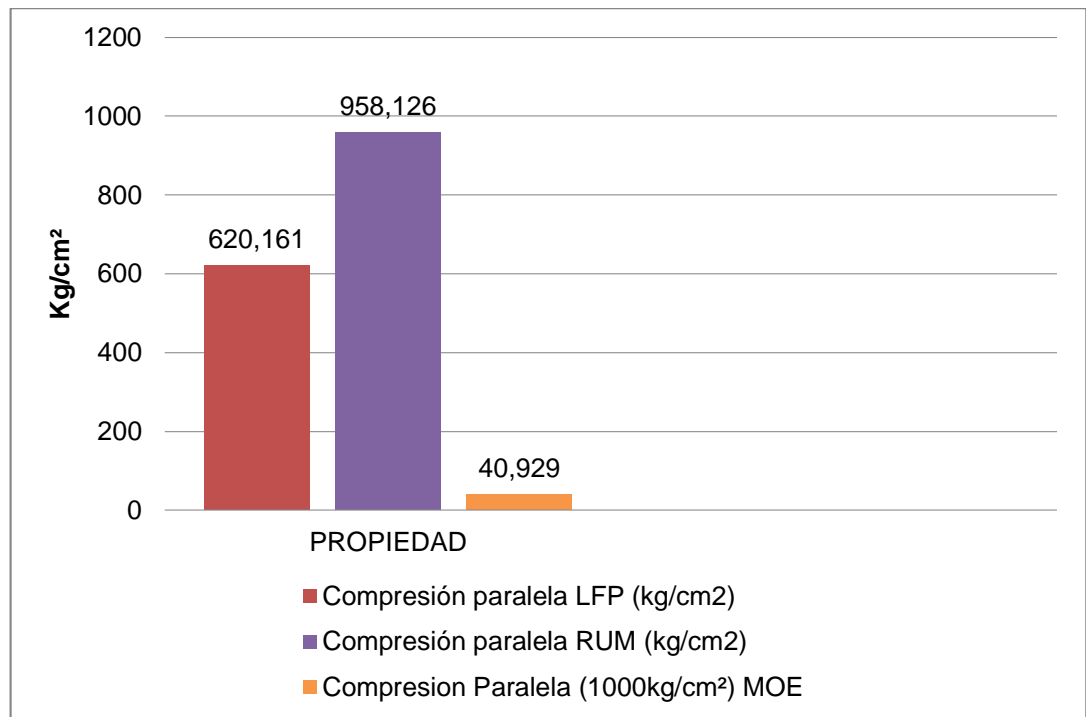


**4.4.2 Compresión paralela:** para el análisis de este ensayo se pudo ver que las fallas más frecuentes en las probetas al instante de entrar en zona plástica fueron, aplastamiento, deformación del extremo superior, llegando a tener segundos momentos de falla pero del mismo tipo.

Tanto el limite proporcional a las fibras (LFP) y la resistencia máxima se encontraron como muy altas.

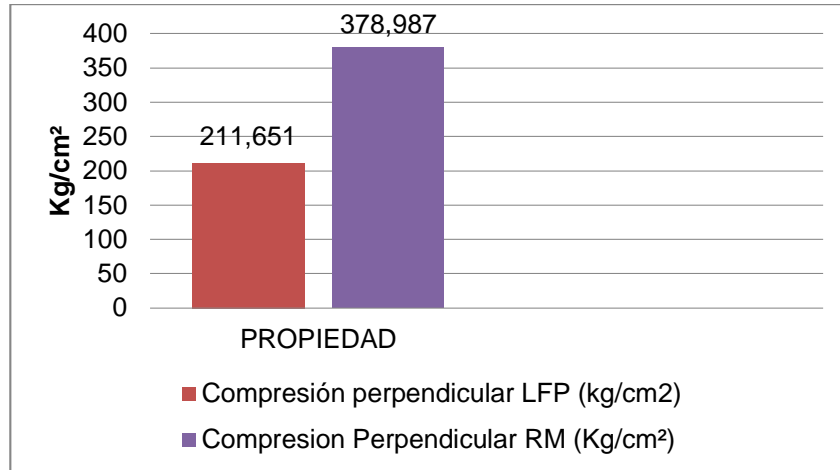
Confrontando estos resultados se puede llegar al uso más adecuado sea estructural como columnas o cualquier elemento sometido a compresión axial.

**Grafica 5. Valores ensayo de compresión paralela**



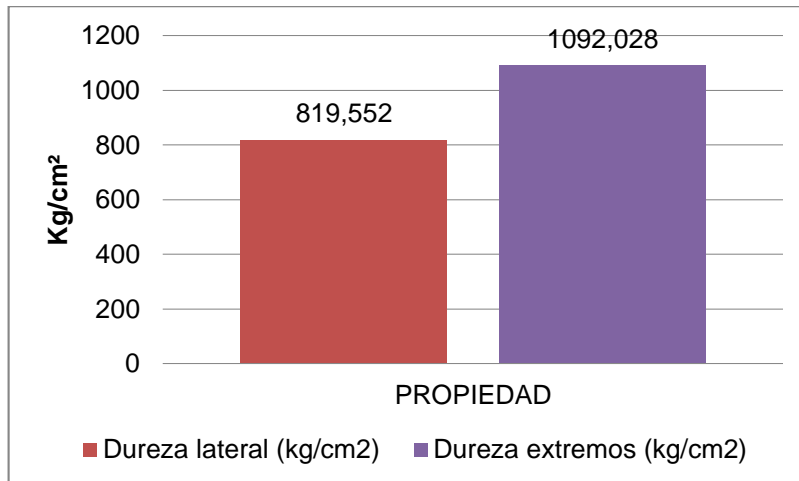
**4.4.3 Compresión perpendicular:** el limite Proporcional (LFP) se clasifico como muy alto, esta prueba indica usos como durmientes o uniones entre elementos estructurales.

**Grafica 6. Valores ensayo de compresión perpendicular**



**4.4.4 Dureza en los extremos y laterales:** su resistencia máxima se categorizo como alta, indicado para formulación de usos como pisos especialmente.

