

PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MADERA DE *Retrophyllum  
rospigliosii* (Pilger) C. N. Page PROCEDENTE DE UNA PLANTACIÓN ADULTA  
EN EL SUROCCIDENTE COLOMBIANO



GERMÁN JUSSPHE RAMIREZ BOLAÑOS

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGRARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA FORESTAL  
POPAYÁN  
2022

PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MADERA DE *Retrophyllum*  
*rospigliosii* (Pilger) C. N. Page PROCEDENTE DE UNA PLANTACIÓN ADULTA  
EN EL SUROCCIDENTE COLOMBIANO

GERMÁN JUSSPHE RAMIREZ BOLAÑOS

Trabajo de grado en la modalidad de Investigación para optar al título de  
Ingeniero Forestal

Director

Ph. D. JORGE ANDRÉS RAMÍREZ CORREA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGRARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA FORESTAL  
POPAYÁN

2022

## **Nota de aceptación**

El director y los jurados han leído el presente documento, escucharon la sustentación del mismo por su autor y lo encuentran satisfactorio.

---

Ph. D. JORGE ANDRÉS RAMÍREZ CORREA  
Director

---

Ing. MARIO BENITEZ CASTRILLON  
Jurado 1

---

Mg. ALEJANDRA MARIA RAMÍREZ ARANGO  
Jurado 2

## **DEDICATORIA**

La obtención de este logro se lo dedico principalmente a mis padres por haber sido la base principal durante mi etapa de formación académica, por dedicarme su fortaleza y amor para poder así culminar de manera satisfactoria.

A Daniela Rivera por haber sido mi fuente de inspiración y admiración en este proceso.

***Germán J. Ramírez Bolaños***

Popayán, 21 de Octubre de 2022

## AGRADECIMIENTOS

Presento mis más sinceros agradecimientos a:

A mi director de trabajo de grado, **Jorge Andrés Ramírez Correa**, por haberme hecho parte del proyecto de investigación en pino romerón y la asesoría en el desarrollo del presente trabajo de grado del programa de Ingeniería Forestal.

A **Adriana Marín**, líder de producción de material vegetal forestal de Smurfit Kappa Colombia, por permitirme realizar esta investigación y facilitar todo el trabajo de campo, la obtención, recolección y transporte de las muestras.

Al **Laboratorio de Tecnología de la Madera** de la Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad del Tolima, especialmente a la profesora **Alejandra María Ramírez Arango** y **Carol Fajardo** por facilitarme sus instalaciones para la realización de las pruebas de laboratorio.

A mis asesores de trabajo de grado, las profesoras **Paola Torres Andrade** y **Diana Carolina Vásquez** de la Universidad del Cauca.

A **Milton Javier Escobar**, colega de la Universidad del Cauca y a **Iván Gabriel Pinzón**, colega de la universidad del Tolima, por su total apoyo para el desarrollo y finalización del presente trabajo.

A **Javier Chamorro**, encargado del Laboratorio de Maderas del programa de Ingeniería Forestal de la Universidad del Cauca, por toda la ayuda prestada para la elaboración de las probetas a fallar.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	14
1. MARCO REFERENCIAL .....	16
1.1. MARCO HISTÓRICO.....	16
1.2 ANTECEDENTES DE ESTUDIO .....	18
1.2.1 Estudios anatómicos en especies de Podocarpaceas.....	18
1.2.2 Estudios físico-mecánicos en especies de Podocarpaceas .....	19
1.3 MARCO TEÓRICO .....	21
1.3.1 Familia Podocarpaceae.....	21
1.3.2 <i>Retrophyllum rospigliosii</i> .....	21
1.3.3 Características generales de la madera.....	22
1.3.7 Clasificación estructural de la madera.....	25
1.3.8 Composición química de la madera .....	26
1 METODOLOGÍA.....	28
2.1 ÁREA DE ESTUDIO .....	28
2.2 MUESTREO .....	29
2.3 ANATOMÍA DE LA MADERA .....	30
2.3.1 Preparación de muestras macroscópicas .....	30
2.3.2 Preparación de muestras microscópicas.....	30
2.3.3 Descripción anatómica.....	31
2.4 EVALUACION FÍSICO-MECÁNICA DE LA MADERA .....	32
2.4.1 Determinación de contenido de humedad.....	33
2.4.2 Determinación de la densidad.....	33
2.4.3 Evaluación de la contracción volumétrica .....	34
2.4.4 Evaluación de las propiedades mecánicas .....	34
2.4.5 Pruebas de calidad para longitud de fibra .....	38
2.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA .....	40
2.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	40
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41
3.1 ANATOMÍA DE LA MADERA .....	41
3.1.1 Características macroscópicas de la madera de <i>R. rospigliosii</i> .....	41
3.1.2 Descripción anatómica de la madera de <i>R. rospigliosii</i> .....	41

3.1 EVALUACION DE PROPIEDADES FÍSICO- MECÁNICAS DE LA MADERA DE <i>R. rospigliosii</i> .....	43
3.1.1 Contenido de humedad y medición de la densidad de la madera de <i>R. rospigliosii</i> .....	43
3.1.2 Contracción de la madera de <i>R. rospigliosii</i> .....	45
3.1.3 Propiedades mecánicas de la madera de <i>R. rospigliosii</i> .....	47
3.1.4 Pruebas de calidad de la madera de <i>R. rospigliosii</i> .....	59
3.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE <i>R. rospigliosii</i> .....	59
4. CONCLUSIONES .....	61
RECOMENDACIONES .....	62
BIBLIOGRAFÍA.....	63
ANEXOS .....	75

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de la madera según su densidad básica y resultados de ensayos mecánicos.....	26
Tabla 2. Individuos de <i>R. rospigliosii</i> seleccionados por clase diamétrica y apeados para el estudio de sus propiedades físico-mecánicas.....	29
Tabla 3. Dimensiones de probetas para las pruebas mecánicas.....	32
Tabla 4. Resultados para densidad en verde, seca al aire y al horno de la madera de <i>R. rospigliosii</i> .....	44
Tabla 5. Resultados para pruebas de contracción en porcentaje por clase y sección de la madera de <i>R. rospigliosii</i> . Contracción radial (R), tangencial (T), longitudinal (L) y volumétrica (V).....	46
Tabla 6. Resultados para pruebas mecánicas de las clases diamétricas (flexión estática, compresión paralela y perpendicular, cizallamiento, dureza, clavos e impacto) de la madera de <i>R. rospigliosii</i> . ....	57
Tabla 7. Resultados de contenido porcentual de Celulosa, hemicelulosa y lignina para la madera de <i>R. rospigliosii</i> .....	60

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Secciones de corte considerados para el estudio de la madera.....	23
Figura 2. Mapa de localización de la Finca La Suecia.....	28
Figura 3. Esquema de procedimiento general para el montaje de las láminas para la identificación anatómica de <i>R. rospigliosii</i> .....	31
Figura 4. Selección de trozas para elaboración de probetas de propiedades físico mecánicas.....	33
Figura 5. Equipos utilizados para los ensayos mecánicos realizados a la madera de <i>R. rospigliosii</i> . Máquina universal hidráulica WPM Werkstoffprüfsysteme Leipzig (A) y péndulo de tenacidad Werkstoffprüfsysteme Leipzig (B).....	35
Figura 6. Esquema de ensayos mecánicos realizados a la madera de <i>R. rospigliosii</i> .....	37
Figura 7. Cocción de astillas (A), separación (B), tinción (C) y medición de fibras (D) de <i>R. rospigliosii</i> .....	38
Figura 8. Proceso de medición de las fibras de <i>R. rospigliosii</i> mediante el software ImageJ.....	39
Figura 9. Macroscopía, sección transversal (A), radial (B) y tangencial (C) con aumento de 4x de la madera de <i>R. rospigliosii</i> .....	42
Figura 10. Características microscópicas de la madera temprana (MT) y madera tardía (Mt) de los anillos de crecimiento de <i>R. rospigliosii</i> .....	42
Figura 11. Corte anatómico de la sección tangencial (A) y de la sección radial (B) con aumento de 10x de la madera de <i>R. rospigliosii</i> .....	43
Figura 12. Comparación del ensayo flexión estática en las diferentes secciones del árbol, de la madera de <i>R. rospigliosii</i> . Secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta).....	47
Figura 13. Comparación del ensayo flexión estática en las diferentes clases diamétricas del árbol, de la madera de <i>R. rospigliosii</i> . Clases diamétricas I (8 – 19), II (20 – 31), y III (32 – 43 cm).....	48

Figura 14. Comparación del ensayo de compresión paralela en las diferentes secciones del árbol, de la madera de <i>R. rospigliosii</i> . Secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta).....	49
Figura 15. Comparación del ensayo de compresión paralela en las diferentes clases diamétricas del árbol, de la madera de <i>R. rospigliosii</i> . Clases diamétricas I (8 – 19), II (20 – 31), y III (32 – 43 cm).....	49
Figura 16. Comparación del ensayo de compresión perpendicular en las diferentes clases diamétricas y las secciones del árbol, de la madera de <i>R. rospigliosii</i> . Clases diamétricas I (8 – 19), II (20 – 31), y III (32 – 43 cm). Secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta).....	50
Figura 17. Comparación del ensayo de cizallamiento en las diferentes clases diamétricas y las secciones del árbol, de la madera de <i>R. rospigliosii</i> . Clases diamétricas I (8 – 19), II (20 – 31), y III (32 – 43 cm). Secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta).....	51
Figura 18. Comparación del ensayo de dureza en las diferentes secciones del árbol, de la madera de <i>R. rospigliosii</i> . Secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta).....	52
Figura 19. Comparación del ensayo de dureza en las diferentes clases diamétricas del árbol, de la madera de <i>R. rospigliosii</i> . Clases diamétricas I (8 – 19), II (20 – 31), y III (32 – 43 cm). ....	52
Figura 20. Comparación del ensayo de extracción de clavos en las diferentes secciones del árbol, de la madera de <i>R. rospigliosii</i> . Secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta).....	53
Figura 21. Comparación del ensayo de extracción de clavos en las diferentes secciones del árbol, de la madera de <i>R. rospigliosii</i> . Secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta).....	53
Figura 22. Comparación del ensayo de tenacidad en las diferentes clases diamétricas y las secciones del árbol, de la madera de <i>R. rospigliosii</i> . Clases diamétricas I (8 – 19), II (20 – 31), y III (32 – 43 cm). Secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta).....	54

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Registro de datos para contracción longitudinal y volumétrica. ....	75
Anexo 2. Registro de datos para contracción tangencial y radial.....	76
Anexo 3. Registro de datos para densidad. ....	77
Anexo 4. Registro de datos para compresión paralela a las fibras. ....	78
Anexo 5. Registro de datos para compresión perpendicular a las fibras. ....	79
Anexo 6. Registro de datos para flexión estática. ....	80
Anexo 7. Registro de datos para cizallamiento o esfuerzo cortante paralelo al grano (Probeta en L). ....	81
Anexo 8. Registro de datos para dureza (Brinell). ....	82
Anexo 9. Registro para datos de extracción de puntillas. ....	83
Anexo 10. Registro de datos para tenacidad o impacto o rigidez. ....	84

## RESUMEN

Este trabajo caracteriza la anatomía y las características fisicoquímicas de la madera de pino romerón (*Retrophyllum rospigliosii* (Pilg.) C.N. Page) mediante muestras obtenidas en una plantación adulta de la especie en el departamento del Cauca. La caracterización anatómica se determinó mediante la metodología IAWA (Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera), los ensayos físicos y mecánicos se realizaron conforme a las normas COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnicas) y la composición química se determinó mediante las normas ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) y las TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industries). Los resultados mostraron una contracción volumétrica alta de 5% de la madera que la hace propensa a presentar problemas durante el secado. La madera presentó una densidad básica de  $0,34 \text{ g cm}^{-3}$  que, junto a los bajos resultados obtenidos en los ensayos mecánicos destructivos de flexión estática, compresión, cizallamiento, dureza y extracción de clavos no le permite clasificarla como madera con propiedades estructurales. El contenido de celulosa de 43,2%, de hemicelulosa de 20,2% y de lignina de 28,7% indica un bajo potencial de la especie para la industria papelera. Esta investigación presenta los elementos que permiten determinar el uso industrial del pino romerón estableciendo valores para sus propiedades físicas y químicas.

**Palabras clave:** Pino romerón, caracterización anatómica, características macroscópicas, características microscópicas, caracterización organoléptica, propiedades fisicoquímicas, usos de la madera.

## ABSTRACT

This work characterizes the anatomy and physicochemical characteristics of romeron pine wood (*Retrophyllum rospigliosii* (Pilg.) C.N. Page) through samples obtained in an adult plantation of the species in the department of Cauca. The anatomical characterization was determined using the IAWA (International Association of Wood Anatomists) methodology, the physical and mechanical tests were carried out in accordance with the COPANT standards (Pan American Commission for Technical Standards) and the chemical composition was determined using the ASTM standards (Sociedad American for Testing and Materials) and the TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industries). The results showed a high volumetric shrinkage of 5% of the wood, which makes it prone to problems during drying. The wood presented a basic density of 0.34 g cm<sup>-3</sup> which, together with the low results obtained in the destructive mechanical tests of static bending, compression, shearing, hardness and nail extraction, does not allow it to be classified as wood with structural properties. The cellulose content of 43.2%, hemicellulose of 20.2% and lignin of 28.7% indicate a low potential of the species for the paper industry. This research presents the elements that allow determining the industrial use of romeron pine establishing values for its physical and chemical properties.

Keywords: Romerón pine, anatomical characterization, macroscopic characteristics, microscopic characteristics, organoleptic characterization, physico-chemical properties, uses of wood.

## INTRODUCCIÓN

En Colombia la mayor parte de los bosques se encuentran en un alto grado de alteración debido a los procesos de degradación y deforestación asociados a fenómenos socioeconómicos que conllevan el cambio de uso del suelo (Romero, 2012). Por ello, existe una amplia diversidad de especies que se encuentra en un alto grado de amenaza, entre las cuales está una de las especies más representativas de los bosques andinos, *Retrophyllum rospigliosii*, comúnmente conocido como pino romerón (Cárdenas y Salinas, 2007).

*R. rospigliosii* es una especie que posee una madera con características muy deseables, particularmente para uso en ebanistería y construcción debido a su porte en altura y su poca ramificación (Torres, 1988). Esto, junto a los procesos de cambio de uso del suelo, ha conllevado a que más de un 30% de las poblaciones de pino romerón del país hayan desaparecido en el transcurso de los últimos 30 años, por lo que actualmente el área de distribución de la especie y sus hábitats se encuentren deteriorados y la especie en estado de amenaza (García, 2007).

Se han establecido plantaciones experimentales de *R. rospigliosii* en el departamento del Cauca como mecanismo de conservación de la especie, las cuales buscan mejorar las prácticas silvícolas y manejo de la misma. Se espera que, a largo plazo, dichas plantaciones puedan proveer madera de forma sostenible para reducir el aprovechamiento de esta especie en bosques naturales y proporcionar productos para la industria del papel o madera como chapas decorativas, tableros aglomerados, contrachapados de uso general y molduras (JUNAC, 1981).

No obstante, a pesar de la información que se tiene sobre la especie, no existen datos técnicos sobre el potencial real de la madera de esta especie creciendo en

plantaciones para algunas de las actividades económicas a las cuales se les ha atribuido valor. Por ello, esta investigación pretende evaluar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la madera de *R. rospigliosii* proveniente de plantaciones monoespecíficas en edad madura y establecidas en condiciones similares a los cultivos de coníferas comerciales típicamente establecidos en la Zona Andina colombiana. Se espera que estos datos permitan identificar las características que definen la trabajabilidad de la madera de esta especie, tanto para su uso en aserrío, como las cualidades que definen su potencial para la producción de pulpa para papel.

## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1. MARCO HISTÓRICO

Para atribuir un uso adecuado a la madera de una especie es necesario conocer sus propiedades fisicoquímicas y mecánicas. En América Latina, y en específico en los países andinos, la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC) desarrolló una metodología operativa normalizada para clasificar las maderas del trópico a partir de sus propiedades físicas y mecánicas (JUNAC, 1984). En Colombia, el protocolo de dicha caracterización es regido por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC, el cual establece los procedimientos estandarizados para cada una de las diferentes pruebas que se aplican para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera, además de establecer la clasificación ASTM (American Society for Testing and Materials) y JUNAC, los cuales catalogan la madera mediante parámetros de medición estandarizados a nivel mundial, sirviendo de soporte para la determinación de los posibles usos y aplicaciones de la madera de una especie (ICONTEC, 2006).

En el país se ha avanzado en el estudio tecnológico de la madera en algunas especies con importancia comercial y ecológica; trabajos como el desarrollado por Pulido *et al.* (2018) titulado “*Propiedades físico-mecánicas y uso de 17 especies forestales*”, realizado en conjunto con la Unidad de Ordenación Forestal Yarí – Caguán; o como el estudio llevado a cabo por López y Cárdenas (2002) titulado “*Manual de identificación de especies maderables objeto de comercio en la Amazonia colombiana*” realizado en conjunto con MINAMBIENTE y el Instituto SINCHI; o estudios como el de Vásquez y Ramírez (2005) titulado “*Maderas comerciales en el Valle de Aburrá*” realizado en conjunto con la Dirección Ambiental del Valle de Aburrá; artículos de investigación como “*Características*

*anatómicas, propiedades físico-mecánicas, durabilidad natural y preservación de las maderas de Algarrobo, Nazareno y Monoacero*” liderado por Villegas y Sierra (1995); o como el desarrollado por Cubillos *et al.* (2019) titulado “*Propiedades mecánicas de la madera de chuguaca (Hyeronima macrocarpa Schltr.) para la identificación de su uso potencial*”; y trabajos de investigación como el de Mercado (2020) titulado “*Caracterización física y mecánica de la madera cedro (Cedrela odorata L.) proveniente del departamento de Córdoba Colombia*”; son trabajos que fortalecen el conocimiento de los recursos existentes y promueven el uso adecuado de las especies a partir de la determinación de las propiedades de sus maderas, contribuyendo al fomento del aprovechamiento sostenible.

En el caso de pino romerón, en los últimos años varios investigadores han enfocado esfuerzos en determinar su ecología y posible potencial. El estudio titulado “*Manual para la identificación de maderas que se comercializan en el departamento del Tolima*” contiene una revisión de la identificación macroscópica y una descripción de las características físico-mecánicas de la especie (Arévalo y Londoño, 2005). Incluso, desde 1998, Marín (1998) realizó la primera recopilación de información de *R. rospigliosii* en el territorio nacional. Posteriormente, en el año 2005 el CINOC (Colegio Integrado Nacional Oriente de Caldas) y CONIF (Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal) establecieron parcelas experimentales de medición orientadas a contribuir en temas como la silvicultura y generar mecanismos de conservación de la genética existente en el país (Cueva *et al.* 2013). Es por ello que, aunque se ha avanzado en temas de investigación sobre el establecimiento y manejo de la especie, aún existen necesidades de investigación para la implementación de sistemas de producción forestales rentables y competitivos con esta especie promisoría.

