

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL
CUSCO**

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TITULO:

“COMPARACIÓN ENTRE EL MODULO DE ELASTICIDAD, EN TRACCIÓN Y COMPRESIÓN PARALELA A LAS FIBRAS; DE ESPECIES DE MADERA LATIFOLIADA, TIPO A, B Y C COMERCIALIZADAS EN LA PROVINCIA DEL CUSCO, 2017”

Tesis presentado por:

Bach. CUSIHUALLPA MAMANI, Ricardo Eduardo

Jurados:

Ing°. LOAYZA SCHIAFFINO, Carlos Hugo

Ing°. VALLENAS CASAVARDE, Ricardo Alfonso

M.Sc. Ing°. MALPARTIDA LINARES, Juan Carlos

CUSCO-PERÚ

2021

Resumen

El presente trabajo de investigación aborda la norma “E.010 Maderas” con respecto al módulo de elasticidad, pues la norma considera un mismo valor para el MOE tanto a tracción como a compresión paralela a las fibras, solo para luego mencionar que esto es conservador dada la limitada información con la que contamos.

El objetivo de la presente tesis es determinar y comparar los módulos de elasticidad de tres de las especies de madera latifoliada con mayor volumen de comercialización en la ciudad de Cusco, (Eucalipto, Copaiba y Aguano) (*Eucalyptus Globulus Labill*, *Copaifera officinalis L.* y *Cedrelinga catenaeformis Ducke.*) respectivamente, además determinar si es conveniente seguir empleando el mismo MOE, tanto a tracción como a compresión.

Se obtuvieron trozas de estas tres especies madereras las cuales fueron secadas protegidas del sol, hasta alcanzar el estado seco. Posteriormente se realizaron ensayos de tracción y compresión paralela a las fibras en testigos libres de defectos, según la normativa vigente en el Perú, obteniendo así los respectivos módulos de elasticidad.

Se logra concluir, para las especies objeto de estudio, que el valor de la relación entre el módulo de elasticidad a tracción frente al de compresión paralela guarda una relación inversamente proporcional con el valor de Densidad Básica, es así que cuando la densidad básica toma valores menores a los 0.59 g/cm³ la relación entre módulos de elasticidad empieza a influir negativamente en las deformaciones estimadas en elementos sometidos a flexión, entre 3.08 % y 4.28% para el Aguano y 2.31% y 3.21% para el Eucalipto.

Finalmente se considera conveniente seguir empleando el mismo módulo de elasticidad tanto para tracción y compresión paralela a las fibras, sin embargo, se deberá considerar un factor de seguridad adicional que limite las deformaciones estimadas en elementos que serán sometidos a flexión.

Abstract

This research work addresses the “E.010 Wood” standard with respect to the modulus of elasticity, the standard considers the same value for the MOE both in traction and compression parallel to the fibers and later says that this is conservative.

The objective of this thesis is to determine and compare the elasticity modules of three of the broadleaf wood species with the highest volume of commercialization in the city of Cusco, (Eucalyptus, Copaiba and Aguano) (Eucalyptus Globulus Labill, Copaifera officinalis L. and Cedrelinga catenaeformis Ducke.) Respectively and determining whether it is convenient to continue using the same MOE, both in tension and compression.

Logs of these three wood species were obtained, which were dried protected from the sun, until they reached the dry state. Subsequently, tensile and compression tests were carried out parallel to the fibers in defect-free controls, according to the regulations in force in Peru, thus obtaining the respective modulus of elasticity.

It is possible to conclude, for the species under study, that the value of the relationship between the modulus of elasticity in traction versus that of parallel compression is inversely proportional to the value of Basic Density, it is thus that when the basic density takes values Less than 0.59 g / cm^3 , the relationship between modulus of elasticity begins to negatively influence the estimated deformations in elements subjected to bending, between 3.08% and 4.28% for Aguano and 2.31% and 3.21% for Eucalyptus.

Finally, it is considered convenient to continue using the same modulus of elasticity for both traction and compression parallel to the fibers, however, an additional safety factor must be considered that limits the estimated deformations in elements that will be subjected to bending.

