

**DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS ANATOMICAS Y  
PROPIEDADES FISICO-MECANICAS EN LA MADERA DE LAS ESPECIES  
*Pseudolmedia laevigata* (LECHE DE PERRA ) Y *Uribea tamarindoides*  
(TAMARINDO DE MONTE)**

**LUDWIN ADOLFO CORREA DUARTE  
DIEGO ALEJANDRO RIAÑO MENDEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
INSTITUTO DE PROYECCION REGIONAL Y EDUCACION A DISTANCIA  
“IPRED”  
PROGRAMA DE INGENIERIA FORESTAL  
MALAGA 2014**

**DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS ANATOMICAS Y  
PROPIEDADES FISICO-MECANICAS EN LA MADERA DE LAS ESPECIES  
*Pseudolmedia laevigata* (LECHE DE PERRA ) *Uribea tamarindoides*  
(TAMARINDO DE MONTE)**

**LUDWIN ADOLFO CORREA DUARTE  
DIEGO ALEJANDRO RIAÑO MENDEZ**

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

**Director  
HERWIN RAMIRO ROA CAICEDO  
Ingeniero Forestal**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
INSTITUTO DE PROYECCION REGIONAL Y EDUCACION A DISTANCIA  
“IPRED”  
PROGRAMA DE INGENIERIA FORESTAL  
MALAGA  
2014**

## **DEDICATORIA**

Hoy alabo a DIOS por las gracias que manifestó en mí a través de este enorme camino que he recorrido.

Doy gracias a mis padres a quien me ha heredado el tesoro más valioso que pueden darle a un hijo: amor sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado gran parte de su vida para formarme y educarme. A quienes la ilusión de su vida ha sido en convertirme en una persona de provecho, a quienes nunca podré pagar todos sus desvelos.

Infinitamente agradezco el apoyo de mis hermanos que me han brindado para subir este escalón que será el inicio de mi profesión.

.

## **AGRADECIMIENTOS**

A todas las personas que participaron e hicieron posible este proyecto, muchas gracias por su apoyo y enseñanzas.

Al Ingeniero Luis Bernardo Torres por ser nuestro mejor amigo, nuestro aliado, nuestro ejemplo, gracias por todo su apoyo.

Al Ingeniero Herwin Ramiro Roa, Ingeniera Nancy Pulido y a todos mis amigos y compañeros, maestros quienes formaron parte de esta aventura, siempre quedaran en nuestro recuerdo.

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                          | Pág., |
|----------------------------------------------------------|-------|
| INTRODUCCION                                             | 18    |
| 1. OBJETIVOS                                             | 19    |
| 1.1 OBJETIVOS GENERAL                                    | 19    |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS                                | 19    |
| 2. MARCO TEORICO                                         | 20    |
| 2.1 CLASIFICACIÓN BOTÁNICA <i>Uribea tamarindoides</i>   | 20    |
| 2.1.1 Descripción dendrologica                           | 20    |
| 2.1.2 Distribución y ecología                            | 21    |
| 2.1.3 Estado de conservación                             | 21    |
| 2.2 CLASIFICACIÓN BOTÁNICA <i>Pseudolmedia laevigata</i> | 21    |
| 2.2.1 Descripción dendrológica                           | 22    |
| 2.2.2 Distribución                                       | 24    |
| 2.2.3 Fauna asociada                                     | 24    |
| 2.2.4 Estructura microscópica de la madera               | 25    |
| 2.2.5 Estructura macroscópica                            | 27    |
| 2.2.6 Duramen - Albura                                   | 27    |
| 2.2.7 Anillos de crecimiento                             | 28    |
| 2.2.8 Radios leñosos                                     | 28    |
| 2.2.9 Madera juvenil                                     | 29    |
| 2.2.10 Madera de reacción                                | 29    |
| 2.2.11 Dirección axial o longitudinal                    | 29    |
| 2.2.12 Dirección radial                                  | 29    |
| 2.2.13 Dirección tangencial                              | 30    |
| 2.3 PROPIEDADES FÍSICAS                                  | 32    |
| 2.3.1 Humedad                                            | 33    |
| 2.3.2 Densidad                                           | 34    |
| 2.3.3 Contracción e Hinchamiento                         | 35    |
| 2.3.4 Hinchazón y merma de la madera                     | 36    |
| 2.3.5 Contracción normal                                 | 36    |
| 2.3.5.1 Coeficiente de contracción volumétrica           | 36    |

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.6 Dureza                                                                    | 38 |
| 2.3.7 Conductividad                                                             | 38 |
| 2.3.7.1 Dilatación térmica                                                      | 38 |
| 2.3.7.2 Duración                                                                | 39 |
| 2.4 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA EN RELACIÓN A LA DIRECCIÓN DE SUS FIBRAS | 39 |
| 2.4.1 Higroscopicidad                                                           | 40 |
| 2.4.2 Elasticidad-deformabilidad                                                | 41 |
| 2.4.3 Flexibilidad                                                              | 42 |
| 2.4.4 Dureza                                                                    | 42 |
| 2.4.5 Esfuerzo cortante                                                         | 43 |
| 2.4.6 Hendibilidad                                                              | 43 |
| 2.4.7 Desgaste                                                                  | 44 |
| 2.4.8 Resistencia al choque                                                     | 44 |
| 2.4.9 Resistencia a la tracción                                                 | 44 |
| 2.4.9.1 Factores que afectan la resistencia a la tracción                       | 45 |
| 2.4.9.2 Inclinación de la fibra                                                 | 44 |
| 2.4.10 Resistencia a la compresión                                              | 44 |
| 2.4.11 Flexión estática                                                         | 45 |
| 2.4.11.1 Factores que influyen en la resistencia a la flexión                   | 46 |
| 2.4.12 Compresión Paralela al grano                                             | 48 |
| 2.4.13 Tracción Perpendicular al grano                                          | 49 |
| 2.4.14 Tracción Paralela al grano                                               | 49 |
| 2.4.15 Corte o cizallamiento                                                    | 49 |
| 3. MARCO LEGAL                                                                  | 49 |
| 4. MARCO CONCEPTUAL                                                             | 51 |
| 5. METODOLOGIA                                                                  | 55 |
| 5.1 SELECCIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO                                           | 55 |
| 5.2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO                                           | 56 |
| 5.3. IDENTIFICACIÓN DE LAS ESPECIES                                             | 56 |
| 5.4 POBLACIÓN Y MUESTRA                                                         | 56 |
| 5.5 ELECCIÓN DE LA MUESTRA                                                      | 57 |
| 5.6 EDAD DE LOS ARBOLES                                                         | 58 |
| 5.7 TRANSPORTE                                                                  | 58 |
| 5.8 APILADO Y SECADO DE LA MADERA                                               | 59 |
| 5.9 CALIDAD DE LA MADERA                                                        | 59 |

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 5.10 OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS                             | 60 |
| 5.11 NUMERO DE PROBETAS POR ENSAYO                         | 61 |
| 5.12 ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS                    | 61 |
| 5.12.1 Estudio de las propiedades organolépticas           | 61 |
| 5.12.2 Densidad de la madera                               | 62 |
| 5.12.3 Contracciones                                       | 63 |
| 5.13 CLASIFICACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS              | 64 |
| 5.14 ESTUDIO ANATÓMICO DE LA MADERA                        | 65 |
| 5.14.1 Ablandamiento de la madera                          | 66 |
| 5.14.2 Elaboración de cortes para las microtomías          | 67 |
| 5.15 ENSAYOS MECANICOS                                     | 69 |
| 5.15.1 Ajuste de contenido de humedad                      | 71 |
| 5.15.2 Procesamiento estadístico de datos                  | 70 |
| 5.15.3 Cálculos de esfuerzo básico                         | 71 |
| 5.15.4 Ensayo de flexión                                   | 73 |
| 5.15.5 Ensayo de dureza anca                               | 74 |
| 5.15.6 Ensayo de impacto                                   | 76 |
| 5.15.7 Ensayo de compresión                                | 77 |
| 5.15.8 Ensayo de tracción                                  | 79 |
| 5.15.8.1. Tracción perpendicular de las fibras             | 79 |
| 5.15.8.2 Tracción paralela de las fibras                   | 80 |
| 5.15.9 Ensayo de cizallamiento                             | 80 |
| 5.16 CLASIFICACIÓN DE LA MADERA SEGÚN LA NSR.10            | 80 |
| 5.17 USOS POTENCIALES                                      | 83 |
| 5.18. TABULACION DE DATOS                                  | 83 |
| 6. RESULTADOS                                              | 82 |
| 6.1 EQUILIBRIO HIGROSCOPICO                                | 84 |
| 6.2 CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS                         | 85 |
| 6.3 CARACTERISTICAS MICROSCOPICAS                          | 86 |
| 6.4 CARACTERISTICAS MICROSCOPICAS                          | 86 |
| 6.5. PROPIEDADES FISICAS                                   | 90 |
| 6.6 CLASIFICACION DE LA MADERA SEGÚN PROPIEDADES MECANICAS | 91 |
| 7. ANALISIS DE RESULTADOS                                  | 91 |
| 7.1 USOS POTECIALES                                        | 92 |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 8. CONCLUSIONES    | 95  |
| 9. RECOMENDACIONES | 98  |
| BIBLIOGRAFIA       | 99  |
| ANEXOS             | 102 |



## LISTA DE TABLAS

|                                                                                                            | pág. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Tabla 1. Inclinação del grano vs esfuerzo de ruptura                                                       | 45   |
| Tabla 2. Población y muestra                                                                               | 57   |
| Tabla 3. Clasificación de las propiedades físicas                                                          | 65   |
| Tabla 4. Clasificación estructural de la madera                                                            | 66   |
| Tabla 5. Especificaciones de las probetas utilizadas por ensayo                                            | 70   |
| Tabla 6. Normas aplicadas a los diferente ensayos                                                          | 71   |
| Tabla 7. Aumento promedio de las propiedades mecánicas por cada 1% de variación en el contenido de humedad | 72   |
| Tabla 8. Coeficientes de variación máximos admisibles para las propiedades evaluadas según ASTM            | 73   |
| Tabla 9. Factores de ajuste utilizados para el cálculo de esfuerzos básicos                                | 74   |
| Tabla 10 Esfuerzos admisibles $f_i$ , MPA %c.h =12 %                                                       | 82   |
| Tabla 11. Módulo de elasticidad longitudinal $E_i$ (MPA)                                                   | 82   |
| Tabla 12. Clasificación de propiedades físicas <i>Pseudolmedia laevigata</i> (Leche de perra)              | 90   |
| Tabla 13 Clasificación de propiedades físicas de la especie <i>Uribea tamarindoides</i>                    | 91   |
| Tabla 14. Clasificación de la madera por grupos SEGÚN<br>NSR 10TITULO G                                    | 91   |
| Tabla 15. Clasificación de la madera de final de la madera                                                 | 93   |
| Tabla 16. Contenido de humedad <i>Pseudolmedia laevigata</i>                                               | 103  |
| Tabla 17. Contenido de humedad <i>Uribea tamarindoides</i>                                                 | 104  |
| Tabla 18. Densidad verde de <i>Pseudolmedia laevigata</i> (leche perra)                                    | 105  |
| Tabla 19. Densidad verde de <i>Uribea tamarindoides</i> (tamarindo de monte)                               | 106  |
| Tabla 20. Densidad seca al horno <i>Pseudolmedia laevigata</i> (leche perra)                               | 107  |
| Tabla 21. Densidad seca al horno <i>Uribea tamarindoides</i> (tamarindo de monte)                          | 108  |
| Tabla 22. Densidad básica de la madera leche perra                                                         | 109  |

|                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 23. Densidad básica de la madera <i>Uribea tamarindoides</i> (tamarindo de monte)              | 110 |
| Tabla 24. Contracciones en la madera de <i>Pseudolmedia laevigata</i> (leche perra)                  | 111 |
| Tabla 25. Contracciones en la madera <i>Uribea tamarindoides</i> (Tamarindo de monte)                | 112 |
| Tabla 26. Relación de la contracción volumétrica de <i>Uribea tamarindoides</i> (Tamarindo de monte) | 113 |
| Tabla 27. Relación de la contracción volumétrica <i>Pseudolmedia laevigata</i> (leche de perra)      | 113 |
| Tabla 28. Contenido de humedad <i>Uribea tamarindoides</i> (Tamarindo de monte)                      | 114 |
| Tabla 29. Contenido de humedad <i>Pseudolmedia laevigata</i> (leche de perra)                        | 115 |
| Tabla 30. Flexión: <i>Pseudolmedia laevigata</i> (leche perra)                                       | 116 |
| Tabla 31. Compresión paralela <i>Pseudolmedia laevigata</i> (leche perra)                            | 117 |
| Tabla 32. Compresión perpendicular <i>Pseudolmedia laevigata</i>                                     | 118 |
| Tabla 33. Cizallamiento <i>Pseudolmedia laevigata</i> (leche perra)                                  | 119 |
| Tabla 34. Tensión paralela <i>Pseudolmedia laevigata</i> (leche perra)                               | 120 |
| Tabla 35. Flexión <i>Uribea Tamarindoides</i> (Tamarindo de monte)                                   | 121 |
| Tabla 36. Compresión paralela <i>Uribea Tamarindoides</i> (Tamarindo de monte)                       | 122 |
| Tabla 37. compresión paralela <i>Uribea tamarindoides</i> (tamarindo de monte)                       | 123 |
| Tabla 38. Tensión <i>Uribea Tamarindoides</i> (Tamarindo de monte)                                   | 124 |
| Tabla 39. Cortante <i>Uribea Tamarindoides</i>                                                       | 125 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                        | pág. |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Figura 1.</b> Distribución del <i>Pseudolmedia laevigata</i> a nivel mundial.       | 24   |
| <b>Figura 2.</b> Partes de la sección normal al eje del árbol                          | 31   |
| <b>Figura 3.</b> Ubicación general del área de estudio.                                | 56   |
| <b>Figura 4.</b> Estabilización contenido de humedad seco al aire. leche perra         | 83   |
| <b>Figura 5.</b> Estabilización contenido de humedad seco al aire. Tamarindo de monte  | 84   |
| <b>Figura 6.</b> Comportamiento a flexión, <i>Pseudolmedia laevigata</i> (leche perra) | 116  |
| <b>Figura 7.</b> Comportamiento a compresión paralela de Leche de perra                | 117  |
| <b>Figura 8.</b> Comportamiento a compresión perpendicular Leche perra                 | 118  |
| <b>Figura 9.</b> Comportamiento a cizallamiento <i>Pseudolmedia laevigata</i>          | 119  |
| <b>Figura 10.</b> Comportamiento a Tensión paralela <i>Pseudolmedia laevigata</i>      | 120  |
| <b>Figura 11.</b> Comportamiento a Flexión <i>Uribea Tamarindoides</i>                 | 121  |
| <b>Figura 12.</b> Comportamiento a Compresión paralela Tamarindo de monte              | 122  |
| <b>Figura 13.</b> Comportamiento a Compresión Perpendicular Tamarindo de monte         | 123  |
| <b>Figura 14.</b> Comportamiento a Tensión <i>Uribea Tamarindoides</i>                 | 124  |
| <b>Figura 15.</b> Comportamiento a Cortante Tamarindo de monte                         | 125  |

## LISTA DE ANEXOS

|                                                     | <b>Pág.</b> |
|-----------------------------------------------------|-------------|
| <b>Anexo A.</b> Contenido de humedad de la madera   | 103         |
| <b>Anexo B.</b> Densidad verde de la madera         | 105         |
| <b>Anexo C.</b> Densidad seca al horno de la madera | 107         |
| <b>Anexo D.</b> Densidad básica de la madera        | 109         |
| <b>Anexo E.</b> Calculo de contracción en la madera | 111         |
| <b>Anexo F.</b> Relación contracción volumétrica    | 113         |
| <b>Anexo G.</b> Contenido de humedad                | 114         |
| <b>Anexo H.</b> Pruebas mecánicas de la madera.     | 116         |

## RESUMEN

**TITULO:** DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS ANATOMICAS Y PROPIEDADES FISICO-MECANICAS EN LA MADERA DE LAS ESPECIES *Pseudolmedia laevigata* (LECHE DE PERRA) y *Uribea tamarindoides* (TAMARINDO DE MONTE)

**AUTORES:** LUDWIN ADOLFO CORREA DUARTE, DIEGO ALEJANDRO RIAÑO MENDEZ\*\*

**PALABRAS CLAVES:** MADERA, RESISTENCIA, PROPIEDADES MECANICAS, LECHE PERRA, TAMARINDO DE MONTE.

### DESCRIPCIÓN

Este trabajo se realizó con el fin de determinar propiedades físico mecánicas y anatómicas de las Especies *Pseudolmedia laevigata* y *Uribea Tamarindoides*. Las técnicas usadas para este procedimiento se tomaron de las propiedades físicas, anatómicas que se evaluaron por observación de las microtomías, mediante el microscopio, observando su estructura anatómica en cada uno de sus cortes Radial, tangencial, transversal.

Para la ejecución de los ensayos mecánicos se utilizó la maquina Universal Morhr federafht con capacidad máxima de 6000 Kg, se aplicaron las Normas técnicas colombianas (ICONTEC), para los ensayos tecnológicos de flexión, compresión tensión paralela, cortante, impacto y dureza hanka, finalmente se realizó el análisis estadístico de las muestras con base en la media aritmética y con la desviación estándar, mostrando su validez estadística por medio del análisis del coeficiente de variación. Los resultados se ajustaron al 12% de contenido de humedad y con base en ellos se calcularon los esfuerzos básicos; determinando los posibles usos estructurales de cada madera.

La determinación de las propiedades mecánicas fueron realizadas de acuerdo con los módulos de elasticidad y su capacidad de resistencia mediante los esfuerzos admisibles en cada uno de los ensayos mencionados anteriormente que se ha clasificado en maderas tipo ESE 4, *Uribea tamarindoides* y ESE6 *Pseudolmedia laevigata* según la norma NSR 10 título G.

---

\* Trabajo de grado

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

## ABSTRACT

**TITLE:** DETERMINATION OF THE ANATOMICAL AND PHYSICAL – MECHANICAL FEATURES IN THE WOOD OF THE SORTS *Pseudolmedia laevigata* (LECHE DE PERRA) AND *Uribea tamarindoides* (TAMARINDO DE MONTE).

**AUTHORS:** LUDWIN ADOLFO CORREA DUARTE, DIEGO ALEJANDRO RIAÑO MENDEZ\*\*

**KEYWORDS:** WOOD, RESISTANCE, MECHANICAL PROPERTIES, LECHE PERRA, TAMARINDO DE MONTE.

### DESCRIPTION

This work was achieved in order to determine physical – mechanical and anatomical properties of the sorts *Pseudolmedia laevigata* and *Uribea tamarindoides*.

Techniques used for this procedure were taken out from the physical – anatomical properties that were evaluated by watching the microtomies by means of the microscope, watching its anatomical structure in each one of its cuttings: Radial, tangential and transversal.

To perform the mechanical tests the Universal machine Morhr federafht with a maximal capacity of 6000 kg was used, the Colombian technical standards ICONTEC were applied, for the flexion, compression, parallel tension, cutting, impact and hanca hardness technological tests. Finally, the statistical analysis of the samples was achieved taking in consideration the arithmetic media and with the standard deviation showing its statistical validity by means of the variation coefficient analysis. The results were fitted to the 12%.

The determination of the mechanical properties was achieved according to the elasticity modules and their resistance capacity by means of admissible strains in each one of the tests earlier mentioned, which have been classified as type ESE4 woods *Uribea tamarindoides* and ESE6 *Pseudolmedia laevigata* according to the NSR 10 standard, title G.

---

\* Bachelor Thesis.

\*\*Regional Projection and Distance Education Institute IPRED. Forestal Engineering program, Director: Herwin Ramiro Roa Caicedo, Forestal Engineer.

## INTRODUCCION

La provincia de Soto cuenta con una alta Biodiversidad de flora, pero la falta de investigación y la presión de la población y las empresas madereras hacia las especies comerciales hacen que diariamente disminuyan sus volúmenes y sus poblaciones boscosas estén mermando.

Es necesario que a nivel regional se incentive y fomente la investigación de nuevas especies forestales en el campo tecnológico (Anatomía, Propiedades Físicas y Mecánicas, composición química, Trabajabilidad, Secado, Preservado, etc.), para recomendar y promocionar las maderas no tradicionales en el mercado nacional e internacional; buscando un aporte para el manejo forestal sea económicamente rentable para los concesionarios forestales y así disminuir la presión irracional de nuestros bosques.

Es a partir de esto, que se plantea como objetivo principal de este proyecto de investigación, determinar y evaluar las propiedades anatómicas, físicas, mecánicas de la madera de leche de perra (*Pseudolmedia laevigata*) y tamarindo de monte (*uribea tamarindoides*), bajo condiciones de laboratorio, procedente de las zonas boscosas de la provincia de Soto, con estas características de cierto modo nos ayudara en definir el comportamiento de las maderas con respecto a su trabajabilidad desde su punto de vista anatómico y sus propiedades físico mecánicas. Con estos datos obtenidos se lograra tener una referencia acerca de las propiedades fisicomecanicas de estas especies, para facilitar la correspondiente trabajabilidad a esta clase de maderas.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar las características anatómicas, físicas y mecánicas de la madera de las especies *Pseudolmedia laevigata* (leche de perra) y *Uribea tamarindoides* (tamarindo de monte), mediante ensayos de laboratorio.

### **1.2. OBJETIVO ESPECIFICOS**

Analizar las propiedades físicas de las especies *Pseudolmedia laevigata* y *Uribea tamarindoides*, mediante observación directa.