**Grafica 7. Valores ensayo de dureza**



**4.4.5 Cizallamiento paralelo:** se ubicó como mediano con un resultado de 102.588 kg/cm², interesante para la formulación de usos como techos y ensambles.

## 4.5 CLASIFICACIÓN DE LA MADERA SEGÚN NSR-10

**Tabla 20. Clasificación de la madera según NSR-10**

| Madera Tipo "ES6" Valores en (Mpa) y CH= 12% |               |        |          |        |        |       |       |
|--|---------------|--------|----------|--------|--------|-------|-------|
| Nombre Científico                            | Nombre Vulgar | DB     | E 0,5    | Fb     | Fc     | Fp    | Fv    |
| <i>Terminaliacatappa L</i>                   | Almendro      | 0.5023 | 9031.951 | 19.005 | 25.792 | 3.255 | 1.613 |

Dicha tabla registra los valores admisibles de seis parámetros que son Densidad básica (Db), media del MOE en ensayo de flexión(E0,5), RUM de flexión(Fb), RUM de compresión paralela(Fc), RLP de la compresión perpendicular(Fp), y la resistencia al corte (Fv).

Para la obtención de estos valores finales se debieron ajustar los resultados medios de los esfuerzos mediante la aplicación de factores, ya sea por duración de la carga, altura, calidad, seguridad y la aplicación del respectivo coeficiente de variación de cada una<sup>27</sup>.

El principal dato para clasificar la madera es el MOE por tanto quedó en este grupo a pesar que algunos de los datos se puedan presentar en grupos superiores.

**4.5.1 Relación de la anatomía xilemática y resistencia mecánica:** en las pruebas de compresión paralela presenta un valor muy alto puede estar influenciado por el diámetro de las fibras, el lumen reducido que llega a presentar en una cantidad de ellas, sus poros amplios puede beneficiar la dinámica para esta estructura, al igual que la cantidad de parénquima axial dentro de su estructura<sup>28</sup>.

<sup>27</sup>REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE. Titulo G- Estructuras de Madera y Estructuras de Guadua: Metodología para la obtención de esfuerzos admisibles. NSR-10. Bogotá D.C.: Comisión Asesora Permanente para Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, 2010. 156p

<sup>28</sup> RIVERA, S. LENTON, M. La Xilología y las Propiedades Mecánicas de Cinco Maderas Argentinas. *Revista Quebracho*. 1999, nro.7, p 74 -77. ISSN 1851-3026.

En compresión perpendicular es beneficiosa la longitud de sus fibras, el grosor de su pared celular que poseen algunas células y la presencia de contenidos puede influir en la no disociación celular.

En la flexión directamente relacionada con la dirección de las fibras que puede estar afectada ya que su grano no es totalmente recto si no ondulado. Las pruebas de cizallamiento, intervienen factores como la asociación de fibras su consolidación y el porcentaje de lignina en las células, parámetro que no se puede deducir en el presente estudio.

La dureza es moderada por la cantidad de parénquima e incide en que la dureza ofrecida por la especie sea alta.

Debido al largo de sus fibras, grosor y cantidad en correlación con el parénquima, le confiere un aumento en la resistencia para las pruebas de compresión y flexión<sup>29</sup>.

La presencia de radios uniseriados es indicador para la prueba de compresión perpendicular en donde son abundantes y también les da ventajas para el secado. Tanto en las dimensiones del ancho y largo de estos pueden influir en las pruebas de flexión estática y compresión paralela<sup>30</sup>.

Cabe resaltar que la especie *Terminaliacatappa*L presenta grandes cantidades de drusas en el parénquima axial y esto puede estar influyendo en el comportamiento de las propiedades, ya que la especie desgasta con mayor facilidad los discos que cortan su estructura. Además hace referencia a los cristales de sílice que le

---

<sup>29</sup> BÁRCENAS PAZOS, G. M.; [...y otros].Relación estructura-propiedades de la madera de angiospermas mexicanas. *Revista Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2014, nro. 21, p 45-55. ISSN 0186-2979.

<sup>30</sup>PEREZ,Carmen de la paz; DAVALOS, Raymundo y QUINTANAR Alejandra. Influencia de los radios en algunas propiedades físicas y mecánicas de la madera de ocho encinos (*Quercus*) de Durango, México.*Revista Madera y Bosques*, 2005, nro. 2. p.49 -69. ISSN 1405-0471

confiere resistencia al agua salada y a la durabilidad ante ataques de organismos marinos<sup>31</sup>.

**4.5.2 Usos potenciales de la especie:** para determinar los usos posibles de la especie se estabilizó el contenido de humedad de los ensayos al 0% para poderlos clasificar<sup>32</sup>.

El método consiste en el uso de una matriz formulada por Klinger, (2001) en donde reúne los esfuerzos mecánicos de 700 especies y la formulación de 78 usos posibles, dicha información es de uso restringido y no se puede visualizar en este estudio.

Para el presente trabajo la especie obtuvo los siguientes usos potenciales, que a su vez fueron clasificados en su correspondiente gradiente de utilización.

**Uso potencial medianamente recomendado:** bajalenguas, carrocerías, construcción, estacas, carpintería, ebanistería, ensambles, estibas, formaletas, fósforos, palancas para minas, puentes, vigas, marco para puertas y ventanas, estructuras e instrumentos musicales.

**Uso potencial recomendado:** acabados de interiores, armazón para silla, cajas, techos, escaleras, postes para líneas aéreas, armazón de barcos.

**Uso Potencial muy recomendado:** crucetas, embalajes, embarcaciones, artesanías, huacales, lápices, muebles, cajonería y gabinetería canaletes.

---

<sup>31</sup>LEON, Williams. Estudio anatómico de la madera e incidencias tecnológicas en 7 especies del género *Protium* Burm. F. (BURSERACEAE). *Revista Forestal Venezolana*. 2002, nro. 46. p73-82. ISSN 0556-6606.