Introducción

En el Perú se evidencia un gran déficit de habitacional, pues al 2016 hacían falta 1.8 millones de viviendas y el 74% de la población, que ya cuenta con una, se ve en la necesidad de renovarla o mejorarla. Es así que la construcción de viviendas en madera toma cierta relevancia como alternativa, si bien en nuestro ámbito geográfico el uso de este material está relegado, podemos tomar como ejemplo la situación en Norte América, país que cuenta con el 100% de viviendas unifamiliares construidas en madera (UCV Radio, 2016), de donde además sabe que la construcción de una casa en concreto armado puede costar el doble que construir la misma casa en madera (Quora, 2019).

Expuesta la Madera como posible material de construcción, y estando predispuestos a su uso, nos encontramos con otro limitante, pues el reducido uso en el diseño y la construcción se ha basado en información proveniente de países consumidores de madera conífera, mientras que nuestra región se abastece de bosque que producen solo madera latifoliada que, dada su distinta constitución anatómica, presenta comportamientos y propiedades diferentes a la conífera.

Es hasta 1984 que, como parte de los “Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de Recursos Forestales Tropicales” (PADT-REFORT), creados por el Acuerdo de Cartagena y suscritos por los países miembros de entonces “Grupo Andino”, se publica el “Manual de Diseño para maderas del Grupo Andino”, publicación que constituye el primer Manual de Diseño para Maderas Latifoliadas que se edita en el mundo. Si bien al año 2021 una publicación realizada en 1984 podría considerarse “antigua”, las normas técnicas vigentes en casi todos los países que suscribieron el Acuerdo de Cartagena, se basan enteramente en dicho manual, situación que se repite en el Perú.

Dentro del Manual de Diseño para maderas del Grupo Andino y consecuentemente dentro de la Norma E.010 – Maderas, encontramos cierto enunciado respecto al Módulo de

Elasticidad que resulta cuanto menos relevante “... Se ha considerado conveniente usar el mismo módulo de elasticidad para tracción o compresión paralela a las fibras; la limitada información disponible indica que esto es en general conservador.” El mismo manual menciona que “se toma el MOE en flexión estática como genérico de la especie por ser las deflexiones en elementos a flexión criterio básico en su dimensionamiento”

El objetivo de este trabajo es el cálculo de la relación entre el módulo de elasticidad a tracción y el módulo de elasticidad a compresión paralela a las fibras en especies de madera Latifoliada comercializada en la ciudad del Cusco, y determinar la influencia de este valor en función a lo determinado por (Baño, Arguelles , Regueira, & Guaita, 2012) en su publicación “Determinación de la curva Tensión – Deformación en madera de *Pinus sylvestris* L para la simulación numérica de vigas de madera libre de defectos” y los objetivos específicos son:

- Indicar si es conveniente usar el mismo módulo de elasticidad, en tracción y compresión paralela a las fibras; de especies de madera Latifoliada, tipo A, B y C comercializadas en la provincia del Cusco, 2017.
- Proponer valores al módulo de elasticidad, en tracción y compresión paralela a las fibras; de especies de madera Latifoliada, para los tipos A, B y C comercializadas en la provincia del Cusco, 2017.

Presentación

La estructura de esta tesis es como sigue:

Capítulo I

En este capítulo se buscará evidenciar la situación que experimenta la madera como material de construcción además de mostrar los FUNDAMENTOS de la investigación como tal.

Capítulo II

Se presentan los fundamentos teóricos necesarios solo la madera y las investigaciones que se consideran precedentes para la presente Tesis.

Capítulo III

Se expondrá a detalle la metodología experimental planteada, previa al desarrollo de la investigación, además de la determinación de la población objeto de estudio y el proceso de la determinación del tipo muestras.

Capítulo IV

Este capítulo contiene la descripción de los procesos realizados, en base a la normativa vigente, para la obtención de datos: selección de las especies estudiadas, muestreo, construcción de los testigos y la descripción de los ensayos realizados.

Capítulo V

En este capítulo se evidencia la acumulación y posterior manipulación de la información recopilada de los ensayos previamente realizados, con el fin de obtener información relevante de forma ordenada.