Estudiar las características anatómicas, macroscópicas y microscópicas de las especies *Pseudolmedia laevigata* y *Uribea tamarindoides*,

Determinar las propiedades mecánicas de las madera de *Pseudolmedia laevigata* y *Uribea tamarindoides* mediante ensayos de flexión, compresión, cizallamiento, dureza hanka y tensión.



## 2. MARCO TEORICO

### 2.1 CLASIFICACIÓN BOTÁNICA *Uribea tamarindoides*

Características generales de la especie *Uribea tamarindoides*



**Nombre común:** tamarindo de monte, algarrobillo

**Nombre científico:** *Uribea tamarindoides*

**Familia:** Fabaceae

#### 2.1.1 Descripción dendrológica

El árbol alcanza 40 m. de altura y un diámetro de 100 cm.; tronco cilíndrico, recto; aletones medianamente desarrollados. Corteza liza de color marrón oscuro con abundantes lenticelas. Exudado cristalino rojizo que emerge por poros; lentamente; es pegajoso y resinoso. Sus hojas son compuestas, imparipinadas, disticas, con estipulas caeidasas lineales; foliolos alternos de 5 a 19 con pequeñas estipulas en el raquis. Ramitas jóvenes con lenticelas diminutas.

Sus flores están dispuestas en manojos en las axilas de las hojas, medianas de color entre morado y lila. Los frutos son en legumbre de 3 a 13 cm. de longitud con una o varias semillas en medio de una pulpa de color pardo con olor penetrante de sabor amargo.

### **2.1.2 Distribución y ecología**

Se distribuye en Costa Rica, Panamá y Colombia (Antioquia, choco, Leticia, Santander) en elevaciones bajas, en climas húmedos a muy húmedos.

### **2.1.3 Estado de conservación**

No ha sido catalogado como una especie amenazada. En Colombia, sin embargo, presenta una distribución bastante localizada. Esto, sumado a la deforestación y al Aprovechamiento excesivo de su madera, puede estar poniendo en peligro su supervivencia.<sup>1</sup>

## **2.2 CLASIFICACIÓN BOTÁNICA *Pseudolmedia laevigata*.**

### **Mosaico características generales de la especie *Pseudolmedia laevigata***



---

<sup>1</sup> EL VALLE, Jorge Ignacio. Introducción a la Dendrología de Colombia. Medellín: Universidad de Colombia. 1972. 103p.



**Nombres comunes:** En Colombia se le conoce con el nombre de leche chivo, leche de perra

**Familia:** Moraceae

### **2.2.1 Descripción Dendrológica**

#### **Árbol**

Alcanza hasta los 25 m de altura y 50 cm de diámetro; tronco derecho, con nudos o abultamientos distribuidos irregularmente, copa proporcionalmente menor que el tronco, con ramas verticiladas

#### **Corteza**

Superficie del tronco liza, marrón, dura, con abundantes lenticelas corchosa, redondas y alargadas. Corteza viva rojiza, quebradiza, de estructura uniforme, con exudado abundante, de flujo rápido de color amarillento claro que se oxida en contacto con el aire, lechoso, de sabor dulce; el grosor total de la corteza es de 0.4 a 0.5 cm

#### **Hojas**

Simples, alternas, con estipulas de 10 a 15 mm de longitud; las hojas son verdes oscuras brillantes por la cara superior, verdes palidas por la cara inferior. Ramitas jóvenes de color grisáceo, con pelitos cortos, sedosas cuando jóvenes, y lampiñas cuando son viejas, con grandes cicatrices de forma redonda dejadas por las hojas desprendidas y lenticelas pequeñas distribuidas irregularmente.<sup>3</sup>

**Flores**

Dispuestas en manojos pequeños. Especie dioica osea que hay plantas con flores masculinas y plantas con flores femeninas, flores pequeñas poco llamativas

**Fruto**

Carnoso globoso. Semillas comestibles, con forma de huevo, alargadas, de 1 cm de largo, con la pulpa interior blanca

**Fauna asociada**

Hojas consumidas por el aullador negro (*Alouatta palliata*).

**Estado de conservación**

No se la considera una especie amenazada

**Características ecológicas**

Es una especie siempre verde, tolerante de la sombra (esciofita parcial hasta total) que se regenera y desarrolla bajo el dosel del bosque. Según Kroll et. Al (1994), para su madurez requiere por lo menos luz parcial o directa. No obstante los árboles producen frutos aun en condiciones de ausencia de luz directa en los estratos inferiores del bosque. La especie se encuentra en todos los estratos del bosque primario y parte del secundario.

**Asociaciones ambientales**

El rango altitudinal de la especie se encuentra entre 500 y 1000 m.s.n.m aunque según colecciones botánicas revisadas existen poblaciones hasta un máximo de 1700 m.s.n.m.

**2.2.2 Distribución**

Panamá hasta Paraguay y la costa Atlántica de Brasil Bolivia, , Colombia, Ecuador, Guyana francesa, , Perú, Venezuela. en Colombia presente en la costa Pacífica, el Magdalena medio y la región Amazónica, entre 0 y 1100 m .en

Santander Colombia se encuentra reportada en Bucaramanga ,Cucutilla Floridablanca, Girón , Lebrija , Los santos ,Piedecuesta , Playón, Rio Negro , Surata , Toná ,Vetas. En otros departamentos como el Choco, Antioquia, Caquetá, Amazonas. <sup>2</sup>

### 2.2.3 Fauna asociada

Hojas consumidas por el aullador negro (Alouattapalliata).

**Figura 1. Distribución del *Pseudolmedia laevigata* a nivel mundial**



Fuente: Libro especies maderables de Colombia

### 2.2.4 Estructura Microscópica De La Madera

Como se ha visto la madera no es un material homogéneo, está formado por diversos tipos de células especializadas que forman tejidos.

Estos tejidos sirven para realizar las funciones fundamentales del árbol; conducir la savia, transformar y almacenar los alimentos y formar la estructura resistente o portante del árbol.

La heterogeneidad de la madera será, en parte, la causa de sus propiedades.

Se puede considerar la madera como un conjunto de células alargadas en forma de tubos, paralelos al eje del árbol, muy variables, tanto en longitud y forma, como en el espesor de sus paredes y en las dimensiones interiores.

---

<sup>2</sup> Ibid., p.141

Estas células están unidas entre sí por una sustancia llamada materia intercelular o laminilla media, y a su vez trabadas por otro tipo de células, colocadas perpendicularmente a las anteriores y en el sentido radial del tronco, formando los llamados radios leñosos.

La variedad de tipos de células y la forma de unirse, definen la infinidad de especies diferentes de madera que existen.

En el sentido axial distinguimos:

a)- Fibras alargadas, de pared gruesa formadas por células que se han prolongado afinándose en las puntas, constituyendo los tejidos de sostén, es decir, la estructura y la parte resistente de la madera (tejido fibroso).

En las coníferas estas células son las mismas que sirven para permitir la circulación de los fluidos.

b)- Vasos y poros de pared delgada (tejido vascular), formando los órganos de conducción o vehículo de la savia ascendente o bruta; los poros de la madera aparecen en sección transversal (pequeños agujeros), y en sección longitudinal (pequeñas estrías).

c)- Células de parénquima, son cortas y poco abundantes. Difunden y almacenan en todo el espesor del árbol la savia descendente o elaborada.

El parénquima constituye una especie de tejido conjuntivo (tegumental o de defensa), que vincula entre sí a los otros tejidos y que está formado por células poliédricas de paredes celulósicas delgadas y esponjosas.

Esta especialización entre estructura y función sólo existe en los árboles frondosos; en los resinosos, todas las fibras son de carácter especial, llamadas traqueadas, de paredes más o menos espesas según la época del año en que se han formado.

En el sentido radial hay menos células, y estas se disponen por bandas o láminas delgadas (radios medulares), intercaladas entre las fibras y los vasos, a los que cruzan en ángulo recto, dirigiéndose desde la corteza hasta el centro del árbol.

En esas bandas de células llamadas radios celulares o mallas, almacenan y difunden, como las células del parénquima, las materias nutritivas que arrastra la savia descendente.

En ciertas especies se encuentran en ambos sentidos, axiales y radiales, unos canales secretores de resina.

De lo dicho anteriormente se desprende que la madera es un material heterogéneo y anisótropo, por tanto, sus propiedades variarán según la dirección que se considere<sup>3</sup>

### **2.2.5 Estructura Macroscópica**

La estructura macroscópica es la que se observa a ojo desnudo o con diez aumentos. Para su estudio y debido a su heterogeneidad se establecen tres planos o secciones:

- Transversal, perpendicular al eje de la rama o tronco
- Radial, que pasa por el eje y un radio de la rama o tronco
- Tangencial, paralela a un plano tangente al tronco, o al anillo de crecimiento.

Al examinar las tres secciones principales en un tronco de madera se pueden observar las siguientes características que son fácilmente diferenciables:

- Corteza externa o corteza propiamente dicha, constituida por células muertas.
- Corteza interna o liber, por donde circula la savia descendente.
- Cambium, tejido que produce la madera o xilema hacia el interior y la corteza hacia el exterior.

---

<sup>3</sup> GARCIA, Luis Esteban. La madera y su anatomía. Madrid: Mundi-prensa: Fundación del Conde Valle Salazar, 2003. 63 p

- Leño o tejido leñoso propiamente dicho, que se corresponde básicamente con lo que entendemos por madera.

- Médula, de pequeño tamaño y con reducidas características mecánicas.

En el tejido leñoso, que rellena la mayor parte del tronco y que presenta diferencias fácilmente apreciables en las coníferas y en algunas frondosas, se pueden distinguir o definir los siguientes elementos: Duramen - albura / Anillos de crecimiento / Radios leñosos / Madera juvenil / Madera de reacción

#### **2.2.6 Duramen - Albura.**

Dentro del tejido leñoso a veces pueden diferenciarse fácilmente dos zonas, el duramen, en el interior del tronco, y la albura, en el exterior. La formación del duramen se caracteriza por modificaciones anatómicas y químicas. Las modificaciones anatómicas, tanto en las frondosas como en las coníferas, se traducen en una obturación total o parcial de los tejidos encargados de transportar la savia. Las modificaciones químicas tienen lugar al impregnarse las células con otros productos naturales producidos por el árbol (resinas, aceites, taninos, gomas, alcaloides, etc) que al oxidarse le suelen dar un característico color oscuro, que se suele apreciar con más claridad en algunas coníferas.

La madera de duramen no sólo es más oscura (en la mayoría de las especies), sino que también es más densa y resistente a los ataques de origen biológico; mientras que la madera de albura suele ser más clara, generalmente blanco amarillenta, más porosa y blanda, y menos valiosa para algunas aplicaciones. Sin embargo, desde el punto de vista de los tratamientos, la albura suele ser más fácil de tratar y de trabajar en la mayor parte de los procesos de elaboración y desintegración mecánica.

#### **2.2.7 Anillos de crecimiento**

Los vegetales leñosos viven un cierto número de años y a lo largo de su vida las células del cambium van formando nuevas células que dan origen a los anillos de crecimiento. Los anillos de crecimiento pueden clasificarse en: anuales,



característicos de las plantas que crecen en la zona boreal y estacionales, característicos de las plantas que crecen en la zona tropical con estaciones climáticas marcadas. Dentro de cada anillo de crecimiento se distingue, más o menos fácilmente: la madera formada en primavera (llamada madera de primavera en el caso de los anillos anuales, y de primer crecimiento en los anillos estacionales), la madera formada en verano (madera de verano en los anillos anuales, y tardía en los estacionales)

#### **2.2.8 Radios leñosos**

Los radios leñosos están constituidos por células dispuestas en dirección radial, perpendicular al eje del árbol, y realizan una función de trabazón de las fibras longitudinales. Tienen importancia en las propiedades de la madera, como elemento de identificación y como responsables, en parte, de las propiedades de contracción de la madera.<sup>4</sup>

#### **2.2.9 Madera juvenil**

Se denomina madera juvenil a la que se produce en primeros anillos de crecimiento, normalmente la comprendida entre el quinto y vigésimo año. Esta madera tiene propiedades diferentes a la madera restante del tronco (madera madura) y presenta menor resistencia y rigidez y mayor hinchazón y merma en la dirección longitudinal que la madera normal.

#### **2.2.10 Madera de reacción**

Cuando el árbol se encuentra sometido a unas solicitaciones que predominan en una dirección (debidos por ejemplo a la pendiente del terreno o a un viento dominante), responde formando lo que se denomina madera de reacción. En las

---

<sup>4</sup> Ibid., p.42

coníferas se produce madera de compresión, mientras que las frondosas desarrollan madera de tracción en las zonas más traccionadas.

La madera de tracción no tiene gran importancia desde el punto de vista de su utilización estructural, pero la madera de compresión si presenta ciertos problemas.

#### **2.2.11 Dirección axial o longitudinal**

Es la paralela al eje de crecimiento del árbol y por lo tanto también a las fibras. Es la dirección donde la madera presenta mejores propiedades mecánicas. Resistencia elevada a la flexión, compresión y tracción.

#### **2.2.12 Dirección radial**

Es la perpendicular a la axial y por lo tanto corta el eje del árbol en el plano transversal. Perpendicular a la fibra. En este plano la madera presenta buen comportamiento a la compresión.

#### **2.2.13 Dirección tangencial**

Localizada también en la sección transversal, normal a la axial y la radial y tangente a los anillos de crecimiento. En este corte la madera presenta más deformaciones pero las vetas con mayor belleza. <sup>7</sup>

A la hora de describir las propiedades físicas de la madera se hace referencia a estas tres direcciones, en cambio cuando se habla de propiedades mecánicas sólo se consideran dos direcciones: la paralela a las fibras (dirección axial) y la perpendicular a las mismas (direcciones radial y tangencial con propiedades mecánicas similares), (Figura 1b). Figura 1: (a): Direcciones consideradas en relación a las fibras de la madera.

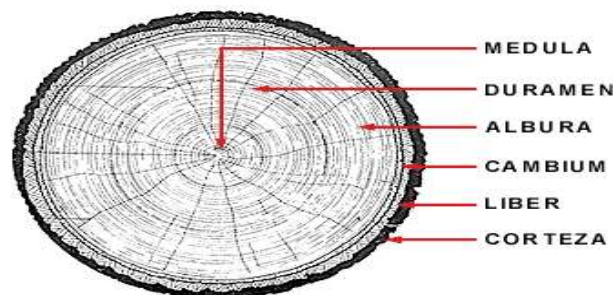
La observación de un trozo de madera nos permitirá ver los diversos elementos característicos que la forman, y además, apreciar que no se trata de un material homogéneo.

Si se observa el tronco de un árbol, se ve que tiene forma casi cilíndrica (truncocónica) y que está formado por sucesivas capas superpuestas (anillos).

En primer lugar se aprecia que entre la madera y la corteza existe una capa generatriz, llamada cambium, que produce madera hacia el interior y corteza hacia el exterior. En cada período vegetativo se forma una nueva capa (anillo) que cubre la anterior.

Dentro de cada capa se observan dos zonas bien diferenciadas, la formada al principio del período vegetativo con células de paredes delgadas y grandes lúmenes que se denomina madera de primavera, y la formada durante el verano, con células de paredes gruesas y lúmenes pequeños, llamada madera de verano.<sup>8</sup> Esta diferencia entre las dos zonas, hace fácilmente distinguishible en la sección transversal, una serie de anillos concéntricos llamados anillos de crecimiento, cada uno de los cuales corresponde a un período vegetativo de la vida del árbol y que en nuestro clima, representa el crecimiento anual, por lo que su número indica la edad del árbol.

**Figura 2. Partes de la sección normal al eje del árbol**



Fuente: Londoño Alberto. Anatomía de maderas

**Médula:**

Parte central del árbol. Constituida por tejido flojo y poroso. Tiene un diámetro muy pequeño. Madera vieja y normalmente agrietada. Se suele desechar en los procesos de elaboración de la madera.

- **Duramen:**

Madera de la parte interior del tronco. Constituido por tejidos que han llegado a su máximo desarrollo y resistencia (debido al proceso de lignificación.) De coloración, a veces, más oscura que la exterior. Madera adulta y compacta. Es aprovechable. La duraminización (transformación de albura a duramen) de la madera se caracteriza por una serie de modificaciones anatómicas y químicas, oscurecimiento, aumento de densidad y mayor resistencia frente a los ataques de los insectos.

- **Albura:**

Se encuentra en la parte externa del tronco, bajo la corteza. Constituida por tejidos jóvenes en período de crecimiento (zona viva). Contiene mucha savia y materias orgánicas. De coloración más clara que el duramen, más porosa y más ligera, con mayor riesgo frente a los ataques bióticos.

- **Cambium:**

Capa existente entre la albura y la corteza, constituye la base del crecimiento en especial del tronco, generando dos tipos de células:

Hacia el interior: Madera (albura)

Hacia el exterior: Liber

- **Líber:**

Parte interna de la corteza. Es filamentosa y poco resistente. Madera embrionaria viva.

- **Corteza:**

- ✓ **Anillos anuales:** Cada anillo corresponde al crecimiento anual, consta de dos zonas claramente diferenciadas:

- Una formada en primavera: Predominan en ella los vasos gruesos que conducen la savia bruta hasta las hojas (tejido vascular). Color claro, pared delgada y fibras huecas y blandas.

- Otro formado en verano: Tienen los vasos más pequeños y apretados. Sus fibras forman el tejido de sostén. Color oscuro denso y fibras de paredes gruesas. En zonas tropicales (o en las zonas donde no se producen, prácticamente, variaciones climáticas con los cambios de estación, y la actividad vital del árbol es continua), no se aprecian diferencias entre las distintas zonas de anillos de crecimiento anual.<sup>5</sup>

Su suma, son los años de vida del árbol. Debido a la forma tronco-cónica del árbol, los anillos anuales se deben contar en el tronco, en zona más próxima a las raíces.

## **2.3 PROPIEDADES FÍSICAS.**

Son aquellas que determinan el comportamiento de la madera frente a los factores del entorno natural, sin que ello implique ninguna modificación mecánica o química. Algunas de las más relevantes en relación a la calidad del material son:

- Densidad o peso específico
- Dureza
- Hinchazón y merma o contracción

---

<sup>5</sup> LONDOÑO, Alberto. Anatomía de maderas. Ibagué: Universidad del Tolima, 1977. 20p.

Las propiedades de la madera dependen, del crecimiento, edad, contenido de humedad, clases de terreno y distintas partes del tronco.

### **2.3.1 Humedad**

La madera contiene agua de constitución, inerte a su naturaleza orgánica, agua de saturación, que impregna las paredes de los elementos leñosos, y agua libre, absorbida por capilaridad por los vasos y traqueidas. Como la madera es higroscópica, absorbe o desprende humedad, según el medio ambiente.

El agua libre desaparece totalmente al cabo de un cierto tiempo, quedando, además del agua de constitución, el agua de saturación correspondiente a la humedad de la Atmósfera que rodee a la madera, hasta conseguir un equilibrio, diciéndose que la madera esta secada al aire.

La humedad de la madera varía entre límites muy amplios. En la madera recién cortada oscila entre el 50 y 60 por ciento, y por imbibición puede llegar hasta el 250 y 300 por ciento. La madera secada al aire contiene del 10 al 15 por ciento de su peso de agua, y como las distintas mediciones físicas están afectadas por el tanto por ciento de humedad, se ha convenido en referir los diversos ensayos a una humedad media internacional de 15 por ciento.

La humedad de las maderas se aprecia, además del procedimiento de pesadas, de probetas, húmedas y desecadas, y el colorimétrico, por la conductividad eléctrica, empleando girómetros eléctricos. Estas variaciones de humedad hacen que la madera se hinche o contraiga, variando su volumen y, por consiguiente, su densidad.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Ibid., p 35

### **Contenido de humedad de la madera**

Definimos como contenido de humedad o simplemente humedad de la madera  $h$  a la relación del peso del agua contenida en la madera, al peso de la madera anhidra y se calcula de la siguiente forma:

$$h = \frac{P_h - P_o}{P_o} * 100$$

La humedad no es constante en todo el espesor de la pieza, siendo menor en el interior y teniendo más humedad la albura que el duramen.<sup>10</sup>

### **2.3.2. Densidad**

La densidad real de las maderas es sensiblemente igual para todas las especies, aproximadamente 1,56 kg/m<sup>3</sup>. La densidad aparente varía no solo de unas especies a otras, sino aún en la misma con el grado de humedad y sitio del árbol, y para hallar la densidad media de un árbol hay que sacar probetas de varios sitios.

Como la densidad aparente comprende el volumen de los huecos y los macizos, cuanto mayor sea la densidad aparente de una madera, mayor será la superficie de sus elementos resistentes y menor el de sus poros.

Las maderas se clasifican por su densidad aparente en:

- Pesadas, si es mayor de 0.8.
- Ligeras, si está comprendida entre 0.5 y 0.7.
- Muy ligeras, las menores de 0.5.

### **2.3.3 Contracción e Hinchamiento**

La madera cambia de volumen según la humedad que contiene. Cuando pierde agua, se contrae o merma, siendo mínima en la dirección axial o de las fibras, no pasa del 0.8 por ciento; de 1 a 7.8 por ciento, en dirección radial, y de 5 a 11.5 por ciento, en la tangencial. La contracción es mayor en la albura que en el corazón, originando tensiones por desecación que agrietan y alabea la madera.

El hinchamiento se produce cuando absorbe humedad. La madera sumergida aumenta poco de volumen en sentido axial o de las fibras, y de un 2.5 al 6 por ciento en sentido perpendicular; pero en peso, el aumento oscila del 50 al 150 por ciento. La madera aumenta de volumen hasta el punto de saturación (20 a 25 por ciento de agua), y a partir de él no aumenta más de volumen, aunque siga absorbiendo agua.<sup>10</sup>

Hay que tener muy presente estas variaciones de volumen en las piezas que hayan de estar sometidas a oscilaciones de sequedad y humedad, dejando espacios necesarios para que los empujes que se produzcan no comprometan la estabilidad de la obra.