<sup>32</sup>Ibid.p.83

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos para cada una de las pruebas físico mecánicas y su formulación de sus usos potenciales dan como resultado el uso muy recomendado para crucetas, embalajes, embarcaciones, artesanías, huacales, lápices, muebles, cajonería y gabinetería canaletes.

La especie posee una menor resistencia a la flexión debido a su grano primordialmente ondulado.

La resistencia a la compresión perpendicular es alta dado al largo de las fibras que posee, a pesar de estar por debajo de la media en el grupo de latifoliadas.

Las densidades seca al aire, anhidra y básica arrojó que es una madera liviana.

El coeficiente de estabilidad dimensional la hace una madera muy estable sin mayor problema para su secado y en la aparición de defectos debido a la pérdida del agua en su estructura.

La característica anatómica más llamativa son las drusas en parénquima, poco usual aun en especies dentro de su mismo género.

Es una especie clasificada en el grupo ES6 según la NSR-10, a pesar de tener esfuerzos admisibles más altos en algunas de sus propiedades en contraste con maderas en grupos superiores.

Los valores obtenidos para los caracteres físico-mecánicos provienen de individuos ubicados en la zona urbana del municipio de Villavicencio, que son sometidos a medidas de silvicultura urbana.

## **6. RECOMENDACIONES**

Formular los ensayos de tracción y de tenacidad, ya que en el presente estudio no fueron llevados a cabo por disponibilidad de laboratorio y elaboración adecuada de las probetas.

Incentivar el uso de esta especie para sustituir otras especies que estén siendo sobre explotadas en el territorio nacional.

La investigación sobre trabajabilidad de la madera se debe desarrollar para llegar a obtener más aplicaciones de la madera de la especie.

Estudios sobre durabilidad natural de la madera se deben desarrollar, aun no se conoce su resistencia a factores climáticos o al ataque de insectos y hongos.

Profundizar el estudio de las propiedades con distintas procedencias, ya que la especie es introducida y su desarrollo óptimo es en zonas costeras.

Someter la especie a pruebas físico-mecánicas con material proveniente de plantaciones forestales para la obtención de valores máximos.

## BIBLIOGRAFIA

AGUILERA R., Manuel. Terminaliacatappa. [En línea].México: SIRE Paquetes Tecnológicos, 2001. [Consulta 7-09-2016].Disponible en: <http://es.slideshare.net/vekerly/1013-terminalia-catappa>

BÁRCENAS PAZOS, G. M.; [...y otros]. Relación estructura-propiedades de la madera de angiospermas mexicanas. *Revista Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 2014, nro. 21, p 45-55. ISSN 0186-2979.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 1375 (27, junio, 2013). Por el cual se reglamenta las colecciones biológicas. En: Diario Oficial. Junio, 2013. Nro. 48.834. p. 1-8.

COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS. Método de ensayo de cizallamiento paralelo. [En línea]. Santiago (Chile): COPANT 463, 1972. 3 p. [Consultado en septiembre de 2016].Disponible en: <https://www.coursehero.com/file/p34jgrk/COMISION-PANAMERICANA-DE-NORMAS-T%C3%89CNICAS-COPANT-Norma-Panamericana-COPANT/>

GATICA SANCHEZ, Nilton Luis. Características generales, organolépticas, macroscópicas y estructura microscópica de la madera de coníferas y latifoliadas [En línea] Iquitos (Perú): Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, 2010. 46p. [Consultado en septiembre 2015]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/estructura-macro-y-microscopica-madera/estructura-macro-y-microscopica-madera.pdf>

IUCN SPECIES SURVIVAL COMMISSION. Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1. Cambridge: Gland and Cambridge, 2012. 34p. ISBN 978-2- 8317-1539- 1

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. Manual de diseño para maderas del grupo andino. Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales Tropicales. Cartagena: Carvajal SA, 1984. 27p.

KLINGER, William. Propiedades mecánicas y aplicaciones estructurales de la madera. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1994. 22 p.

KLINGER, William, TALERO, Yamile. Propuesta Metodológica para la Determinación de Usos Potenciales de la Madera a Partir de Parámetros Físico-Mecánicos Cuantitativos. Bogotá D.C : Universidad Distrital Francisco José de Caldas., 2001. 24 p.

KOLLMANN, Franz FP.; COTE JR., W. A. Principles of Wood Science and Technology. New York: I Solid Wood, 1968. 592p. ISBN 3642879284.

LASTRA, J. A. Aspectos generales sobre la estructura anatómica, propiedades físico mecánicas y secado de la madera. Bogotá DC: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1984. 48.p.

LEON, William. Anatomía de la Madera de Siete Especies del Genero Terminalia L. en Venezuela. Revista ScieloErnestia. 2007,nro.17 p. 40-41. ISSN 0252-8274.

LEON, Williams. Estudio anatómico de la madera e incidencias tecnológicas en 7 especies del género *Protium* Burm. F. (BURSERACEAE). *Revista Forestal Venezolana*. 2002, nro. 46. p73-82. ISSN 0556-6606.

ORWA C.; [...y otros]. *Terminaliacatappa* [En línea]. Nairobi (Kenya): WorldAgroforestry Centre, 2009. 5 p. [Citado septiembre 2016]. Disponible en: [http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Terminalia\\_catappa.pdf](http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Terminalia_catappa.pdf)

PULIDO, Nancy. Características macroscópicas de las maderas latifoliadas (Diapositivas). Bogotá D.C. : Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2014. p.43.

RANGEL, Gilberto y RINCON, Pedro. Análisis de las propiedades físico – mecánicas de tres especies forestales representativas del bosque alto andino colombiano: (*Escalloniapaniculata*), colorado (*Polylepisboyacensis*), y pino colombiano (*Prumnopitysmontanus*). Trabajo de grado Ingeniería Forestal. Málaga: Universidad Industrial de Santander, 2003. 519p.

REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE. Título G- Estructuras de Madera y Estructuras de Guadua: Metodología para la obtención de esfuerzos admisibles. NSR-10. Bogotá D.C.: Comisión Asesora Permanente para Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, 2010. 156p

RIAÑO, Diego y CORREA, Ludwin. Determinación de las características anatómicas y propiedades físico-mecánicas en la madera de las especies *Pseudolmedia laevigata* (LECHE DE PERRA) y *Uribeatamarindoides* (TAMARINDO DE MONTE). Trabajo de grado Ingeniería Forestal. Málaga: Universidad Industrial de Santander, 2014. 123 p.

RIVERA, S. LENTON, M. La Xilología y las Propiedades Mecánicas de Cinco Maderas Argentinas. *Revista Quebracho*. 1999, nro.7, p 74 -77. ISSN 1851-3026.

SALAZAR, Jaime. Maderas colombianas propiedades y criterios de diseño. Bogotá DC.: Universidad Nacional de Colombia, 2011. 86p. ISBN 978-958-761-057-4.

SALINAS, Carlos; ANANIAS, Rubén A.; ALVEAR, Mara. Simulación del secado convencional de la madera. *Revista Maderas Ciencia y tecnología*. 2004, nro 6, p. 3-18. ISSN 0718-221X.

THOMSON, Lex AJ; EVANS, Barry. Terminalia catappa (tropical almond). En: ELEVITCH, CRAIG., ed. *Species Profiles for Pacific Island Agroforestry*. Hawaii: PermanentAgricultureResources., 2006. p 1-20.

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA. Anatomía de madera. [En línea].Montevideo (Uruguay): Universidad De La Republica, 2010.1p. [Consultado en septiembre de 2016]. Disponible en: [http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp/materiales/2010/01\\_Quimica\\_y\\_Estructura\\_de\\_la\\_madera/qyedlm1.pdf](http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp/materiales/2010/01_Quimica_y_Estructura_de_la_madera/qyedlm1.pdf)

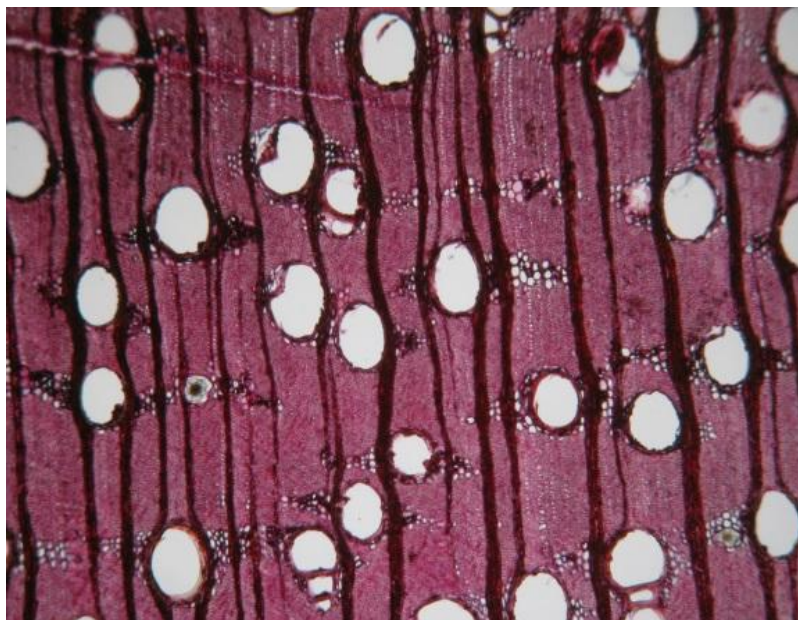
ZOBEL, BRUCE; BUIJTENEN, J.; JOHANNES P., VAN. Wood Variation. En: Causes and Control. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*.Berlín, Springer, 1989. 249-290 p. ISBN 978-3- 642-74071- 8

## ANEXOS

**Anexo A. Corte macroscópico plano transversal.**



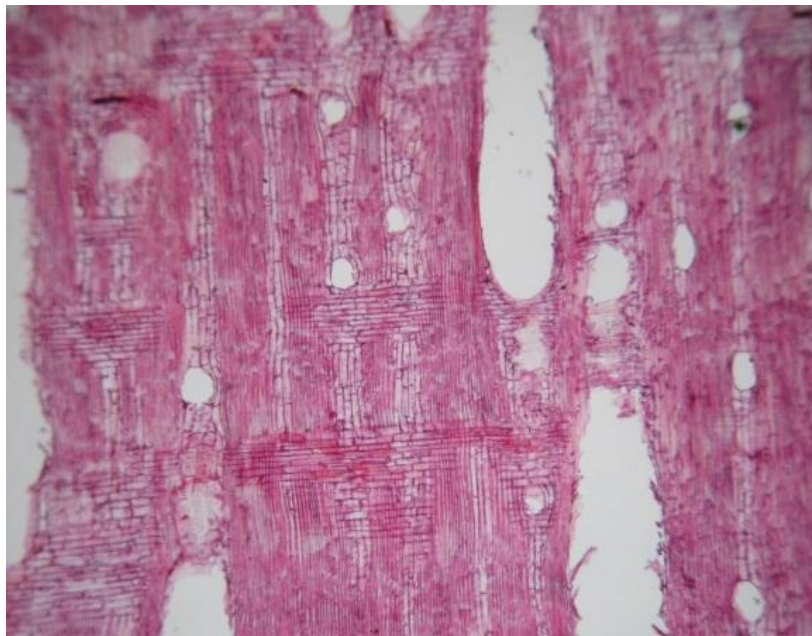
**Anexo B. Corte microscópico plano transversal.**