Capítulo VI

Llegamos a este capítulo con información ya ordenada y lista para su correcto análisis, el capítulo se centrará en interpretar dicha información y sentar las bases a posibles conclusiones para la tesis, para esto se abordará cada propiedad determinada de forma

aislada. Así mismo se expondrán motivos por los cuales un análisis estadístico no es aplicable a los datos de propiedades mecánicas de la madera.

Capítulo VII

Este capítulo presenta de forma diferenciada el análisis de la información concerniente a la comparación entre módulos de elasticidad a tracción y compresión paralela a las fibras, objetivo principal de la tesis.

Capítulo VIII

Se presentan las conclusiones alcanzadas por el investigador y posibles recomendaciones a tomar en cuenta.

Dedicatoria

Para ti, que siempre confiaste en mí.

ཕྱི་ལོ་ལྷན་དུ་བྱིས་པའི་ལོ་
ལོ་ལོ་ལོ་ ཏོ ལོ

*Zenovia Mamani Quispe
Modesto Cusihuallpa Tito
Zenaida Cusihuallpa Mamani
Candy Cusihuallpa Mamani
Oscar Mateo Acosta Cusihuallpa
Veriozka Marely Luza Huallpa*

Contenido

Resumen	i
Abstract	ii
Introducción	iii
Presentación	v
Dedicatoria	vii
Contenido	viii
CAPITULO 1 Introducción.....	1
1.1. Planteamiento Del Problema.....	1
1.1.1. Situación Problemática.....	1
1.1.2. Problema General.....	2
1.1.3. Problemas Específicos.....	2
1.2. Justificación de la Investigación	2
1.3. Objetivos De La Investigación.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
CAPITULO 2 Estado del Conocimiento.....	5
2.1. Antecedentes de la Investigación	5
2.1.1. Investigación sobre las características de resistencia de nuestras maderas regionales - Ing. Eduardo Marmanillo Velasco (1960).	5
2.1.2. Junta del Acuerdo de Cartagena- Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico (1974).....	6
2.1.3. Estudio de las propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera de 104 especies de los Bosques Tropicales de la Subregión Andina.	7
2.1.4. Maderas tropicales como material de construcción en los países del Grupo Andino de América del sur.	7
2.1.5. Norma Técnica Peruana NTP E.010.....	8
2.1.6. Publicación: Diagrama Esfuerzo - Deformación de la madera libre de defectos de Pinus elliotti de procedencia Uruguay.	8
2.1.7. Investigación Titulada: Determinación de la curva Tensión – Deformación en madera de ‘Pinus sylvestris’ L. para la simulación numérica de vigas de madera libre de defectos.	9
2.2. Marco Teórico Conceptual.....	10
2.2.1. La Madera.....	10
2.2.2. Maderas Tropicales (Latifoliadas) y Coníferas.....	10
2.2.3. La Madera en nuestra Subregión	11
2.2.4. Estructura de la Madera.....	11
2.2.5. Composición Química de la Madera.....	13
2.2.6. Características Químicas.....	13
2.2.7. Propiedades Químicas de la Madera.....	14
2.2.8. Características Físicas de la Madera.....	16
2.2.9. Propiedades hidráulicas de la Madera.....	18
2.2.10. Características Hidráulicas de la Madera.....	18
2.2.11. Propiedades Resistentes de la Madera.....	19
2.2.12. Propiedades elásticas de la madera.....	21
2.2.13. Propiedades Resistentes y Elásticas de Maderas Saturadas.....	22