#### **2.3.4 Hinchazón y merma de la madera**

La variación del contenido de humedad produce en la madera una variación de sus dimensiones. Cuando aumenta dicho contenido se hincha, mientras que cuando disminuye se contrae o merma.

Estos movimientos sólo tienen lugar cuando su contenido de humedad se encuentra por debajo del punto de saturación de las fibras (aproximadamente cuando tienen una humedad del 30%), a partir del 30% sólo se produce un aumento de peso y su volumen permanece prácticamente constante.

#### **2.3.5 Contracción normal <sup>7</sup>**

Disminución de las dimensiones que sufre la madera al perder humedad bajo el punto de saturación de la fibra, expresado como porcentaje de la dimensión de la madera en estado verde.

##### **2.3.5.1 Coeficiente de contracción volumétrica**

---

<sup>7</sup> Ibid., p.41



Dicho coeficiente mide la variación del volumen de la madera cuando su humedad varía un 1%. Este coeficiente  $V\%$  (casi constante entre los estados anhidros y de saturación de las fibras) caracteriza las maderas: <sup>11</sup>

$$\% = \frac{V_h - V_o}{V_o * H}$$

H = Humedad de la madera.

$V_o$  = Volumen en estado anhidro

$V_h$  = Volumen con una humedad H%

Maderas de débil contracción  $0,15\% < V < 0,35\%$  (poca nerviosa) maderas de carpintería y ebanistería.

Maderas de contracción media:  $0,35\% < V < 0,55\%$  (maderas de construcción).

Maderas de fuerte contracción:  $0,55\% < V < 1\%$  (nerviosa) Emplear en medios de humedad constante <sup>11</sup>

La contracción volumétrica debida a las variaciones lineales de sus 3 caras dimensionales viene dada por la siguiente formula:

$$B\% = 100 \left( \left( 1 + \frac{L}{100} \right) * \left( 1 + \frac{R}{100} \right) * \left( 1 + \frac{T}{100} \right) - 1 \right)$$

Siendo: L = contracción lineal longitudinal o axial.

R = Contracción lineal radial.

T = Contracción lineal tangencial.

Peso específico

$$\text{peso específico} = \frac{\text{peso}}{\text{volumen}}$$

Estas unidades se trabajan en g/cm<sup>3</sup>. Al ser un material poroso podemos considerar o no los poros para determinar el peso específico. Dada esta naturaleza porosa y las variaciones de peso y volumen, en función del

contenido de humedad, hay que especificar las condiciones en que se verifican las medidas del peso específico

Dado que puede variar el contenido de humedad mucho, el agua puede hacer variar el peso específico.- Como el contenido de agua nos hace variar el volumen, también nos cambia el peso específico.- Por todo ello el peso específico debe referirse siempre, si es posible a la humedad del 12% aceptada internacionalmente .Esto no quiere decir que siempre tengamos que hacer el cálculo con maderas con el 12% de humedad, sino que podemos hacerlo con cualquier humedad y referirlo después al 12% mediante la fórmula siguiente.

$$P_{12} = P_h - (h - 12)P_h \frac{1 - v}{100}$$

P<sub>12</sub>=Peso específico aparente con 12% de humedad.

P<sub>h</sub>= Peso específico para una madera con el h% de humedad.

V = Coeficiente de contracción volumétrica

### 2.3.6 Dureza

La dureza de la madera es la resistencia que opone al desgaste, rayado, clavar, etc. Depende de su densidad, edad, estructura y si se trabaja en sentido de sus fibras o paralelas a estas. Cuanto más madura es, mayor la resistencia que opone. La madera de corazón tiene mayor resistencia que la de albura: la crecida lentamente obtiene una mayor resistencia que la madera que crece de prisa.

Por su dureza se clasifican en:

- **Maderas duras:** son aquellas que proceden de árboles de un crecimiento lento, por lo que son más densas y soportan mejor las inclemencias del

tiempo que las blandas. Estas maderas proceden, por lo general, de árboles de hoja cauda, pero también pueden ser de hoja perenne, que tardan décadas, e incluso siglos, en alcanzar el grado de madurez suficiente para ser cortadas y poder ser empleadas en la elaboración de muebles o vigas de los caseríos o viviendas unifamiliares. Son mucho más caras que las blandas, debido a que su lento crecimiento provoca su escasez, pero son mucho más atractivas para construir muebles con ellas. También son muy empleadas para realizar tallas de madera o todo producto en el cual las maderas macizas de calidad son necesarias

- **Maderas blandas:** engloba a la madera de los árboles pertenecientes a la orden de las coníferas. La gran ventaja que tienen respecto a las maderas duras, es su ligereza y su precio mucho menor. No tiene una vida tan larga como las duras. La manipulación de las maderas blandas es mucho más sencilla, aunque tiene la desventaja de producir mayor cantidad de astillas.

### **2.3.7 Conductividad**

La conductividad es mayor en el sentido longitudinal que en radial o transversal, y más en las maderas pesadas que en las ligeras o porosas, por lo cual se emplean como aisladores térmicos en los pavimentos y paredes. La madera seca es mala conductora del calor y electricidad, no así cuando está húmeda.

#### **2.3.7.1 Dilatación térmica**

El coeficiente de dilatación lineal de la madera es muy pequeño, pudiendo ser despreciado <sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> García. Op.cit., p. 62

### **2.3.7.2 Duración**

La duración de la madera varía mucho con la clase y medio. A la intemperie, y sin impregnar depende de las alternativas de sequedad y humedad: el roble dura 100 años: álamo, sesenta a noventa años; pino, alerce, cuarenta a ochenta años; sauce dura treinta años.

## **2.4. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA EN RELACIÓN A LA DIRECCIÓN DE SUS FIBRAS.**

### **2.4.1 Higroscopicidad.**

La madera es un material que puede absorber o perder agua en función de la humedad relativa ambiente (HR) y la temperatura del aire. Por lo tanto, para una condición ambiental dada existirá un grado de humedad de la madera en que la misma alcanza el equilibrio con el medio, conocido como “humedad de equilibrio higroscópico (HEH)”.

Entonces, para evitar que la madera sufra alteraciones dimensionales a causa de variaciones en el estado ambiental, conviene secarla hasta la HEH. El porcentaje de humedad aceptado internacionalmente al que se estima la madera alcanza la HEH es de un 12%.

Como se ha mencionado antes, debido a la anisotropía de este material, sus propiedades mecánicas varían según la dirección del esfuerzo en relación a la de la fibra (Figura 1b). La madera presenta mayor resistencia en la dirección paralela a las fibras que en la perpendicular.

Las propiedades mecánicas que se consideran en relación a los posibles usos del material son:

- Resistencia a la flexión
- Resistencia a la compresión paralela a la fibra

- Resistencia a la compresión perpendicular a la fibra
- Resistencia a la tracción
- Resistencia al cortante
- Módulo de elasticidad

### **Aplicaciones.**

De acuerdo a sus propiedades, las maderas presentan diversas aplicaciones. Sin embargo, es preciso tener en cuenta que ninguna propiedad de la madera por si sola la hace apta para una aplicación determinada, sino que se debe contemplar la combinación de atributos requeridos para cada una de las aplicaciones.<sup>9</sup>

#### **2.4.2 Elasticidad-Deformabilidad**

Bajo cargas pequeñas, la madera se deforma de acuerdo con la ley de Hooke, o sea, que las deformaciones son proporcionales a las tensiones. Cuando se sobrepasa el límite de proporcionalidad la madera se comporta como un cuerpo plástico y se produce una deformación permanente. Al seguir aumentando la carga, se produce la rotura.

La manera de medir deformaciones es a través de su módulo de elasticidad, según la fórmula:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Estas unidades se trabajan en kg/cm<sup>2</sup>

Este módulo dependerá de la clase de madera, del contenido de humedad, del tipo y naturaleza de las acciones, de la dirección de aplicación de los esfuerzos y

---

<sup>9</sup> COSSER DE LA CRUZ, Gina (Noviembre del 2012) Composición y estructura de la Madera. [en línea].<http://www.buenastareas.com/ensayos/Composici%C3%B3n-y-Estructura-De-La-Madera/6183137.html>. [Citado el 18 Agosto de 2014]

de la duración de los mismos. El valor del módulo de elasticidad E en el sentido transversal a las fibras será de 4000 a 5000 Kg / cm<sup>2</sup>

El valor del módulo de elasticidad E en el sentido de las fibras será de 80.000 a 180.000 Kg / cm.<sup>2</sup>

### **2.4.3 Flexibilidad**

Es la propiedad que tienen algunas maderas de poder ser dobladas o ser curvadas en su sentido longitudinal, sin romperse. Si son elásticas recuperan su forma primitiva cuando cesa la fuerza que las ha deformado.

La madera presenta especial aptitud para sobrepasar su límite de elasticidad por flexión sin que se produzca rotura inmediata, siendo esta una propiedad que la hace útil para la curvatura (muebles, ruedas, cerchas, instrumentos musicales, etc.).

La madera verde, joven, húmeda o calentada, es más flexible que la seca o vieja y tiene mayor límite de deformación.

La flexibilidad se facilita calentando la cara interna de la pieza (produciéndose contracción de las fibras interiores) y, humedeciendo con agua la cara externa (produciéndose un alargamiento de las fibras exteriores) La operación debe realizarse lentamente.

Actualmente esta propiedad se incrementa, sometiéndola a tratamientos de vapor.

### **2.4.4 Dureza**

Es una característica que depende de la cohesión de las fibras y de su estructura.

Se manifiesta en la dificultad que pone la madera de ser penetrada por otros cuerpos (clavos, tornillos, etc.) o a ser trabajada (cepillo, sierra, gubia, formón).

La dureza depende de la especie, de la zona del tronco, de la edad. En general suele coincidir que las más duras son las más pesadas.

El duramen es más duro que la albura. Las maderas verdes son más blandas que las secas. Las maderas fibrosas son más duras. Las maderas más ricas en vasos son más blandas. Las maderas más duras se pulen mejor.

**2.4.5 Esfuerzo cortante:.** Es la resistencia ofrecida frente a la acción de una fuerza que tiende a desgajar o cortar la madera en dos partes cuando la dirección del esfuerzo es perpendicular a la dirección de las fibras.

Si la fuerza es máxima en sentido perpendicular a las fibras será cortadura y si es mínima en sentido paralelo a las mismas será desgarramiento o hendibilidad.

#### **2.4.6 Hendibilidad**

Es la resistencia ofrecida frente a la acción de una fuerza que tiende a desgajar o cortar la madera en dos partes cuando la dirección de los esfuerzos es paralela a la dirección de las fibras.

La madera tiene cierta facilidad para hendirse o separarse en el sentido de las fibras. Una cuña, penetra fácilmente en la madera, al vencer por presión la fuerza de cohesión de las fibras (no las corta). Es fácil observar esta propiedad al cortar madera para hacer leña, en la dirección de las fibras se separa en dos fácilmente. La madera verde es más hendible que la seca.

Cuando se van a realizar uniones de piezas de madera por medio de tornillos o clavos nos interesa que la madera que vamos a usar tenga una gran resistencia a la hienda.

Hendibles es decir que se pueden abrir o rajar de una manera fácil

Poco hendibles: su resistencia es mayor al abrirla por medio de una fuerza

Astillables: Que se rompe formando astillas.

#### **2.4.7 Desgaste**

Las maderas sometidas a un rozamiento o a una erosión, experimentan una pérdida de materia (desgaste)

La resistencia al desgaste es importante en las secciones perpendiculares a la dirección de las fibras, menor en las tangenciales y muy pequeña en las radiales.

**2.4.8 Resistencia Al Choque** Nos indica el comportamiento de la madera al ser sometida a un impacto. La resistencia es mayor, en el sentido axial de las fibras y menor en el transversal, o radial.<sup>10</sup>

Máxima axial

Mínima radial

En la resistencia al choque influyen: el tipo de madera, el tamaño de la pieza, la dirección del impacto con relación a la dirección de las fibras, la densidad y la humedad de la madera, entre otros.

**2.4.9 Resistencia A La Tracción:** La madera es un material muy indicado para trabajar a tracción (en la dirección de las fibras), viéndose limitado su uso únicamente por la dificultad de transmitir estos esfuerzos a las piezas.

Esto significa que en las piezas sometidas a tracción los problemas aparecerán en las uniones.

Si se realiza un esfuerzo de tracción en la dirección axial, la magnitud de la deformación producida será menor que si el esfuerzo es de compresión, sobre todo en lo que concierne a las deformaciones plásticas. Es decir que la rotura de la madera por tracción se puede considerar como una rotura frágil.

La resistencia de la madera a la tracción en la dirección de las fibras, se debe a las moléculas de celulosa que constituye, en parte, la pared celular.

---

<sup>10</sup> ALE, José. Aplicación de materiales de la mecánica a la madera. Argentina 2010. [en línea]. <http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/dbse/se6/>. [ Consultado el 5 de septiembre de 2014]



El valor típico que caracteriza este ensayo es el esfuerzo de ruptura que varía entre 500-1500 kg/cm<sup>2</sup>. El esfuerzo de tracción en la madera varía de acuerdo a la inclinación del grano. A continuación se presenta:

**Tabla 1. Inclinación del grano vs esfuerzo de ruptura**

| INCLINACION DEL GRANO | ESFUERZO DE RUPTURA |
|-----------------------|---------------------|
| 1 en 8 (7°)           | 75%                 |
| 1 en 4 (14°)          | 45%                 |
| (90°)                 | 2%-5%               |

**Fuente** Santiago, José. Aplicación de materiales a la mecánica de maderas.

En la práctica existen algunos inconvenientes, que se han de tener en cuenta al someterla a este tipo de esfuerzos; en la zona de agarre existen compresiones, taladros, etc., que haría romper la pieza antes por raja o cortadura, con lo que no se aprovecharía la gran resistencia a la tracción.

Por otra parte, los defectos de la madera, tales como nudos, inclinación de fibras, etc., afectan mucho a este tipo de sollicitación, disminuyendo su resistencia en una proporción mucho mayor que en los esfuerzos de compresión.

#### **2.4.9.1 Factores Que Afectan La Resistencia A La Tracción**

- Humedad La resistencia a la tracción paralela a la fibra aumenta de forma más o menos lineal desde el punto de saturación de las fibras hasta el 10%, con un aumento del 3% por cada disminución de humedad del 1%. Entre el 8 y el 10% de humedad existe un máximo, a partir del cual disminuye ligeramente.
- Temperatura El efecto de la temperatura es menor en la tracción paralela, que en otros tipos de esfuerzos.

**Nudos** Los nudos afectan enormemente frente a este esfuerzo, ya que la desviación de fibras alrededor del nudo tiene gran influencia en la resistencia. Así, pequeños nudos, que reducirían la resistencia a compresión en un 10%, lo haría

En el 50% en el caso de la tracción. Los nudos dan lugar también a una distribución irregular de tensiones

#### **2.4.9.2 Inclinação de la fibra**

Se puede decir que la resistencia a tracción se ve mucho más afectada que la resistencia a compresión con igual inclinación de las fibras.

Angulo del 15% reduce la resistencia a tracción a la mitad si el ángulo es el 30% de la resistencia a un es 1/5 de la que tendría si fuera resistencia paralela a la fibra.

#### **2.4.10 Resistencia a la compresión**

La madera, en la dirección de las fibras resiste menos a compresión menos a la compresión que la tracción que a tracción siendo la relación del orden de 0.50 Km/cm<sup>2</sup> , aunque variando de una especie a otra de 0.25km/cm<sup>2</sup> a 0.75KM/cm<sup>2</sup>. La resistencia unitaria divide la carga en la secciones de la probeta,  $c = p/s$ .

#### **2.4.11 Flexión estática**

El ensayo de flexión estática se suele realizar, como el de una viga apoyada por los extremos y con una carga central. En este tipo de esfuerzo, la parte superior trabaja a compresión y la inferior a tracción. La distribución de tensiones en el plano, donde el momento flector es máximo, empieza por tener una distribución bitriangular con el vértice común en la línea neutra. Pero la madera resiste menos a compresión que a flexión, incluso el Módulo Elástico. Atracción es algo superior al de compresión. Debido a esto, al pasar las tensiones al límite elástico a la compresión, aumenta la de formalidad en las capas superiores, la curva de distribución superior toman una forma parabólica, el eje neutro se desplaza hacia abajo aumentando la deformación y rompiendo la pieza finalmente por tracción.

#### **2.4.11.1 Factores que Influyen en la Resistencia a la flexión**

- Inclínación de la fibra: es muy similar a la de la resistencia a la tracción. La disminución de resistencia a flexión y tracción se hace apreciable a partir de una inclinación de 1/25, mientras en compresión lo es a partir de 1/10, y en el corte apenas si tiene influencia.
- Peso específico: Existe una relación lineal entre resistencia a la flexión y densidad. En los casos de no seguir esta relación se deben a maderas con contenido de resinas elevado.
- Contenido de humedad: La resistencia a la flexión tiene un máximo para un grado de humedad del 5%, disminuyendo la resistencia desde dicha humedad hasta el P.S.F. La variación entre el 8 y el 15% se puede considerar lineal
- Temperatura: La resistencia a la flexión decrece al aumentar la temperatura; este crecimiento es mayor al aumentar la humedad.
- Nudos y fendas: La influencia de los nudos varía según su posición: es mayor cuanto mayor sea el momento flector; y tiene más influencia si está en la zona traccionada que en la de compresión. Resumiendo, su influencia es mayor cuanto mayor sea la tensión a que está sometida la zona que ocupa y como las tensiones de tracción son más intensas y sufren más, por los nudos, que las de compresión, su influencia es mayor a las tensiones de tracción.<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup>SANTIAGO, José. Esfuerzo y Flexión. Argentina 2013 [ en línea].<http://www.cielo.sld.cu/sld.u/scielophh?pidS1815-59442011000300007&scrip> [consultado 6 de febrero 2014]

- Fatiga: La resistencia a la flexión disminuye al aumentar el tiempo de carga, reduciéndose, al cabo de los años, en porcentajes del 50 al 75% respecto a la resistencia en un ensayo normal de flexión estática.

En el caso de tensiones alternativamente variables, la madera por su carácter fibroso, trabaja mejor que muchos metales. El valor de la tensión límite a la fatiga, varía con la especie, pudiéndose dar el valor medio de 0,33 veces la resistencia del ensayo normal de flexión estática.

La resistencia a la fatiga es proporcional al peso específico, por lo que se puede obtener una cota de calidad de resistencia a la fatiga, dividiendo la resistencia a la fatiga por 100 veces el peso específico, su valor varía de 4 a 7.

#### **2.4.12 Compresión Paralela Al Grano**

La madera se comporta como si el conjunto de tubos alargados sufriera la presión de una fuerza que trata de aplastarlos. Su comportamiento ante este tipo de esfuerzos es considerado dentro de su estado elástico, es decir, mientras tenga la capacidad de recuperar su dimensión inicial una vez retirada la fuerza.

#### **2.4.13 Tracción Perpendicular Al Grano**

Es asumida básicamente por la lignina de la madera que cumple una función cementante entre fibras. La madera tiene menor resistencia a este tipo de esfuerzo en relación con otras sollicitaciones.

#### **2.4.14 Tracción Paralela al grano**

La madera tiene resistencia a la tracción paralela a las fibras, debido a que las uniones longitudinales entre las fibras son de 30 a 40 veces más resistentes que las uniones transversales.

#### **2.4.15 Corte o Cizallamiento**

El corte o Cizallamiento de la estructura interna de la madera es semejante al comportamiento de un paquete de tubos que se hallan adheridos entre ellos; por esta razón, en el caso de corte o Cizallamiento paralelo al grano, el esfuerzo de corte es resistido básicamente por la sustancia cementante, es decir, la lignina, mientras que el esfuerzo de corte o Cizallamiento perpendicular al grano, son fibras.<sup>12</sup>

Las que aumentan la resistencia al Cizallamiento. La madera es mucho más resistente al corte perpendicular que al corte paralelo.

---

<sup>12</sup> Óp. .cit.,[ en línea ] <http://www.Cielo.sld.cu/scielo.php?pid=s1815-5944201100007&scrip>. [Consultado 6 de febrero 2014]

### **3. MARCO LEGAL**

Norma Icontec 290 ratificada el 18/09/1974: Esta norma contempla definiciones, preparación de muestras, procedimiento, cálculos y precauciones

Norma Icontec 701 ratificada el 29/08/1973: Esta norma establece el método para determinar la contracción de la madera

Norma Icontec 663 ratificada el 25/04/1973: En esta se contempla todo lo relacionado con la determinación de la resistencia a la flexión de la madera

Norma Icontec 918 ratificada el 09/04/1975: Esta norma establece el método para determinar la dureza de la madera. Se utiliza el método hanka.

Norma Icontec 784 ratificada el 17/04/1974: Esta norma establece el método para determinar la resistencia de la madera axial o paralela al grano.

Norma UNIT 273-70: la cual establece las dimensiones de las probetas para el ensayo de contenido de humedad de la madera.

Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR 10 título G En este manual se estipulan las dimensiones de las probetas para los ensayos de tracción, contracción en maderas.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup>. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Segunda actualización. Bogotá D.C.: ICONTEC, 1992. 1-100 p. NTC 206

#### 4. MARCO CONCEPTUAL

- **Estructura:** Es la ordenación de los diferentes elementos anatómicos que forman la madera da origen a la estructura, y como consecuencia inmediata a las figuras o veteados de ésta. Las maderas de coníferas tienen una estructura simple (pocos elementos anatómicos) mientras que las maderas de frondosas tienen una estructura compleja (muchos elementos anatómicos).
- **Grano:** El grano se define en función del tamaño de algunos elementos constitutivos de la madera. En las coníferas el grano se refiere al diámetro de las traqueidas, mientras que en las frondosas se refiere al de los vasos. El grano se clasifica en las siguientes categorías: basto o grueso, medio y fino.
- **Fibra:** Se entiende por fibra el conjunto de las células dispuestas en la dirección del eje del árbol, descartando los elementos vasculares y las células de parénquima. Las distintas variaciones que puede tener en dimensiones y disposición da origen a los siguientes tipos de fibra: recta, ondulada, revirada, entrelazada.
- **Anisotropía:** La madera, está formada por diferentes tejidos que realizan diferentes funciones y que originan que su estructura no sea homogénea. Esta heterogeneidad se refleja en sus propiedades físicas y mecánicas, y es la causa de algunos de sus defectos y también de sus ventajas. Dicha heterogeneidad da lugar a lo que se conoce con el nombre de anisotropía, que



es el diferente el comportamiento de sus propiedades físicas y mecánicas según la dirección que se considere.

Se establecen tres planos de direcciones principales: Longitudinal, Radial, Tangencial. Cuando se habla de las propiedades físicas se hace referencia a estas tres direcciones, y cuando se habla de las propiedades mecánicas sólo se habla de dos direcciones, la dirección paralela a las fibras (que coincide con la longitudinal) y la dirección perpendicular a las fibras (que engloba a la tangencial y radial, cuyas propiedades mecánicas suelen tener valores similares).

- **Higroscopicidad:** La madera es un material higroscópico que tiende a 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.
- **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

- **Carga (C):** Carga en kilogramos aplicada a en la probeta en cualquier instante del ensayo
- **Desplazamiento (D):** Valor leído en milésimas de pulgada en el deformímetro de que corresponde a la deformación total de la probeta.
- **Área de sección recta (A):** Superficie en  $\text{cm}^2$  de la sección transversal de la probeta calculada antes del ensayo.
- **Superficie en  $\text{cm}^2$  impresa sobre la probeta (s):** Superficie impresa por el apoyo de presión.
- **Carga de límite proporcional (CLP):** Valor de carga leído en el límite proporcional.
- **Carga máxima (C MAX):** Valor de la carga en el instante que se produce la falla en la probeta.
- **Esfuerzos: Resistencia** que opone un material a la aplicación de una carga.
- **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 Angulo entre los dos planos, que en el material no cargado son ortogonales

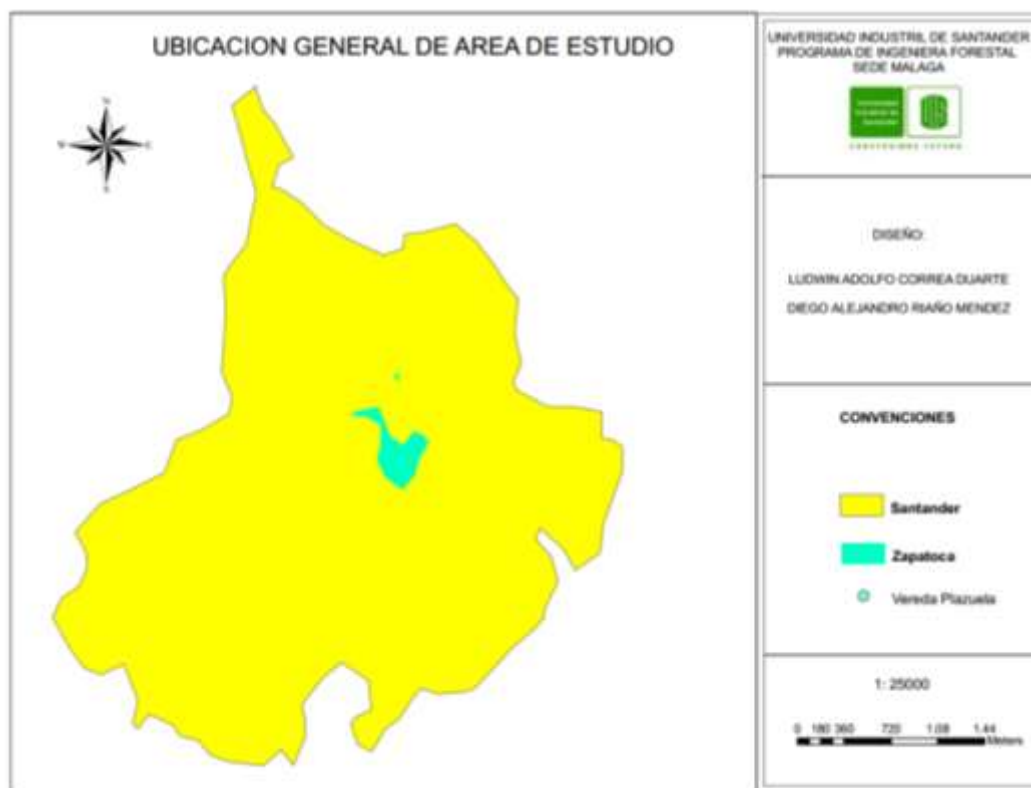
- **Dureza:** Es la resistencia que opone un material a la penetración por acción estática de otro material de más resistencia.
- **Impacto:** Resistencia que opone un material a la penetración por acción dinámica de un material más duro.
- **Tracción perpendicular a las fibras:** Cuando la carga se aplica normal a la orientación de las fibras.
- **Tracción paralela a las fibras:** Cuando la carga se aplica paralela a la orientación de las fibras
- **Esfuerzo de flexión:** Esfuerzo normal que se presenta en la sección recta de una viga cuando se somete a cargas transversales

## 5. METODOLOGIA

### 5.1 SELECCIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

Esta zona fue escogida en la vereda la Plazuela, municipio de Zapatoca, tiempo en el cual se estaba ejecutando el proyecto “Apertura de la vía sustitutiva Bucaramanga a San Vicente de Chucuri”, con el fin de utilizar las maderas que se estaban extrayendo del bosque de la zona de influencia del proyecto. Finalmente con la ayuda del GPS se georeferenció la zona obteniéndose coordenadas de N 06°58'51.2”,W 073°23'15.2”.

**Figura 3. Ubicación general del area de estudio**



## 5.2 DESCRIPCIÓN ZONA DE ESTUDIO

Esta zona se encuentra dentro de la formación vegetal bosque húmedo tropical (bh-T), la temperatura media anual es de 26.4°C, precipitación promedio anual de 2176.8mm y altura de 300-400 m.s.n.m.

Estas coberturas están clasificadas como bosque de galería pues este se encuentra a 200 metros del río Sogamoso, caracterizándose por poseer un estrato arbóreo de especies dominantes como *Anacardium excelsum*, asociados con *Pseudolmedia laevigata*, *Uribea tamarindoides*, *Pseudosamanea guachapele*, *Gyrocarpus americanus*, *Hura crepitans*, *Spondia mombi*, *Sterculia apetala*, *Manilkara zapota*, *Ficus sp* y *Albizzia sp*.

## 5.3 IDENTIFICACION DE LAS ESPECIES

Con la ayuda de personal técnico de la empresa Isagen, se realizó un recorrido detallado por la zona de influencia del proyecto, allí se identificaron las especies de *Pseudolmedia laevigata* y *Uribea tamarindoides*, y posteriormente se realizó revisión de literatura, con el fin de confirmar que estas especies son realmente las que se van a someter al estudio formulado.

## 5.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

**Tabla 2. Población y muestra**

| <b>Especie</b>                | <b>Población (arboles)</b> | <b>Muestra (arboles)</b> | <b>Muestra (%)</b> |
|-------------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------|
| <i>Uribea tamarindoides</i>   | 48                         | 1                        | 2.083              |
| <i>Pseudolmedia laevigata</i> | 144                        | 1                        | 0.69               |

Esta información fue basada para un total de bosque de 24 hectáreas siendo esta la extensión del proyecto, donde se encontraban 6 individuos *Pseudolmedia laevigata* y 2 individuos de *Uribea tamarindoides* por hectárea según información

suministrada por la empresa Isagen, aclarando que esta información se corrobora, mediante un muestreo realizado en la zona.

## 5.5 ELECCIÓN Y COLECCIÓN DE LAS MUESTRAS

### Características de la Especie de *Uribea tamarindoides*



La zona escogida correspondió a los alrededores de San Vicente de chucuri vereda La Plazuela ya que esta es un área representativa donde se pueden encontrar estas especies. Donde se verificó que los árboles cumplieran con requisitos tales como: buen porte, óptimo estado sanitario, DAP (Diámetro a la Altura del Pecho) mayor a 40 cm, altura comercial mayor a 10 m y escasa presencia de nudos. De cada uno se cortaron 4 piezas de madera de 2 m de longitud por 30 cm de ancho y 10-12 cm de espesor, de las cuales se seleccionaron 3 piezas al azar para un total de 15.

## 5.6 EDAD DE LOS ARBOLES

La edad a la cual están consideradas estas especies se encuentra en un dato aproximado de 75 años para la especie *Uribea tamarindoides*, mientras que la especie *Pseudolmedia laevigata* se encontraba en un valor aproximado de 20 años.

### Apeo

Con la colaboración de operarios de la empresa Conalvias se realizó el corte en la parte más baja del fuste y finalmente se extrajeron bloques con el fin de facilitar su transporte.

## 5.7 TRANSPORTE

### Transporte del material



### Permisos de movilización de la madera



La empresa CONALVIAS S.A donó el material de investigación e hizo entrega de un permiso de movilización de cada uno de los bloques con sus respectivas medidas

La madera se transportó desde la ciudad de Bucaramanga hasta Municipio de Málaga y allí a Bogotá D.C a las instalaciones de la Universidad Distrital , sede Vivero, previa aplicación de pintura de aceite a cada extremo y recubrimiento con plástico con el fin de minimizar su posible agrietamiento.

## **5.8 APILADO Y SECADO DE LA MADERA**

### **Apilado y secado de la madera**



Se realizó un apilado donde se ubicaron las probetas separadas entre sí por listones de maderas con dirección paralela respecto al flujo del viento para evitar la acción directa del sol se colocara bajo el techo de eternit.

Se establecieron varios grupos de probetas y se tomaron muestras de bloques de 2cm \* 2 cm para el control de la humedad mediante pesadas sucesivas de algunas de ellas tomándoles el peso cada tres días durante el periodo de secado.



## 5.9 CALIDAD DE LA MADERA

Una vez climatizado es decir cuando presento un peso constante del 12% de contenido de humedad. Se procedió a determinar las desviaciones admisibles de la madera teniendo en cuenta los defectos indicados por la calificación visual. se clasificaron de acuerdo a la tabla de NSR – 10 TITULO G.

A continuación se elaboró las probetas con las dimensiones propuestas en las normas ICONTEC anteriormente mencionadas; además se realizó un cepillado en cada una de las caras y cantos de cada probeta.

## 5.10 OBTENCIÓN DE PROBETAS

**Orden de elaboración de probetas carpintería Universidad distrital.**

The image shows two pages of a handwritten form titled "Orden de elaboración de probetas carpintería Universidad distrital". The form is divided into several sections with fields for project information, technical specifications, and signatures. The left page includes fields for "Proyecto", "Lugar", "Fecha", and "Materia prima". The right page includes fields for "Materia prima", "Materia prima", "Materia prima", and "Materia prima". The form is signed by "Proyecto Habitat 5/dm" and "Walter P. P.".

En la carpintería de la Universidad Distrital se extrajo de cada pieza un trozo de madera de 8 cm de espesor, de la cual se seleccionó al azar una vigueta de sección transversal de 8 x 8 cm. A partir de las viguetas seleccionadas se obtuvieron por cada ensayo 15 probetas correctamente orientadas, con el fin de seleccionar, para cada uno, 10 en óptimo estado. Éstas fueron dimensionadas de

acuerdo con lo establecido por la norma ICONTEC correspondiente a cada ensayo tecnológico.

### **5.11 NÚMERO DE PROBETAS POR ENSAYO**

Para cada uno de estos ensayos se manejó un total de 10 probetas pues se consideran las apropiadas para esta clase de ensayos según el manual de laboratorio de resistencia de materiales de la UIS.

### **5.12 ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICAS**

#### **Propiedades organolépticas**

##### **Identificación dirección de la fibra**



Con la ayuda de una lupa de mano de aumento 10x se realizaron sus respectivas descripciones ajustadas a los parámetros destinados y a las caracterizaciones macroscópicas de las maderas latifolias es decir se realizó la comprobación de dirección de la fibra, el color, olor, sabor, veteado.

**5.12.2 Densidad de la madera** Para el cálculo de las densidades se tuvo en cuenta la norma ICONTEC 290, se tomaron probetas de los siguientes estados de la madera: secado al horno, secado al aire. Se realizaron probetas de dimensiones de 3cm de alto, 3 cm de ancho y 10 cm de largo, se tomaron los respectivos pesos en la balanza digital y se calculó la densidad en promedio.

### 5.12.3 Contracciones

#### Pesaje muestras para el cálculo de densidades



#### Secado de las muestras



Se tomaron 10 probetas de cada una de los 2 estados para cada una de las especies con dimensiones rectangulares de 3cm x 3cm x 10 cm de largo, luego

se midieron con el tornillo micrométrico (como mínimo 10 medidas) tanto radiales como longitudinales y tangenciales y luego se promediaron, con el uso de las balanzas se realizaron mediciones de peso de cada una de las probetas para posteriormente someterlas al secado en estufa a temperatura a 60 grados centígrados para nuevamente medir, promediar y comparar.

Para el cálculo de la contracción radial tangencial se fabricaron probetas con dimensiones: ancho 2cm cara radial, cara tangencial 3 cm y cara longitudinal a un espesor igual a 1.5 cm.

Para el cálculo de la contracción longitudinal se fabricaron probetas con dimensiones: cara radial igual a ancho 3cm cara tangencial igual a ancho de 3cm y cara longitudinal al espesor de 10 cm. Luego de obtenerlas se midió con la ayuda del nonio o calibrador y se sometió a un proceso de secado en la estufa durante tiempos preestablecidos a temperaturas que se van aumentando a medida que el tiempo se va acumulando, repartiendo el periodo de secado en 3 etapas de 24 horas, al acumular 3 días se procedió a realizar una nueva medición con el tornillo micrométrico las cuales se promediaron y se evaluaron. Para la determinación de las contracciones se procedió de acuerdo a la norma ICONTEC 701

Para determinar el contenido de humedad se tuvo en cuenta la norma UNIT 273-70 en el ensayo se trabajaron probetas cubicadas de 2 cm<sup>3</sup>.

### 5.13 CLASIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS

Para el proyecto cada una de las pruebas se realizó una clasificación de acuerdo a la tabla Londoño A. Alberto, propiedades físicas y de la madera. Ibagué Colombia, universidad.

**Tabla 3. Clasificación de las propiedades físicas**

| Propiedad                                    | Clase                        | Valor         |
|----------------------------------------------|------------------------------|---------------|
| Densidad seca al aire (gr/cm <sup>3</sup> )  | Muy baja                     | Menos de 0.35 |
|                                              | Baja                         | 0.36 -0.50    |
|                                              | Moderada                     | 0.51-0.75     |
|                                              | Alta                         | 0.76-1.00     |
|                                              | Muy alta                     | Más de 1.01   |
| Contracción volumétrica de seca al Horno (%) | Muy baja                     | 7.5           |
|                                              | Baja                         | 7.5-10        |
|                                              | Moderada                     | 10-15         |
|                                              | Alta                         | 16-19         |
|                                              | Muy alta                     | Más de 20     |
| Relación CT/CR verde seca horno              | Muy estable dimensionalmente | Menos de 1.5  |
|                                              | Estable dimensional          | 1.5-1.8       |
|                                              | Poco estable dimensional     | Más de 1.8    |

Fuente Londoño A. Alberto, Propiedades físicas y mecánicas de la madera. Ibagué Colombia.

**Tabla 4. Clasificación estructural de la madera**

| Grupo estructural                     | A     | B    | C       | D    |
|---------------------------------------|-------|------|---------|------|
| Densidad básica (gr/cm <sup>3</sup> ) | 0.719 | 0.56 | 0.400 a | 0.32 |
|                                       | 0.90  | 0.70 | 0.55    | 0.39 |

Fuente Londoño A. Alberto, propiedades físicas y mecánicas de la madera. Ibagué Colombia

## 5.14 ESTUDIO ANATÓMICO DE LA MADERA

La descripción microscópica se realizó con microtomías montadas en placas que contenían el corte transversal, tangencial y radial, vista en un microscopio eléctrico. Un microscopio de 4 momentos pasando ellos para determinar la mejor visión.

### 5.14.1 Ablandamiento de la madera

#### Proceso de ablandamiento de las maderas



Esta parte de la investigación se realizó en el laboratorio de maderas de la universidad distrital Francisco José de Caldas donde, se contó con una serie

de probetas prismáticas cuyas medidas fueron las siguientes: 5cm en la cara transversal, 7cm en la cara radial y 7cm en la cara longitudinal previamente orientadas luego se sometió a un proceso de ablandamiento, para tal fin se sumergió en agua hasta saturarla por 3 días y se cocinaron a 100°C durante 90 minutos en la olla esterilizadora.

#### **5.14.2 Elaboración de cortes para las microtomías**

##### **Elaboración de cortes para microtomías**



La realización de cortes se llevó acabo sacando tajos limpiando la cuchilla cada 20 cortes, y escogiendo los cortes que estuvieran más delgados con el fin de obtener una visión más nítida a la hora de realizar el montaje.

##### **Preparación y montaje de microtomías**



Seguidamente cada tajo se sumergió en una caja de petric que contenía una solución de fucsina básica con agua destilada en proporción: un gramo por diez de agua destilada, en un tiempo de diez minutos con el fin de dar coloración; luego para la fijación se empleó una solución de agua destilada saturada de ácido pícrico durante 5 minutos para el lavado y deshidratación se pasaron los cortes en forma gradual por diferentes concentraciones de alcohol así : alcohol al 25% (10 minutos) alcohol al 50% (10 minutos), alcohol 75% (10 minutos), alcohol 100% (10 minutos), alcohol xilol en relación 1:1 (10 minutos) y por último se llevaron una solución de xilol puro hasta el momento del montaje, el día siguiente, esta metodología fue propuesta por Malavér en la tesis de grado de ingeniera forestal

Se colocaron los cortes en un orden preestablecido sobre la lámina portaobjetos, luego se depositó una pequeña gota de bálsamo de Canadá en los extremos de la lámina cubre objetos y se colocó sobre los tres cortes predispuestos.

Los montajes se rotularon y se llevaron a una estufa a una temperatura de 60°C durante 48 horas para así acelerar el secado del bálsamo. Posteriormente se realizó el análisis

### **5.15 ENSAYOS MECANICOS**

Este ensayo se realizó en el laboratorio de maderas José Anatolio Lastra Rivera de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá D.C para ello se utilizó la máquina universal de ensayos Mohr federhaff A. G con capacidad máxima de 6000 Kg y los aditamentos respectivos necesarios para cada ensayo tecnológico. Sin embargo ensayos de cortante no se efectuaron por razones logísticas, los aspectos metodológicos fundamentales para la presente investigación se basaron en la aplicación de las normas ICONTEC para elaboración de las probetas de cada ensayo, además se utilizó la norma reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10 - Título G para



determinar los usos potenciales de la madera a partir de parámetros fisicomecánicos calculados

Estas probetas se elaboraron con madera de duramen pues esta parte de la madera es la que brinda la resistencia mecánica, además se cortaron de tal forma, que las probetas quedaran bien orientadas (lado opuestos con cara tangencial, paralela a los anillos de crecimiento y los otros dos lados con cara radial)

**Tabla 5. Especificaciones de las probetas utilizadas por ensayo**

| <b>ENSAYO</b>                  | <b>DIMENSIONES<br/>(CM)</b> | <b>Nº<br/>PROBETAS</b> | <b>ESTADO</b> |
|--------------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------|
| Dureza                         | 5x5x15                      | 10                     | Seco al aire  |
| Compresión paralela            | 5x5x15                      | 10                     | Seco al aire  |
| Compresión perpendicular       | 2x2x8                       | 10                     | Seco al aire  |
| Flexión estática tangencial    | 2.5x2.5x41                  | 10                     | Seco al aire  |
| Cizallamiento                  | 5x5x6.5                     | 10                     | Seco al aire  |
| Impacto o tenacidad radial     | 2x2x3                       | 10                     | Seco al aire  |
| Impacto o tenacidad tangencial | 2x2x3                       | 10                     | Seco al aire  |

Las dimensiones de las probetas utilizadas en el ensayo de compresión paralela debieron ser modificadas con respecto a las que dicta la norma ICONTEC; esto se hizo con el fin de poder llevar a término dicho ensayo, ya que se detectaron algunas fallas en la capacidad de la máquina para realizarlo con las dimensiones reglamentarias. Finalmente, las dimensiones de las probetas se modificaron de 2.5 x 2.5 x 10 cm a 2.0 x 2.0 x 8.0 cm.

Los datos obtenidos en los diferentes ensayos fueron procesados mediante el programa Microsoft Excel, realizando los cálculos necesarios para la obtención de

los módulos y esfuerzos, según lo dictan las normas antes mencionadas. Particularmente para los ensayos de flexión estática y compresión paralela se generaron, por cada probeta, las figuras carga vs. Deformación, para deformación total y para deformación en el límite proporcional. Posteriormente, se obtuvieron los datos estadísticos, y los valores de Carga en el Límite Proporcional (CLP) y Deformación en el Límite Proporcional DLP), necesarios para el cálculo de algunos de los módulos.