## 1.2 ANTECEDENTES DE ESTUDIO

Los estudios más relevantes encontrados respecto al objeto de trabajo se describen a continuación:

### 1.2.1 Estudios anatómicos en especies de Podocarpaceas

La tesis doctoral de Vásquez (2010) titulada **“Anatomía de la madera de las podocarpaceas colombianas”** describe las características y propiedades de la madera de tres géneros de podocarpaceas presentes en Colombia: *Retrophyllum*, *Podocarpus* y *Prumnopitys*. El material vegetal recolectado procede de bosques naturales y fue recolectado en los departamentos de Antioquia, Caldas, Risaralda y Tolima (región Andina de Colombia). El estudio proporciona una clave de identificación de dichas especies basada en sus características anatómicas de la madera.

El libro del Ministerio del Ambiente del Ecuador y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - MAE y FAO (2014), titulado **“Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales en Ecuador”** describe las propiedades anatómicas (presencia de anillos, poros y parénquima), físicas (densidad y contracción) y mecánicas (resistencia mecánica y relación al peso específico) de 93 especies forestales procedentes de bosques naturales de Ecuador, entre las cuales se encuentran dos especies de la familia Podocarpaceae: *R. rospiglosii* y *Podocarpus oleifolius*. El trabajo tiene como objetivo proporcionar información de las propiedades de dichas especies con fines de manejo sostenible.

Finalmente, el artículo de Zhiñin *et al.* (2020) titulado **“Variación anatómica de la madera en especies Podocarpaceae (*Podocarpus*, *Retrophyllum*, y**

***Prumnopitys) al sur de Ecuador***”, el cual describe las características anatómicas cualitativas y cuantitativas de la madera de *Podocarpus*, *Retrophyllum* y *Prumnopitys* en el sur de Ecuador.

### **1.2.2 Estudios físico-mecánicos en especies de Podocarpaceas**

El artículo de García *et al* (2017) titulado **“*Aptitud de uso del ulcumano (Retrophyllum rospigliosii), procedente de una plantación de 32 años mediante la caracterización tecnológica y anatómica*”** describe las características anatómicas microscópicas y macroscópicas de la especie, y además, presenta sus propiedades físico-mecánicas (contenido de humedad saturado, contenido de humedad seco al aire, densidad anhidra, densidad básica, contracción volumétrica total, contracción tangencial total, contracción radial total, contracción longitudinal total, relación T/R) y las mecánicas (flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular, dureza, tensión perpendicular, clivaje, cizallamiento y tenacidad). El material vegetal utilizado para dicho estudio procede de un sistema agroforestal con café de 32 años de edad. El estudio mostró que la madera de ulcumano es de densidad relativamente baja con características anatómicas y de resistencia mecánica muy homogénea.

El artículo de Arostegui y Sato (1970) titulado **“*Propiedades físico-mecánicas y usos de dos especies de Podocarpus (P. rospigliosi Pilger y P. montanus var Meridensis Bucholz y Gray)*”**, describe las propiedades físicas y mecánicas de dos especies de la familia Podocarpaceae provenientes de bosques naturales de Perú. El objetivo de la investigación fue determinar el potencial de uso de la madera de ambas especies y describir las propiedades de secado, carpintería y físico-mecánicas.

El artículo de Portillo *et al.* (2019) titulado **“*Propiedades físico mecánicas del Retrophyllum rospigliosii (Pilger) C.N. Page de 22 años en dos sistemas de*”**

***plantación en Colombia***” compara las propiedades físicas y mecánicas de dos sistemas de plantación, el primero proveniente de un sistema de plantación lineal establecido como barrera viva forestal (con espaciamiento de 2,5 metros y con podas de formación y un aclareo), y el segundo proveniente de una plantación pura (plantado a 4,5 metros entre árboles y con podas de formación y aclareos). Se encontró que ambos sistemas presentaron diferencias significativas entre sitios para algunas de las propiedades evaluadas y, adicionalmente, se encontró que algunas propiedades fueron inferiores a las reportadas en árboles de bosque natural en Perú y Ecuador.

## 1.3 MARCO TEÓRICO

### 1.3.1 Familia Podocarpaceae

La Podocarpaceae es una de las familias de coníferas más diversas. La familia presenta 18 géneros y aproximadamente 173 especies. Se distribuye en tres zonas geográficas del planeta, la primera corresponde a la zona sur de Japón, China, Nepal y Sumatra hasta Australia, incluyendo Tasmania, Nueva Zelanda, Islas Fiji y Filipinas; la segunda corresponde al Sur de África y Madagascar; y la tercera a Centro y Sur América incluyendo las Antillas (Marín, 1998). Las Podocarpaceae del neotrópico se caracterizan por ser de tipo arbóreo, formando parte del dosel del bosque maduro (Dailing *et al.*, 2011).

En Colombia existen ocho especies de Podocarpaceae organizadas en tres géneros. El género *Retrophyllum* contiene la especie *Retrophyllum rospiglosii* (Pilger) C.N. Page, el género *Prumnopitys* contiene dos especies: *P. montana* (Humb. & Bonpl. Ex Wild) de Laubenfels y *P. harmsiana* (Pilger) de Laubenfels; y finalmente el género *Podocarpus* contiene cinco especies, *P. oleifolius* D. Don ex Lambert, *P. oleifolius* var. *Macrostachyus* (Parl.) Buchholz y Gray, *P. magnifolius* Buchholz y Gray, *P. guatemalensis* Standley, y *P. guatemalensis* var. *Alleni* (Standley) Buchholz y Gray (Marín, 1998).

### 1.3.2 *Retrophyllum rospiglosii*

La especie *R. rospiglosii* se distribuye naturalmente en los bosques montanos tropicales a altitudes entre los 1500 y 3750 msnm en Bolivia, Colombia, Perú y Venezuela (Mozo, 1972; Lamprecht, 1990; Mahecha *et al.*, 2004). En Colombia se han observado ejemplares de *R. rospiglosii* en las Cordilleras Occidental, Central y Oriental, en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Huila, Norte de

Santander, Cauca, Nariño, Valle, Risaralda y Caldas (Torres 1988). *R. rospigliosii* crece en suelos ácidos y poco fértiles, de profundidad media a alta, arcillosos o arcillo-arenosos, con buen drenaje, y alta humedad edáfica (Veillon 1962; Mozo, 1972; Coomes y Bellingham, 2011). La especie se desarrolla mejor en terrenos con pendientes suaves, vegas de ríos, mesetas y depresiones pequeñas con humedad constante y nubosidad (Marín, 1998). *R. rospigliosii* es un árbol perennifolio que en condiciones naturales puede alcanzar 45 m de altura y entre 1 y 2 m de diámetro, el tronco del árbol es grisáceo y liso, normalmente recto y cilíndrico, sin ramificaciones ni nudos; presenta una copa aparasolada bien ramificada y extendida, con follaje verde lustroso y madera color café amarillenta (Torres, 1988).

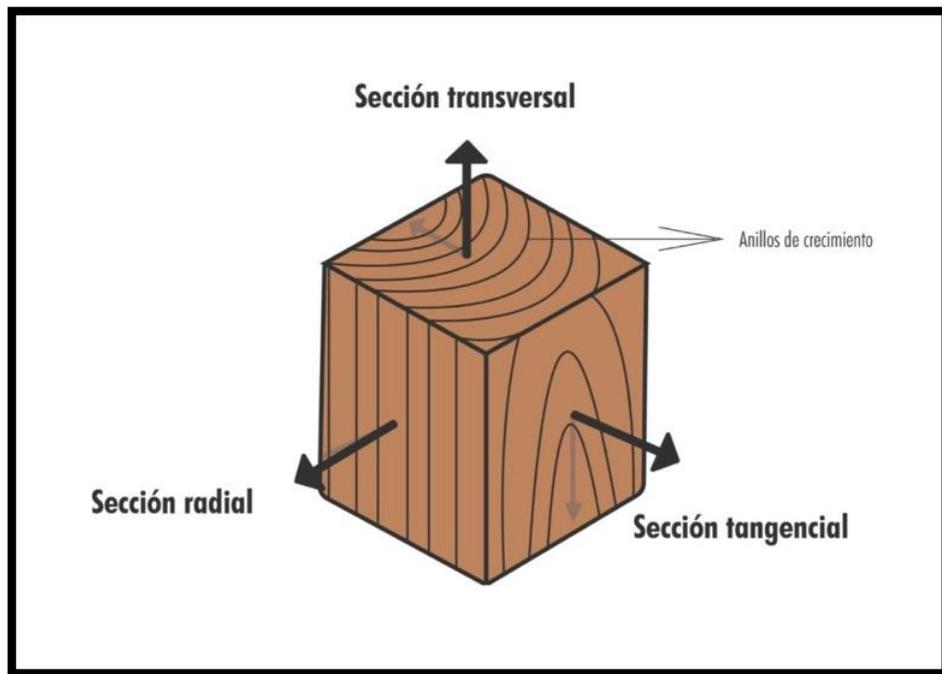
### **1.3.3 Características generales de la madera**

En general, las coníferas poseen una constitución anatómica más simple, menos especializada y con estructuras de menor tamaño que las angiospermas (Vásquez, 2010). Las características de la madera se describen como, características macroscópicas, que son aquellas características observables a simple vista o solo con la ayuda de una lupa de mano de ampliación 10X (León y Espinoza, 1995), las características organolépticas son aquellas características que se dan por el sabor, olor, color, brillo o lustre, textura, grano, peso específico, y diseño o veteado que la madera pueda dar (Vásquez y Ramírez, 2011), y las características microscópicas son aquellas características que deben ser observadas con microscopio (Arostegui, 1975).

### **1.3.4 Anisotropía de la madera**

La descripción de la madera se realiza según la disposición de las células en las secciones transversal, radial y tangencial (Vásquez y Ramírez, 2011) (Figura 1).

Figura 1. Secciones de corte considerados para el estudio de la madera.



Fuente: Elaboración propia.

La sección transversal es el corte perpendicular al eje longitudinal del tronco y es la superficie observable en el extremo de una troza. En dicho plano se observan los anillos de crecimiento y sus características como radios y canales resiníferos. La sección radial es el corte paralelo al eje longitudinal del tallo, en donde el mismo es paralelo a los radios y perpendicular a los anillos de crecimiento. Finalmente, la sección tangencial es el corte paralelo al eje longitudinal del tronco, en donde el mismo es perpendicular a los radios o tangente a los anillos de crecimiento (Chavesta, 2006).

### 1.3.5 Propiedades físicas de la madera

Constituyen la base para establecer el uso adecuado de la madera de una especie (Arroyo, 1983). Las principales propiedades físicas de la madera según Cisternas (1994) son:

- **Contenido de humedad saturado:** Es la cantidad de agua almacenada en la madera cuando está recién cortada.
- **Contenido de humedad seco al aire:** Es la cantidad de agua almacenada en la madera cuando esta se ha secado al aire.
- **Densidad anhidra:** Es la relación entre el peso seco y volumen de la madera seca.
- **Densidad básica:** Es la relación entre el peso seco y el volumen de la madera verde (saturada).
- **Densidad seca al aire:** Es la densidad de la madera a un contenido de humedad en equilibrio.
- **Contracción volumétrica total:** Es la disminución que experimenta en volumen la madera cuando pasa del estado de saturación al estado anhidro.

### 1.3.6 Propiedades mecánicas de la madera

Son las características que determinan la calidad de la madera de una especie y que permiten conocer el potencial de utilización de esta en procesos industriales de elaboración de productos. Quien desarrolló una metodología operativa estandarizada para clasificar las maderas fue La Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC), que clasificando las maderas del trópico a partir de sus propiedades físicas y mecánicas (JUNAC, 1984) determina su trabajabilidad. Las siguientes propiedades mecánicas se describen según AIDER (Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral) (2010):

- **Flexión estática:** Es la deflexión ocasionada por una carga transversal a la dirección longitudinal de la viga de madera aplicada en dos puntos de la cara interna de flexión.
- **Compresión paralela:** Es el máximo esfuerzo aplicado por dos fuerzas en sentido opuesto y en dirección paralela a las fibras.
- **Compresión perpendicular:** Es el máximo esfuerzo aplicado por dos fuerzas en sentido opuesto y en dirección perpendicular a las fibras.
- **Dureza:** Es la resistencia que opone la madera al desgaste, rayado y clavado. La dureza depende de la densidad de la madera, edad, estructura y el sentido de las fibras.
- **Cizallamiento:** Es el esfuerzo que oponen las fibras de la madera a la acción de dos fuerzas paralelas que tienden a cortar la sección transversal de la madera. El cizallamiento varía en cada uno de los tres planos de corte y según el tipo de grano de la madera.
- **Tenacidad o resistencia al impacto:** Es la resistencia que opone la madera al golpe de un cuerpo duro. La resistencia es mayor en sentido axial a las fibras y menor en sentido transversal.
- **Extracción de clavos:** Es la resistencia que opone la madera a la extracción de clavos y tornillos.

### 1.3.7 Clasificación estructural de la madera

Existen dos parámetros fundamentales para clasificar la madera que son la densidad básica y los esfuerzos admisibles, estos se encuentran definidos en el

Manual de Clasificación Visual para Madera Estructural (JUNAC, 1984). Grupo estructural A: son las maderas de mayor resistencia que se recomiendan para construcción pesada, donde el factor más importante es la resistencia y no la trabajabilidad de la madera. Grupo estructural B: comprende las maderas de mediana resistencia que se recomienda usarlas en piezas o partes estructurales de cierta envergadura. Finalmente, el grupo estructural C: comprende las maderas de menor resistencia que se puede usar en trabajos donde se requiera facilidad de clavado, corte, ensamblaje y montaje.

Tabla 1. Clasificación de la madera según su densidad básica y resultados de ensayos mecánicos.

Grupo	Esfuerzos admisibles (MPa)				
	Densidad básica	Flexión estática	Compresión paralela	Compresión perpendicular	Cizallamiento
A	0,71 – 0,90	21,0	14,5	4,0	1,5
B	0,56 – 0,70	15,0	11,0	2,8	1,2
C	0,40 – 0,55	10,0	8,0	1,5	0,8

Fuente: JUNAC (1984); MPa: Libra / pulgada<sup>2</sup>

### 1.3.8 Composición química de la madera

En promedio, la madera se compone químicamente de un 50% de carbono, un 42% de oxígeno, un 6% de hidrógeno y el 2% restante de nitrógeno y otros elementos (Fong, 2008). Los principales polímeros que componen la madera son la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. La celulosa es un polisacárido estructural formado por glucosa que forma parte de la pared de las células vegetales. Sus funciones son las de servir de soporte a la planta y la de darle una protección vegetal, además ésta compone de entre el 35 y 55% del material lignocelulósico

total. La hemicelulosa es un heteropolisacárido cuya función es servir de puente de unión entre la celulosa y la lignina, esta compone de entre 20 y 40% del material lignocelulósico total. La lignina es otro polisacárido que se sitúa entre las fibras de la celulosa de algunas células y su función principal es otorgar resistencia mecánica a la madera y servir como barrera física potencial contra el establecimiento de fitopatógenos, y compone de entre el 10 y 25% del material lignocelulósico total (Fonseca, 2006; Lagunes y Zavaleta, 2016). Así, en términos de la calidad, el contenido de celulosa determinará el grado de resistencia de la madera (Carrillo *et al.*, 2013), mientras que el contenido de lignina otorgará la dureza y rigidez a la madera, dado que la misma funciona como puente de unión entre las fibras de la celulosa (Fonseca, 2006).

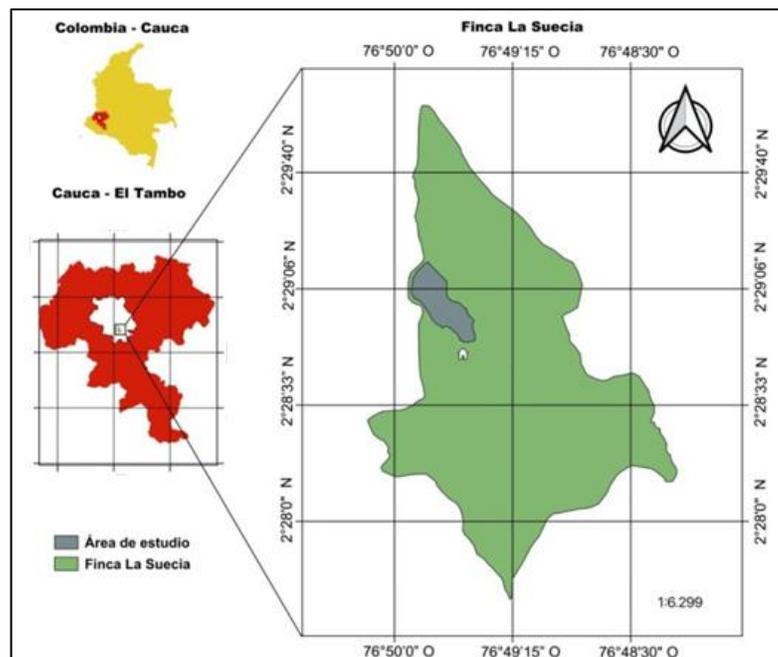
En el papel, la celulosa otorga cualidades dependiendo la longitud de la fibra. En el caso de especies de fibra larga, la celulosa brinda resistencia al papel, y en el caso de especies de fibra corta, la celulosa actúa como relleno brindándole suavidad al papel. Las hemicelulosas son importantes en la fabricación de papel ya que incrementan el rendimiento de la pulpa celulósica, aumentando la resistencia de las fibras debido a que actúa formando enlaces entre ellas. Además, la presencia de hemicelulosas también aumenta la blancura alcanzada en el blanqueo de la pulpa (Núñez, 2015). Finalmente, la proporción de la lignina genera que las fibras sean de un color natural más o menos oscuro y cuando esta se descompone, o se somete a oxidación, se convierte en ácido fenólico que es el que conlleva el amarillamiento del papel (Segebarth, 2000).

# 1 METODOLOGÍA

## 2.1 ÁREA DE ESTUDIO

La plantación está ubicada al occidente del departamento del Cauca (municipio de El Tambo), Colombia, en La Finca La Suecia, Vereda Pepital, se encuentra entre las coordenadas  $2^{\circ}28'00''$  y  $2^{\circ}29'40''$  N, y  $76^{\circ}48'30''$  y  $76^{\circ}50'00''$  W, a una altitud aproximada de 1775 msnm. Según los datos de la estación meteorológica del lugar, la precipitación media anual es de 2255 mm, con régimen de distribución unimodal, con menor precipitación entre los meses de junio y septiembre. La plantación posee un distanciamiento de siembra de 3 metros, sin actividades de silvicultura y una edad de 22 años al momento de la cosecha.