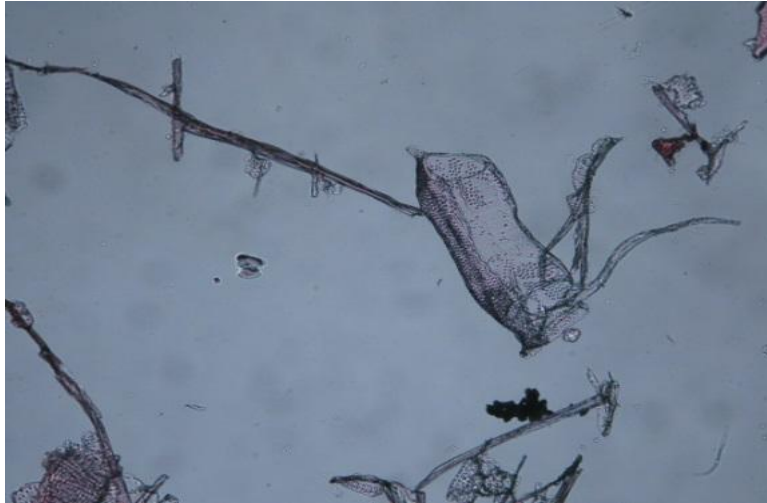
**Anexo C. Corte microscópico plano tangencial.**



**Anexo D. Corte microscópico plano radial**



### Anexo E. Disociación de elementos.



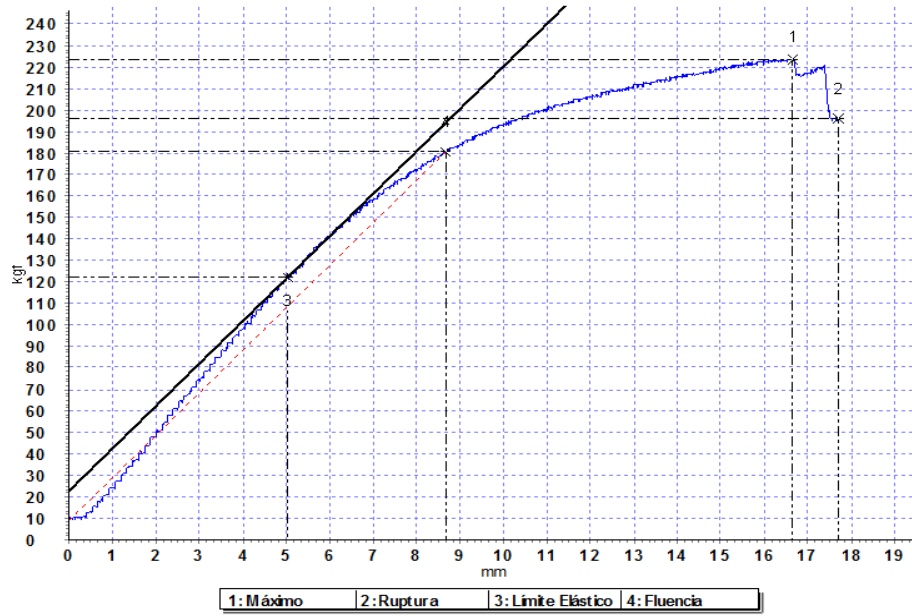
### Anexo F. Esfuerzos básicos.

| Propiedad              | Variable                     | N      | Media        | Desv.Es<br>t | C.V.      | (C.V.<br>) | V.P_Ec<br>1 | V.p_Ec2       | E.B_ec1      | E.B_ec2       |
|------------------------|------------------------------|--------|--------------|--------------|-----------|------------|-------------|---------------|--------------|---------------|
| Flexión<br>estática    | EUM<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | 6<br>0 | 1168.98      | 186.35       | 15.9<br>4 | 16         | 1122.68     | 803.720       | 3805.89<br>8 | 2724.612      |
|                        | MOE<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) |        | 92100.2<br>7 | 10476.6      | 11.3<br>7 | 22         | 89497.5     | 71566.02<br>6 | 144091.<br>0 | 115221.3<br>0 |
| Compresión<br>paralela | EUM<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | 3<br>0 | 958.12       | 163.416      | 17.0<br>5 | 18         | 896.110     | 637.829       | 2742.09<br>7 | 1951.759      |
| Cizallamien<br>to      | EUM<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | 6<br>0 | 102.54       | 13.452       | 13.1<br>1 | 14         | 99.206      | 76.181        | 655.753      | 503.558       |

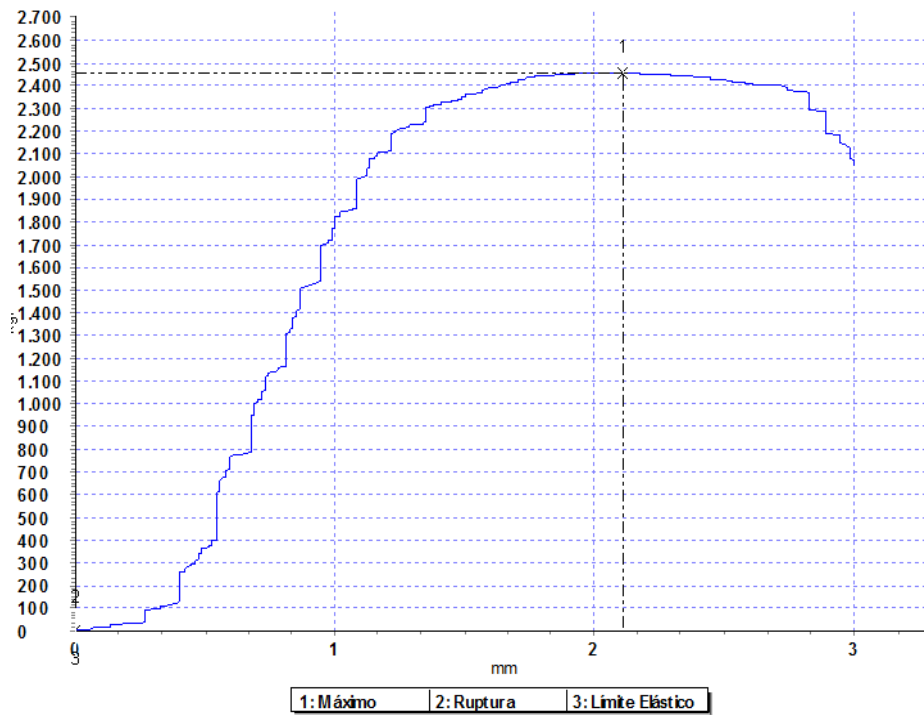
**Anexo G. Resumen propiedades físicas.**