2.2.14. Propiedades térmicas de la madera.....	23
2.2.15. Norma de Clasificación Visual por defectos PADT-REFORT.	24
2.2.16. Agrupamiento Estructural en el Perú.....	25
CAPITULO 3 Metodología.....	27
3.1. Tipo y Diseño de la Investigación.....	27
3.1.1. Tipo de Investigación.....	27
3.1.2. Nivel de Investigación.	27
3.2. Unidad de Análisis	27
3.3. Población de Estudio	27
3.4. Selección de Muestras	27
3.5. Tamaño de Muestra.....	28
3.5.1. Número de Árboles.....	28
3.5.2. Tipo de Muestra.	29
CAPITULO 4 Muestro, Ensayos y Recolección De Datos.....	30
4.1. Materiales	30
4.1.1. Selección de Especies.	30
4.1.2. Sobre las especies.	34
4.2. Muestreo.....	35
4.2.1. Eucalipto.	35
4.2.2. Aguano y Copaiba.....	40
4.2.3. Muestras.....	41
4.3. Construcción De Testigos	42
4.3.1. Previo a la construccion de testigos.....	42
4.3.2. Construcción De Los Testigos.....	42
4.1.1. Testigos.....	43
4.4. Ensayos.....	44
4.4.1. Densidad.	44
4.4.2. Compresión Paralela a las Fibras.....	46
4.4.3. Tracción.	48
4.5. Recolección De Datos.	50
4.5.1. Densidad Básica (DB).....	50
4.5.2. Compresión Paralela a las Fibras.....	52
4.5.3. Tracción Paralela a las Fibras.	56
CAPITULO 5 Procesamiento De Datos	60
5.1. Densidad Básica	60
5.2. Compresión Paralela a las Fibras	62
5.2.1. Cálculo Del Módulo De Elasticidad a Compresión Paralela Para Cada Testigo.....	62
5.2.2. Módulo De Elasticidad Mínimo Y Modulo De Elasticidad Promedio.	63
5.2.3. Eucalipto.....	64
5.2.4. Copaiba.....	65
5.2.5. Aguano.....	66

5.3. Tracción Paralela a las Fibras.....	67
5.3.1. Cálculo Del Módulo De Elasticidad a Tracción Paralela Para Cada Testigo.....	67
5.3.2. Módulo De Elasticidad Mínimo Y Modulo De Elasticidad Promedio. ...	68
5.3.3. Eucalipto.	69
5.3.4. Copaiba	70
5.3.5. Aguano.....	71
5.4. Comparación entre el Módulo de Elasticidad en Tracción y Compresión Paralela a las Fibras.....	72
5.4.1. Eucalipto.	74
5.4.2. Copaiba.	75
5.4.3. Aguano.....	76
5.5. Evaluación estadística de los datos	77
5.5.1. Análisis Estadístico – Tracción Paralela a las Fibras.....	78
5.5.2. Análisis Estadístico – Compresión Paralela a las Fibras	79
CAPITULO 6 . Resultados Y Discusión.....	82
6.1. Contenido de Humedad (CH).....	82
6.2. Densidad Básica	83
6.3. Esfuerzo al Limite Proporcional y Resistencia Máxima	84
6.3.1. Compresión Paralela a las Fibras.	84
6.3.2. Tracción Paralela a las Fibras.	85
6.4. Relación entre la resistencia a la tracción y la resistencia a la compresión paralela a las fibras.....	86
6.5. Módulos de Elasticidad	87
6.5.1. Compresión Paralela a las Fibras	87
6.5.2. Tracción Paralela a las Fibras	88
CAPITULO 7 Comparación entre el módulo de elasticidad a tracción y compresión paralela a las fibras	90
7.1. Comparación Entre Módulos – por cada espécimen.....	90
7.1.1. Eucalipto	91
7.1.2. Copaiba	92
7.1.3. Aguano.....	93
7.2. Comparación entre valores Representativos por especie.	96
CAPITULO 8 . Conclusiones y Recomendaciones.	98
8.1. Conclusiones:	98
Bibliografía	102
Índice de Figuras.....	105
Anexos	107
Anexo 1: Videos de ensayos realizados:	107
Anexo 2: Fichas de Ensayos.....	107
Anexo 3: Panel Fotográfico	107
Anexo 4: Solicitud de información al SERFOR.....	112

Anexo 5: Carta del SERFOR.....	113
Anexo 6: Uso de Laboratorio (Solicitud, Registro de los ensayos y Certificado).....	114
Anexo 7: Normas Técnicas usadas para los ensayos.....	117
Anexo 8: Muestras de Fichas de Ensayos	119

CAPITULO 1 Introducción

1.1. Planteamiento Del Problema

1.1.1. Situación Problemática.

Actualmente en nuestra sociedad los datos acerca del comportamiento físico y mecánico de la madera no se tienen en cuenta, muy por el contrario, el uso en la construcción de este material se ha visto reducido al encofrado en la construcción y como armaduras en tijerales de madera, (incluso desapareciendo también estas).