Figura 2. Mapa de localización de la Finca La Suecia.



Fuente: Elaboración propia.

## 2.2 MUESTREO

La selección de árboles muestra consistió en un inventario preliminar de la plantación donde se midió diámetro y altura de todos los individuos y posteriormente se agruparon los árboles en tres clases diamétricas dentro de un rango entre 8 y 43 cm aproximadamente. Se seleccionaron 4 individuos por marca de clase, dando un total de 12 individuos distribuidos en 3 clases diamétricas (Tabla 2).

Tabla 2. Individuos de *R. rospigliosii* seleccionados por clase diamétrica y apeados para el estudio de sus propiedades físico-mecánicas.

Clase diamétrica	Árbol	DAP (cm)	Altura (m)	Volumen comercial (m <sup>3</sup> )
I (8 – 19 cm)	1	8,6	7,5	0,04
	2	7,7	6,1	0,02
	3	12,9	8,6	0,11
	4	15,1	9,4	0,16
II (20 – 31 cm)	5	18,5	9,0	0,24
	6	15,7	8,6	0,16
	7	26,7	13,4	0,75
	8	22,8	10,1	0,41
III (32 – 43 cm)	9	29,8	13,3	0,92
	10	29,3	14,3	0,96
	11	41,7	15,5	2,11
	12	36,7	14,0	1,48

## **2.3 ANATOMÍA DE LA MADERA**

### **2.3.1 Preparación de muestras macroscópicas**

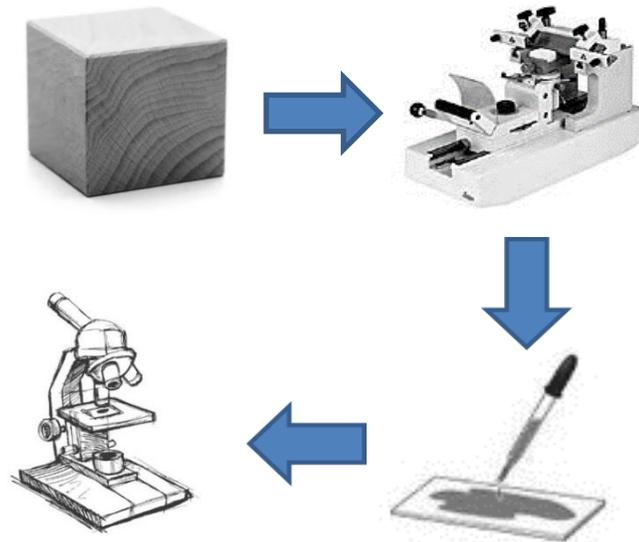
Las muestras de madera seleccionadas se acondicionaron al aire libre durante sesenta días. Luego se dimensionaron probetas de 3 x 15 x 20 centímetros y se lijaron manualmente en todos sus planos con lijas de grano desde grano 80 hasta 1000 para pulir y facilitar la toma de fotografías.

### **2.3.2 Preparación de muestras microscópicas**

Con el fin de realizar cortes finos de los planos de la madera, se dividieron cubos de madera de 1 cm<sup>3</sup> aproximadamente que se sometieron a un proceso de ablandamiento mediante cocción en agua destilada y glicerina. Posteriormente, empleando un micrótomo de deslizamiento marca Leitz, se realizaron cortes finos de 20 micras de espesor y se dispusieron en un platillo con alcohol al 15% (Figura 4). Después, se lavaron las láminas en alcohol al 70%, 50%, 35% 15% y en agua. Luego, se introdujo en una solución de sulfato amónico férrico al 4% durante tres minutos y se lavó con agua destilada. posteriormente, se bañaron las muestras en solución de hematoxilina de Heidenhain (3 gotas en 10 centímetros cúbicos de agua destilada) hasta que la lámina quedó bien teñida. Seguido a este proceso, se lavaron las láminas en agua destilada.

Posteriormente, se adicionó safranina en solución acuosa al 1% dejándose en reposo durante 30 minutos. Finalmente, se realizó un lavado sucesivo de las láminas en alcohol al 70%, al 75%, al 80%, al 95% durante 5 minutos cada uno y se procedió a la cristalización de las láminas en Xilol durante 15 minutos y el montaje en portaobjeto con bálsamo de Canadá para finalizar con un secado en el horno (Figura 4).

Figura 3. Esquema de procedimiento general para el montaje de las láminas para la identificación anatómica de *R. rospigliosii*. Montaje, corte, tinción y observación en microscopio.



Fuente: Elaboración propia.

### 2.3.3 Descripción anatómica.

Se utilizó la metodología planteada por Vásquez y Ramírez (2011) para la descripción de las características anatómicas de la madera incluyendo la descripción de las características macroscópicas propuesta por Bascopé (1962). En primer lugar, se reconocieron las características que son visibles a simple vista y posteriormente se realizaron observaciones utilizando una lupa de 10x. Finalmente, para la observación de las características microscópicas se utilizó el microscopio y una cámara Axiocam ERc 5s para la toma de las imágenes, y para la descripción de los caracteres, este se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por la Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera (IAWA, 1989).

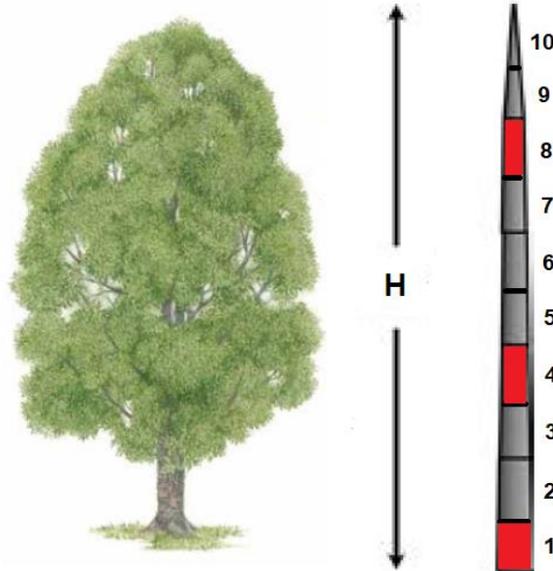
## 2.4 EVALUACION FÍSICO-MECÁNICA DE LA MADERA

Cada uno de los doce árboles muestreados fue seccionado longitudinalmente en 10 partes iguales. De cada árbol se seleccionó la primera troza (la base), la cuarta troza (sección media) y la octava troza (ápice). Las trozas se aserraron en las instalaciones del Laboratorio de Maderas del programa de Ingeniería Forestal de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca (Figura 4). Posteriormente, las trozas seleccionadas fueron cortadas en listones y posteriormente en probetas según las normas para las pruebas físico-mecánicas (Tabla 3). Se seleccionaron probetas libres de defectos y con buena orientación conforme a las normas técnicas COPANT (1972) para las pruebas de compresión paralela, compresión perpendicular, dureza, cizallamiento, flexión estática, tenacidad y extracción de clavos. Posteriormente, el material se transportó al Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad del Tolima en Ibagué, donde se apiló bajo techo y se acondicionó a la temperatura de esta ciudad hasta alcanzar un contenido de humedad estable.

Tabla 3. Dimensiones de probetas para las pruebas mecánicas

PRUEBA	NORMA	DIMENSIÓN
Contenido de humedad	COPANT 462	2,5 * 2,5 * 10 cm
Compresión paralela	COPANT 464	5 * 5 * 20 cm
Compresión perpendicular	COPANT 466	5 * 5 * 15 cm
Dureza	COPANT 465	5 * 5 * 15 cm
Cizallamiento	COPANT 463	5 * 5 * 6,3 cm
Flexión estática	COPANT 555	2,5 * 2,5 * 41 cm
Tenacidad	COPANT 556	1,5 * 1,5 * 21 cm
Extracción de clavos	COPANT 744	5 * 5 * 15 cm

Figura 4. Selección de trozas para elaboración de probetas para el análisis de las propiedades físico mecánicas.



Fuente: Elaboración propia.

#### **2.4.1 Determinación de contenido de humedad**

Se registró el peso de las 36 probetas de 2.5 \* 2.5 \* 10 centímetros. Las probetas se sumergieron en agua durante tres días y se registró el peso para la determinación del peso verde. El volumen verde se determinó mediante el desplazamiento del fluido ocupado por la probeta sobre una balanza de precisión y registrando el peso en la balanza. El peso seco se determinó al final del secado en horno durante 2 días a una temperatura de 80 °C (COPANT 460).

#### **2.4.2 Determinación de la densidad**

Se determinó la densidad verde, seca al aire y seco al horno a partir de la toma del peso de cada probeta y dividiendo entre el volumen desplazado por el agua.

Finalmente, la densidad básica, se determinó usando el volumen estequiométrico, calculado multiplicando la longitud de cada uno de los lados de las probetas, y posteriormente dividiendo el peso seco al horno entre este volumen calculado.

### **2.4.3 Evaluación de la contracción volumétrica**

El número de probetas a analizar fue de 4 por clase diamétrica y 1 por cada sección del árbol, es decir que, teniendo 3 clases diamétricas y 3 secciones, el total de probetas es de 36. Este análisis de contracción se realizó mediante el cálculo de la contracción normal y total, siendo contracción normal, el cambio dimensional de los planos de la madera cuando se pasa de estado verde a seco al aire y de estado seco al aire a seco al horno, es decir, el cambio dimensional presentado pasando por cada uno de los estados de humedad. La contracción total es el cambio dimensional de los planos de la madera cuando se pasa de estado verde a seco al horno, es decir, el cambio dimensional total que presenta la madera ante la pérdida total de humedad.

### **2.4.4 Evaluación de las propiedades mecánicas**

Los ensayos mecánicos de compresión paralela, compresión perpendicular, dureza, cizallamiento, flexión estática, tenacidad y extracción de clavos se realizaron de acuerdo con los métodos propuestos en las normas del comité panamericano de normas técnicas (COPANT, 1972). El procedimiento general consistió en la selección, orientación y clasificación de 30 probetas por ensayo (4 probetas por clase y una por sección, con 3 clases diamétricas, 3 secciones para un total de 36 probetas, y descartando aquellas 6 en malas condiciones) para el establecimiento de los puntos de contacto en cada equipo y el cargue de las probetas según las especificaciones de carga y velocidad de cada ensayo. Los ensayos se realizaron en la Universidad del Tolima con una máquina universal

hidráulica WPM Werkstoffprüfsysteme Leipzig, con dispositivo de lectura y un péndulo de tenacidad para la determinación de las propiedades mecánicas (Figura 5).

Figura 5. Equipos utilizados para los ensayos mecánicos realizados a la madera de *R. rospigliosii*. Máquina universal hidráulica WPM Werkstoffprüfsysteme Leipzig (A) y péndulo de tenacidad Werkstoffprüfsysteme Leipzig (B).



Fuente: Elaboración propia

El ensayo de flexión estática se realizó ubicando la cara radial de la probeta sobre los dos puntos de contacto ubicados cerca a los extremos de la misma, y aplicando una única fuerza sobre la parte central hasta generar un rompimiento (Figura 6, A).

El ensayo de la compresión paralela se realizó ubicando la probeta sobre su plano transversal y aplicando la fuerza en sentido paralelo a las fibras de la madera

sobre la base de la máquina, generando una falla en forma de línea como indicio de aplastamiento, la cual se observó en el gráfico al momento de la falla (Figura 6, B).

Para el ensayo de la compresión perpendicular se ubicó la probeta sobre el plano tangencial y se aplicó una fuerza en sentido de ambas caras del plano tangencial generando una falla en forma de aplastamiento como dos líneas (Figura 6, C).

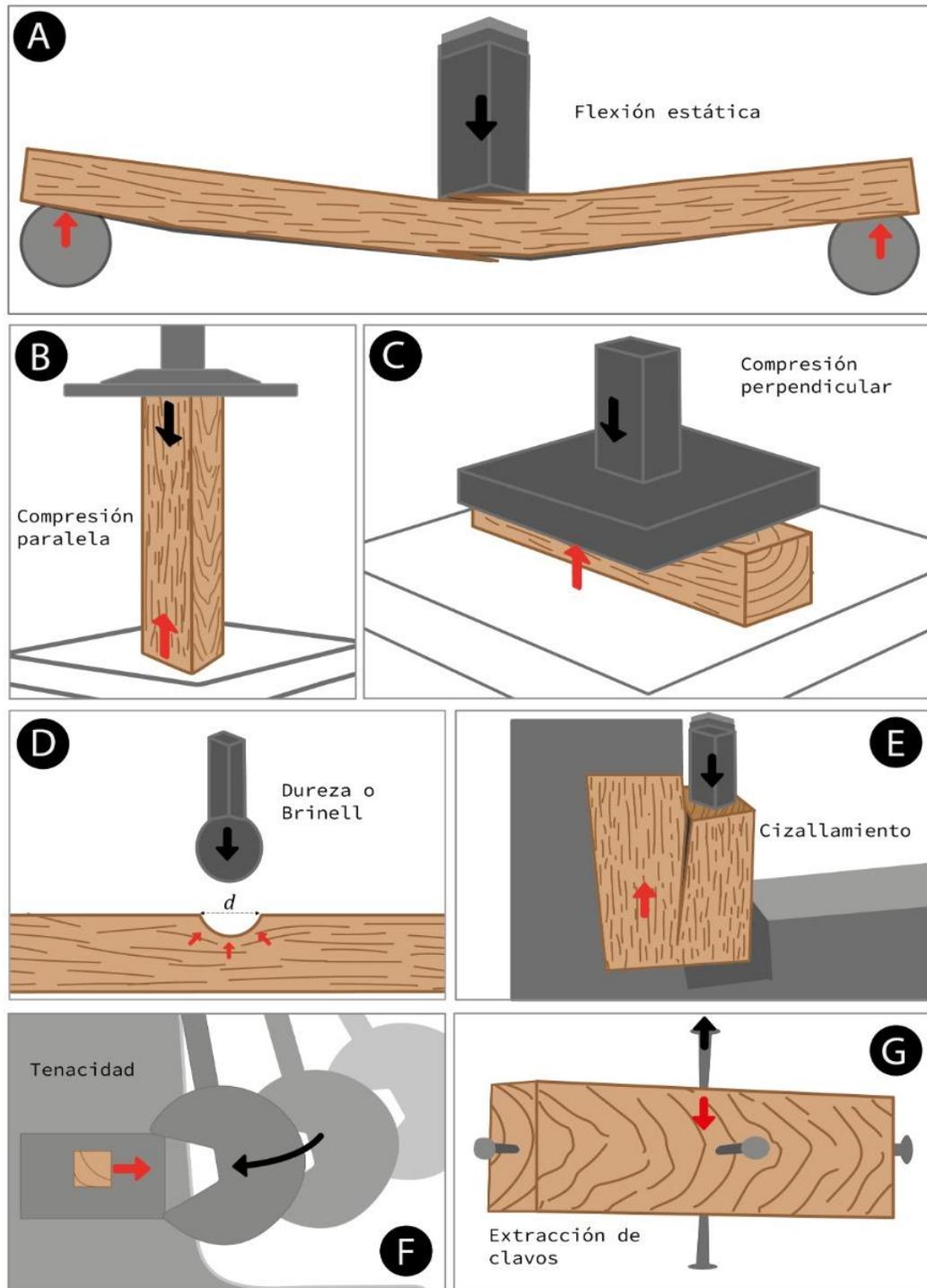
El ensayo de dureza se determinó mediante la penetración con un balín de tungsteno a la madera en cada uno de los planos (Figura 6, D).

El ensayo de cizallamiento se realizó rasgando la madera mediante un escalón hecho a la probeta y empleando un aditamento para agarrar el escalón superior y poder mantenerlo estático, generando una fuerza en sentido paralelo a las fibras que desgarró de la probeta (Figura 6, E).

El ensayo de tenacidad consistió en el sometimiento de las probetas al golpe de una masa cortante mediante una máquina conocida como péndulo de Charpy (Figura 6, F).

Finalmente, el ensayo de extracción de clavos se realizó haciendo una fuerza en sentido contrario a la penetración del clavo hasta extraerlo en cada uno de los planos de la madera (Figura 6, G).

Figura 6. Esquema de ensayos mecánicos realizados a la madera de *R. rospigliosii*.

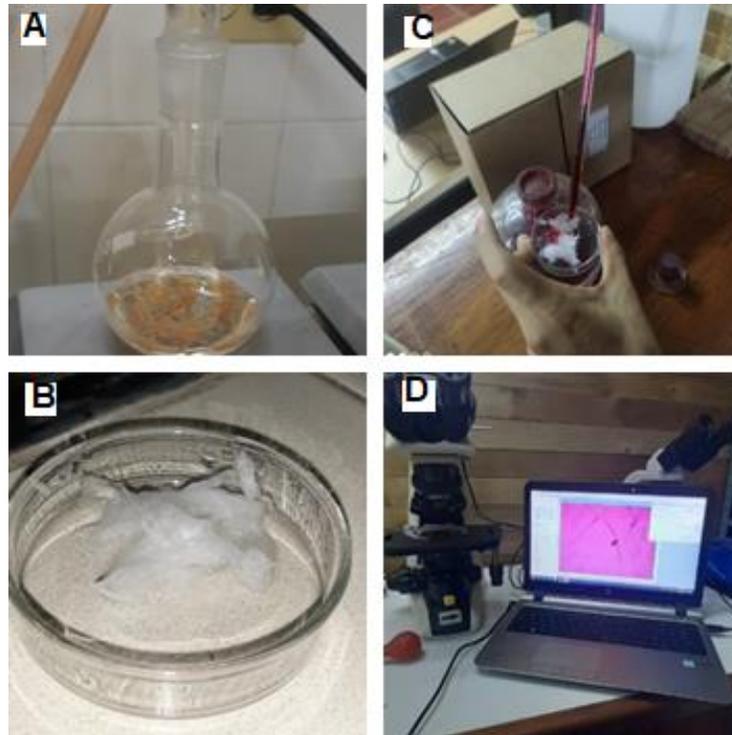


Fuente: Elaboración propia.

#### 2.4.5 Pruebas de calidad para longitud de fibra

Se colectaron doce núcleos de madera, es decir, un núcleo por individuo sin tener en cuenta las secciones del árbol, y luego mediante un barreno de Pressler se generó una muestra aglomerada de todos ellos para determinar la longitud de las fibras de la madera. Esta muestra aglomerada se astilló para obtener aproximadamente cuatro gramos de astilla, los cuales fueron disociados en un matraz mediante cocción con peróxido de hidrógeno y ácido acético glacial en partes iguales sobre una plancha de calentamiento marca ACEQ, modelo PLC-6008 (Figura 7). Posteriormente, el material disociado fue lavado con agua destilada hasta eliminar totalmente los residuos de la solución disociadora.