| VARIABLE                  |                                   |                  | PROMEDIO       | DESV. EST. | VARIANZA |       |
|---------------------------|-----------------------------------|------------------|----------------|------------|----------|-------|
| DENSIDADES Y APLICACIONES | Densidades (g/cm <sup>3</sup> )   | Verde            | 0.809          | 0.089      | 0.008    |       |
|                           |                                   | Seca al Aire     | 0.604          | 0.103      | 0.011    |       |
|                           |                                   | Anhidra          | 0.554          | 0.098      | 0.010    |       |
|                           |                                   | Básica           | 0.502          | 0.086      | 0.007    |       |
|                           | Volumen Poroso (%)                |                  | 66.495         | 5.737      | 32.913   |       |
| CONTENIDOS DE HUMEDAD     | Punto de Saturación de las Fibras |                  | 18.635         | 3.754      | 14.095   |       |
|                           | Libre                             |                  | 119.760        | 34.417     | 1184.554 |       |
|                           | Máximo                            |                  | 138.395        | 36.653     | 1343.476 |       |
| CAMBIOS DIMENSIONALES     | Contracciones (%)                 | Tangencial       | Total          | 5.038      | 0.804    | 0.646 |
|                           |                                   |                  | Parcial normal | 1.851      | 1.236    | 1.528 |
|                           |                                   |                  | Parcial        | 3.234      | 1.350    | 1.823 |
|                           |                                   | Radial           | Total          | 4.408      | 0.598    | 0.358 |
|                           |                                   |                  | Parcial normal | 2.044      | 1.253    | 1.571 |
|                           |                                   |                  | Parcial        | 2.400      | 1.249    | 1.560 |
|                           |                                   | Longitudinal     | Total          | 0.240      | 0.269    | 0.072 |
|                           |                                   |                  | Parcial normal | 0.166      | 0.191    | 0.037 |
|                           |                                   |                  | Parcial        | 0.073      | 0.210    | 0.044 |
|                           |                                   | Volumétrica      | Total          | 8.841      | 2.520    | 6.352 |
|                           |                                   |                  | Parcial normal | 1.796      | 2.907    | 8.450 |
|                           |                                   |                  | Parcial        | 7.145      | 2.128    | 4.528 |
|                           |                                   | Específica Total | Radial         | 0.284      | 0.080    | 0.006 |
|                           |                                   |                  | Tangencial     | 0.249      | 0.068    | 0.005 |
|                           |                                   |                  | Longitudinal   | 0.013      | 0.015    | 0.000 |
|                           |                                   |                  | Volumétrica    | 0.469      | 0.107    | 0.011 |

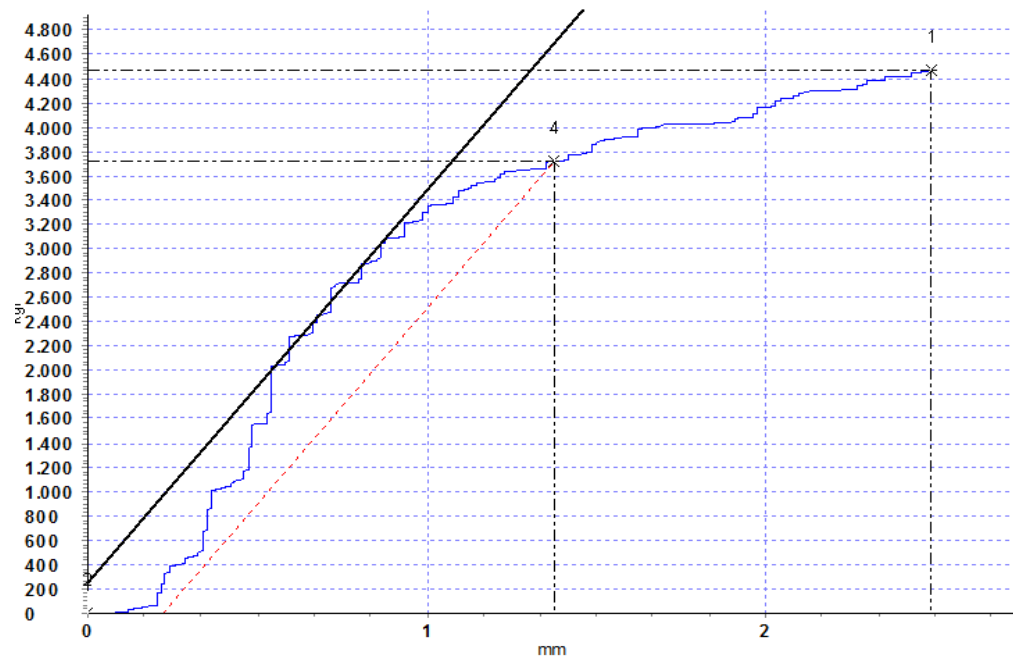
## Anexo H. Comportamiento prueba de flexión estática