**Tabla 6. Normas aplicadas a los diferentes ensayos**

| <b>ENSAYO</b>            | <b>NORMA APLICADA</b> |
|--------------------------|-----------------------|
| Compresión paralela      | Icontec 784           |
| Compresión perpendicular | Icontec 785           |
| Flexión                  | Icontec 663           |
| Cizallamiento            | Icontec 775           |
| Tensión perpendicular    | Icontec 784           |
| Tensión paralela         | Icontec 994           |
| Dureza Hanka             | Icontec 918           |
| Impacto tangencial       | ICONTEC 918           |

Fuente: Normas ICONTEC de Colombia

#### **5.15.1 Ajuste del contenido de humedad**

Para el presente estudio se hizo el ajuste a un contenido de humedad del 12%, como lo recomiendan las normas internacionales, utilizando las ecuaciones 1 y 2. Adicionalmente, se utilizaron los valores de corrección que se presentan en la Tabla 5.

**Ecuación 1.** (Tomada de Klinger 1994).

$$Va = Vi + \frac{(Chi - 12) * (\%a) * (Vi)}{100}$$

Dónde:

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

Chi = Contenido de humedad de la madera al momento de las pruebas.

%a = Porcentaje de aumento por cada 1% de ch.

Vi = Valor hallado en laboratorio para la propiedad.

**Tabla 7 .Aumento promedio de las propiedades mecánicas por cada 1% de variación en el contenido de humedad.**

| ENSAYO                 | MÓDULO O ESFUERZO | CORRECCIÓN (%) |
|------------------------|-------------------|----------------|
| Flexión estática       | EPL               | 5              |
|                        | EUM               | 4              |
|                        | MOE               | 2              |
| Compresión paralela    | EUM               | 5              |
|                        | ELP               | 6              |
| Cizallamiento paralelo | EUM               | 3              |
| Impacto                | EUM               | 0,5            |

Fuente: lastra (1984)

### 5.15.2 Procesamiento Estadístico De Los Datos

Para cada ensayo se determinaron los parámetros estadísticos máximo, mínimo, media aritmética, desviación estándar y coeficiente de asimetría a los diferentes módulos y esfuerzos calculados. A partir de la desviación y la media aritmética se calculó el coeficiente de variación, como se indica en la ecuación

$$CV = \frac{SX}{X}$$

Dónde:

Cv = Coeficiente de variación.

SX = Desviación estándar.

X = Media aritmética.

La idoneidad estadística de la muestra utilizada para cada ensayo se evaluó confrontando los coeficientes de variación calculados con los máximos valores admisibles según la astm (Tabla 6).<sup>14</sup>

De tal forma, cuando el coeficiente de variación sobrepasó el máximo valor admisible, se eliminaron los registros con valores máximos y mínimos, hasta lograrse un valor aceptable, conservando en todo caso el mínimo de datos para que la muestra fuera estadísticamente válida

**Tabla 8. Coeficientes de variación máximos admisibles para las propiedades evaluadas según astm.**

| ENSAYO                 | MÓDULO O ESFUERZO                  | COEFICIENTE DE VARIACIÓN % |
|------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Flexión                | Módulo de rotura o esfuerzo máximo | 16                         |
|                        | Módulo de elasticidad              | 22                         |
|                        | Esfuerzo maximo                    | 18                         |
| Compresión paralela    | Límite proporcional                | 24                         |
|                        | Módulo de elasticidad              | 29                         |
| Cizallamiento paralelo | Esfuerzo máximo                    | 14                         |

Fuente: Norma ASTM D-2555-78.

### 5.15.3 Cálculo De Esfuerzos Básicos

---

<sup>14</sup> BARAJAS DIAZ, Hugo Orlando y MALAVER MORENO, Luis Fernando. Características anatómicas, fisicomecánicas de la especie Loqueto (*Escalonia pendula*) y Cucharo (*Rapanea guianensis*). Trabajo de grado de ingeniería Forestal. Málaga: Universidad Industrial de Santander. Programa de ingeniería Forestal, 2003. 67-100p.

A partir de los valores medios obtenidos ajustados al 12% de contenido de humedad se obtuvieron inicialmente los valores mínimos probables (vp) para los esfuerzos y módulos calculados en los ensayos de flexión estática, compresión paralela y cizallamiento. La determinación de los vpse hizo siguiendo los criterios de distribución de la tabla *T-Student* y de distribución normal, como se indica en las ecuaciones 3 y 4.

$$P = X - \frac{Sx * t}{\sqrt{n - 1}}$$

**Ecuación 3.** (Tomada de Klinger 1994).

$$VP = X - (Z * Sx)$$

**Ecuación 4.** (Tomada de Klinger 1994).

Dónde:

X = Media aritmética del esfuerzo.

Sx = 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.

Finalmente, a cada valor se le aplicó el valor de ajuste respectivo, como se indica en la Tabla 5, obteniendo así los esfuerzos básicos correspondientes.

**Tabla N° 9. Factores de ajuste utilizados 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

#### **5.15.4 Ensayo De Flexión**

##### **Probeta de *Uribea tamarindoides* sometida a flexión**



Para este fin se tuvo en cuenta la norma ICONTEC 663 y se obtuvieron probetas con longitudes de 30 cm con una sección recta cuadrada de 2cm x2cm y cuya<sup>15</sup> fibra se dispondrán de modo paralelo al eje longitudinal de las probetas.

<sup>15</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Bogotá: ICONTEC, 1976. 4p. NTC 663.

### 5.15.5 Ensayo De La Dureza Hanka

#### Probeta de *Pseudolmedia laevigata* durante el ensayo de dureza hanka



Las probetas a utilizadas tenían una sección de 2cm x 2cm y una longitud de 10 cm de larga según la norma ICONTEC 918. la carga se aplicó paralela a las fibras y, luego se apoyó la probeta en el plano superficial del cilindro inferior de la maquina universal Mohr & FederHaff A.G; en la parte superior se situó un cilindro provisto de una esfera de un diámetro aproximado a 1cm, el cual se hizo penetrar dentro de la probeta con la aplicación de una carga.<sup>16</sup>

Este procedimiento se realizó 2 veces por cada una de sus caras y sus extremos, cuando la esfera penetre todo su diámetro se tomó la lectura en el dial de la maquina universal.

---

<sup>16</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Bogotá: ICONTEC, 1975. 7p. NTC 918

### 5.15.6 Ensayo De Impacto

#### Mosaico Ensayo de impacto



Las dimensiones de las probetas para este ensayo se realizó de acuerdo a la norma ICONTEC 918 elaborándose las probetas de 2cm x2cm con una longitud de 30 cm, cada una de las probetas se ubicó en los apoyos (uno de los cuales es móvil), de la máquina universal Mohr & FederHaff A.G, luego se elevó el péndulo a la posición más alta ( 1 de altura) y este se dejó caer para que produzca la ruptura



de la probeta en este momento se procedió a tomar la lectura total en el proceso<sup>17</sup> de ensayo

#### 5.15.7 Ensayo De Compresión

##### Mosaico ensayo de compresión paralela y perpendicular

COMPRESION PERPENDICULAR



COMPRESION PARALELA



##### Fallas presentadas por pandeo



En esta parte se aplicó carga axial o paralela a las fibras, carga normal o perpendicular de la fibra, para los 2 casos se hizo el mismo proceso correspondiente a obtener probetas de 3x3 cm y un espesor de 10 cm de longitud<sup>18</sup> (según la norma Icontec 784-785).

---

<sup>17</sup> Ibid.,p15|

Este ensayo, en la máquina universal de ensayos se acondiciono manualmente de tal manera que las 2 mordazas de presión ligeramente de la probeta y en ese instante se ajustaron el deformimetro a un valor de cero.

Luego se acciono la máquina con encendido eléctrico pero sin aplicar la carga sobre la base de la probeta según fuera el ensayo, axial o normal; en forma continua durante todo el ensayo hasta que se obtuvo una deformación la cual marcará una curva de esfuerzo vs deformación antes de la ruptura de la probeta. Para cada ensayo realizado se tomaron las lecturas correspondientes para posteriormente realizar el análisis de resultados.

#### **5.15.8 Ensayo De Tracción**

Se utilizó la máquina universal de ensayos Mohr & FederHaff A.G para esta parte del ensayo, teniendo en cuenta la norma ICONTEC 944 y se aplicaron las cargas en 2 sentidos:

En el sentido normal de las fibras o perpendiculares y en el sentido normal de las fibras paralelo o axial<sup>19</sup>

---

<sup>18</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Bogotá: ICONTEC, 1974. 3p. NTC 784

<sup>19</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Bogotá: ICONTEC, 1976. 5p. NTC 994

#### 5.15.8.1 Tracción perpendicular a las fibras

**Ensayo de tracción perpendicular Antes y Despues de la falla por desprendimiento de fibras.**



#### 5.15.8.2 Tracción paralela a las fibras

**Modelo de probeta ensayo de tracción paralela a la fibra**

Las probetas se elaboraron de tal manera que los anillos de crecimiento en la zona de sección reducida sean perpendiculares a la mayor dimensión de dicha sección<sup>20</sup>

#### 5.15.9 Ensayo de cizallamiento



En este ensayo se elaboraron probetas de dimensiones de 5cm x 5 cm y 6.5cm de longitud de tal manera que el plano de falla sea tangencial a los anillos de crecimiento como lo dicta la norma ICONTEC 926 se colocó la probeta en el dispositivo de cizallamiento de tal manera como indica la fotografía 19. la probeta

---

<sup>20</sup> Ibid.,p.16

debe quedar ajustada con tornillos que le hagan presión con el fin de lograr el efecto esperado<sup>21</sup>

**Mosaico ensayo de cizallamiento antes y después de la falla provocada por desprendimiento de las fibras**



**Mosaico ensayo de cizallamiento antes y después de la falla provocada por desprendimiento de las fibras**

---

<sup>21</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Bogotá: ICONTEC, 1778. 12p. NTC 926

## 5. 16 CLASIFICACION DE LA MADERA SEGÚN NSR 10 TITULO G

Se realizó la clasificación por medio de esfuerzos admisibles de la madera propuestos por la norma sismoresistente NSR 10 TITULO G.

**Tabla 10. Esfuerzos admisibles  $f_i$ , MPA C.H =12**

| GRUPO | FB   | FT   | FC   | FP  | FV  |
|-------|------|------|------|-----|-----|
| ES1   | 29.5 | 21.0 | 23.0 | 6.0 | 2.0 |
| ES2   | 28.5 | 20.0 | 22.0 | 4.3 | 2.0 |
| ES3   | 23.0 | 17.0 | 19.0 | 3.8 | 1.6 |
| ES4   | 17.0 | 12.0 | 15.0 | 2.8 | 1.5 |
| ES5   | 15.0 | 11.0 | 13.0 | 2.0 | 1.1 |
| ES6   | 12.5 | 9.0  | 10.0 | 1.5 | 1.3 |

Fuente NSR-10 Titulo G

**Tabla 11. Módulo de elasticidad longitudinal  $E_i$  (MPa)**

| GRUPO | MÓDULO PROM<br>(E0.5) | MODULO 5°<br>PERCENTIL (E0.05) | MODULO MIN<br>(E MIN) |
|-------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|
| ES1   | 18000                 | 13250                          | 7130                  |
| ES2   | 18000                 | 13250                          | 7130                  |
| ES3   | 14000                 | 11000                          | 5500                  |
| ES4   | 12500                 | 10000                          | 5000                  |
| ES5   | 11200                 | 8250                           | 4435                  |
| ES6   | 9000                  | 6500                           | 3564                  |

Fuente NSR-10 Titulo G

**Donde**

**DB** = Densidad básica

**E0.5** = Módulo de elasticidad promedio longitudinal en MPa.

**Fb** = Esfuerzo admisible a flexión, en MPa.

**F<sub>c</sub>** = Esfuerzo admisible a compresión paralela en MPa

**F<sub>p</sub>** = Esfuerzo admisible a compresión perpendicular a la fibra, en MPa

**F<sub>v</sub>** = Esfuerzo admisible a cortante paralelo a la fibra, en MPa

**F<sub>t</sub>** = Esfuerzo admisible a tensión paralela a la fibra, en MPa

### **5.17 USOS POTENCIALES**

La determinación de usos potenciales se realizó siguiendo la metodología propuesta por NSR- 10 Título G, la cual se fundamenta en las propiedades físicas y mecánicas de cada madera.

### **5.18 TABULACION DE DATOS**

Para todos los ensayos se realizaron pruebas de comparación múltiple con repeticiones, con el fin de promediar la información de todos los datos y resultados obtenidos se tabularon y compararon con el fin de dar información confiable y segura acerca de las propiedades físico-mecánicas de las especies estudiadas.

## 6. RESULTADOS.

### 6.1 EQUILIBRIO HIGROSCOPICO

Figura 4. Estabilización contenido de humedad seco al aire. leche de perra

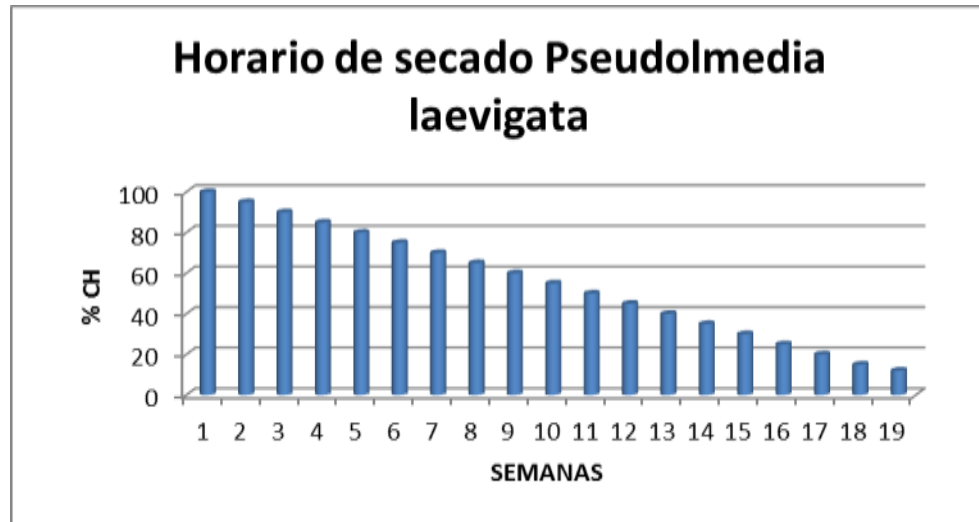


Figura 5. Estabilización contenido de humedad seco al aire. Tamarindo de monte



EL equilibrio higroscópico para estos ensayos se encuentra en el 12% de contenido de humedad. El lugar donde se realizó el secado fue el municipio de

Málaga está a una temperatura 18°C donde se secó al aire libre en un tiempo de 19 semanas *Pseudolmedia laevigata* y 22 semanas *Uribea Tamarindoides* aproximadamente 528 horas.

## 6.2 CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

### ***Pseudolmedia laevigata (Leche perra)***

- ✓ Color albura en madera verde: amarillo
- ✓ Color albura en madera seca: Blanco rosáceo
- ✓ Color duramen en madera verde: color marrón muy pálido
- ✓ Olor durante la madera seca: ausentes
- ✓ Transición albura duramen: poco diferenciados
- ✓ Olor: leche cuando está fresca
- ✓ Sabor: ausentes
- ✓ Grano : recto a ligeramente entre cruzado
- ✓ Textura : Gruesa
- ✓ Veteado : poco diferenciado
- ✓ Lustre: poco lustroso
- ✓

### ***Uribea tamarindoides (Tamarindo)***

- ✓ Color albura en madera verde: Amarrillo
- ✓ Color albura en madera seca: Blanquecino
- ✓ Color duramen en madera verde: Marrón rojizo a Marrón oscuro
- ✓ olor durante la madera seca: ausentes
- ✓ Transición albura duramen: abrupta
- ✓ Olor: ausentes y no distintivo
- ✓ Sabor: ausentes o no distintivos
- ✓ Grano : recto a ligeramente entrecruzado
- ✓ Textura: fino
- ✓ Veteado : suave a acentuado
- ✓ Lustre: mediano.



### 6.3 CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS

Se describe a simple vista y con la lupa de 10X sobre una muestra de madera libre de defectos y de un excelente acabado. De esta se dedujo:

#### ***Pseudolmedia laevigata (Leche perra)***

- ✓ Anillos de crecimiento : visibles
- ✓ Poros: poros múltiples largos,
- ✓ Parénquima: patraqueal en bandas
- ✓ Radios: visibles

#### ***Uribea tamarindoides (Tamarindo)***

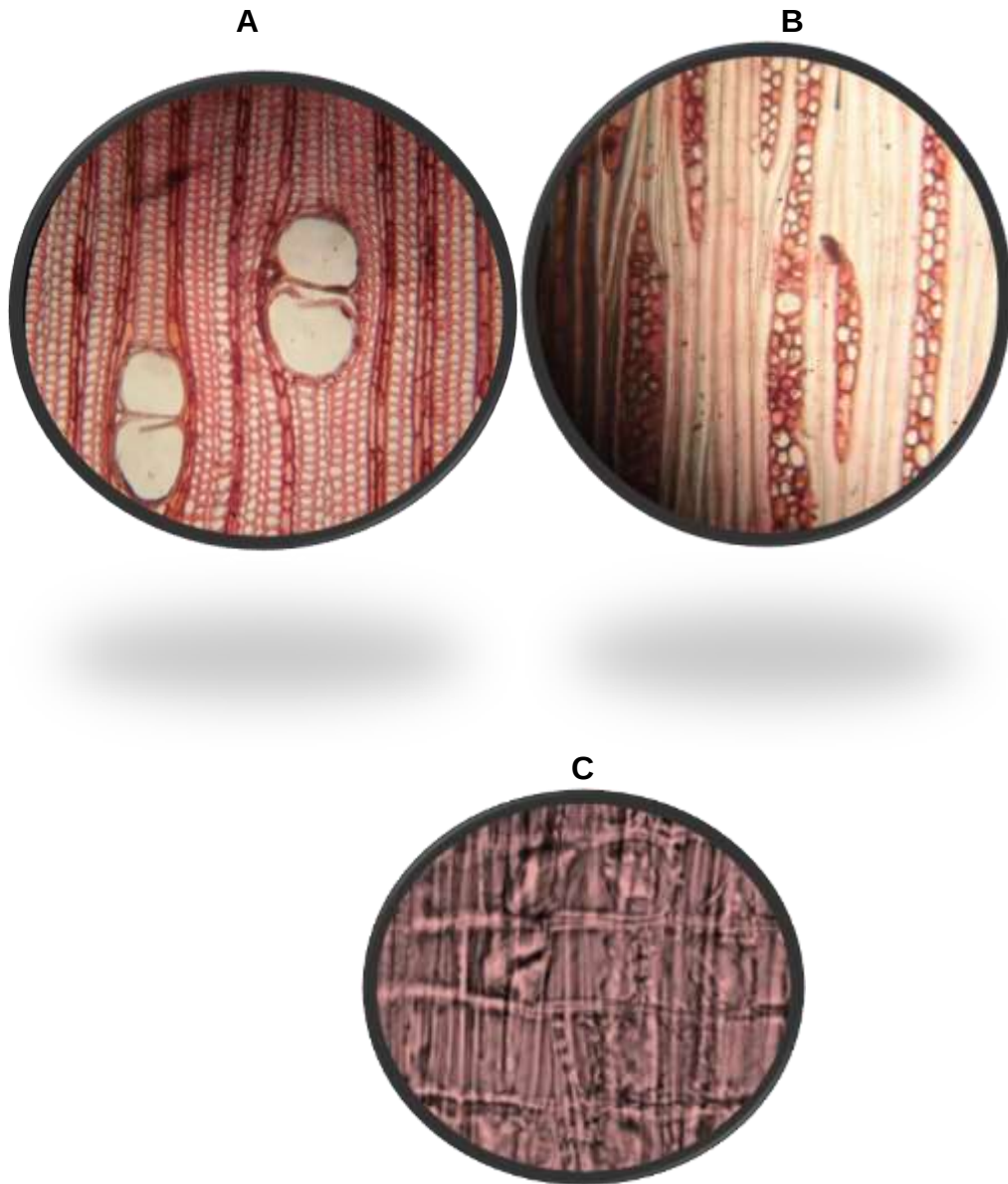
- ✓ Anillos de crecimiento : visibles
- ✓ Poros: poros múltiples radiales cortos, solitarios
- ✓ Parénquima: difuso
- ✓ Radios: visibles

### 6.4 CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS

Se prepararon 10 placas de identificación anatómicas, las cuales sirvieron para realizar la descripción de las características internas. En cada placa se tomaron los tres cortes según una posición predeterminada, cuyo análisis se derivaron los siguientes resultados

## Partes anatomicas uribea tamarindoides

A. Corte transversal , b .corte tangencial, c. Corte radial

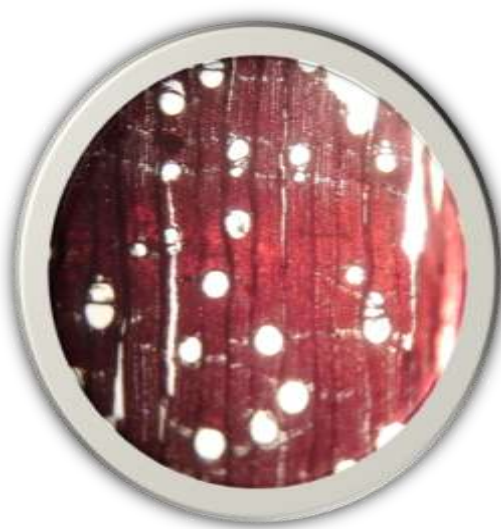


***Uribea tamarindoides (Tamarindo)***

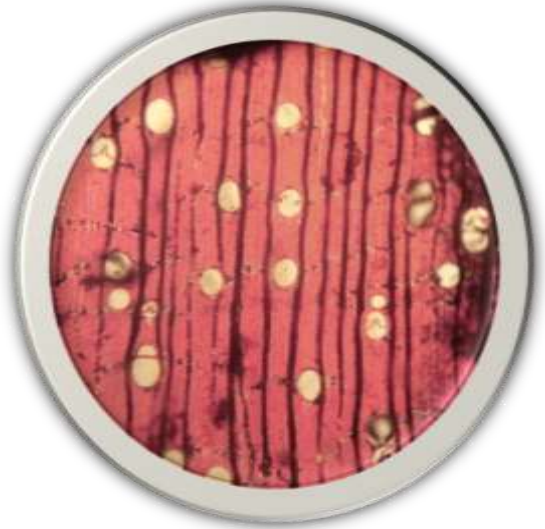
- ✓ Porosidad: porosidad circular contacto radial
- ✓ Poros: múltiples con contacto radial, poros solitarios
- ✓ Perforaciones: alargadas
- ✓ Punteaduras: Aeroladas
- ✓ Parénquima : difuso
- ✓ Cristales: con inclusiones
- ✓ Radios: Gruesos biseriados, triseriados
- ✓ Fibras: libriformes
- ✓ Tiene engrosamiento espiralado del vaso
- ✓ Traqueidas vasculares
- ✓ Nota: EL Floema en las muestras es ausentes porque se trabajó madera del duramen.