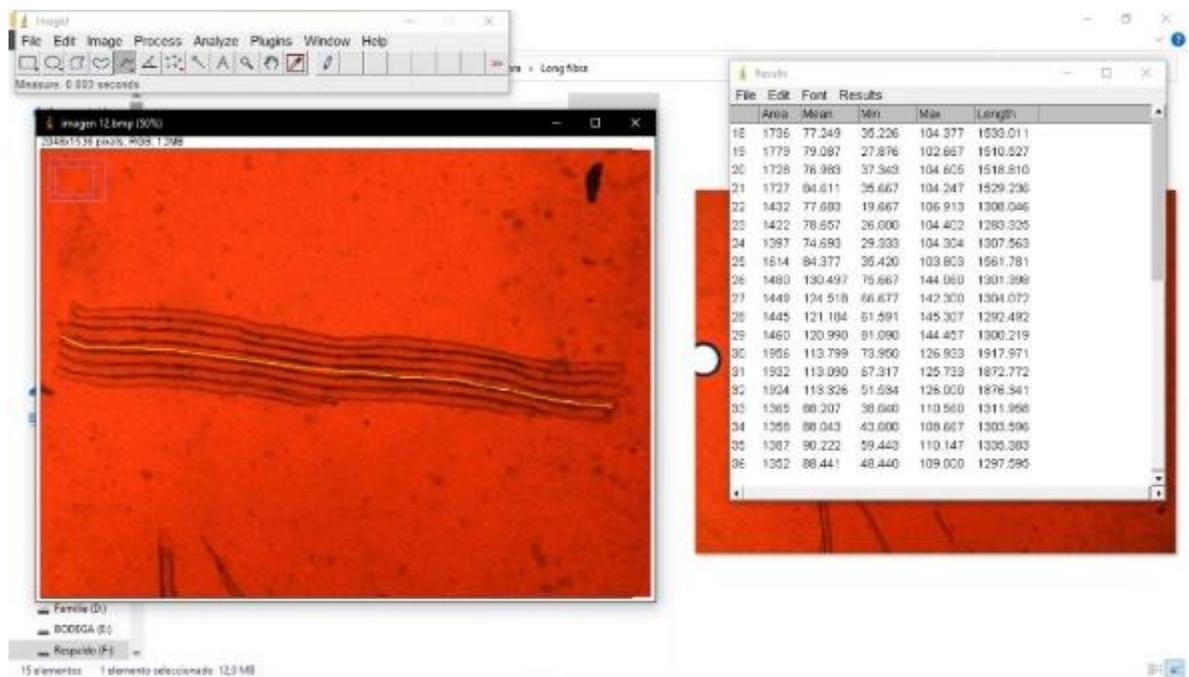
Figura 7. Cocción de astillas (A), separación (B), tinción (C) y medición de fibras (D) de *R. rospigliosii*.



Fuente: Propia.

Posteriormente, se realizó una tinción con safranina durante diez minutos y mediante una pipeta se extrajo una muestra que fue llevada al microscópico para visualizar las fibras y realizar las mediciones de longitud. Para la evaluación de la longitud de fibra se midieron 41 fibras de la muestra aglomerada. Para la visualización se utilizó un microscopio marca Nikon modelo Eclipse E200 con una cámara microscópica Infinity con un objetivo de 4x. Se registraron fotografías de 2048x 1536 megapíxeles a fibras las cuales fueron posteriormente medidas con el software ImageJ con ayuda de una escala micrométrica (Figura 8).

Figura 8. Proceso de medición de las fibras de *R. rospigliosii* mediante el software ImageJ.



Fuente: Elaboración propia.

## 2.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA

Se recolectaron pequeñas secciones restantes posteriores a los ensayos mecánicos de cada una de las probetas falladas para ser trituradas. Luego, con la muestra triturada, se realizó la extracción de celulosa con los solventes n-hexano y etanol usando un extractor automático basado en el método Randall según las normas ASTM D1103-77 (ASTM, 1977). El contenido de lignina se determinó en madera libre de sustancias extraíbles mezclándola con 15 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 72 % y posteriormente diluyéndola en agua destilada según la norma TAPPI T-222 om-98. (TAPPI, 1999). Finalmente, la estimación del contenido de hemicelulosas totales se realizó por la diferencia entre 100 % y la suma del porcentaje de celulosa y el porcentaje de lignina (Bland, 1985).

## 2.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los análisis estadísticos de las pruebas se realizaron inicialmente mediante un análisis descriptivo de las variables de interés. Se estableció un modelo lineal mixto para determinar el efecto de las clases diamétricas seleccionadas (8 – 19, 20 – 31, y 32 – 43 cm) y las secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta) en cada uno de los ensayos físico-mecánicos realizados. El modelo consideró la respuesta a cada uno de los ensayos físico mecánicos (flexión estática, compresión paralela y perpendicular, dureza, cizallamiento, tenacidad y extracción de clavos) como variable respuesta y las clases diamétricas y secciones longitudinales como factores fijos, mientras que las repeticiones se trataron como factores aleatorios. Los efectos se consideraron significativos a  $p \leq 0,05$ . Finalmente, las diferencias en los valores de cada ensayo debido a la clase diamétrica y sección longitudinal se evaluaron usando comparaciones múltiples de medias. Los análisis del modelo lineal mixto se realizaron utilizando la función “lme” del paquete “nlme” del programa R (Pinheiro *et al*, 2015).

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 ANATOMÍA DE LA MADERA

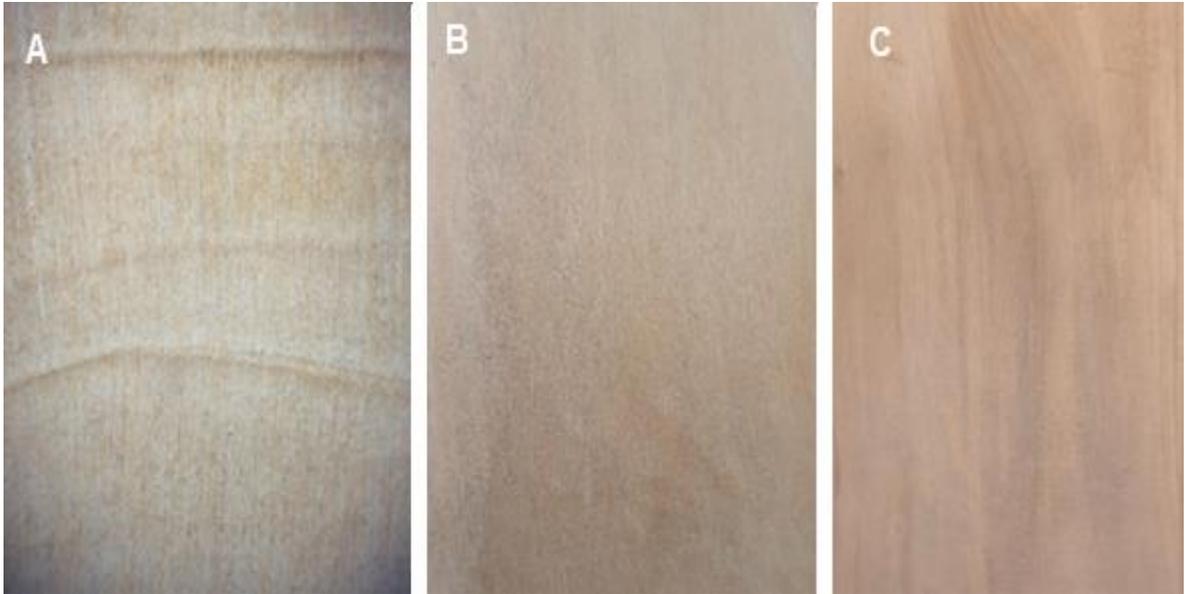
##### 3.1.1 Características macroscópicas de la madera de *R. rospigliosii*

Organolépticamente, la madera de *R. rospigliosii* es de color castaño amarillento, sin olor o sabor aparente, lustre medio, grano recto, textura fina, un vetado moderadamente acentuado definido por arcos superpuestos por bandas paralelas de coloraciones oscuras, y unas líneas jaspeadas y satinadas. Macroscópicamente presenta anillos de crecimiento con radios distinguibles en el plano transversal como líneas homogéneas, delgadas, claras y abundantes. No se encontraron conductos resiníferos. El parénquima fue indistinguible a simple vista. Se encontraron zonas diferenciadas más oscuras de madera tardía distribuidas en bandas irregulares. Traqueidas indistinguibles a simple vista (Figura 9).

##### 3.1.2 Descripción anatómica de la madera de *R. rospigliosii*

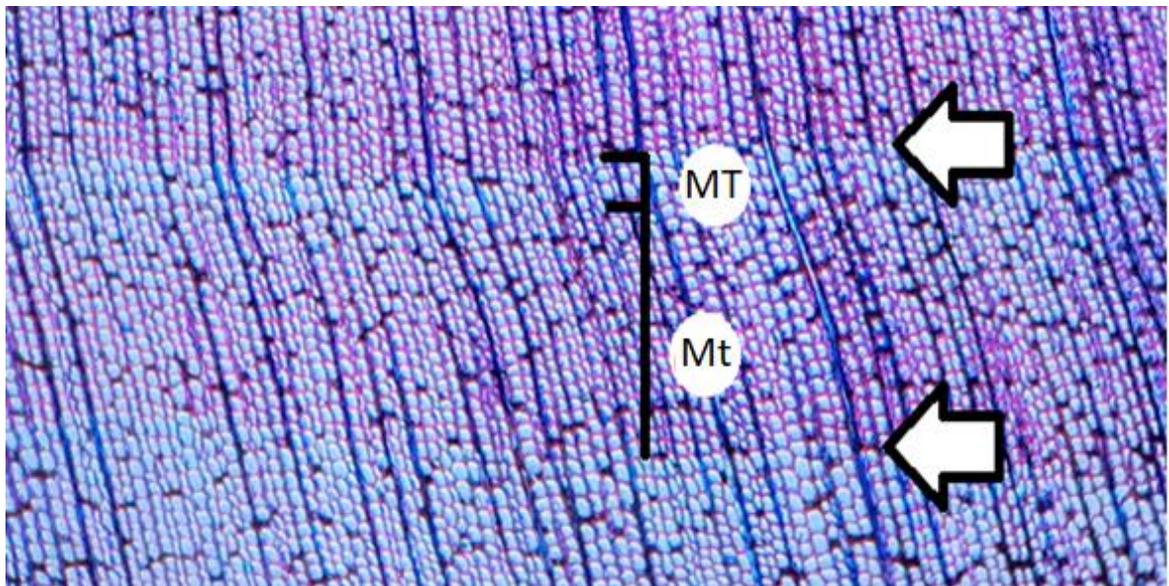
En la sección transversal se encontraron traqueidas axiales con forma de cuadrangular a hexagonal, parénquima axial difuso, con abundantes contenidos de anillos con transición de madera temprana a madera tardía generalmente gradual, aunque en algunas ocasiones se presenta una de forma abrupta (Figura 10). En la sección radial se encontraron radios homogéneos uniseriados, punteaduras en el campo de cruce de tipo cupresoide y traqueidas lisas con ausencia de canales resiníferos (Figura 11, B). En la sección tangencial se encontraron punteaduras presentes en la pared de las traqueidas axiales con un arreglo de punteaduras uniseriadas y ocasionalmente opuestas (Figura 11, A).

Figura 9. Macroscopía, sección transversal (A), radial (B) y tangencial (C) con aumento de 4x de la madera de *R. rospigliosii* de 22 años de edad.



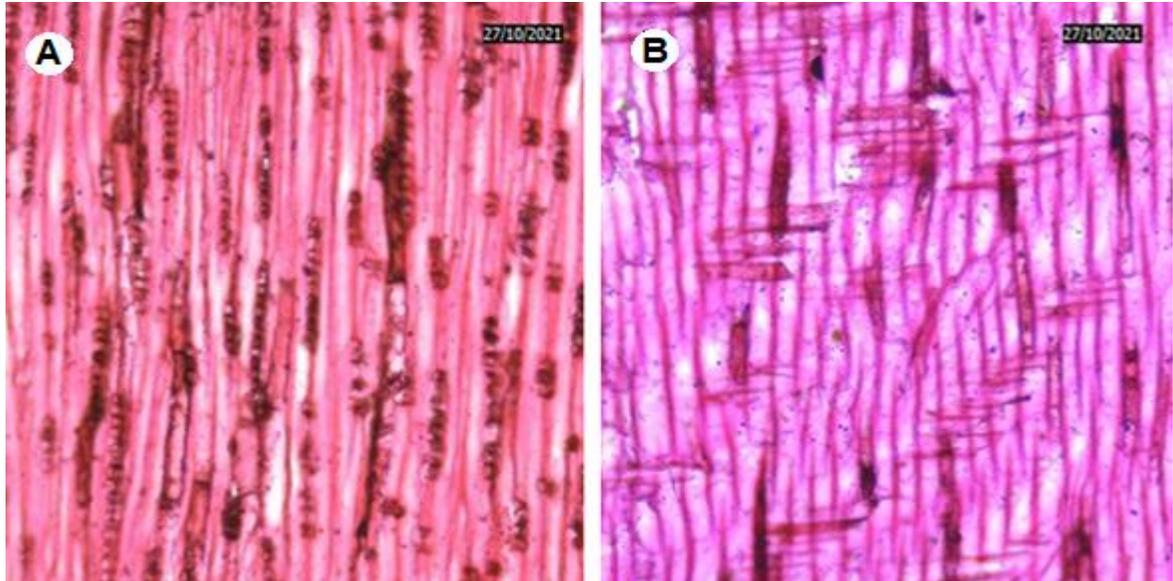
Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Características microscópicas de la madera temprana (MT) y madera tardía (Mt) de los anillos de crecimiento de *R. rospigliosii*.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Corte anatómico de la sección tangencial (A) y de la sección radial (B) con aumento de 10x de la madera de *R. rospigliosii*.



Fuente: Elaboración propia.

### **3.1 EVALUACION DE PROPIEDADES FÍSICO- MECÁNICAS DE LA MADERA DE *R. rospigliosii***

#### **3.1.1 Contenido de humedad y medición de la densidad de la madera de *R. rospigliosii***

El valor promedio de la densidad seca al aire ( $0,42 \text{ g cm}^{-3}$ ) a las condiciones de humedad de la ciudad de Ibagué es superior a lo reportado por Vásquez (2010) ( $0,40 \text{ g cm}^{-3}$ ) (Tabla 4), además se encuentra en el límite inferior reportado por JUNAC para densidad seca al aire (1984) para las maderas de coníferas ( $0,40 - 0,72 \text{ g cm}^{-3}$ ), las cuales presentan una utilidad general en carpintería, construcción no estructural, mueblería y decorativas. La densidad básica media encontrada ( $0,34 \text{ g cm}^{-3}$ ) (Tabla 4), es similar a la reportada por García et al. (2017) ( $0,35 \text{ g}$

cm<sup>-3</sup>) y clasificada como baja por Arostegui (1982) (entre 0,30 y 0,40 g cm<sup>-3</sup>). Se puede indicar que es menor a valores procedentes de bosques naturales, como los expuestos por JUNAC (1981b) en Ecuador (0,57 g cm<sup>-3</sup>) y por Arostegui y Sato (1970) en Perú (0,41 g cm<sup>-3</sup>), y se encontraron valores más cercanos a los calculados como los reportados por Vásquez y Alcántara (2009) (0,37 g cm<sup>-3</sup>), procedentes de plantaciones monoespecíficas. Al comparar la densidad con la de otras coníferas que se siembran y comercializan en Colombia, resulta inferior al ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill) (0,50 g cm<sup>-3</sup>) y al pino patula (*Pinus patula* Schiede & Schltl. & Cham.) (0,48 g cm<sup>-3</sup>) (Vásquez y Ramírez, 2005). No se reportan diferencias significativas en las variables de interés, coincidiendo con Vásquez (2010) y difiriendo de Arroyo (1983), Jost (2006) y Hillig (2011) quienes señalan que la tendencia más común de variación entre las especies de coníferas es la disminución de la base hasta el ápice.

Tabla 4. Resultados para densidad en verde, seca al aire y al horno de la madera de *R. rospigliosii* de 22 años de edad.

Variables de interés		Densidad (g cm <sup>-3</sup> )			
		Verde	Aire	Horno	Básica
Clase diamétrica	I	0,56 ± 0,01	0,44 ± 0,01	0,39 ± 0,01	0,35 ± 0,01
	II	0,53 ± 0,02	0,43 ± 0,01	0,38 ± 0,01	0,34 ± 0,01
	III	0,53 ± 0,02	0,41 ± 0,01	0,36 ± 0,01	0,33 ± 0,01
Sección de altura	B	0,55 ± 0,01	0,44 ± 0,01	0,38 ± 0,01	0,34 ± 0,01
	M	0,52 ± 0,01	0,42 ± 0,02	0,37 ± 0,01	0,34 ± 0,01
	A	0,55 ± 0,01	0,43 ± 0,01	0,38 ± 0,01	0,35 ± 0,01

Clases diamétricas I (8 – 19), II (20 – 31), y III (32 – 43 cm). Secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta).

### 3.1.2 Contracción de la madera de *R. rospigliosii*

Los valores obtenidos para las contracciones normales en cada una de las clases diamétricas indican, una contracción volumétrica alta (5.1%, 5.0%, 4.8%, 5.9%, 6.2%, 5.0%), además con una contracción volumétrica total moderada, (8.2%, 7.5%, 6.6%, 7.0%, 7.6%, 9.6%) PROEXPO (1970), y menor a la encontrada por García *et al.* (2017) (9.0%) (Tabla 5). Los cambios dimensionales encontrados ante la pérdida de humedad en la madera de pino colombiano después de registrar la medida de las contracciones volumétricas en el plano radial, tangencial y longitudinal, y calcular los cambios dimensionales en cada uno de sus estados de humedad, podrían clasificar la madera de *R. rospigliosii* como estable dimensionalmente.

Para los resultados calculados de contracción normal y total, se encontró que la contracción radial representa cuatro quintas partes de la contracción tangencial, mientras que la contracción tangencial es tres veces la longitudinal (Tabla 5), coincidiendo con lo registrado por Vásquez (2010). Además, se encontró que las contracciones radiales y tangenciales totales no concuerdan con las obtenidas por JUNAC (1981b) y por García *et al.* (2017) (3.2%, 5.8% y 3.2%, 5.7% respectivamente), por el contrario, se encuentran por debajo de lo obtenido por ellos, y más aún, por el encontrado por Arostegui y Sato (1970) (3.6 y 7.3%). La relación T/R, para la clase diamétrica II (1,7) en la contracción total se aproxima a lo obtenido por Vásquez (2010) (1,8) y a lo registrado por JUNAC (1981b). Así, se encontró que esta madera es propensa a presentar una alta contracción durante la fase de secado (JUNAC, 1989) y puede presentar un alto índice de alabeos (Echenique *et al.* 1975), es decir, que según PROEXPO (1970) se puede clasificar como una madera desfavorable.