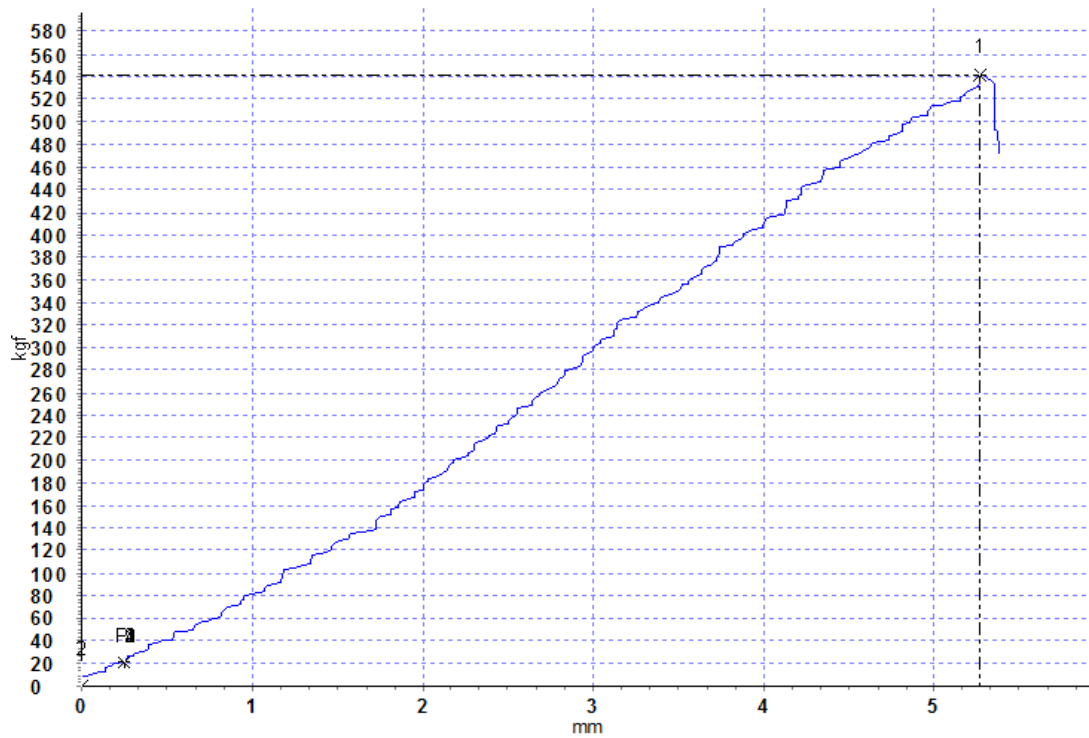
## Anexo I. Comportamiento compresión paralela.



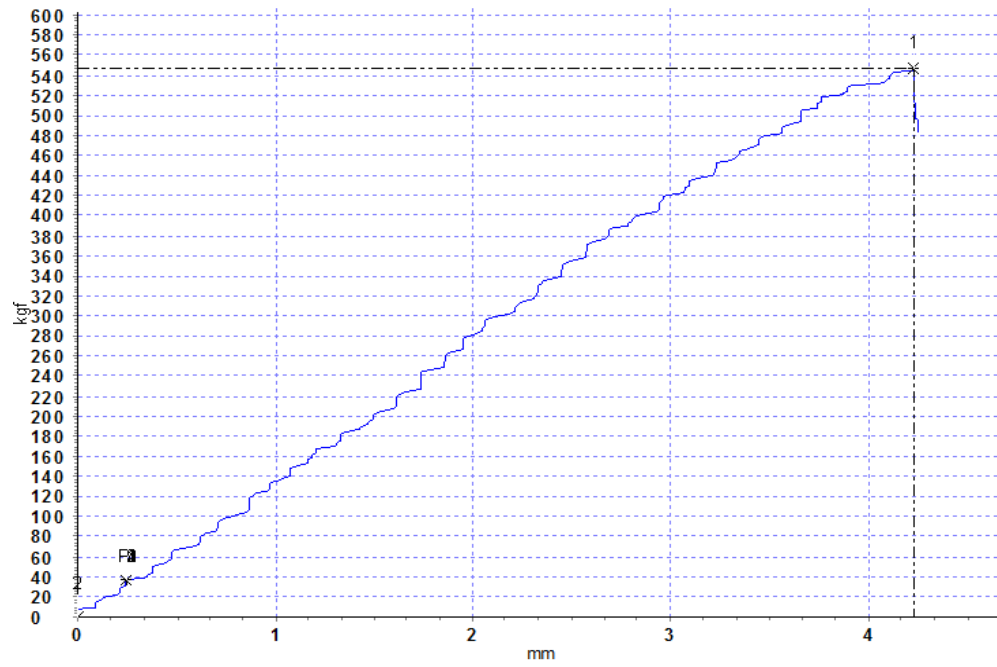
## Anexo J. Comportamiento compresión perpendicular



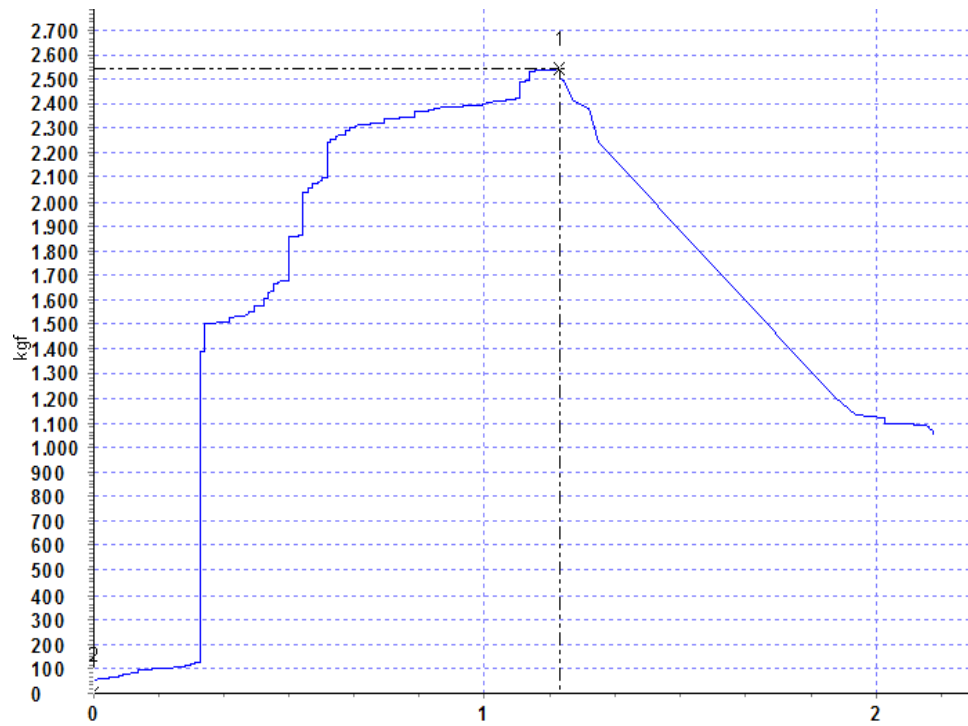
## Anexo K. Comportamiento dureza lateral