En el Perú faltan 1.8 millones de viviendas¹, además un 74% de la población se ve en la necesidad de mejorar su vivienda², en la madera (la cual viene siendo exportada con tasas de crecimiento que alcanzan el 13.2 por ciento³) podría encontrarse una solución bastante viable para esta problemática, pues según (Corporacion Chilena de la Madera, 2013).

“Actualmente, en la mayoría de países desarrollados el uso de la madera como material estructural alcanza a más del 90 por ciento de la construcción habitacional de 1 a 4 pisos”.

Conocido el déficit de viviendas que debe ser resuelto, el uso de la madera como material de construcción enfrenta diferentes limitaciones, una de las más importantes para su correcto uso es, “Inexistencia o desconocimiento de normas y especificaciones de diseño y la carencia de normalización y/o aplicación de las normas” (Arbaiza Mendoza, C, & H, 2013, pág. 8).

De lo último se desprende la necesidad de lograr un mayor entendimiento de las propiedades y del comportamiento mecánico de la madera pues, “La práctica limitada en el diseño y construcción con madera ha estado basada en la información proveniente de países

¹ (Garcia Bendezu, 2016)

² (INEI, 2007)

³ Cámara de Comercio de Lima (CCL)

consumidores de madera conífera, que por su distinta constitución anatómica a la de la madera Latifoliada presenta propiedades y comportamiento diferentes” (Junta del acuerdo de Cartagena, 1984, págs. 1-2). Pese a que se podría decir que información antes citada data de hace 34 años y en consecuencia podría estar desfasada, las normas que se produjeron a consecuencia de esta aún tienen vigencia en los países miembros del Grupo Andino.

1.1.2. Problema General.

- P.G.: ¿Cuál es el valor de la relación entre el módulo de elasticidad, en tracción y compresión paralela a las fibras; de especies de madera Latifoliada, tipo A,B y C comercializadas en la provincia del Cusco, 2017?

1.1.3. Problemas Específicos.

- P.E₁: ¿Es conveniente usar el mismo módulo de elasticidad, en tracción y compresión paralela a las fibras; de especies de madera Latifoliada, tipo A, B y C comercializadas en la provincia del Cusco, ¿2017?
- P.E₂: ¿Cuáles son los valores del módulo de elasticidad, en tracción y compresión paralela a las fibras; de especies de madera Latifoliada, tipo A, B y C comercializadas en la provincia del Cusco, ¿2017?

1.2. Justificación de la Investigación

“La madera es un material anisotrópico, es decir presenta propiedades mecánicas diferentes en direcciones diferentes (...). Para fines de ingeniería, la madera podrá ser tratada como un material ortotrópico con direcciones definidas por la orientación de sus fibras”

(Junta del acuerdo de Cartagena, 1984, págs. 7-5)

El módulo de elasticidad puede ser hallado directamente de un ensayo de compresión paralela.

Pero “los resultados obtenidos en maderas tropicales (Latifoliadas) el módulo de elasticidad en compresión paralela es mayor que el módulo de elasticidad en flexión estática, no obstante, usualmente se toma el segundo como genérico de la especie. Por ser las deflexiones en elementos a flexión criterio básico en su dimensionamiento” (Junta del acuerdo de Cartagena, 1984, págs. 1-26).

En consecuencia, “Se ha considerado conveniente usar el mismo módulo de elasticidad (Determinado mediante ensayos a flexión) para tracción o compresión paralela a las fibras; la limitada información disponible indica que esto es en general conservador” (Junta del acuerdo de Cartagena, 1984, págs. 7-9).

Lo anterior demuestra que los valores del módulo de elasticidad para tracción y compresión paralela son obtenidos a partir de ensayos a flexión.

Aunque, “En la realidad, el comportamiento de las vigas de madera sometidas a flexión difiere ligeramente de esta simplificación, pues el módulo de elasticidad en la zona comprimida es diferente al de la zona traccionada. Además, el comportamiento es lineal sólo parcialmente, pues a partir de un punto, límite elástico, comienza la plastificación de la madera sometida a compresión, mientras que la madera a sometida a tracción continúa con un comportamiento lineal hasta la rotura.” (Baño, Centrangolo, O'Neil, & Morquio, 2014, pág. 2).