Tabla 5. Resultados para pruebas de contracción por clase y sección de la madera de *R. rospigliosii* procedente de una plantación adulta. Contracción radial (R), tangencial (T), longitudinal (L) y volumétrica (V)

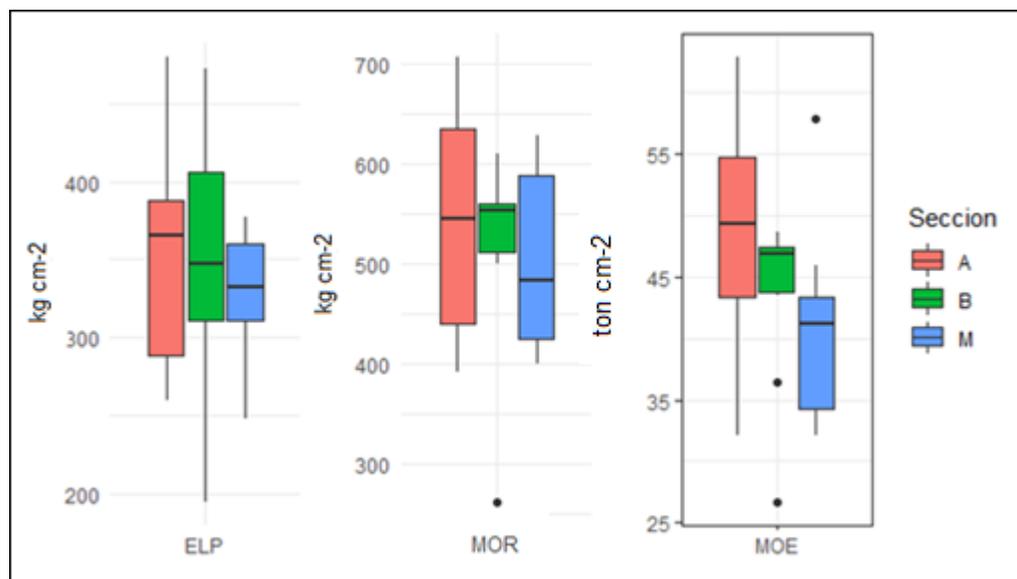
Variables de interés	Contracción										
	Normal					Total					
	R%	T%	L%	V%	CT/CR	R%	T%	L%	V%	CT/CR	
Clase diamétrica	I	2,0 ± 0,4	2,3 ± 0,2	0,7 ± 0,0	5,1 ± 0,4	1,7 ± 0,4	2,5 ± 0,2	3,1 ± 0,4	1,3 ± 0,0	8,2 ± 0,8	2,0 ± 0,8
	II	1,5 ± 0,4	2,1 ± 0,2	0,2 ± 0,0	5,0 ± 0,3	2,0 ± 0,4	2,2 ± 0,2	3,2 ± 0,4	0,6 ± 0,0	7,5 ± 0,6	1,7 ± 0,9
	III	1,3 ± 0,1	2,5 ± 0,2	0,4 ± 0,0	4,8 ± 0,2	2,2 ± 0,6	1,6 ± 0,7	2,9 ± 0,3	0,7 ± 0,0	6,6 ± 0,5	1,4 ± 0,4
Sección de altura	B	1,5 ± 0,4	2,6 ± 0,2	0,6 ± 0,0	5,9 ± 0,4	2,1 ± 0,4	2,0 ± 0,2	2,7 ± 0,4	1,3 ± 0,01	7,0 ± 0,8	2,3 ± 0,8
	M	2,0 ± 0,4	2,1 ± 0,2	0,3 ± 0,0	6,2 ± 0,3	1,7 ± 0,4	2,0 ± 0,2	3,2 ± 0,4	1,0 ± 0,0	7,6 ± 0,6	2,0 ± 0,9
	A	1,5 ± 0,1	2,1 ± 0,2	0,5 ± 0,0	5,0 ± 0,2	1,9 ± 0,6	2,1 ± 0,7	3,3 ± 0,3	0,6 ± 0,0	9,7 ± 0,5	1,9 ± 0,4

Clases diamétricas I (8 – 19), II (20 – 31), y III (32 – 43 cm). Secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta).

### 3.1.3 Propiedades mecánicas de la madera de *R. rospigliosii*

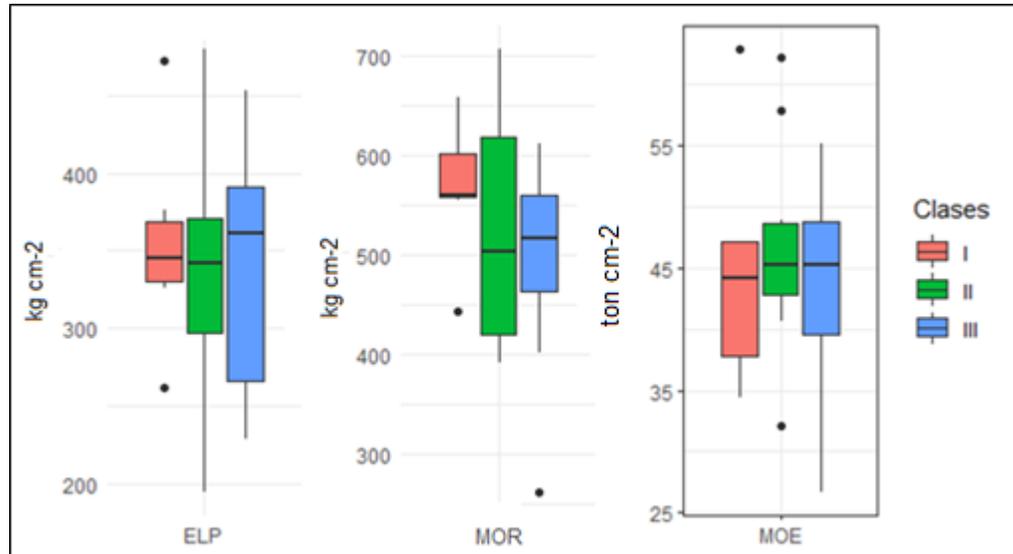
En los ensayos mecánicos se encontró, para la prueba de flexión estática, que los valores medios para el ELP, MOR y MOE (Tabla 7) fueron menores a los registrados por JUNAC (1981b) (423, 1016 y 96000 kg cm<sup>-2</sup>) y por Arostegui y Sato (1970) (442, 788 y 109000 kg cm<sup>-2</sup>), tanto como lo registrado por Vásquez (2010) (337, 499 y 55320 kg cm<sup>-2</sup>). El análisis estadístico muestra diferencias significativas del MOE ( $p < 0.05$ ) entre las tres secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta) (Figura 12), pero no entre las clases diamétricas (Figura 13), coincidiendo con lo reportado por García *et al* (2017).

Figura 12. Comparación del ensayo flexión estática en las diferentes secciones del árbol, de la madera de *R. rospigliosii*. Secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta)



Fuente: Elaboración propia

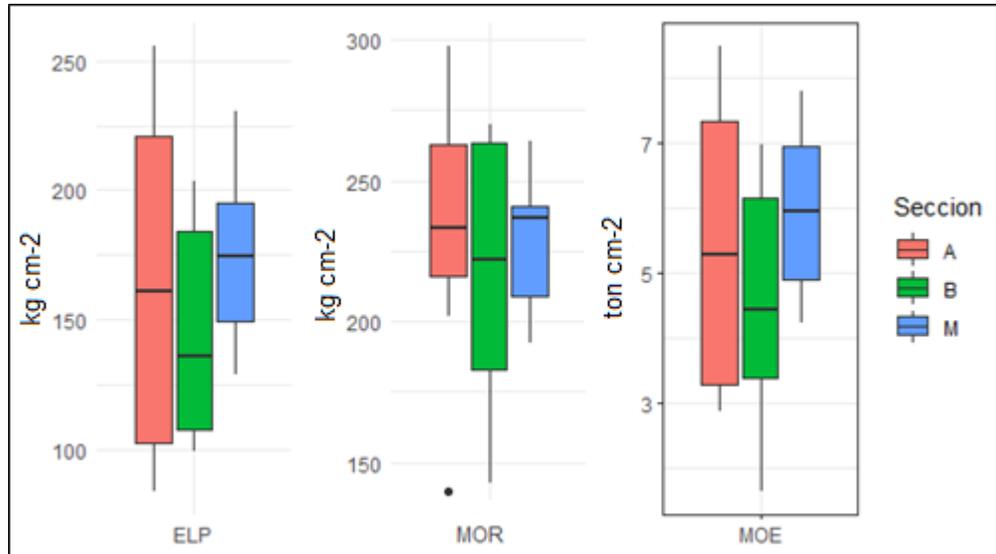
Figura 13. Comparación del ensayo flexión estática en las diferentes clases diamétricas del árbol, de la madera de *R. rospigliosii*. Clases diamétricas I (8 – 19), II (20 – 31), y III (32 – 43 cm).



Fuente: Elaboración propia

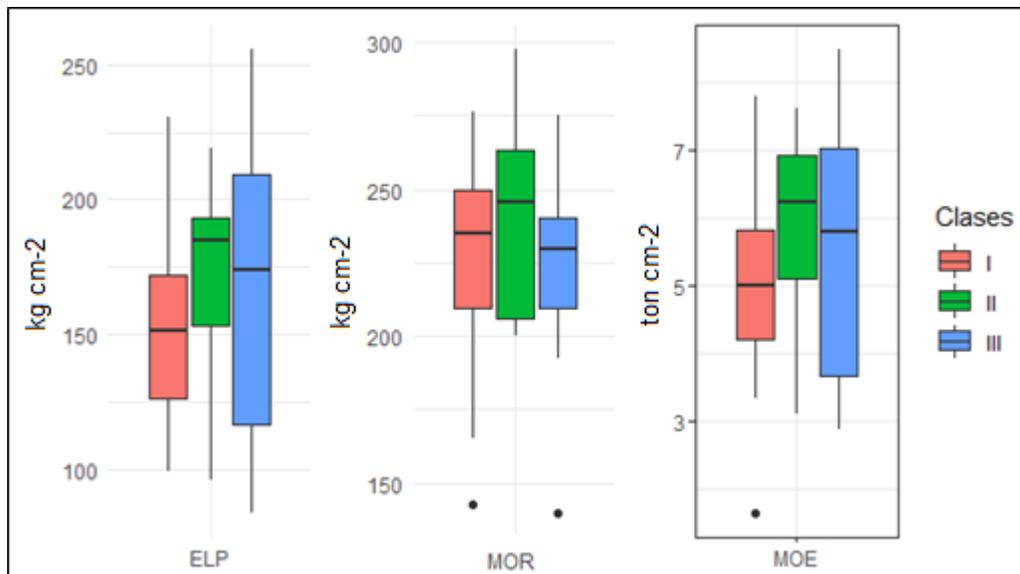
Para la prueba de compresión paralela, el ELP promedio (Tabla 6), se encuentra por debajo de lo reportado por Arostegui y Sato (1970) (246 kg cm<sup>-2</sup>), igualmente que lo registrado por Vásquez (2010) (163 kg cm<sup>-2</sup>). El MOR se encuentra por debajo de lo reportado por JUNAC (1981b) (473 kg cm<sup>-2</sup>) y casi a la par con lo hallado por Vásquez (2010) (228 kg cm<sup>-2</sup>); mientras que el MOE se encontró inferior a lo reportado por Arostegui y Sato (1970) (109700 kg cm<sup>-2</sup>). Además, no se muestran diferencias estadísticamente significativas en la compresión paralela ( $p < 0.05$ ) entre las tres clases diamétricas (8– 19, 20 – 31, y 32 – 43 cm) (Figura 14) o las diferentes secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta) (Figura 15).

Figura 14. Comparación del ensayo de compresión paralela en las diferentes secciones del árbol, de la madera de *R. rospigliosii*. Secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta).



Fuente: Elaboración propia.

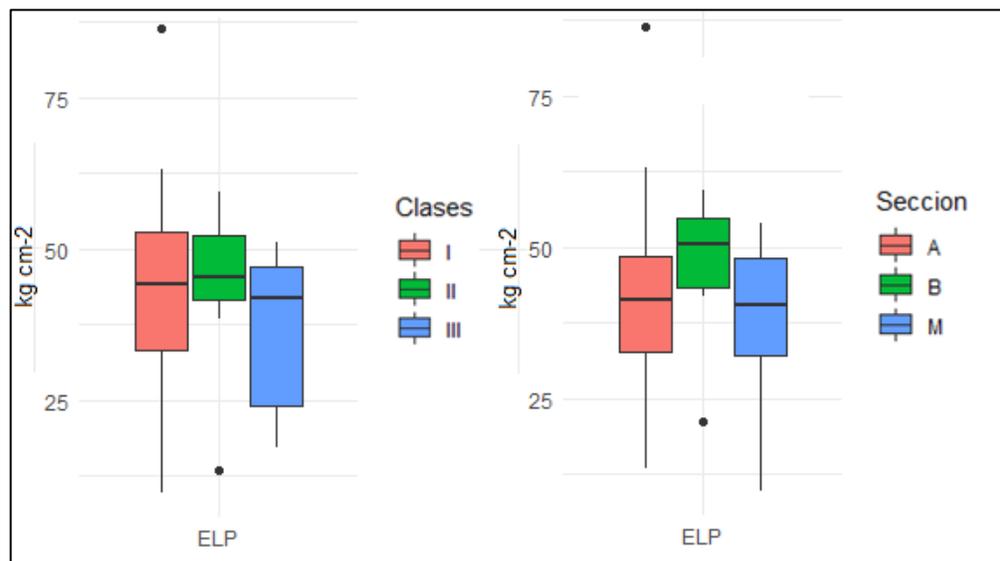
Figura 15. Comparación del ensayo de compresión paralela en las diferentes clases diamétricas del árbol, de la madera de *R. rospigliosii*. Clases diamétricas I (8 – 19), II (20 – 31), y III (32 – 43 cm).



Fuente: Elaboración propia.

En la prueba de compresión perpendicular, el promedio de ELP (Tabla 7) fue inferior a lo reportado por JUNAC (1981b) ( $86 \text{ kg cm}^{-2}$ ), Arostegui y Sato (1970) ( $46.2 \text{ kg cm}^{-2}$ ), y Vásquez (2010) ( $46.2 \text{ kg cm}^{-2}$ ). El valor promedio del ELP hallado corresponde al 28% del valor para el ELP de la prueba de compresión paralela. El análisis no muestra diferencias estadísticamente significativas del ELP ( $p < 0.05$ ) entre las clases diamétricas (8– 19, 20 – 31, y 32 – 43 cm) y las secciones del árbol (base, media y alta) (Figura 16).

Figura 16. Comparación del ensayo de compresión perpendicular en las diferentes clases diamétricas y las secciones del árbol, de la madera de *R. rospigliosii*. Clases diamétricas I (8 – 19), II (20 – 31), y III (32 – 43 cm). Secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta).

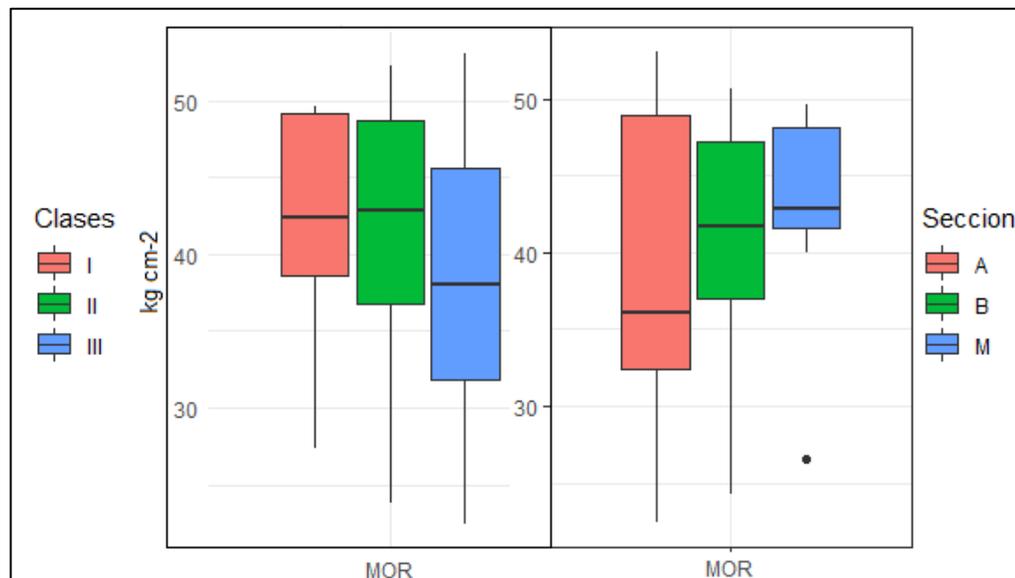


Fuente: Elaboración propia.

El promedio del MOR (Tabla 6) encontrado en la prueba de cizallamiento fue inferior a lo reportado por Vásquez (2010) (49.3 kg). También, los valores promedios reportados para la prueba de dureza de extremos y lados se encuentran por debajo de los hallados por JUNAC (1981b) (516 y 258 kg),

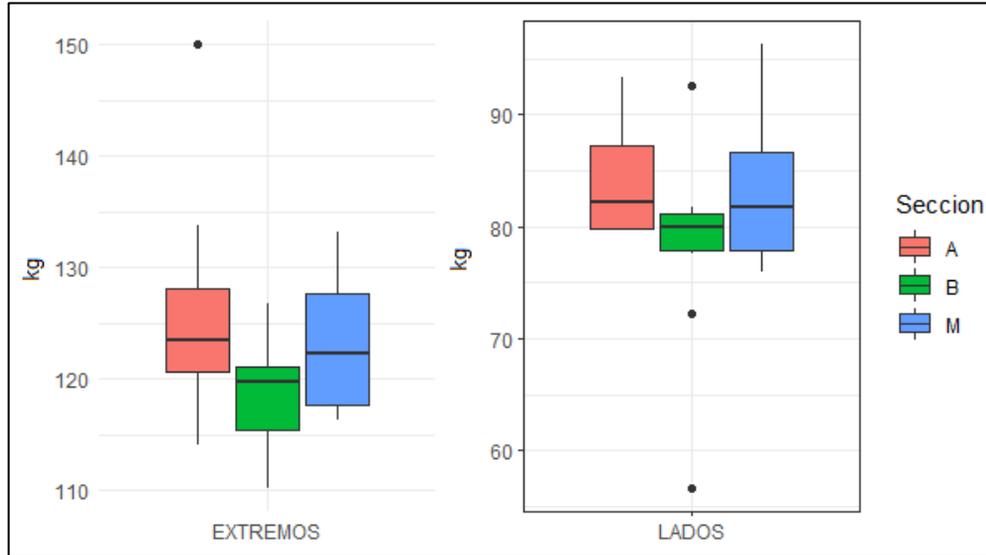
Arostegui y Sato (1970) (516 y 298 kg) y Vásquez (2010) (337.9 y 212.0 kg). También, los promedios para los planos radiales, tangenciales y extremos de la prueba de extracción de clavos son inferiores a los reportados por Vásquez (2010) (43.8, 53.2 y 41.8 kg). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas para los ensayos de cizallamiento y dureza del MOR ( $p < 0.05$ ) entre las clases diamétricas (8– 19, 20 – 31, y 32 – 43 cm) y en las secciones del árbol (base, media, alta) (Figura 17, 18 y 19). Caso contrario con el ensayo de extracción de clavos que muestra diferencias estadísticamente significativas de las distintas secciones ( $p < 0.05$ ) (alto y medio respecto a la base) pero no entre las distintas clases diamétricas (8– 19, 20 – 31, y 32 – 43 cm) (Figura 20 y 21).