***Anatomia de la especie Pseudolmedia laevigata***

**A.Corte transversal . B. corte tangencial. C. corte radial**



**A**



**B**



**C**

***Pseudolmedia laevigata* (Leche perra)**

- ✓ Porosidad: poros semidifusos
- ✓ Poros: simples múltiples en cadena
- ✓ Punteaduras: punteaduras alternas alargadas
- ✓ Parénquima: patraqueal en bandas y líneas
- ✓ Cristales: sin inclusiones
- ✓ Radios: multiseriados
- ✓ Fibras: septadas cortadas
- ✓ Engrosamiento en el espiral no tiene
- ✓ Traqueidas no se observó ( por el corte de la madera)

**6.5 PROPIEDADES FÍSICAS**

Esta clasificación se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Londoño A. Alberto, propiedades físicas y mecánicas de la madera. Ibagué Colombia, universidad.

**Tabla 12. Clasificación de propiedades físicas de la especie *Pseudolmedia laevigata* (Leche de perra)**

| PROPIEDAD                                         | PROMEDIO   | CLASIFICACIÓN |
|---------------------------------------------------|------------|---------------|
| % contenido de humedad                            | 12.168     | Estable       |
| Densidad verde de la madera (Gr/cm <sup>3</sup> ) | 0.912      | Muy alta      |
| Densidad seca al horno (Gr/cm <sup>3</sup> )      | 0.8658343  | Muy alta      |
| Densidad básica (Gr/cm <sup>3</sup> )             | 0,86223779 | Alta          |
| % Contracción de la madera                        | 4.10       | Baja          |
| % Relación de contracciones                       | 7,77379455 | Baja          |

**Tabla 13. Clasificación de propiedades físicas de la especie *Uribea tamarindoides* (Tamarindo de monte)**

| PROPIEDAD                                         | PROMEDIO   | CLASIFICACIÓN |
|---------------------------------------------------|------------|---------------|
| % contenido de humedad                            | 12.05      | Estable       |
| Densidad verde de la madera (Gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.136      | Muy alta      |
| Densidad seca al horno (Gr/cm <sup>3</sup> )      | 0,96471997 | Muy alta      |
| Densidad básica (Gr/cm <sup>3</sup> )             | 0,96070354 | Alta          |
| % Contracción de la madera                        | 3,7        | Baja          |
| % Relación de contracciones                       | 8,08472802 | Baja          |

Los resultados mecánicos obtenidos en el laboratorio de maderas, se clasificaron de acuerdo a los valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad propuestos por la norma NSR- 10 Título G Estructuras de maderas, Por la comisión asesora permanente para el régimen de sismo resistente Creada por la ley 400 de 1997.

## 6.6 CLASIFICACIÓN DE LA MADERA SEGÚN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS (MPA)

**Tabla 14. Clasificación de la madera por grupos SEGÚN NSR 10 TÍTULO G**

| GRUPO | NOMBRE CIENTÍFICO             | NOMBRE             | DB    | E0.5       | FB     | FC     | FP     | FT      | FV     |
|-------|-------------------------------|--------------------|-------|------------|--------|--------|--------|---------|--------|
| ES6   | <i>Pseudolmedia laevigata</i> | Leche perra        | 0.862 | 97977,6383 | 30     | 11     | 1.836  | 9.2873  | 1.8300 |
| ES4   | <i>Uribea tamarindoides</i>   | Tamarindo de monte | 0.960 | 12986.61   | 17.659 | 15.218 | 2.7985 | 12.1064 | 1.5507 |

**DB** = Densidad básica

**E0.5** = Módulo de elasticidad promedio longitudinal en MPa.

**Fb** = Esfuerzo admisible a flexión, en MPa.

**Fc** = Esfuerzo admisible a compresión paralela en MPa

**Fp** = Esfuerzo admisible a compresión perpendicular a la fibra, en MPa

**Fv** = Esfuerzo admisible a cortante paralelo a la fibra, en MPa

**Ft** = Esfuerzo admisible a tensión paralela a la fibra, en MPa

## 7. ANALISIS DE RESULTADOS

### PROPIEDADES FÍSICAS

Al describir microscópicamente la madera de *Pseudolmedia laevigata* se observó que presenta poca diferencia de color entre la albura y el duramen; albura color amarillo a un color marrón muy pálido. Su olor es característico a leche en estado verde y desaparece al perder contenido de humedad su sabor es ausente. Grano recto a ligeramente entre cruzado. Veteado poco diferenciado con poco lustre.

Al realizar la descripción microscópicamente de la especie *Uribea tamarindoides*, se observó que presenta una madera de color amarillo a marrón rojizo oscuro en su estado verde, olor ausente y no distintivo, grano recto a ligeramente entrecruzado, lustre mediano con presencia de veteado llamativo.

### PROPIEDADES ANATÓMICAS

Desde el punto de vista de constitución anatómica de la madera se puede afirmar que la especie *Pseudolmedia laevigata* presenta menos cantidad de fibras comparado con la *uribea tamarindoides*, hecho por el cual esta madera presenta mejores condiciones de flexibilidad.

La madera de *Uribea tamarindoides* muestra ciertas peculiaridades que pueden estar incidiendo en las propiedades mecánicas, las fibras liberiformes de pared gruesa, que esta posee le confiere a la madera resistencia mecánica a la compresión flexión y tensión.

## PROPIEDADES MECÁNICAS

Según la NSR Título G se clasificaron las maderas de acuerdo a parámetros de módulo de elasticidad promedio longitudinal (E0.5) quedando clasificadas de la siguiente manera

**Tabla 15. Clasificación de la madera de *Pseudolmedia laevigata*, y *Uribea tamarindoides* según NSR 10 título G.**

| GRUPO DE CLASIFICACIÓN | NOMBRE CIENTÍFICO             |
|------------------------|-------------------------------|
| ES <sub>4</sub>        | <i>Uribea tamarindoides</i>   |
| ES <sub>6</sub>        | <i>Pseudolmedia laevigata</i> |

La especie que la madera de *Uribea tamarindoides* (tamarindo de monte) se clasifico en el grupo de maderas ES<sub>4</sub>, encontrándose en un rango medio dentro del grupo de clasificación de la madera mientras que la especie *Pseudolmedia laevigata* (Leche de perra), fue clasificada en el grupo de maderas ES<sub>6</sub> siendo esta la madera que menos soporta en cuanto a los esfuerzos mencionados anteriormente.

### 7.1 USOS POTENCIALES

Según clasificación obtenida de la norma NSR 10 título G se pudo realizar un breve análisis de cada uno de los ensayos de acuerdo a los resultados obtenidos en el laboratorio. Vale la pena aclarar que estos resultados obtenidos son la base de los diseños para estructuras y asimismo se tendrán que ajustar a los resultados obtenidos en estos ensayos.

#### **Flexión**

En cuanto al ensayo de flexion para la especie pseudolmedia laevigata (leche perra) su resistencia a flexión es muy elevada y se sugiere un uso estructural en piezas tales como vigas, viguetas de forjado, pares de cubierta, etc.



### **Compresión paralela a la fibra**

Para las dos especies trabajadas se encontraron rangos de mediano a bajo y principalmente los usos que se recomiendan para estas especies son tirantes y pendolones de la cerchas.

### **Compresión perpendicular**

La especie *Uribea tamarindoides* (Tamarindo de monte) presenta un buen comportamiento al aplicarsele fuerzas en sentido perpendicular a la fibra pues fue una de las pruebas en las cuales registro un valor alto en cuanto a la capacidad maxima de carga de la maquina universal para ensayos mecanicos, pudiendose atribuir esto a la densidad y en su parte anatomica en la constitucion de las fibras, mientras que en la especie *pseudolmedia laevigata* (Leche de perra) Su resistencia a compresión perpendicular a la fibra es muy inferior respecto a la otra especie.

Es muy probable que esta madera se puedan utilizar en zonas de apoyo de las vigas, donde se concentra toda la carga en pequeñas superficies que deben ser capaces de transmitir la reacción sin sufrir deformaciones importantes o aplastamiento.

### **Tracción perpendicular a la fibra**

Se pudo evidenciar que para ambas especies su resistencia a la tracción perpendicular a la fibra es muy baja (del orden de 30 a 70 veces menos que en la dirección paralela). En la práctica y aplicado a las estructuras, esta sollicitación resulta crítica en piezas especiales de directriz curva (arcos, vigas curvas, etc) o en zonas de cambio brusco de directriz (zonas de vértice).

Estas tensiones de tracción, también se pueden producir como consecuencia de la coacción del libre movimiento transversal de la madera en soluciones constructivas incorrectas, que pueden ser evitadas fácilmente con el conocimiento del material.

### **Tracción paralela de fibras**

la especie *Uribea tamarindoides* presenta mejor comportamiento que la especie *Pseudolmedia laevigata* principalmente, los usos que se recomiendan para estas especies son tirantes y los pendolones de las cerchas.

### **Impacto**

Estos valores obtenidos para esta parte del laboratorio no son un referente confiable, pues la madera por presentar anisotropia los resultados pueden variar de un momento a otro de acuerdo al contenido de humedad de 13-14% . por lo cual esta madera debe manejarse con precaución al hacer sometida a usos de alto impacto.

### **Cizallamiento**

En el caso de la resistencia al esfuerzo cortante la madera de *Uribea tamarindoides* presenta una mayor resistencia cuando la fuerza actúa en forma perpendicular a la orientación de las fibras, sugiriéndose un uso en las piezas de uniones o empalmes.

## 8. CONCLUSIONES

Las características físicas y mecánicas observadas durante los ensayos muestran condiciones ideales para usos y aplicaciones comunes como carpintería, enchapes y machimbrado, en especial la madera de *Uribea tamarindoides* (Tamarindo de monte) por poseer un veteado altamente marcado.

El proceso de disolución de sustancias genera cambios en la coloración de la madera a medida que esta presenta disminuciones en el contenido de humedad.

Durante el proceso de secado de la madera, ambas especies presentaron una alta resistencia al ataque de hongos e insectos, lo cual prolonga su resistencia a los distintos factores ambientales y por ende se obtiene unas maderas de mayor calidad

En cuanto a la relación existente entre las propiedades anatómicas y propiedades mecánicas se puede deducir que la especie *Pseudolmedia laevigata* por poseer un grano entrecruzado, aporta mayor resistencia a la flexión siendo esta madera recomendada para usos estructurales (vigas, viguetas).

Las especies *Pseudolmedia laevigata*, y *Uribea tamarindoides* presentan una densidad alta, por lo cual se clasifico en el grupo estructural de maderas en clase A, considerándose las mismas de mejor calidad en cuanto a su composición de fibras.

Respecto al secado *Uribea tamarindoides* (tamarindo de monte) es una madera difícil de secar al aire libre, se presenta deformaciones y con algunas tendencias a rajarse. Esto se debe a que en la parte anatómica que presentan radios biseriados y triseriados, mientras que la especie *Pseudomedia laevigata* fue más rápido su secado porque sus radios son multiseriados

El ensayo de compresión perpendicular de la *Uribea tamarindoides* fue bastante alta debido a su composición de las fibras libriformes, ya que posee paredes gruesas, garantizando una mayor resistencia de la madera al aplicársele una fuerza en sentido perpendicular.

La especie *Uribea tamarindoides* posee un alto comportamiento anisotrópico comparado con la especie *Pseudolmedia laevigata*, bajo condiciones aplicadas en el proceso de secado, formulado en el proyecto.

Los ensayos mecánicos de flexión muestran que la madera de la especie *Pseudolmedia laevigata* posee mejor comportamiento de flexión en comparación con la especie de *Uribea tamarindoides* (tamarindo de monte), esto es debido a que la especie de la *Pseudolmedia laevigata* tiene una estructura anatómica formada por fibras separadas, que le otorgan excelentes propiedades elásticas.

El comportamiento anisótropo de la madera hace que los datos obtenidos durante los ensayos de impacto generen datos no representativos que pueden inducir a una mala interpretación del comportamiento de la madera.

Los ensayos de compresión para ambas especies sugieren un uso estructural para columnas pues esta propiedad es una de las determinantes para la aplicación de piezas esbeltas que soporten grandes cargas en ambas direcciones tanto paralela como perpendicularmente.

La especie *Pseudolmedia laevigata* presenta un secado al aire más acelerado que la *uribea tamarindoides* respectivamente.

## 9. RECOMENDACIONES

Promover la conservación de la especie mediante la implementación de plantaciones forestales, comerciales y experimentales, que permitan hacer aprovechamiento adecuado de la madera para diferentes aplicaciones.

En el momento de diseñar elementos estructurales es necesario verificar que los esfuerzos admisibles estén dentro del rango calculado para cada una de las especies estudiadas.

Proponer nuevos estudios de investigación con el objetivo de estudiar a profundidad las propiedades mecánicas y comparar con los resultados presentados en este estudio.

Al momento de realizar el aprovechamiento de la especie *Uribea tamarindoides* se recomienda hacer el troceo del mismo en el menor tiempo posible, y así evitar grietas o rajaduras generadas por la liberación de sustancias que generan tensión en la madera.

Es importante implementar paquetes tecnológicos a estas especies con fines de establecer técnicas y metodologías para el correcto manejo de las especies, desde su práctica silvicultural hasta la transformación y comercialización de sus maderas

## BIBLIOGRAFIA

ALE, José. Aplicaciones de materiales de la mecánica a la madera. Argentina 2010 [en línea]: <http://codigotecnico.org/web/recursos/documentos/dbse/se6/>. [Consultado el 5 de septiembre de 2014]

BARAJAS DIAZ, Hugo Orlando y MALAVER MORENO, Luís Fernando. Características anatómicas, fisicomecánicas de las especies Loqueto (*Escallonia pendula*) y Cucharero (*Rapanea guianensis*). Trabajo de grado de Ingeniera Forestal. Málaga: Universidad Industrial de Santander. Programa de Ingeniera Forestal, 2003. 67-100p

BERNE, Ferdinand Y JOHNSTON E, Jr. Mecánica de Materiales. Bogotá: McGraw-Hill, 2010. 92 p.

CORSSER DE LA CRUZ Gina (Noviembre del 2012) composición y estructura de la madera [ en línea].<http://www.buenastareas.com/composici%c3%B3n-y-Estructura-de-la-madera/6183137.html>. [citado el 18 Agosto de 2014]

DEL VALLE, Jorge Ignacio. Introducción a la Dendrología de Colombia. Medellín: Universidad de Colombia, 1972. 103 p.

GARCIA, Luis Esteban. La madera y su anatomía. Madrid: Mundi-prensa: Fundación del conde valle Salazar, 2003. 67p.

GOMEZ, Octavio López y León, Héctor Rojas. Manual del Grupo Andino para el Secado de las Maderas. Cartagena: Junta del Acuerdo de Cartagena, 1980. 29 p.

GUEVARA, Hernando Jiménez y LASTRA, José Anatolio. La madera recurso para el desarrollo nacional. Bogotá: ICONTEC, 1985 p.22.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Segunda actualización. Bogotá D.C.: ICONTEC, 1992. 1-100 p. NTC 206

LONDOÑO, Alberto. Anatomía de maderas. Ibagué: Universidad del Tolima, 1977. 20p

MEJIA. Luis Carlos. Manual de anatomía de maderas. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 1988. 133p.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia 1977 [en línea].[http://www.ing-davirbonilla.com/archivos/titulog\\_nsr10.pdf](http://www.ing-davirbonilla.com/archivos/titulog_nsr10.pdf). [consultado 6 de junio 2013].



REY, Soto Álvaro. Manual de laboratorio de resistencia de materiales. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 1993. 63 p.

SANTIAGO, José. Esfuerzo y flexión. Argentina 2013 [en línea]. [http:// www.cielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59442011000300007&scrip](http://www.cielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59442011000300007&scrip). [Consultado 6 de febrero 2014]

VIGOTE, Santiago Peña y PERIS JIMENEZ, Francisco Javier. Tecnología de la madera. Madrid: Mundi-prensa: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1996. 93 p

## ANEXOS

### Anexo A. Contenido de humedad de la madera

**Tabla 16. Contenido de humedad *Pseudolmedia laevigata***

| <b>No de probetas</b> | <b>Peso inicial Gr</b> | <b>Peso seco Gr</b> | <b>Contenido de humedad Gr</b> |
|-----------------------|------------------------|---------------------|--------------------------------|
| 1                     | 10.4                   | 6.7                 | 55.2238806                     |
| 2                     | 10.2                   | 6.3                 | 61.9047619                     |
| 3                     | 10.1                   | 6.1                 | 65.57377049                    |
| 4                     | 9.58                   | 5.98                | 60.2006689                     |
| 5                     | 10.5                   | 6.95                | 51.07913669                    |
| 6                     | 10.4                   | 5.86                | 77.47440273                    |
| 7                     | 10.6                   | 5.94                | 78.45117845                    |
| 8                     | 9.53                   | 5.91                | 61.25211506                    |
| 9                     | 9.57                   | 5.08                | 88.38582677                    |
| 10                    | 10.7                   | 6.12                | 74.83660131                    |
| 11                    | 10.8                   | 6.14                | 75.89576547                    |
| 12                    | 10.4                   | 6.16                | 68.83116883                    |
| 13                    | 10.2                   | 6.17                | 65.31604538                    |
| 14                    | 10.6                   | 6.19                | 71.24394184                    |
| 15                    | 10.2                   | 6.82                | 49.5601173                     |
| 16                    | 9.58                   | 5.86                | 63.48122867                    |
| 17                    | 9.47                   | 5.87                | 61.32879046                    |
| 18                    | 10.2                   | 6.82                | 49.5601173                     |
| 19                    | 10.1                   | 6.84                | 47.66081871                    |
| 20                    | 10.3                   | 6.98                | 47.56446991                    |
| <b>Promedio</b>       |                        |                     | <b>62.97091794</b>             |

**Tabla 17. Contenido de humedad *Uribea Tamarindoides***

| <b>No de probetas</b> | <b>Peso inicial<br/>Gr</b> | <b>Peso seco<br/>Gr</b> | <b>Contenido de humedad<br/>Gr.</b> |
|-----------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 1                     | 12.8                       | 7.3                     | 75.34246575                         |
| 2                     | 12.5                       | 6.9                     | 81.15942029                         |
| 3                     | 12.4                       | 7.3                     | 69.8630137                          |
| 4                     | 12.1                       | 6.8                     | 77.94117647                         |
| 5                     | 12.9                       | 6.9                     | 86.95652174                         |
| 6                     | 12.1                       | 7.2                     | 68.05555556                         |
| 7                     | 11.59                      | 7.3                     | 58.76712329                         |
| 8                     | 11.57                      | 7.4                     | 56.35135135                         |
| 9                     | 11.56                      | 7.6                     | 52.10526316                         |
| 10                    | 11.53                      | 6.8                     | 69.55882353                         |
| 11                    | 11.51                      | 6.9                     | 66.8115942                          |
| 12                    | 11.48                      | 7                       | 64                                  |
| 13                    | 11.56                      | 7.5                     | 54.13333333                         |
| 14                    | 12.5                       | 7.3                     | 71.23287671                         |
| 15                    | 12.9                       | 6.9                     | 86.95652174                         |
| 16                    | 13                         | 7.8                     | 66.66666667                         |
| 17                    | 13.4                       | 7.7                     | 74.02597403                         |
| 18                    | 13.5                       | 7.4                     | 82.43243243                         |
| 19                    | 13.6                       | 7.1                     | 91.54929577                         |
| 20                    | 13.7                       | 7.8                     | 75.64102564                         |
| <b>Promedio</b>       |                            |                         | <b>71.47752177</b>                  |