### Anexo L. Comportamiento dureza en extremos.



### Anexo M. Comportamiento cizallamiento paralelo.



**Anexo N. Detalle de superficie de falla en flexión**



**Anexo O. Detalle superficie de falla en compresión paralela**



**Anexo P. Detalle superficie de falla cizallamiento paralelo**



## Anexo Q. Permiso de movilización

| LIBERTAD Y ORDEN<br>Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible<br>República de Colombia |   | REPUBLICA DE COLOMBIA<br>CORPORACION PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL AREA DE MANEJO ESPECIAL LA MACARENA<br>SALVOCONDUCTO UNICO NACIONAL PARA LA MOVILIZACION DE ESPECIMENES DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA |  |  |  | CORMACARENA               |  |
|---|---|---|--|--|--|---------------------------|--|
| VILLAVICENCIO MUNICIPIO   |   | 50001 CODIGO  | META DEPARTAMENTO  | 50 CODIGO                                    | 20 JULIO 2016 FECHA EXPEDICION                                     | No. 1414276               |  |
| 1. TIPO DE SALVOCONDUCTO  | MOVILIZACION <input checked="" type="checkbox"/> X  | REMOVILIZACION <input type="checkbox"/>   | RENOVACION <input type="checkbox"/>  | SALVOCONDUCTO ANTERIOR No. _____             |  |                           |  |
| 2. VIGENCIA DEL SALVOCONDUCTO   | DESDE: 22 Julio 2016  |   | HASTA: 25 Julio 2016   |  |  |                           |  |
| 3. TITULAR DEL SALVOCONDUCTO  | OSCAR ALFONSO MOLANO ROMERO NOMBRE  |   | 17337314 IDENTIFICACION  | HANS VELEZ LONDOÑO REPRESENTANTE O APODERADO |  | 1121905149 IDENTIFICACION |  |
| 4. CLASE DE RECURSO   | Villavicencio DOMICILIO   |   | DIRECCION  |  | TELÉFONO   |                           |  |
| 5. INFORMACIÓN DEL APROVECHAMIENTO U OBTENCIÓN LEGAL DE LOS ESPECIMENES                     | ACTO ADMINISTRATIVO No.: CT 214 DE 2013   |   | FECHA DE EXPEDICION: 2016-07-22  |  | AUTORIDAD AMBIENTAL QUE LO OTORGA: CORMACARENA                     |                           |  |
| 6. CLASE DE APROVECHAMIENTO FORESTAL (RECURSO FLORA)  | FORMA DE OTORGAMIENTO: PERMISO <input type="checkbox"/> AUTORIZACION <input type="checkbox"/> LICENCIA <input type="checkbox"/> REGISTRO <input type="checkbox"/> OTRO <input type="checkbox"/> |   | ESPECIFICAR: _____   |  |  |                           |  |
| 7. PROCEDENCIA LEGAL DE LOS ESPECIMENES   | OSCAR ALFONSO MOLANO NOMBRE TITULAR   |   | ESTABLECIMIENTO: Villavicencio   |  | TELÉFONO   |                           |  |
| 8. RUTA DEL DESPLAZAMIENTO  | DOMICILIO: Villavicencio  |   | DIRECCION  |  | TELÉFONO   |                           |  |
| 9. MODO DE TRANSPORTE   | COMERCIAL <input type="checkbox"/> FOMENTO <input checked="" type="checkbox"/> X  |   | EXHIBICIONES <input type="checkbox"/> ORNATO <input type="checkbox"/> REUBICACION <input type="checkbox"/> PRÉSTAMO O CANJE ENTRE COLECCIONES <input type="checkbox"/> OTRO <input type="checkbox"/> |  | FINALIDAD DEL APROVECHAMIENTO                                      |                           |  |
| 10. TRANSPORTADOR   | BOSQUE NATURAL: UNICO <input type="checkbox"/> PERSISTENTE <input type="checkbox"/> DOMESTICO <input type="checkbox"/>  |   | PLANTACION FORESTAL: CULTIVO O VIVERO <input type="checkbox"/> OTRO <input checked="" type="checkbox"/> X ESPECIFICAR: Aprov. For. Árb. Alisados Pisosgo   |  |  |                           |  |
| 11. NOMBRE CIENTÍFICO   | CASCO URBANO VEREDA   |   | VILLAVICENCIO MUNICIPIO  |  | 50001 CODIGO META DEPARTAMENTO                                     |                           |  |
| 12. NOMBRE COMÚN  | ORIGEN: CASCO URBANO VEREDA   |   | MUNICIPIO: VILLAVICENCIO   |  | CODIGO: 50001 DEPARTAMENTO: META                                   |                           |  |
| 13. DESCRIPCIÓN   | A: VILLAVICENCIO MUNICIPIO  |   | MUNICIPIO: VILLAVICENCIO   |  | MUNICIPIO: VILLAVICENCIO   |                           |  |
| 14. IDENTIFICACIÓN  | MUNICIPIO: Bogotá   |   | CODIGO: 203  |  | DEPARTAMENTO: Bogotá   |                           |  |
| 15. CANTIDAD (Número y Letras)  | TERRESTRE <input checked="" type="checkbox"/> X   |   | AEREO <input type="checkbox"/>   |  | FLUVIAL <input type="checkbox"/> MARITIMO <input type="checkbox"/> |                           |  |
| 16. UNID. DE MEDIDA   | EMPRESA: PARTICULAR   |   | TIPO DE VEHICULO: CAMION 600   |  | MATRICULA: WLT430  |                           |  |
| 17. DIMENSIONES   | RESPONSABLE: JULIAN CARLOS ARDILA   |   | IDENTIFICACION: 80141077   |  | MATRICULA:   |                           |  |
| INFORMACIÓN DE LOS ESPECIMENES  |   |   |  |  |  |                           |  |
| Terminalla catappa  | Almendru  | ROLLIZA   | SN   | Cero punto Veintidós m3 0.25                 | 13   | VARIAS                    |  |
| FIN DE ESPECIES CORMACARENA   |   |   |  |  |  |                           |  |