Figura 17. Comparación del ensayo de cizallamiento en las diferentes clases diamétricas y las secciones del árbol, de la madera de *R. rospigliosii*. Clases diamétricas I (8 – 19), II (20 – 31), y III (32 – 43 cm). Secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta).



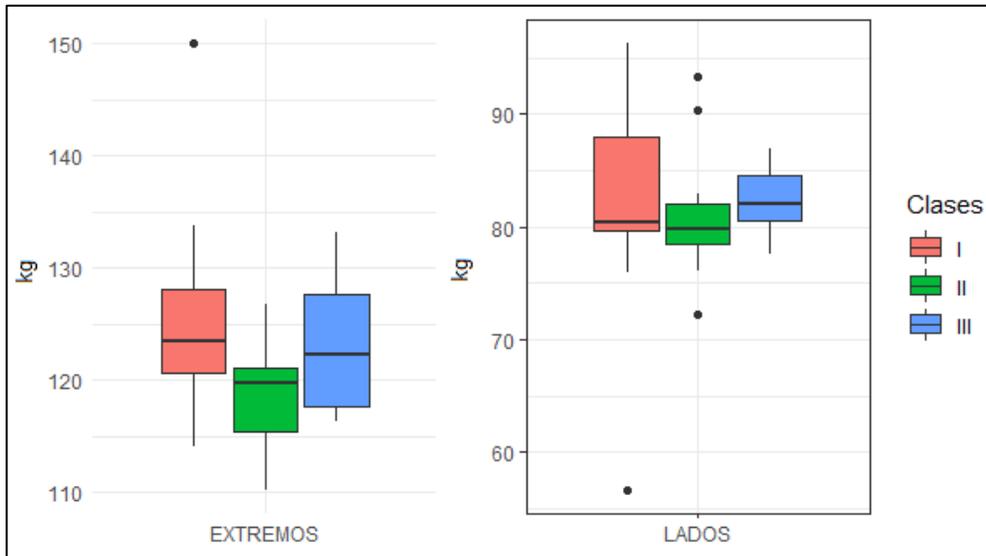
Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Comparación del ensayo de dureza en las diferentes secciones del árbol, de la madera de *R. rospigliosii*. Secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta).



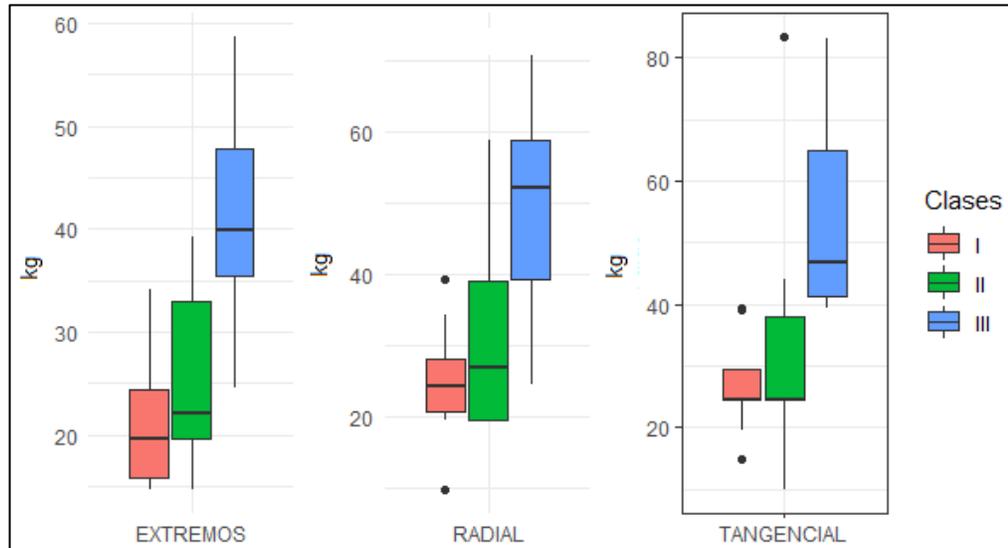
Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Comparación del ensayo de dureza en las diferentes clases diamétricas del árbol, de la madera de *R. rospigliosii*. Clases diamétricas I (8 – 19), II (20 – 31), y III (32 – 43 cm).



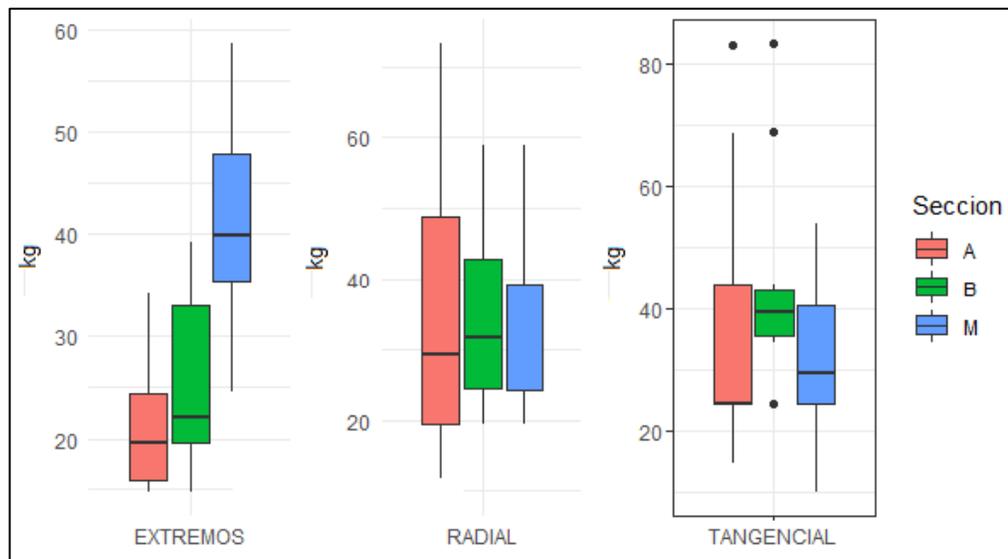
Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Comparación del ensayo de extracción de clavos en las diferentes secciones del árbol, de la madera de *R. rospigliosii*. Secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta).



Fuente: Elaboración propia.

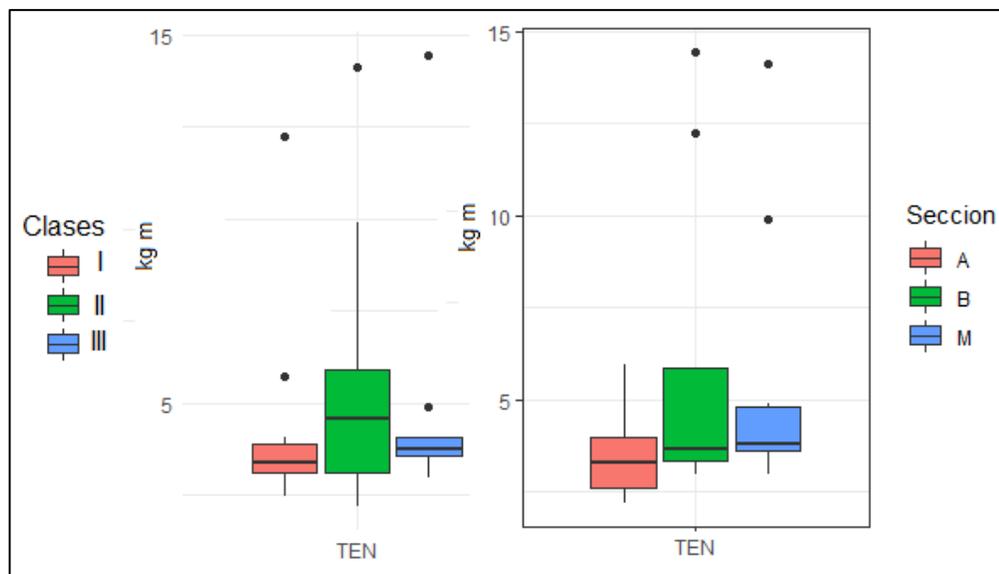
Figura 21. Comparación del ensayo de extracción de clavos en las diferentes secciones del árbol, de la madera de *R. rospigliosii*. Secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta).



Fuente: Elaboración propia.

Para el ensayo de tenacidad o resistencia al impacto para la sección tangencial se obtuvieron valores superiores a los reportados por García *et al* (2017) (1.6, 1.4, 1.4 kg m). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) para el ensayo de tenacidad en la sección tangencial entre las clases diamétricas (8– 19, 20 – 31, y 32 – 43 cm) y/o las secciones del árbol (base, media, alta) (Figura 22).

Figura 22. Comparación del ensayo de tenacidad en las diferentes clases diamétricas y las secciones del árbol, de la madera de *R. rospigliosii*. Clases diamétricas I (8 – 19), II (20 – 31), y III (32 – 43 cm). Secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta).



Fuente: Elaboración propio.

Estos valores relativamente bajos encontrados en las propiedades mecánicas de pino romerón podrían deberse básicamente a dos situaciones. Primero, el sistema de monocultivo no le permite al individuo desarrollarse de la misma manera que en el ecosistema natural donde es una especie dominante con alta capacidad de captar la luz, ya que comparado con material proveniente de un bosque natural en

Perú (Arostegui y Sato,1970) donde la especie tiene la capacidad de captar más luz, estos mismos valores resultan superiores a lo reportados en este documento, aunque se desconoce la edad del material proveniente de bosque. La segunda, se debe a la falta de tratamientos silviculturales en la plantación seleccionada con actividades como podas y/o entresacas, lo que conllevó a que se trabajara con madera con presencia de nudos u otras imperfecciones como granos entrecruzados.

Dos de los ensayos de las pruebas mecánicas realizadas resultaron estadísticamente significativos, el primero, el MOR del ensayo de flexión estática entre cada una de las secciones longitudinales (base, media, alta), confirmando lo reportado por García *et al* (2017), y segundo, el ensayo de extracción de clavos entre las secciones, el cual presenta un mayor rango de resistencia en las secciones de la base y una menor resistencia en las secciones altas. También se observa una similitud en los promedios de los valores obtenidos en el ensayo de flexión estática, para la sección basal y alta, lo cual podría explicarse de acuerdo con las condiciones de crecimiento de los individuos según lo indica García *et al* (2017) y en caso particular de este estudio, se podría explicar en torno a la madurez que ha alcanzado la plantación bajo condiciones monoespecíficas y de alta densidad, donde la especie presenta tasas de crecimiento muy bajas después de llegar a los 10 años.

Finalmente, según los valores obtenidos, la madera de pino romerón no podría clasificarse dentro de alguno de los grupos estructurales definidos por la JUNAC (1984) ya que estos valores son inferiores a los rangos establecidos dentro de la clasificación estructural para los ensayos de flexión estática, compresión paralela, compresión perpendicular y cizallamiento. Estos bajos valores, fueron similares a los reportados por Vásquez (2019), e indican una utilidad para construcción liviana no estructural, carpintería de obra (puertas, ventanas, zócalos, tablilla de techo, etc.), mueblería, revestimiento de interiores, elaboración de cajas, formaletería,

palillos para dientes y fósforos, depresores linguales, triplex, tableros, utensilios de cocina, molduras y juegos didácticos.

Tabla 6. Resultados para pruebas mecánicas de las clases diamétricas (flexión estática, compresión paralela y perpendicular, cizallamiento, dureza, clavos e impacto) de la madera de *R. rospigliosii* de 22 años de edad.

Ensayo	Clase diamétrica			Sección			
	I	II	III	B	M	A	
Flexión estática	ELP (kg cm <sup>-2</sup> )	354,1 ± 16,3	335,0 ± 11,7	342,2 ± 12,4	349,2 ± 20,5	325,1 ± 16,3	348,3 ± 13,4
	MOR (kg cm <sup>-2</sup> )	564,3 ± 29,0	531,7 ± 32,0	495,5 ± 27,8	530,8 ± 29,6	494,2 ± 33,3	542,5 ± 27,1
	MOE (ton cm <sup>-2</sup> )	44,9 ± 3,0	45,6 ± 1,7	43,6 ± 1,7	43,7 ± 3,1	41,2 ± 1,5	48,7 ± 1,7
Compresión paralela	ELP (kg cm <sup>-2</sup> )	154,6 ± 13,1	171,6 ± 13,9	168,0 ± 17,8	149,1 ± 15,2	175,4 ± 15,7	164,1 ± 15,8
	MOR (kg cm <sup>-2</sup> )	224,7 ± 8,8	240,6 ± 8,7	223,4 ± 8,5	220,6 ± 8,2	226,9 ± 9,0	238,8 ± 7,1
	MOE (ton cm <sup>-2</sup> )	4,9 ± 0,30	5,8 ± 0,30	5,5 ± 0,34	4,7 ± 0,34	5,9 ± 0,31	5,4 ± 0,32
Compresión perpendicular	ELP (kg cm <sup>-2</sup> )	44,1 ± 6,3	44,8 ± 3,4	36,0 ± 5,4	48,1 ± 6,6	38,7 ± 5,4	43,1 ± 5,2

Ensayo		Clase diamétrica			Sección		
		I	II	III	B	M	A
Cizallamiento	MOR (kg cm <sup>-2</sup> )	42,0 ± 2,4	41,3 ± 2,9	38,1 ± 3,2	40,5 ± 3,0	42,5 ± 2,9	38,3 ± 3,5
Dureza	Extremos (kg cm)	125,5 ± 2,8	118,6 ± 1,4	123,2 ± 2,7	123,9 ± 2,8	121,1 ± 1,6	121,8 ± 2,9
	Lados (kg)	81,7 ± 2,0	81,1 ± 1,1	82,3 ± 0,9	78,1 ± 1,9	82,8 ± 1,9	83,7 ± 0,8
Extracción de clavos	Radial (kg)	25,0 ± 1,8	31,3 ± 3,0	49,6 ± 3,3	36,1 ± 1,2	36,1 ± 3,0	35,6 ± 3,0
	Tangencial (kg)	26,9 ± 1,4	26,9 ± 3,7	53,0 ± 2,7	42,7 ± 3,7	32,2 ± 1,4	36,5 ± 2,8
	Extremos (kg)	21,0 ± 1,9	25,4 ± 2,6	42,2 ± 3,4	32,5 ± 1,5	27,3 ± 2,7	28,9 ± 3,5
Impacto	kg m	4,3 ± 0,8	5,4 ± 1,0	5,0 ± 1,3	5,8 ± 0,7	5,4 ± 1,1	3,5 ± 1,5

Clases diamétricas I (8 – 19), II (20 – 31), y III (32 – 43 cm). Secciones longitudinales de los árboles (base, media y alta).

### **3.1.4 Pruebas de calidad de la madera de *R. rospigliosii***

Se encontró que el valor promedio de longitud de fibra para pino romerón fue de  $1,83 \pm 0,05$  mm. Comparado con especies comúnmente utilizadas en la fabricación de papel, la especie presenta una longitud de fibra mayor a especies como *Eucalyptus globulus* (0,83 mm) (Monteoliva 2002) y *Eucalyptus grandis* (0,84 – 0,97 mm) (Núñez 2007); e inferior a especies como *Pinus insigne* (2,37 mm) (Melo et al. 1973), *P. oocarpa* (3,82 mm) (Ladrach, 1987), *Cupressus lusitánica* (3,19 mm) (Ladrach, 1977), y *Pinus patula* (4,7 y 5,3 mm) (Ladrach, 1984), es decir que, el pino romerón, posee una longitud de fibra inferior a los pinos utilizados comúnmente para la fabricación de materiales como cartón y una longitud de fibra superior a la de los eucaliptos sembrados comercialmente para la fabricación de materiales como papel. Según el Directorio Internacional de Pulpa y Papel (IPPD) (1976), las fibras se clasifican mediante rangos de longitud, siendo las fibras cortas aquellas que están en el rango de 0,7 hasta los 1,8 mm, y las fibras largas como aquellas que fluctúan entre 2,5 y 4,5 mm, es decir que, la fibra de pino romerón se ubicaría en el límite superior de las especies de fibra corta, lo que señala su posible aplicación en la fabricación de productos de papel.

### **3.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE *R. rospigliosii***

El contenido de celulosa encontrado en la madera de pino romerón fue de 43.2% (Tabla 7). En comparación con otras especies de pinos usadas industrialmente, el contenido de celulosa encontrado es inferior a los reportados para especies como *Pinus ayacahuite* y *P. leiophylla* (aproximadamente 60%) (Lima (2013). La concentración de hemicelulosa de 20,2% también fue inferior a la de otras especies de pinos usadas industrialmente como *Pinus cembroides*, *P. johannis*, *P. maximartinezii* y *P. pinceana* (aproximadamente 30%) (Salazar et al. (2016). Finalmente, el contenido de lignina encontrado para pino romerón fue de 28,7%,

en general más alto que el de otros pinos de uso industrial como *P. michoacana*, *P. oocarpa*, *P. pringlei*, *P. teocote*, *P. caribea*, *P. montezumae*, *P. patula*, *P. pseudostrobus*, *P. rudis* y *P. strobus* que fluctúan alrededor del 25% (Ávila, 2011; Bernabé *et al*, 2013; Islas, 1992; Lima, 2013). El alto contenido de lignina puede ser una desventaja para la industria del papel dado el costo de deslignificar la pulpa para el proceso de pulpeo (Veillon, 2014). No obstante, para considerar el uso del pino romerón en la fabricación de pulpa de papel es necesario realizar trabajos más específicos que consideren otro tipo de variables.

Tabla 7. Resultados de contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina para la madera de *R. rospigliosii*.

Contenido	Muestra			Media muestral
	I	II	III	
Celulosa (%)	43,4	43,2	43	43,2 ± 0,1
Hemicelulosa (%)	19,9	20,6	20,1	20,2 ± 0,2
Lignina (%)	29	28,5	28,6	28,7 ± 0,2

#### **4. CONCLUSIONES**

La madera de pino romerón es de baja densidad. Los valores reportados para el análisis estadístico de los ensayos mecánicos permiten considerarla como una madera homogénea. El análisis de contracción indica que la madera de pino romerón es propensa a presentar problemas durante la fase de secado y presenta un alto índice de alabeos. Las propiedades mecánicas de flexión estática (MOR), así como la de extracción de clavos presentan a nivel longitudinal variaciones significativas.