## Anexo B. Densidad verdes de la madera

**Tabla 18. Densidad verde de *Pseudolmedia laevigata* (Leche perra)**

| No. de probeta  | Dimensión caras |                 |                   | Volumen (Cm <sup>3</sup> ) | Peso (Gr) | Densidad (Gr/Cm <sup>3</sup> ) |
|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------------------|-----------|--------------------------------|
|                 | Radial (cm)     | Tangencial (cm) | Longitudinal (cm) |                            |           |                                |
| 1               | 3,1             | 3,1             | 9,97              | 95,81                      | 84,079    | 0,878                          |
| 2               | 3,1             | 3,1             | 10,28             | 98,79                      | 82,92     | 0,839                          |
| 3               | 3,1             | 3,08            | 10,3              | 98,34                      | 94,24     | 0,958                          |
| 4               | 3,11            | 3,09            | 10,32             | 99,17                      | 93,72     | 0,945                          |
| 5               | 3,05            | 3,1             | 10,27             | 97,10                      | 93,011    | 0,958                          |
| 6               | 3,08            | 3,1             | 10,23             | 97,68                      | 84,67     | 0,867                          |
| 7               | 3,04            | 3               | 10,3              | 93,94                      | 88,65     | 0,944                          |
| 8               | 3,08            | 3,1             | 10,2              | 97,39                      | 90,15     | 0,926                          |
| 9               | 3,04            | 3,15            | 10,26             | 98,25                      | 88,95     | 0,905                          |
| 10              | 3,15            | 3,02            | 10,27             | 97,70                      | 89,15     | 0,913                          |
| 11              | 3,05            | 3,14            | 10,28             | 98,45                      | 90,85     | 0,923                          |
| 12              | 3,07            | 3,17            | 10,17             | 98,97                      | 91,12     | 0,921                          |
| 13              | 3,25            | 3,1             | 10,23             | 103,07                     | 86,95     | 0,844                          |
| 14              | 3,15            | 3,21            | 10,3              | 104,15                     | 92        | 0,883                          |
| 15              | 3,07            | 3,12            | 10,36             | 99,23                      | 89,95     | 0,906                          |
| 16              | 3,15            | 3,24            | 10,21             | 104,20                     | 89,67     | 0,861                          |
| 17              | 3,21            | 3,13            | 10,14             | 101,88                     | 92,17     | 0,905                          |
| 18              | 3,14            | 3,05            | 10,05             | 96,25                      | 96,15     | 0,999                          |
| 19              | 3,08            | 3,012           | 10,2              | 94,62                      | 85,78     | 0,907                          |
| 20              | 3,1             | 3,25            | 10                | 100,75                     | 96,14     | 0,954                          |
| <b>Promedio</b> |                 |                 |                   |                            |           | <b>0.912</b>                   |

**Tabla 19. Densidad verde de *Uribea tamarindoides* (Tamarindo de monte)**

| No. de probeta  | Dimensión caras |                 |                   | Volumen (Cm <sup>3</sup> ) | Peso (Gr) | Densidad (Gr/Cm <sup>3</sup> ) |
|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------------------|-----------|--------------------------------|
|                 | Radial (cm)     | Tangencial (cm) | Longitudinal (cm) |                            |           |                                |
| 1               | 3,1             | 3,01            | 9,94              | 92,75                      | 112,73    | 1,215                          |
| 2               | 3,1             | 3,13            | 10                | 97,03                      | 112,35    | 1,158                          |
| 3               | 3,14            | 3,05            | 10,3              | 98,64                      | 111,93    | 1,135                          |
| 4               | 3,14            | 3,2             | 10,25             | 102,99                     | 112,027   | 1,088                          |
| 5               | 3,08            | 3,05            | 10,14             | 95,26                      | 116,49    | 1,223                          |
| 6               | 3,08            | 3,2             | 10,12             | 99,74                      | 110,58    | 1,109                          |
| 7               | 3,1             | 3,15            | 10,36             | 101,17                     | 112,54    | 1,112                          |
| 8               | 3,14            | 3,25            | 10,36             | 105,72                     | 111,52    | 1,055                          |
| 9               | 3,25            | 3,14            | 10,15             | 103,58                     | 110,58    | 1,068                          |
| 10              | 3,14            | 3,15            | 10,2              | 100,89                     | 114       | 1,130                          |
| 11              | 3,15            | 3,25            | 10,16             | 104,01                     | 113,21    | 1,088                          |
| 12              | 3               | 3,08            | 10,5              | 97,02                      | 112,52    | 1,160                          |
| 13              | 3,01            | 3,12            | 10,23             | 96,07                      | 114,26    | 1,189                          |
| 14              | 3,14            | 3,25            | 10,36             | 105,72                     | 110,84    | 1,048                          |
| 15              | 3,08            | 3,1             | 10,15             | 96,91                      | 110,62    | 1,141                          |
| 16              | 3,1             | 3,2             | 10,25             | 101,68                     | 113,21    | 1,113                          |
| 17              | 3,08            | 3,14            | 10,25             | 99,13                      | 110,45    | 1,114                          |
| 18              | 3,07            | 3,2             | 10                | 98,24                      | 113,47    | 1,155                          |
| 19              | 3,014           | 3,01            | 10,21             | 92,63                      | 113,12    | 1,221                          |
| 20              | 3,14            | 3,05            | 10,25             | 98,16                      | 118,21    | 1,204                          |
| <b>Promedio</b> |                 |                 |                   |                            |           | <b>1.136</b>                   |

## Anexo C. Densidad seca al horno de la madera

**Tabla 20. Densidad seca al horno *Pseudolmedia laevigata* (leche perra)**

| No de probeta   | Dimensión caras |                 |                   | Volumen (Cm <sup>3</sup> ) | Peso (Gr)  | Densidad (Gr/Cm <sup>3</sup> ) |
|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|----------------------------|------------|--------------------------------|
|                 | Radial (cm)     | Tangencial (cm) | Longitudinal (cm) |                            |            |                                |
| 1               | 3,02            | 3,01            | 10                | 90,902                     | 84,079     | 0,92494115                     |
| 2               | 3,1             | 3,18            | 9,98              | 98,38284                   | 82,92      | 0,84282991                     |
| 3               | 3,18            | 3,048           | 10                | 96,9264                    | 83,4262    | 0,860717                       |
| 4               | 3,04            | 3,25            | 10,04             | 99,1952                    | 85,6952    | 0,86390471                     |
| 5               | 3,08            | 3,025           | 10,12             | 94,28804                   | 80,78804   | 0,85682171                     |
| 6               | 3,1             | 3,18            | 10,12             | 99,76296                   | 86,26296   | 0,86467924                     |
| 7               | 3,1             | 3,15            | 10,36             | 101,1654                   | 87,6654    | 0,86655517                     |
| 8               | 3,18            | 3,25            | 10,15             | 104,90025                  | 91,40025   | 0,87130631                     |
| 9               | 3,25            | 3,19            | 10,15             | 105,230125                 | 91,730125  | 0,87170974                     |
| 10              | 3,048           | 3,15            | 10,2              | 97,93224                   | 84,43224   | 0,86214958                     |
| 11              | 3,15            | 3,25            | 10,03             | 102,682125                 | 89,182125  | 0,86852629                     |
| 12              | 3               | 3,09            | 10,5              | 97,335                     | 83,835     | 0,86130374                     |
| 13              | 3,01            | 3,12            | 10,23             | 96,071976                  | 82,571976  | 0,85948035                     |
| 14              | 3,14            | 3,12            | 10,36             | 101,494848                 | 87,994848  | 0,86698832                     |
| 15              | 3,08            | 3,18            | 10,15             | 99,41316                   | 85,91316   | 0,86420309                     |
| 16              | 3,14            | 3,2             | 10,25             | 102,992                    | 89,492     | 0,86892186                     |
| 17              | 3,08            | 3,14            | 10,14             | 98,065968                  | 84,565968  | 0,86233756                     |
| 18              | 3,07            | 3,2             | 10                | 98,24                      | 84,74      | 0,86258143                     |
| 19              | 3,014           | 3,01            | 10,21             | 92,6265494                 | 79,1265494 | 0,85425345                     |
| 20              | 3,14            | 3,05            | 10,25             | 98,16425                   | 84,66425   | 0,86247539                     |
| <b>Promedio</b> |                 |                 |                   |                            |            | <b>0,8658343</b>               |

**Tabla 21. Densidad seca al horno *Uribea tamarindoides* (Tamarindo de monte)**

| No de probeta   | Dimensión caras |                 |                   | Volumen (Cm³) | Peso (Gr) | Densidad (Gr/Cm³) |
|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|---------------|-----------|-------------------|
|                 | Radial (cm)     | Tangencial (cm) | Longitudinal (cm) |               |           |                   |
| 1               | 3,02            | 3,01            | 10                | 90,902        | 95,821    | 1,05411322        |
| 2               | 3,1             | 3,18            | 9,98              | 98,38284      | 95,441    | 0,97009804        |
| 3               | 3,18            | 3,048           | 10                | 96,9264       | 95,021    | 0,98034179        |
| 4               | 3,04            | 3,25            | 10,04             | 99,1952       | 95,118    | 0,9588972         |
| 5               | 3,08            | 3,025           | 10,12             | 94,28804      | 99,581    | 1,05613607        |
| 6               | 3,1             | 3,18            | 10,12             | 99,76296      | 93,671    | 0,93893565        |
| 7               | 3,1             | 3,15            | 10,36             | 101,1654      | 97,091    | 0,95972536        |
| 8               | 3,18            | 3,25            | 10,15             | 104,90025     | 96,301    | 0,9180245         |
| 9               | 3,25            | 3,19            | 10,15             | 105,230125    | 95,611    | 0,90858963        |
| 10              | 3,048           | 3,15            | 10,2              | 97,93224      | 97,351    | 0,99406488        |
| 11              | 3,15            | 3,25            | 10,03             | 102,682125    | 93,931    | 0,9147746         |
| 12              | 3               | 3,09            | 10,5              | 97,335        | 93,711    | 0,96276776        |
| 13              | 3,01            | 3,12            | 10,23             | 96,071976     | 96,301    | 1,00238388        |
| 14              | 3,14            | 3,12            | 10,36             | 101,494848    | 93,541    | 0,92163299        |
| 15              | 3,08            | 3,18            | 10,15             | 99,41316      | 96,561    | 0,97131004        |
| 16              | 3,14            | 3,2             | 10,25             | 102,992       | 96,211    | 0,93415993        |
| 17              | 3,08            | 3,14            | 10,14             | 98,065968     | 92,145    | 0,9396226         |
| 18              | 3,07            | 3,2             | 10                | 98,24         | 94,021    | 0,95705415        |
| 19              | 3,014           | 3,01            | 10,21             | 92,6265494    | 93,012    | 1,00416134        |
| 20              | 3,14            | 3,05            | 10,25             | 98,16425      | 93,021    | 0,94760567        |
| <b>Promedio</b> |                 |                 |                   |               |           | <b>0,96471997</b> |

## Anexo D. Densidad Básica de la madera

**Tabla 22. Densidad Básica de la madera *Pseudolmedia laevigata* (leche de perra)**

| No. de probeta  | Dimensión caras |                 |                   | Volumen (Cm³) | Peso (Gr) | Densidad (Gr/Cm³) |
|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|---------------|-----------|-------------------|
|                 | Radial (cm)     | Tangencial (cm) | Longitudinal (cm) |               |           |                   |
| 1               | 3,1             | 3,1             | 9,97              | 95,81         | 84,079    | 0,87754418        |
| 2               | 3,1             | 3,1             | 10,28             | 98,79         | 82,92     | 0,83934941        |
| 3               | 3,1             | 3,08            | 10,3              | 98,34         | 83,4262   | 0,84830656        |
| 4               | 3,11            | 3,09            | 10,32             | 99,17         | 85,674168 | 0,86387584        |
| 5               | 3,05            | 3,1             | 10,27             | 97,10         | 83,60285  | 0,86097215        |
| 6               | 3,08            | 3,1             | 10,23             | 97,68         | 84,17604  | 0,86178801        |
| 7               | 3,04            | 3               | 10,3              | 93,94         | 80,436    | 0,85628513        |
| 8               | 3,08            | 3,1             | 10,2              | 97,39         | 83,8896   | 0,8613815         |
| 9               | 3,04            | 3,15            | 10,26             | 98,25         | 84,74976  | 0,86259508        |
| 10              | 3,15            | 3,02            | 10,27             | 97,70         | 84,19851  | 0,8618198         |
| 11              | 3,05            | 3,14            | 10,28             | 98,45         | 84,95156  | 0,86287673        |
| 12              | 3,07            | 3,17            | 10,17             | 98,97         | 85,473423 | 0,86359975        |
| 13              | 3,25            | 3,1             | 10,23             | 103,07        | 89,56725  | 0,86901756        |
| 14              | 3,15            | 3,21            | 10,3              | 104,15        | 90,64845  | 0,87037733        |
| 15              | 3,07            | 3,12            | 10,36             | 99,23         | 85,732224 | 0,86395548        |
| 16              | 3,15            | 3,24            | 10,21             | 104,20        | 90,70326  | 0,87044551        |
| 17              | 3,21            | 3,13            | 10,14             | 101,88        | 88,379622 | 0,86749067        |
| 18              | 3,14            | 3,05            | 10,05             | 96,25         | 82,74885  | 0,85973858        |
| 19              | 3,08            | 3,012           | 10,2              | 94,62         | 81,124992 | 0,85733156        |
| 20              | 3,1             | 3,25            | 10                | 100,75        | 87,25     | 0,86600496        |
| <b>Promedio</b> |                 |                 |                   |               |           | <b>0,86223779</b> |



**Tabla 23. Densidad Básica de la madera *Uribea tamarindoides* (Tamarindo de monte)**

| No. de probeta | Dimensión caras |                 |                   | Volumen (Cm³) | Peso (Gr) | Densidad (Gr/Cm³) |
|----------------|-----------------|-----------------|-------------------|---------------|-----------|-------------------|
|                | Radial (cm)     | Tangencial (cm) | Longitudinal (cm) |               |           |                   |
| 1              | 3,1             | 3,01            | 9,94              | 92,75         | 95,821    | 1,03310895        |
| 2              | 3,1             | 3,13            | 10                | 97,03         | 98,382    | 1,01393383        |
| 3              | 3,14            | 3,05            | 10,3              | 98,64         | 95,021    | 0,96328076        |
| 4              | 3,14            | 3,2             | 10,25             | 102,99        | 95,118    | 0,92354746        |
| 5              | 3,08            | 3,05            | 10,14             | 95,26         | 99,581    | 1,04541318        |
| 6              | 3,08            | 3,2             | 10,12             | 99,74         | 93,671    | 0,93912618        |
| 7              | 3,1             | 3,15            | 10,36             | 101,17        | 97,091    | 0,95972536        |
| 8              | 3,14            | 3,25            | 10,36             | 105,72        | 96,301    | 0,91087343        |
| 9              | 3,25            | 3,14            | 10,15             | 103,58        | 95,611    | 0,92305761        |
| 10             | 3,14            | 3,15            | 10,2              | 100,89        | 97,351    | 0,96493941        |
| 11             | 3,15            | 3,25            | 10,16             | 104,01        | 93,931    | 0,90306981        |
| 12             | 3               | 3,08            | 10,5              | 97,02         | 93,711    | 0,96589363        |
| 13             | 3,01            | 3,12            | 10,23             | 96,07         | 96,301    | 1,00238388        |
| 14             | 3,14            | 3,25            | 10,36             | 105,72        | 93,541    | 0,88476767        |
| 15             | 3,08            | 3,1             | 10,15             | 96,91         | 96,561    | 0,9963761         |
| 16             | 3,1             | 3,2             | 10,25             | 101,68        | 96,211    | 0,94621361        |
| 17             | 3,08            | 3,14            | 10,25             | 99,13         | 92,145    | 0,92953885        |
| 18             | 3,07            | 3,2             | 10                | 98,24         | 94,021    | 0,95705415        |
| 19             | 3,014           | 3,01            | 10,21             | 92,63         | 93,012    | 1,00416134        |
| 20             | 3,14            | 3,05            | 10,25             | 98,16         | 93,021    | 0,94760567        |
| Promedio       |                 |                 |                   |               |           | <b>0,96070354</b> |

## Anexo E. Calculo de contracciones

**Tabla 24. Contracciones en la madera de *Pseudolmedia laevigata***

| No de probetas  | Dimensiones en estado verde |            |             | Dimensiones en estado seco |            |             | % contracciones     |                          |                           |
|-----------------|-----------------------------|------------|-------------|----------------------------|------------|-------------|---------------------|--------------------------|---------------------------|
|                 | Radial                      | Tangencial | Transversal | Radial                     | Tangencial | Transversal | %Contracción radial | % Contracción Tangencial | % Contracción transversal |
|                 | mm                          | mm         | mm          | mm                         | mm         | mm          | mm                  | mm                       | mm                        |
| 1               | 10,37                       | 10,27      | 3,08        | 9,98                       | 9,94       | 2,98        | 3,761               | 3,213                    | 3,25                      |
| 2               | 10,25                       | 10,3       | 3,08        | 10,23                      | 10,01      | 2,93        | 0,195               | 2,816                    | 4,87                      |
| 3               | 10,36                       | 10,31      | 3,2         | 10,27                      | 10,02      | 2,96        | 0,869               | 2,813                    | 7,50                      |
| 4               | 10,4                        | 10,23      | 3,11        | 10,36                      | 10,01      | 2,96        | 0,385               | 1,271                    | 4,82                      |
| 5               | 10,36                       | 10,3       | 3,05        | 10,3                       | 10,015     | 2,91        | 0,579               | 2,767                    | 4,59                      |
| 6               | 10,23                       | 10,2       | 3,08        | 10,2                       | 10         | 2,94        | 0,293               | 1,961                    | 4,55                      |
| 7               | 10,35                       | 10,21      | 3,04        | 10,29                      | 10,01      | 2,94        | 0,580               | 1,959                    | 3,29                      |
| 8               | 10,21                       | 10,15      | 3,02        | 10,16                      | 10         | 2,96        | 0,490               | 1,478                    | 1,99                      |
| 9               | 10,3                        | 10,24      | 3           | 10,25                      | 9,98       | 2,94        | 0,485               | 2,539                    | 2,00                      |
| 10              | 10,25                       | 10,21      | 3,1         | 10,21                      | 9,869      | 2,97        | 0,390               | 3,340                    | 4,194                     |
| <b>Promedio</b> |                             |            |             |                            |            |             | <b>0,803</b>        | <b>2,416</b>             | <b>4,10</b>               |

**Tabla 25. Contracciones en la madera *Uribea tamarindoides* (Tamarindo de monte)**

| No de probetas  | Dimensiones en estado verde |            |             | Dimensiones en estado seco |            |             | % contracciones      |                          |                           |
|-----------------|-----------------------------|------------|-------------|----------------------------|------------|-------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|
|                 | Radial                      | Tangencial | Transversal | Radial                     | Tangencial | Transversal | % Contracción radial | % Contracción Tangencial | % Contracción transversal |
|                 | mm                          | mm         | mm          | mm                         | mm         | mm          | mm                   | mm                       | mm                        |
| 1               | 10,37                       | 10,28      | 3,08        | 10,28                      | 9,978      | 2,93        | 0,869                | 2,939                    | 4,870                     |
| 2               | 10,3                        | 10,28      | 3,08        | 10,27                      | 10,1       | 2,94        | 0,291                | 1,751                    | 4,545                     |
| 3               | 10,36                       | 10,31      | 3,2         | 10,3                       | 9,9782     | 3,1         | 0,579                | 3,218                    | 3,125                     |
| 4               | 10,29                       | 10,27      | 3,1         | 10,21                      | 10,01      | 3           | 0,777                | 2,532                    | 3,226                     |
| 5               | 10,36                       | 10,4       | 3,16        | 10,26                      | 10,04      | 3,08        | 0,965                | 3,462                    | 2,532                     |
| 6               | 10,35                       | 10,23      | 3,1         | 10,26                      | 10         | 2,93        | 0,870                | 2,248                    | 5,484                     |
| 7               | 10,28                       | 10,31      | 3,05        | 10,2                       | 9,998      | 2,95        | 0,778                | 3,026                    | 3,279                     |
| 8               | 10,3                        | 10,3       | 3,1         | 10,25                      | 10,015     | 2,96        | 0,485                | 2,767                    | 4,516                     |
| 9               | 10,24                       | 10,7       | 3,02        | 10,16                      | 9,915      | 3           | 0,781                | 7,336                    | 0,662                     |
| 10              | 10,3                        | 10,3       | 3,15        | 10,21                      | 10,023     | 3           | 0,874                | 2,689                    | 4,762                     |
| <b>Promedio</b> |                             |            |             |                            |            |             | <b>0,727</b>         | <b>3,197</b>             | <b>3,700</b>              |

## Anexo F. Relación de la contracción volumétrica

**Tabla 26. Relación de la contracción volumétrica de *Uribea tamarindoides* (Tamarindo de monte)**

| <b>Volumen inicial</b> | <b>Volumen final</b> | <b>% Contracción volumétrica</b> |
|------------------------|----------------------|----------------------------------|
| 328,339088             | 300,541351           | 9,24922201                       |
| 326,12272              | 304,95738            | 6,94042558                       |
| 341,79712              | 318,603926           | 7,2796322                        |
| 327,60273              | 306,6063             | 6,84800997                       |
| 340,47104              | 317,272032           | 7,31202428                       |
| 328,22955              | 300,618              | 9,18492905                       |
| 323,25974              | 300,83982            | 7,45244429                       |
| 328,879                | 303,8551             | 8,23547145                       |
| 330,89536              | 302,2092             | 9,49215312                       |
| 334,1835               | 307,00449            | 8,85296824                       |
| <b>Promedio</b>        |                      | <b>8,08472802</b>                |

**Tabla 27. Relación de la contracción volumétrica *Pseudolmedia laevigata* (leche de perra)**

| <b>Volumen inicial</b> | <b>Volumen final</b> | <b>% Contracción volumétrica</b> |
|------------------------|----------------------|----------------------------------|
| 328,019692             | 295,619576           | 10,9600712                       |
| 325,171                | 300,038739           | 8,3763387                        |
| 341,79712              | 304,599984           | 12,2117984                       |
| 330,87912              | 309,72256            | 6,83081013                       |
| 325,4594               | 300,179595           | 8,4215601                        |
| 321,38568              | 299,88               | 7,17142857                       |
| 321,24744              | 302,828526           | 6,0822916                        |
| 312,96713              | 300,736              | 4,06706547                       |
| 316,416                | 300,7473             | 5,20992208                       |
| 324,42275              | 299,264595           | 8,40665922                       |
| <b>Promedio</b>        |                      | <b>7,77379455</b>                |

## Anexo G. Contenido de humedad

**Tabla 28. Contenido de humedad *Uribea tamarindoides* (Tamarindo de monte)**

| <b>No probeta</b> | <b>Peso verde (gr)</b> | <b>Peso seco (gr)</b> | <b>% c.h</b> |
|-------------------|------------------------|-----------------------|--------------|
| 1                 | 12,35                  | 10,7                  | 15,42        |
| 2                 | 12,69                  | 10,95                 | 12,89        |
| 3                 | 12,65                  | 11                    | 14,00        |
| 4                 | 12,03                  | 10,4                  | 15,67        |
| 5                 | 12,05                  | 10,45                 | 15,31        |
| 6                 | 12,16                  | 10                    | 11,60        |
| 7                 | 12,6                   | 10,92                 | 10,38        |
| 8                 | 12,07                  | 10,4                  | 16,06        |
| 9                 | 12,48                  | 10,9                  | 14,50        |
| 10                | 12,17                  | 10,55                 | 11,36        |
| 11                | 12                     | 10,2                  | 14,65        |
| 12                | 11,54                  | 10,25                 | 12,59        |
| 13                | 12,25                  | 10,12                 | 21,05        |
| 14                | 12                     | 10,21                 | 17,53        |
| 15                | 12,01                  | 10                    | 15,10        |
| 16                | 12,65                  | 10,3                  | 11,82        |
| 17                | 12,04                  | 10,2                  | 18,04        |
| 18                | 12,47                  | 10,48                 | 18,99        |
| 19                | 12,3                   | 10,4                  | 18,27        |
| 20                | 12,05                  | 10,25                 | 11,56        |
| <b>Promedio</b>   |                        |                       | <b>12,24</b> |

**Tabla 29. Contenido de humedad *Pseudolmedia laevigata* (leche de perra)**

| <b>No probeta</b> | <b>Peso verde (gr)</b> | <b>Peso seco (gr)</b> | <b>% c.h</b>  |
|-------------------|------------------------|-----------------------|---------------|
| 1                 | 8,09                   | 7,2                   | 12,36         |
| 2                 | 8,06                   | 7                     | 12,14         |
| 3                 | 8,46                   | 7,3                   | 15,89         |
| 4                 | 8,14                   | 7,1                   | 14,65         |
| 5                 | 8,56                   | 7,4                   | 15,68         |
| 6                 | 8                      | 6,9                   | 15,94         |
| 7                 | 7,85                   | 6,8                   | 12,44         |
| 8                 | 8,33                   | 7,2                   | 12,69         |
| 9                 | 7,94                   | 6,9                   | 15,07         |
| 10                | 8,08                   | 7                     | 15,43         |
| 11                | 8,14                   | 7,2                   | 13,06         |
| 12                | 8,32                   | 7,21                  | 12,40         |
| 13                | 7,95                   | 7,1                   | 11,97         |
| 14                | 8,04                   | 7,25                  | 10,90         |
| 15                | 8,21                   | 7,12                  | 11,31         |
| 16                | 8,17                   | 6,89                  | 10,58         |
| 17                | 7,93                   | 7,16                  | 10,75         |
| 18                | 8                      | 7,25                  | 10,34         |
| 19                | 8,08                   | 7,015                 | 12,18         |
| 20                | 8,12                   | 7,15                  | 13,57         |
| <b>Promedio</b>   |                        |                       | <b>12.312</b> |

## Anexo H. Pruebas mecánicas

Figura 6. Comportamiento a flexión, *Pseudolmedia lavigata* (leche perra)

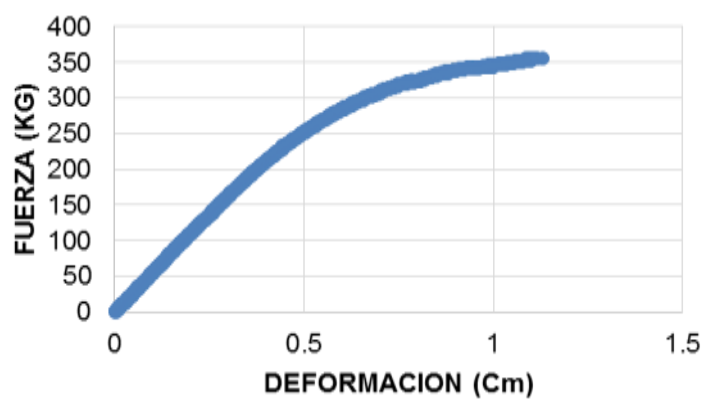
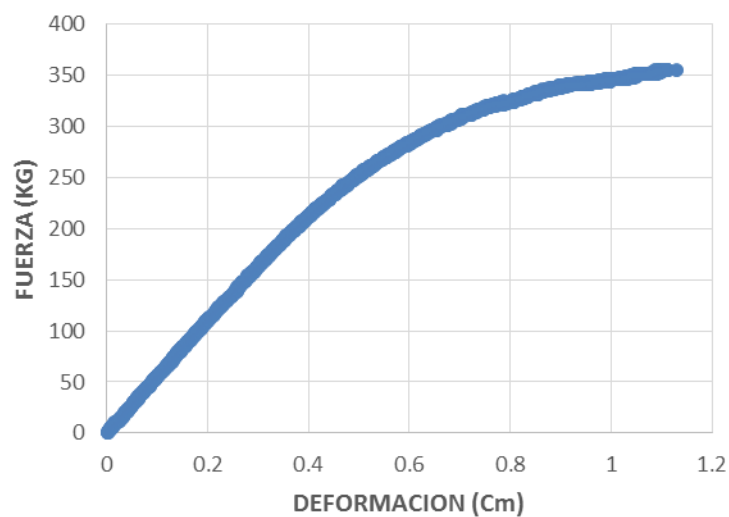


Tabla 30. Flexión: *Pseudolmedia lavigata* (leche perra)

| Probeta | Flexión en el límite proporcional (mpa) | Módulo de elasticidad (mpa) |
|---------|-----------------------------------------|-----------------------------|
| 1       | 30.48387097                             | 12145.61901                 |
| 2       | 29.37708226                             | 7930.948612                 |
| 3       | 34.338637                               | 9994.400608                 |
| 4       | 29.09139866                             | 9359.206335                 |
| 5       | 29.7569186                              | 9111.737962                 |
| 6       | 28.29326758                             | 8971.371972                 |
| 7       | 28.52143909                             | 9768.363832                 |
| 8       | 28.3357205                              | 10301.61734                 |
| 9       | 34.338637                               | 8920.534275                 |
| 10      | 28.3357205                              | 9580.968422                 |
| PROM    | <b>30.087</b>                           | 9608.476836                 |

**Figura 7.** Comportamiento a compresión paralela de Leche de perra *Pseudolmedia laevigata*)

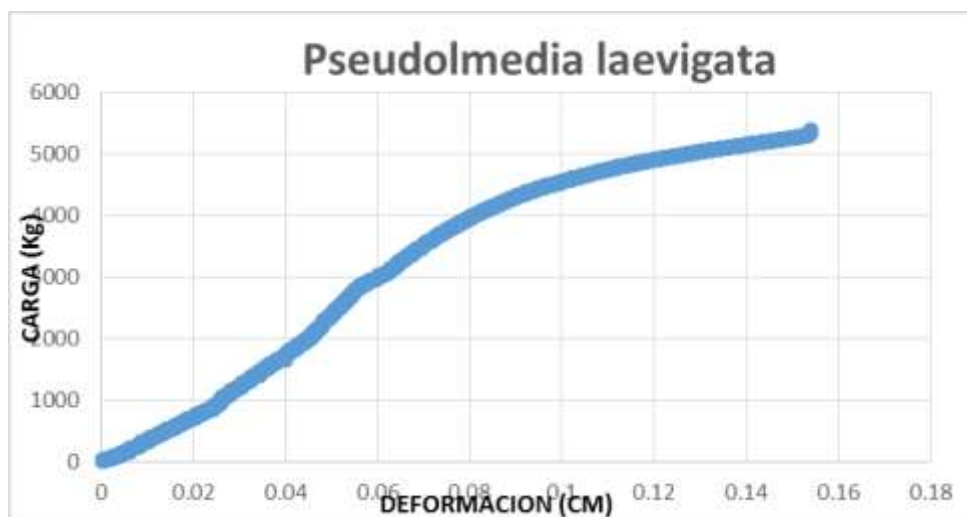


**Tabla 31.** Compresión *paralela Pseudolmedia lavigata* (leche perra)

| No. Probeta | Promedio módulo de rotura |
|-------------|---------------------------|
| 1           | 10.66980484               |
| 2           | 11.82014318               |
| 3           | 11.11660292               |
| 4           | 9.885260371               |
| 5           | 10.37256056               |
| 6           | 11.76816711               |
| 7           | 11.82014318               |
| 8           | 10.99235069               |
| 9           | 9.997744435               |
| 10          | 9.826419535               |
| 11          | 10.41580857               |
| Promedio    | 10.78954594               |



**Figura 8.** Comportamiento a compresión perpendicular *Pseudolmedia laevigata* (leche perra)



**Tabla 32.** Compresión perpendicular *Pseudolmedia laevigata* (leche perra)

| Probeta         | Esfuerzo limite proporcional |
|-----------------|------------------------------|
| 1               | 1.836005376                  |
| 2               | 1.78887665                   |
| 3               | 1.98766543                   |
| 4               | 1.98756524                   |
| 5               | 1.98765465                   |
| 6               | 1.98765234                   |
| 7               | 1.98765465                   |
| 8               | 1.76546788                   |
| 9               | 1.78654352                   |
| 10              | 1.98765782                   |
| <b>Promedio</b> | <b>1.910274356</b>           |

**Figura 9. Comportamiento a cizallamiento *Pseudolmedia laevigata***



**Tabla 33. Cizallamiento *Pseudolmedia laevigata* (leche perra)**

| Probeta  | Esfuerzo limite proporcional |
|----------|------------------------------|
| 1        | 1.969206629                  |
| 2        | 1.952338923                  |
| 3        | 1.961361185                  |
| 4        | 1.570658037                  |
| 5        | 1.385113269                  |
| 6        | 1.558987938                  |
| 7        | 2.057762087                  |
| 8        | 1.969206629                  |
| 9        | 1.962538001                  |
| 10       | 1.969206629                  |
| promedio | 1.835637933                  |

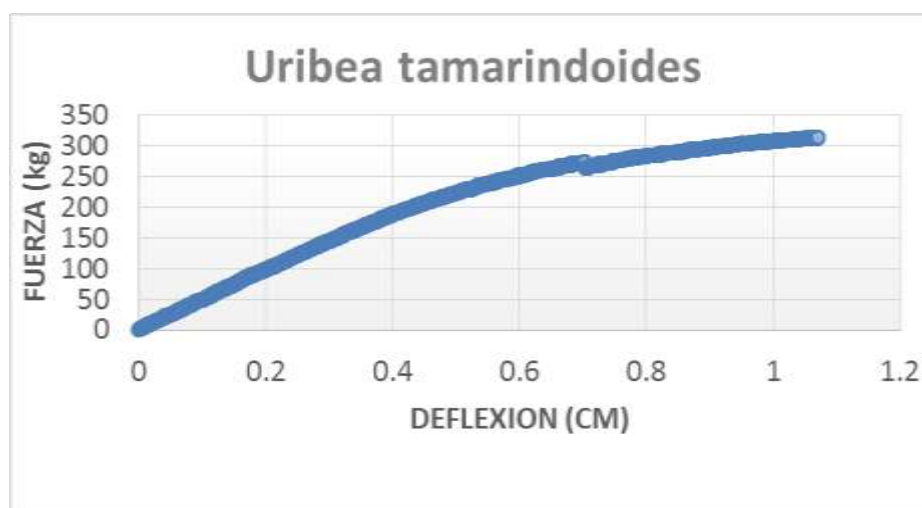
**Figura 10. Comportamiento a Tensión paralela *Pseudolmedia laevigata* (leche perra)**



**Tabla 34. Tensión paralela *Pseudolmedia laevigata* (leche perra)**

| Probeta | Esfuerzo limite<br>MPA |
|---------|------------------------|
| 1       | 9.036481318            |
| 2       | 9.077767971            |
| 3       | 7.64930862             |
| 4       | 7.939590076            |
| 5       | 8.884966167            |
| 6       | 10.74021771            |
| 7       | 11.64156124            |
| 8       | 10.6223399             |
| 9       | 8.802687065            |
| 10      | 9.182700794            |
| PROBETA | 9.357762087            |

**Figura 11. Comportamiento a Flexión *Uribea Tamarindoides* (Tamarindo de monte)**

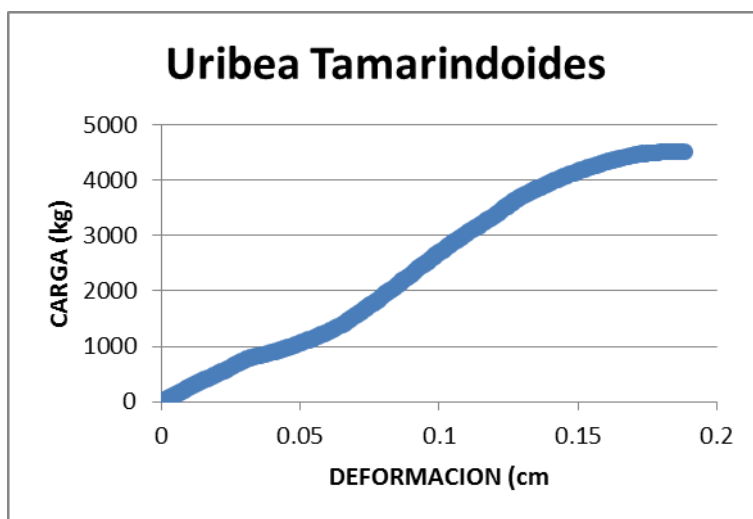


**Tabla 35. Flexión *Uribea Tamarindoides* (Tamarindo de monte)**

| Promedio        | Flexión en epl (MPa) |
|-----------------|----------------------|
| probeta 1       | 15.87418669          |
| probeta 2       | 14.58360241          |
| probeta 3       | 20.74770809          |
| probeta 4       | 17.50704065          |
| probeta 5       | 17.42947138          |
| probeta 6       | 18.80671033          |
| probeta 7       | 19.99462112          |
| probeta 8       | 17.05564255          |
| probeta 9       | 17.22003998          |
| probeta 10      | 17.37689996          |
| <b>Promedio</b> | <b>17.65959232</b>   |

| Promedio        | Modulo elasticidad (MPa) |
|-----------------|--------------------------|
| probeta 1       | 9761.128685              |
| probeta 2       | 9910.930649              |
| probeta 3       | 85838.00635              |
| probeta 4       | 9170.791329              |
| probeta 5       | 9898.60937               |
| probeta 6       | 10070.52762              |
| probeta 7       | 12986.61226              |
| probeta 8       | 11092.37939              |
| probeta 9       | 8732.871309              |
| probeta 10      | 12876.67346              |
| <b>Promedio</b> | <b>12986.61226</b>       |

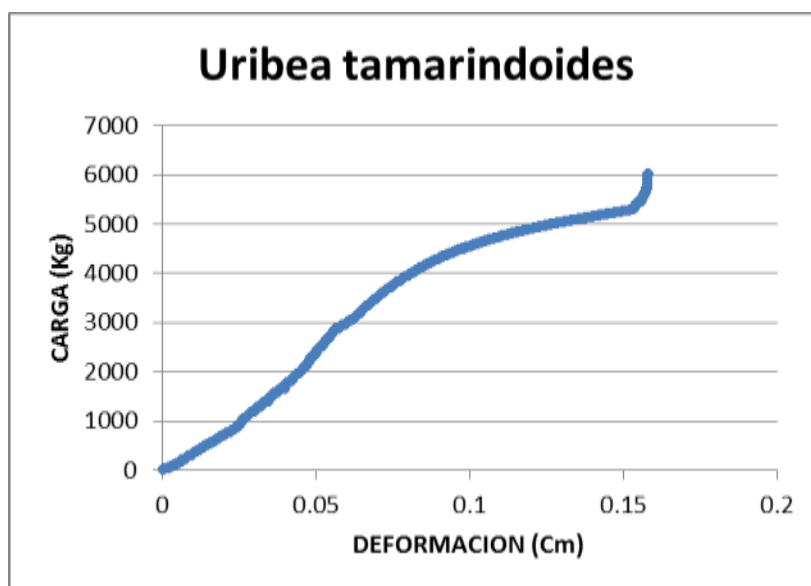
**Figura 12. Comportamiento a Compresión paralela *Uribea Tamarindoides* (Tamarindo de monte)**



**Tabla 36. Compresión paralela *Uribea Tamarindoides* (Tamarindo de monte)**

| Probetas   | Esfuerzo limite proporcional (MPA) |
|------------|------------------------------------|
| Probeta 1  | 15.18424859                        |
| Probeta 2  | 15.1475017                         |
| Probeta 3  | 15.20610539                        |
| Probeta 4  | 14.99444548                        |
| Probeta 5  | 14.96281163                        |
| Probeta 6  | 14.99444548                        |
| Probeta 7  | 14.86049641                        |
| Probeta 8  | 14.71697932                        |
| Probeta 9  | 14.71699376                        |
| Probeta 10 | 14.81234964                        |
| promedio   | 14.95963774                        |

**Figura 13.** Comportamiento a Compresión Perpendicular *Uribea Tamarindoides* (Tamarindo de monte)



**Tabla 37.**compresion paralela Uribea tamarindoides (tamarindo de monte)

| Probeta         | Esfuerzo limite proporcional (MPA) |
|-----------------|------------------------------------|
| 1               | 2.615107213                        |
| 2               | 2.876617934                        |
| 3               | 2.811240254                        |
| 4               | 2.876617934                        |
| 5               | 2.876617934                        |
| 6               | 2.875310381                        |
| 7               | 2.680484893                        |
| 8               | 2.876617934                        |
| 9               | 2.620337427                        |
| 10              | 2.876617934                        |
| <b>Promedio</b> | <b>2.798556984</b>                 |

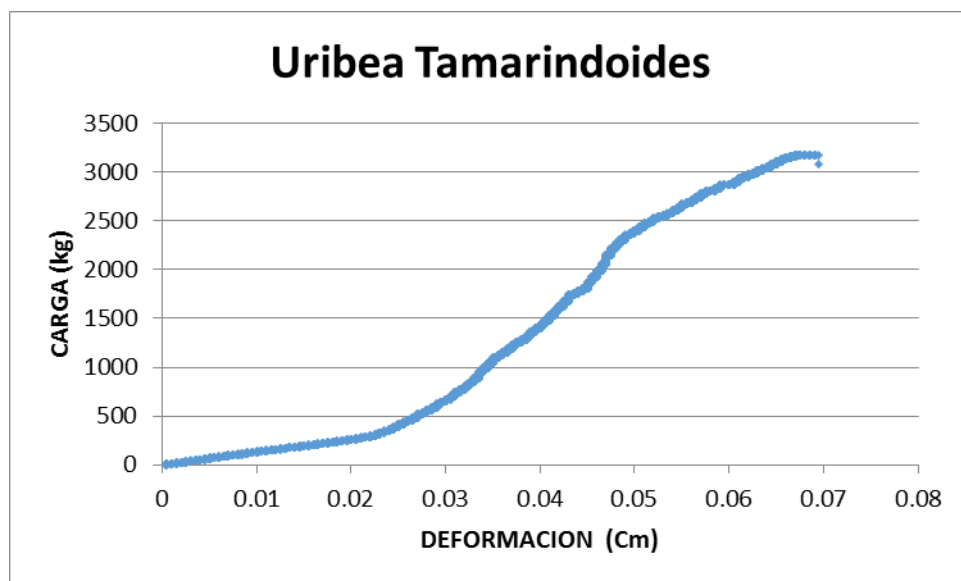
**Figura 14.** Comportamiento a Tensión *Uribea Tamarindoides* (Tamarindo de monte)



**Tabla 38.** Tensión *Uribea Tamarindoides* (Tamarindo de monte)

| Probeta         | Elp (MPa)        |
|-----------------|------------------|
| probeta 1       | 7.46613109       |
| probeta2        | 7.77678052       |
| probeta 3       | 12.9447807       |
| probeta 4       | 13.088717        |
| probeta 5       | 13.0623551       |
| probeta 6       | 13.0491741       |
| probeta 7       | 13.0359931       |
| probeta 8       | 13.5522483       |
| probeta 9       | 13.5522483       |
| probeta 10      | 12.5904759       |
| probeta 11      | 13.0101584       |
| <b>Promedio</b> | <b>12.102642</b> |

**Figura 15. Comportamiento a Cortante Uribea Tamarindoides (Tamarindo de monte)**



**Tabla 39. Cortante Uribea Tamarindoides (Tamarindo de monte)**

| Promedio        | Cizallamiento (MPa) |
|-----------------|---------------------|
| probeta 1       | 1.595802129         |
| probeta 2       | 1.542174445         |
| probeta 3       | 1.55463641          |
| probeta 4       | 1.50263151          |
| probeta 5       | 1.594498882         |
| probeta 6       | 1.570654867         |
| probeta 7       | 1.592942237         |
| probeta 8       | 1.50263151          |
| probeta 9       | 1.570654867         |
| probeta 10      | 1.570654867         |
| <b>Promedio</b> | <b>1.559728172</b>  |