La longitud de fibra de pino romerón de 1,83mm le permite ubicarse en el límite superior del rango de las especies de fibra corta, siendo así posible su aplicación para la fabricación de papel, aunque posee contenidos de celulosa y hemicelulosa inferiores a los promedios de otras especies comúnmente utilizadas para la fabricación de pulpa para papel o cartón, por lo que se consideraría un bajo potencial de la especie para dicha industria.

La madera de pino romerón presenta utilidad para construcción no estructural, como carpintería de obra (puertas, ventanas, zócalos, tablilla de techo, etc.), mueblería, revestimiento de interiores, elaboración de cajas, formaletería, palillos para dientes y fósforos, depresores linguales, triplex, tableros, utensilios de cocina, molduras y juegos didácticos. También, según el análisis de contracción ante la pérdida de humedad, se podría indicar que la madera de pino romerón es propensa a presentar problemas durante la fase de secado y presenta un alto índice de alabeos.

## RECOMENDACIONES

Las muestras de madera se deben retirar lo más pronto posible del lugar de aprovechamiento y secar al aire rápidamente. Ello debido a que la madera de pino romerón es susceptible a ser afectada por hongos aspálticos que tiñen de distintas tonalidades las muestras y podrían alterar los valores de las pruebas físico-mecánicas.

El corte de microtomo de las muestras exige una muy buena cocción de los bloques de madera para obtener una lámina de la sección tangencial limpia y sin quiebres.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR J, P. 2011. Guía Didáctica. Capítulo 3. Madera. Ministerio de Educación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica. Buenos Aires. Argentina. 27p.
- AHHP. 2013. Actas del X Congreso Nacional de Historia del Papel en España. Ministerio de Cultura. Madrid. España. 558 p. 351 – 354.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 1977. Method of test for alpha- cellulose in wood, ASTM D1103 – 60. Annual book of ASTM standards. Part 22: wood; adhesives. West Conshohocken, PA, USA. pp. 343-345.
- AREVALO, F., ROSVEN & LONDOÑO, AL. (2005). Manual para la identificación de maderas que se comercializan en el departamento del Tolima. 10.13140/RG.2.1.2935.5049.
- ARÓSTEGUI, VA y SATO, A. (1970). Propiedades físico–mecánicas y usos de dos especies de Podocarpus (*P. rospigliosii* Pilger; *P. montanus* var. *meridensis* Buchholz y Gray). Revista Forestal del Perú 4(1–2):3-11.
- AROSTEGUI, VA. (1975). Estudio Tecnológico de madera del Perú. Zona Pucallpa. Vol. II. Normas y Métodos. Dirección General de Investigación Agraria. UNA. Lima-Perú. 103p.
- ARÓSTEGUI, VA. (1982). Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas. Proyecto PNUD/FAO/PER/81/002 Fortalecimiento de los Programas de Desarrollo Forestal en Selva Central. Lima, Perú. 57 p.

ARROYO, J. (1983). Propiedades físico mecánicas de la madera. Texto para estudiantes de Ingeniería Forestal. Universidad de los Andes, FCF. Mérida, VE. 186 p.

ASOCIACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO INTEGRAL (AIDER). (2010). Utilización industrial y mercado de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales. PD 512/08 Rev.2 (I)

ASTM. (1992). Standard methods of testing small clear specimens of timber. Book of ASTM Standard D143.Vol 04.09. Wood American Society for Testing and Materials. Philadelphia, PA, USA. p.37-79

ÁVILA C., L. E. (2011). Evaluación de los componentes químicos básicos de la madera de *P. pringlei* infectada por el muérdago *Psittacanthus macrantherus*. *Ciencia Nicolaita* 54: 7-16

BASCOPE, F. (1962). Clave de Identificación Macroscópica de algunas Maderas Dicotiledóneas de Latinoamérica. Mérida, Venezuela.

BERNABÉ S, L. ÁVILA y J. RUTIAGA (2013). Componentes químicos de la madera de cinco especies de pino del municipio de Morelia, Michoacán. *Madera y Bosques* 19(2):21-35

BLAND, D. E. (1985). The composition and Analysis of eucalyptus wood *Revista Appita*, 38(4): 291-294.

CÁRDENAS L, D. & N. R. SALINAS. (2007). Libro Rojo de plantas de Colombia. Volumen 4. Especies maderables amenazadas: Primera parte. Serie libros rojos de especies amenazadas de Colombia. Bogotá, Colombia. Instituto Amazónico de

Investigaciones Científicas SINCHI - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 232p.

CARRILLO, I., ELISSETCHE, J., VALENZUELA, S., TEIXEIRA MENDONÇA, R. (2013). Formación de elementos anatómicos en maderas duras: una revisión desde una perspectiva genómica. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 15(1), 93-104. Epub 19 de diciembre de 2012. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2013005000009>

CHAVESTA C. M. (2006). Separata de capacitación sobre identificación de madera. Perú. 8-13p.

CISTERNAS, P. A. (1994). Conversión de densidades de la madera. *Ciencia e investigación forestal*, 8(2), 300-315.

COMISIÓN PARAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Normas panamericanas. Buenos Aires: COPANT, 1972. 584p.

COOMES, D.A., BELLINGHAM, P.J. (2011). Temperate and Tropical Podocarps: How Ecologically Alike Are They? En: *Ecology of the Podocarpaceae in Tropical Forest*. Smithsonian Contribution to Botany No.95. Smithsonian Institution Scholarly Press. The United States of America.

CUBILLOS LIÉVANO, A. M., PINILLA CASTAÑEDA, C. A., VANEGAS CASAS, K., ALFONSO MARTÍNEZ, M. F., y HERNÁNDEZ, M. ÁNGEL. (2019). Propiedades Mecánicas De La Madera De Chuguaca (*Hyeronima macrocarpa* Schltr.) para la identificación de su uso potencial. *Boletín Semillas Ambientales*, 13(2), 36–48.

CUEVA M.N., VÉLEZ D.F., BARRIOS T.A y NIETO R.V. (2013). Pino romerón [*Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N Page], especie nativa potencial para la

reforestación de zonas altoandinas de Colombia. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF)- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR)- Colegio Integrado Nacional Oriente de Caldas (CINOC). Bogotá D.C., Colombia. 2010. 47p

DAILING, W.J., BARKAN, P., BELLINGHAM, P.J., HEALEY, J.R., TANNER, J.V. (2011). Ecology and distribution of Neotropical Podocarpaceae. En: Ecology of the Podocarpaceae in Tropical Forest. Smithsonian Contribution to Botany No.95. Smithsonian Institution Scholarly Press. The United States of America

DORMONTT E.E.; BONER M.; BRAUN B.; BREULMANN G.; DEGEN B.; ESPINOZA E.; GARDNER S.; GUILLERY P.; HERMANSON J.C.; KOCH G.; LEE, S.L.; KANASHIRO, M.; RIMBAWANTO, A.; THOMAS, D.; WIEDENHOEFT, A.C.; YIN, Y.; ZAHNEN, J. and LOWE, A.J. Forensic timber identification: it's time to integrate disciplines to combat illegal logging. En: Biological Conservation, 2015, vol. 191, pág. 790–798.

ECHENIQUE, M.R., BARAJAS, M.L., PINZÓN, P., PÉREZ, M. (1975). Estudio botánico ecológico de la región del río Uxpanapa, Veracruz. No. 1: Características tecnológicas de diez especies. México, INIREB. 66p.

FONDO DE PROMOCIÓN DE EXPORTACIONES (PROEXPO). (1970). Maderas Colombianas. Bogotá, Colombia. 117 p.

FONG, F. (2018). Determinación de la composición química de la madera obtenida del primer clareo en árboles de melina (*gmelinaarborearoxb.*), de una plantación proveniente del departamento de Izabal.

FONSECA, M.R. (2006). Determinación De La Composición Química De La Madera De Pino Candelillo (*Pinus maximinoi* H. E. Moore) Procedente De La Finca

Río Frío, Tactic, Alta Verapaz. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Química.

GARCIA L, E. (1999). Historia de la tecnología de la madera. Boletín de información técnica N°198. Asociación De La Investigación De Las Industrias De La Madera Y Corcho. 4p.

GARCÍA, H (2014) Deforestación en Colombia: Retos y perspectivas. FEDESARROLLO. Bogotá, Colombia. 28p.

GARCÍA, N. (ed.). (2007). Libro Rojo de Plantas de Colombia. Volumen 5: Las magnoliáceas, las miristicáceas y las podocarpaceas. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Bogotá, Colombia. Instituto Alexander von Humboldt - CORANTIOQUIA - Jardín Botánico Joaquín Antonio Uribe de Medellín - Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 236 p

HARU A. GARCÍA MEZA, SHEYLA Y. CHUMBIMUNE VIVANCO, MOISÉS P. ACEVEDO MALLQUE, MANUEL CHAVESTA CUSTODIO, JOSÉ E. CUELLAR BAUTISTA, EVELIN J. SALAZAR HINOSTROZA (2017). Aptitud de uso del ulcumano (*Retrophyllumrospigliosii* (Pilg.) C.N. Page), procedente de una plantación de 32 años, mediante la caracterización tecnológica y anatómica. 32 - 10.21704/rfp.v32i2.1039. Revista Forestal del Perú.

HILLIG, E; DE OLIVEIRA, G; LEONARDO, D; MARQUES, G. (2011). Propiedades físicas da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze em função da posição no fuste para diferentes idades. Universidad Federal de Lavras. Brasil. Cerne 18(2): 257 - 263.

HONORATO, A., COLOTL-HERNÁNDEZ, G., APOLINAR-HIDALGO, F., ABURTO, J. (2016). Principales componentes químicos de la madera de Ceiba pentandra, Hevea brasiliensis y Ochroma pyramidale. Madera y Bosques. 21..

IAWA COMMITTEE. (1989). IAWA List of microscopic features for hardwood identification. IAWA Bulletin. n.s. 10 (3): 219-332.

IAWA COMMITTEE. 2004. IAWA List of microscopic features for softwood identification. IAWA J. (25): 1-70.

ICONTEC (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN). (2006). Maderas. Determinación del contenido de humedad para ensayos físicos y mecánicos. NTC 206-1. Bogotá, Colombia. 3 p.

INTERNATIONAL PULP & PAPER DIRECTORY. (1976). San Francisco: Paperloop Publications.

ISLAS O., E. (1992). Evaluación de cinco especies de pino para la producción de pulpas termomecánicas blanqueadas. Tesis de Maestría. Departamento de Madera, Celulosa y Papel. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México. 147 p.

JOST, F. (2006). Propiedades físicas y mecánicas de Araucaria angustifolia proveniente de plantaciones de Oxapampa. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. UNALM. Perú. 159 p.

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA (JUNAC). (1981). Estudio integral de la madera para la construcción. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de 104 especies del grupo andino. Lima Perú.

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA (JUNAC). (1981b). Tablas de propiedades físicas y mecánicas de la madera de 24 especies de Colombia. Lima, Perú, JUNAC PADT- REFORT. 54 p.

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA (JUNAC). (1984). Manual de diseño para maderas del Grupo Andino. Lima, Perú, JUNAC PADT- REFORT. 586 p.

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA (JUNAC). (1989). Manual del grupo Andino para el secado de maderas. Lima, Perú, JUNAC PRID-MADERA. 450 p.

LADRACH, W. (1977). Análisis de Calidad de madera de CUPRESSUS LUSITANICA. Informe de Investigación n. 23. Cartón Colombia, S. A. Cali, Colombia. 13p.

LADRACH, W. (1984). Análisis de Calidad de madera de PINUS PATULA Schl. Et Cham. Informe de Investigación n. 92. Cartón Colombia, S. A. Cali, Colombia. 17p.

LADRACH, W. (1987). Calidad de la madera de PINUS OOCARPA. Informe de Investigación no. 116. Cartón Colombia, S. A. Cali, Colombia. 7p.

LAGUNES-FORTIZ E y ZAVALA-MEJÍA E. 2016. Función de la Lignina en la Interacción Planta-Nematodos Endoparásitos Sedentarios. Revista Mexicana de Fitopatología 34, 43-63.

LAMPRECHT, H. (1990). Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn. República Federal Alemana. 335 p.

LEÓN, W., y ESPINOZA DE PERNÍA, N. (1995). Descripción Macroscópica y Clave de Identificación de 73 Especies de la Unidad Experimental de la Reserva Forestal de Caparo. Mérida, Venezuela: Barinas.

LIMA R., L. (2013). Evaluación de la composición química y propiedades físicas de madera y corteza de cuatro coníferas para la producción de bioenergía. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, NL., México. 55 p.

LÓPEZ CAMACHO, RENÉ & CÁRDENAS-L, DAIRON. (2002). Manual de identificación de especies maderables objeto de comercio en la Amazonia colombiana.

MAE (MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR); FAO (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, IT). (2014). Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales – Ecuador. Quito. 105p.

MAHECHA, G., OVALLE, A., CAMELO, D., ROZO, A., BARRERO D. (2004). Vegetación del territorio CAR, 450 especies de sus llanuras y montañas. Colombia. 871 p.

MARÍN, A. (1998). Ecología y silvicultura de las Podocarpáceas andinas de Colombia. Cali, Colombia, Departamento de Investigación Forestal, Smurfit Cartón de Colombia S.A. 143 p.

MELO, R., PAZ, J., CARRASCO, V., TORRES, M & RIVERA, G. (1975). Pulpas de madera de fibra larga a partir de mezclas de pinus insigne (*Pinus radiata* D. Don), mañío (*Podocarpus nubigea* Lind) y canelo (*Drymis winteri* Forst). Laboratorio de Productos Forestales de Concepción.

MERCADO LÁZARO, P. (2020-11-11.). *Caracterización física y mecánica de la madera Cedro (Cedrela odorata L.) proveniente del departamento de Córdoba Colombia*. Facultad de Ingeniería.

MONTEOLIVA, S., NUÑEZ, C., IGARTÚA, D. (2002). Densidad básica, longitud de fibras y composición química de la madera de una plantación de *Eucalyptus globulus* en la provincia de Buenos Aires, Argentina. Congreso Iberoamericano de investigación en celulosa y papel. 13p.

MOZO, M.T. (1972). *Algunas especies aptas para la reforestación en Colombia*. Editorial ABC. 297 p.

NÚÑEZ, C. (2007). Morfología fibrosa de a madera del *Eucaliptus grandis* implantado en la Mesopotamia Argentina. 1. Atributos biométricos. Rev. Cienc. Tecnol. Año 9 / N° 9. Posadas, Provincia de Misiones, Argentina. 36 – 43 p.

NÚÑEZ, C. (2015). *Pulpa y papel. Química de la madera – Hemicelulosas*. Posadas, Provincia de Misiones, Argentina. 4 p.

PINHEIRO, J., BATES, D., DEBROY, S., & SARKAR, D. (2015). nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-122

PORTILLO, P., CUEVA, N., SIERRA, J., VÁSQUEZ, A. (2019). Propiedades físico mecánicas del *Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N. Page de 22 años en dos sistemas de plantación en Colombia. Revista Forestal del Perú. 34. 41. 10.21704/rfp.v34i1.1284.

PULIDO, R., ESPERANZA, O., SOLÓRZANO, E., MOGOLLÓN, J., QUINTERO, S., GÓMEZ, A., AMADO, S., DÍAZ, S., JIMÉNEZ, J. (2018). Propiedades físico-

mecánicas y uso de 17 especies forestales. Unidad de Ordenación Forestal Yarí-Caguán, municipio de Cartagena del Chairá, departamento del Caquetá.

ROMERO, R. (2012). El bosque Alto-Andino: una oportunidad para llevar al educando al aprendizaje significativo y a las estrategias de conservación.

SABLE, I., U. GRINFELDS, A. JANSONS, L. VIKELE, I. IRBE, A. VEROVKINS AND A. TREIMANIS. (2012). Properties of wood and pulp fibers from lodgepole pine (*Pinus contorta*) as compared to scots pine (*Pinus sylvestris*). *BioResources* 7(2): 1771-1783.

SEGEBARTH, I. (2000) *Les papiers transparents anciens: Conservation et restauration des supports imprégnés de substances naturelles*, Ed. Ecole Nationale des Arts Visuels de La Chambre, Paris.

TECHNICAL ASSOCIATION FOR THE PULP AND PAPER INDUSTRIES. (1978). Acid insoluble in wood and pulp. TAPPI Test Method T 222 os-74. TAPPI PRESS, Atlanta.

TECHNICAL ASSOCIATION FOR THE PULP AND PAPER INDUSTRIES. (1978). Ash in wood and pulp. TAPPI Test Method T 15 os-58. TAPPI PRESS, Atlanta.

TECHNICAL ASSOCIATION FOR THE PULP AND PAPER INDUSTRIES. (1978). Preparation of extractive free-wood. TAPPI Test Method T 12 os-75. TAPPI PRESS, Atlanta.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. 1999. TAPPI Test Methods; TAPPI Press, Atlanta, GA.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. 1999. TAPPI Test Methods; TAPPI Press, Atlanta, GA.

TORRES, R. J. (1988). Podocarpaceae. Monografía No.5. Flora de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales. Museo de Historia Natural. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. 75 p.

VALVERDE - RODRÍGUEZ, J. X., JUMBO – BENÍTEZ, N. DEL C., FERNÁNDEZ – GUARNIZO, P. V., GONZÁLEZ ROGEL, J. B., IÑIGUEZ – ORDOÑEZ, D. P., PUCHA – COFREP, D. A. (2020). Composición química de la madera de Juglans Neotropica Diels., y su relación con las propiedades químicas del suelo en la parroquia Valladolid, provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador. *Revista Investigación Agraria*, 2(3), 68–82. <https://doi.org/10.47840/ReInA.2.3.904>

VÁSQUEZ, A. (2010) Anatomía de la madera de las Podocarpaceas Colombianas. Tesis de doctorado. Córdoba (España): Universidad de Córdoba. Departamento de Ingeniería Forestal. 2010. 118p

VÁSQUEZ, A. y RAMÍREZ, A. (2011). Curso Anatomía e Identificación de Maderas. (Guía de curso), Facultad de Ciencias Agropecuarias: Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

VÁSQUEZ, A., ALCÁNTARA, V. (2009). Anatomía y densidad de la madera de árboles de pino romerón [*Retrophyllum rospigliosii* (Pilger) C.N. Page] de ocho años de edad. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 62(1):4869– 4880.

VÁSQUEZ, A., RAMÍREZ, A. (2005). Maderas que se comercializan en el Valle de Aburrá. Medellín, Colombia, Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 246 p.

VEILLON, J. P. (1962). Coníferas autóctonas de Venezuela, los Podocarpus: con especial énfasis sobre las podocarpáceas de la región central del estado Mérida, Venezuela. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. 156 p.

VILLEGAS, J., y SIERRA, M. (1995). Características anatómicas, propiedades físico-mecánicas, durabilidad natural y preservación de las maderas de Algarrobo, Nazareno y Monoacero. *Colombia forestal*, 4(9).  
<https://doi.org/10.14483/2256201X.4364>

ZAMUDIO, S. (2002). Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Podocarpaceae Instituto de Ecología, AC Centro Regional del Bajío Pátzcuaro, Michoacán. Fascículo 105: 1-2.

ZHIÑIN, H., FERNÁNDEZ-GUERRERO, MARIVI., MARTÍNEZ-MATAMOROS, J., LABANDA, C., PUCHA COFREP, D. (2020). Características microscópicas de la madera en tres especies de manglar al sur de Ecuador.



Anexo 2. Registro de datos para contracción tangencial y radial.

 Universidad del Tolima	<b>PROCEDIMIENTO PRUEBAS DESTRUCTIVAS</b>	Página 1 de 1
	<b>REGISTRO DE DATOS PARA CONTRACCION RADIAL Y TANGENCIAL</b>	Código: FO-P16-F03
		Versión: 01
		Fecha Aprobación: 2/08/2017

Nombre Científico: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Nombre Común: \_\_\_\_\_ Familia: \_\_\_\_\_

Nº	VERDE				SECO AL AIRE				SECO AL HORNO			CONTRACCIONES				RELACIONES	
	Fecha:				Fecha:				Fecha:			V. a S.A.		V. a S.H.		V. a S.A.	V. a S.H.
	R	Tg	P	C.H.	R	Tg	P	C.H.	R	Tg	P	R	Tg	R	Tg	CT/CR	CT/CR

R.: Radial (cm)                      CT: Contracción Tangencial (%)                      Datos registrados por: \_\_\_\_\_  
 Tg.: Tangencial (cm)                      CR: Contracción Radial (%)                      \_\_\_\_\_  
 P.: Peso (g)                      \_\_\_\_\_  
 C.H.: Contenido de Humedad (%)                      \_\_\_\_\_  
 V. a S.A.: Verde a Seca al Aire (%)                      \_\_\_\_\_  
 V. a S.H.: Verde a Seco al Horno (%)                      \_\_\_\_\_



Anexo 4. Registro de datos para compresión paralela a las fibras.

	<b>PROCEDIMIENTO PRUEBAS DESTRUCTIVAS</b>	Página 1 de 1
	<b>REGISTRO DE DATOS PARA COMPRESIÓN PARALELA A LAS FIBRAS</b>	Código: FD-P16-F04
		Versión: 01
		Fecha Aprobación: 2/08/2017

Probeta N°. \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Familia: \_\_\_\_\_

Nombre Científico : \_\_\_\_\_ Nombre Común : \_\_\_\_\_

**Datos de Contenido de Humedad**

P.V. = \_\_\_\_\_ g.

P.S.H. = \_\_\_\_\_ g.

C.H. = \_\_\_\_\_ %

Peso = \_\_\_\_\_ g.

Área (X) = \_\_\_\_\_ cm<sup>2</sup>

Volúmen = \_\_\_\_\_ cm<sup>3</sup>

Densidad al C.H. = \_\_\_\_\_ g/cm<sup>3</sup>

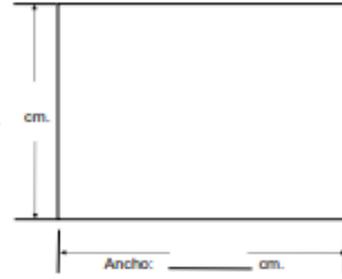
Escala = \_\_\_\_\_ t.

Carga máxima (D) = \_\_\_\_\_ kg. (I) = \_\_\_\_\_ kg.

Carga al L.P. = \_\_\_\_\_ kg.

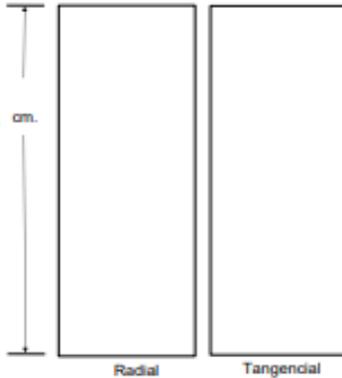
Deformación al L.P. (D) = \_\_\_\_\_ cm. (I) = \_\_\_\_\_ cm.

Espesor: \_\_\_\_\_ cm.



Ancho: \_\_\_\_\_ cm.

Longitud: \_\_\_\_\_ cm.



**RESULTADOS**

Propiedad	Valores (kg/cm <sup>2</sup> ) al C.H.	Ajustados al 12% C.H.
Esfuerzo al Límite Proporcional (kg/cm <sup>2</sup> )		
Maxima Resistencia a la Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )		
Módulo de Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )		

P.V.: Peso verde (g)                      I: Indirecta  
P.S.H.: Peso Seco al Horno (g)        D: Directa  
C.H.: Contenido de humedad (%)  
L.P.: Límite proporcional

**Datos registrados por:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Anexo 5. Registro de datos para compresión perpendicular a las fibras.

	<b>PROCEDIMIENTO PRUEBAS DESTRUCTIVAS</b>	Página 1 de 1
	<b>REGISTRO DE DATOS PARA COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LAS FIBRAS</b>	Código: FO-P16-F05
		Versión: 01
		Fecha Aprobación: 2/08/2017

Probeta N°. \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Familia: \_\_\_\_\_

Nombre Científico : \_\_\_\_\_ Nombre Común : \_\_\_\_\_

**Datos de Contenido de Humedad**

P.V. = \_\_\_\_\_ g.

P.S.H. = \_\_\_\_\_ g.

C.H. = \_\_\_\_\_ %

Ancho de la placa = \_\_\_\_\_ cm.

Área de contacto = \_\_\_\_\_ cm<sup>2</sup>

Área (X) = \_\_\_\_\_ cm<sup>2</sup>

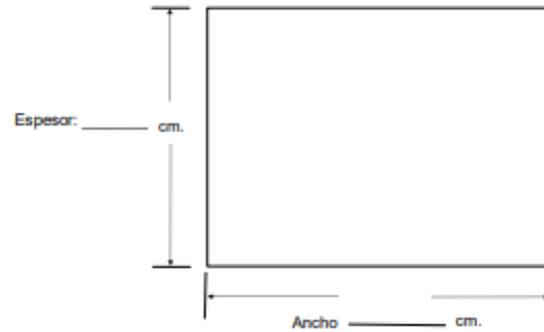
Peso = \_\_\_\_\_ g.

Volúmen = \_\_\_\_\_ cm<sup>3</sup>

Densidad al C.H. = \_\_\_\_\_ g/cm<sup>3</sup>

Escala = \_\_\_\_\_ t.

Carga al L.P. (D) = \_\_\_\_\_ kg.



**RESULTADOS**

Propiedad	Valores (kg/cm <sup>2</sup> ) al C.H.	Ajustados al 12% C.H.
Esfuerzo al Límite Proporcional (kg/cm <sup>2</sup> )		

P.V.: Peso Verde (g)

D: Directa

Datos registrados por: \_\_\_\_\_

P.S.H.: Peso Seco al Horno (g)

C.H.: Contenido de Humedad (%)

L.P.: Límite Proporcional

Anexo 6. Registro de datos para flexión estática.

 Universidad del Tolima	<b>PROCEDIMIENTO PRUEBAS DESTRUCTIVAS</b>	Página 1 de 1
	<b>REGISTRO DE DATOS PARA FLEXIÓN ESTÁTICA</b>	Código: FO-P16-F06
		Versión: 01
		Fecha Aprobación: 2/08/2017

Probeta N°. \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Familia: \_\_\_\_\_

Nombre Científico : \_\_\_\_\_ Nombre Común : \_\_\_\_\_

**Datos de Contenido de Humedad**

P.V. = \_\_\_\_\_ g.

P.S.H. = \_\_\_\_\_ g.

C.H. = \_\_\_\_\_ %

Peso = \_\_\_\_\_ g.

Área (X) = \_\_\_\_\_ cm.<sup>2</sup>

Volúmen = \_\_\_\_\_ cm.<sup>3</sup>

Densidad al C.H. = \_\_\_\_\_ g/cm<sup>3</sup>

Escala = \_\_\_\_\_ t.

Distancia entre apoyos = \_\_\_\_\_ cm.

Carga máxima (D) = \_\_\_\_\_ kg.

Carga al L.P. = \_\_\_\_\_ kg.

Deformación al L.P. (D) = \_\_\_\_\_ cm.

Espeor: \_\_\_\_\_ cm.



**RESULTADOS**

Propiedad	Valores (kg/cm <sup>2</sup> ) al C.H.	Ajustados al 12% C.H.
Esfuerzo al Límite Proporcional (kg/cm <sup>2</sup> )		
Módulo de Ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )		
Módulo de Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )		

P.V.: Peso Verde (g)      I: Indirecta  
 P.S.H.: Peso Seco al Horno (g)      D: Directa  
 C.H.: Contenido de Humedad (%)  
 L.P.: Límite Proporcional

Datos registrados por: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Anexo 7. Registro de datos para cizallamiento o esfuerzo cortante paralelo al grano (Probeta en L).

 Universidad del Tolima	<b>PROCEDIMIENTO PRUEBAS DESTRUCTIVAS</b>	Página 1 de 1
	<b>REGISTRO DE DATOS PARA CIZALLAMIENTO O ESFUERZO CORTANTE PARALELO AL GRANO (Probeta en L)</b>	Código: FO-P16-F07
		Versión: 01
		Fecha Aprobación: 2/08/2017

Nombre Científico : \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Nombre Común : \_\_\_\_\_ Familia : \_\_\_\_\_

Escala (t) = \_\_\_\_\_

N°	Long.	Ancho	Área	C. Máx.	P.V.	P.S.H.	C.H.	M.R. ciz. al C.H. (kg/cm <sup>2</sup> )	M.R. ciz. ajustada (12%) (Kg/cm <sup>2</sup> )

**P.V.:** Peso Verde (g)  
**P.S.H.:** Peso Seco al Horno (g)  
**C.H.:** Contenido de Humedad (%)  
**C. Max.:** Carga Máxima (kg)  
**M.R. ciz:** Modulo de Ruptura por cizallamiento (kg/cm<sup>2</sup>)

**Datos registrados por:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Anexo 8. Registro de datos para dureza (Brinell).

 Universidad del Tolima	<b>PROCEDIMIENTO PRUEBAS DESTRUCTIVAS</b>	Página 1 de 1
	<b>REGISTRO DE DATOS PARA DUREZA (Brinell)</b>	Código: FO-P16-F08
		Versión: 01
		Fecha de aprobación: 2/08/2017

Nombre Científico : \_\_\_\_\_ Fecha : \_\_\_\_\_  
 Nombre Común : \_\_\_\_\_ Familia : \_\_\_\_\_  
 Diametro de Esfera = \_\_\_\_\_ cm. Escala = \_\_\_\_\_ t.

Probeta N° 	<b>Datos de C.H.</b>	<b>Mediciones</b>	
	P.V. = _____ g.	Longitud = _____ cm.	Volumen = _____ cm <sup>3</sup>
	P.S.H. = _____ g.	Ancho = _____ cm.	Peso = _____ g.
	C.H. = _____ %	Espesor = _____ cm.	Densidad al C.H. = _____ g/cm <sup>3</sup>

RESULTADOS AL C.H.								AJUSTES AL 12%	
ESPECIFICACIONES	C1	C2	Promedio C	Ø1	Ø2	Promedio Ø	D. Brinell (kg/cm <sup>2</sup> )	D. Brinell (kg/cm <sup>2</sup> )	
Extremos									
Radial									
Tangencial									

Probeta N° 	<b>Datos de C.H.</b>	<b>Mediciones</b>	
	P.V. = _____ g.	Longitud = _____ cm.	Volumen = _____ cm <sup>3</sup>
	P.S.H. = _____ g.	Ancho = _____ cm.	Peso = _____ g.
	C.H. = _____ %	Espesor = _____ cm.	Densidad al C.H. = _____ g/cm <sup>3</sup>

RESULTADOS AL C.H.								AJUSTES AL 12%	
ESPECIFICACIONES	C1	C2	Promedio C	Ø1	Ø2	Promedio Ø	D. Brinell (kg/cm <sup>2</sup> )	D. Brinell (kg/cm <sup>2</sup> )	
Extremos									
Radial									
Tangencial									

Probeta N° 	<b>Datos de C.H.</b>	<b>Mediciones</b>	
	P.V. = _____ g.	Longitud = _____ cm.	Volumen = _____ cm <sup>3</sup>
	P.S.H. = _____ g.	Ancho = _____ cm.	Peso = _____ g.
	C.H. = _____ %	Espesor = _____ cm.	Densidad al C.H. = _____ g/cm <sup>3</sup>

RESULTADOS AL C.H.								AJUSTES AL 12%	
ESPECIFICACIONES	C1	C2	Promedio C	Ø1	Ø2	Promedio Ø	D. Brinell (kg/cm <sup>2</sup> )	D. Brinell (kg/cm <sup>2</sup> )	
Extremos									
Radial									
Tangencial									

P.V.: Peso Verde (g)                      Ø1: Impresión 1 de la esfera (cm)                      Datos registrados por: \_\_\_\_\_  
 P.S.H.: Peso Seco al Horno (g)                      Ø2: Impresión 2 de la esfera (cm)                      \_\_\_\_\_  
 C.H.: Contenido de Humedad (%)                      \_\_\_\_\_  
 C1: Carga Máxima 1 (kg)                      \_\_\_\_\_  
 C2: Carga Máxima 2 (kg)                      \_\_\_\_\_

Anexo 9. Registro para datos de extracción de puntillas.

 Universidad del Tolima	<b>PROCEDIMIENTO PRUEBAS DESTRUCTIVAS</b>	Página 1 de 1
		Código: FO-P16-F09
		Versión: 01
	<b>REGISTRO DE DATOS PARA EXTRACCIÓN DE PUNTILLAS</b>	Fecha de aprobación: 2/08/2017

Nombre Científico: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Nombre Común: \_\_\_\_\_ Familia: \_\_\_\_\_

PROBETA N°. \_\_\_\_\_

Longitud = _____ cm.	Ancho = _____ cm.	Espesor = _____ cm.
V.E. = _____ cm <sup>3</sup>	Peso = _____ g.	Densidad = _____ g/cm <sup>3</sup>
Datos CH: P. V. = _____ g.	P. S.H. = _____ g.	C.H = _____ %

Escala = _____ t.	RESISTENCIA			CLASIFICACIÓN
	C1	C2	Promedio C	Clase
Extremos				
Radial				
Tangencial				

PROBETA N°. \_\_\_\_\_

Longitud = _____ cm.	Ancho = _____ cm.	Espesor = _____ cm.
V.E. = _____ cm <sup>3</sup>	Peso = _____ g.	Densidad = _____ g/cm <sup>3</sup>
Datos CH: P. V. = _____ g.	P. S.H. = _____ g.	C.H = _____ %

Escala = _____ t.	RESISTENCIA			CLASIFICACIÓN
	C1	C2	Promedio C	Clase
Extremos				
Radial				
Tangencial				

PROBETA N°. \_\_\_\_\_

Longitud = _____ cm.	Ancho = _____ cm.	Espesor = _____ cm.
V.E. = _____ cm <sup>3</sup>	Peso = _____ g.	Densidad = _____ g/cm <sup>3</sup>
Datos CH: P. V. = _____ g.	P. S.H. = _____ g.	C.H = _____ %

Escala = _____ t.	RESISTENCIA			CLASIFICACIÓN
	C1	C2	Promedio C	Clase
Extremos				
Radial				
Tangencial				

P.V.: Peso Verde (g)  
 P.S.H.: Peso Seco al Horno (g)  
 C.H.: Contenido de Humedad (%)  
 V.E.: Volumen Estereométrico (cm<sup>3</sup>)  
 C1: Carga Máxima 1 (kg)  
 C2: Carga Máxima 2 (kg)

Datos registrados por: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Anexo 10. Registro de datos para tenacidad o impacto o rigidez.

 Universidad del Tolima	<b>PRUEBA DESTRUCTIVA (Propiedad Mecánica)</b>	Página 1 de 1
		Código: FO-P16-F10
		Versión: 01
	<b>REGISTRO DE DATOS PARA TENACIDAD O IMPACTO O RIGIDEZ</b>	Fecha Aprobación: 2008/2017

Nombre Científico : \_\_\_\_\_ Nombre Común : \_\_\_\_\_

Familia : \_\_\_\_\_ Fecha : \_\_\_\_\_ Capacidad del Mazo = \_\_\_\_\_

N° 	Espesor = _____ cm.	Peso Verde = _____ g.	<b>FALLA</b>
	Ancho = _____ cm.	Peso Seco = _____ g.	
	Área = _____ cm <sup>2</sup>	C.H. = _____ %	
	Tenacidad al C.H. = _____	kg.m	
	Tenacidad al C.H. = _____	kg.m/cm <sup>2</sup>	
	Tenacidad al 12% C.H. = _____	kg.m	
	Tenacidad al 12% C.H. = _____	kg.m/cm <sup>2</sup>	

N° 	Espesor = _____ cm.	Peso Verde = _____ g.	<b>FALLA</b>
	Ancho = _____ cm.	Peso Seco = _____ g.	
	Área = _____ cm <sup>2</sup>	C.H. = _____ %	
	Tenacidad al C.H. = _____	kg.m	
	Tenacidad al C.H. = _____	kg.m/cm <sup>2</sup>	
	Tenacidad al 12% C.H. = _____	kg.m	
	Tenacidad al 12% C.H. = _____	kg.m/cm <sup>2</sup>	

N° 	Espesor = _____ cm.	Peso Verde = _____ g.	<b>FALLA</b>
	Ancho = _____ cm.	Peso Seco = _____ g.	
	Área = _____ cm <sup>2</sup>	C.H. = _____ %	
	Tenacidad al C.H. = _____	kg.m	
	Tenacidad al C.H. = _____	kg.m/cm <sup>2</sup>	
	Tenacidad al 12% C.H. = _____	kg.m	
	Tenacidad al 12% C.H. = _____	kg.m/cm <sup>2</sup>	

N° 	Espesor = _____ cm.	Peso Verde = _____ g.	<b>FALLA</b>
	Ancho = _____ cm.	Peso Seco = _____ g.	
	Área = _____ cm <sup>2</sup>	C.H. = _____ %	
	Tenacidad al C.H. = _____	kg.m	
	Tenacidad al C.H. = _____	kg.m/cm <sup>2</sup>	
	Tenacidad al 12% C.H. = _____	kg.m	
	Tenacidad al 12% C.H. = _____	kg.m/cm <sup>2</sup>	

C.H.: Contenido de Humedad (%)      Datos Registrados por: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_