1.3. Objetivos De La Investigación

1.3.1. Objetivo general.

- O.G.: Proponer un valor a la relación entre el módulo de elasticidad, en tracción y compresión paralela a las fibras; de especies de madera Latifoliada, tipo A, B y C comercializadas en la provincia del Cusco, 2017.

1.3.2. Objetivos específicos.

- O.E₁: Indicar si es conveniente usar el mismo módulo de elasticidad, en tracción y compresión paralela a las fibras; de especies de madera Latifoliada, tipo A, B y C comercializadas en la provincia del Cusco, 2017.
- O.E₂: Proponer valores al módulo de elasticidad, en tracción y compresión paralela a las fibras; de especies de madera Latifoliada, para los tipos A, B y C comercializadas en la provincia del Cusco, 2017.

CAPITULO 2 Estado del Conocimiento

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. *Investigación sobre las características de resistencia de nuestras maderas regionales - Ing. Eduardo Marmanillo Velasco (1960).*

El ingeniero Eduardo Marmanillo Velasco, catedrático del curso de “Resistencia de materiales” en la entonces facultad de Ingeniería Civil de la UNSAAC, toma conciencia de que ningún manual de Ingeniería contempla las constantes de las maderas peruanas y, mucho menos, de la región del Cusco. Es entonces que decide intentar subsanar esta deficiencia iniciando algunos ensayos en especies de madera local.

Superadas las limitaciones para realizar ensayos en testigos de madera (tubo que diseñar y construir una máquina de ensayos con suficiencia científica), ensaya a la flexión piezas de diferentes especies de maderas locales

- Nogal (proveniente de Marcapata)
- Cedro (Proveniente de Puerto Maldonado)
- Aguano (Proveniente de Puerto Maldonado)
- Eucalipto (Proveniente de Urubamba)

TESTIGOS ENSAYADOS:

Viguetas de unos 70 cm de longitud con una sección recta de 1.5 por 2 cm (pues estas dimensiones guardan proporcionalidad con elementos de madera a escala natural).

Las maderas obtenidas fueron de diferentes zonas y de grados de humedad distintos, la practica demuestra que ensayos en madera un tanto húmeda son fidedignos, por este motivo ensayo piezas con un grado de humedad alrededor de 15% y 25%.

Se ensayó solo las piezas que guarden menor variación dimensional en la sección recta.

También se tomó en cuenta la situación de las fibras en cada probeta, evitando aquellas que tuvieran fibras inclinadas.

La investigación concluye logrando obtener los siguientes módulos de Elasticidad tabla

Tabla 1
Resultados Investigación - Ing. Eduardo Marmanillo Velasco (1960).

Especie de Madera	MOE prom. (kg/cm²)	MOE min (kg/cm²)	MOE máx. (kg/cm²)
Nogal	86164	60000	113000
Cedro	80746	60000	110000
Aguano (Tornillo)	100690	94600	124800
Eucalipto (zona Seca)	172478	138000	204000
Eucalipto (zona Húmeda)	223877	190000	264000

Fuente: Elaboración Propia – Información por: (Marmanillo Velasco, 1950)

MOE_{prom}: Es el promedio real de todos los valores obtenidos, pero es preferible mantener los valores entre los límites mínimo y máximo.

Para el Eucalipto, se seleccionaron muestras de distintas zonas, como se aprecia en el cuadro anterior, los árboles provenientes de la Zona húmeda presentan mejores propiedades elásticas.

Es necesario mencionar que los ensayos fueron solo de flexión estática, obteniendo únicamente un MOE el cual sería usado tanto para; flexión, tracción o compresión. Similar a lo propuesto por la Actual Norma NTP E-0.10.

2.1.2. Junta del Acuerdo de Cartagena- Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico (1974).

En el año 1974 el Acuerdo de Cartagena aprobó que los países que la conformaban adopten una serie de disposiciones para el desarrollo tecnológico sub regional.

Una de estas disposiciones es los “Proyectos andinos de Desarrollo Tecnológico (PADT)”, que en su área de “Recursos Forestales Tropicales PADT-REFORT)” promociona, el “Estudio integral de la madera para la Construcción”.

Al inicio de este proyecto (1975) se contaba con estudios de propiedades mecánicas en probetas de algunas especies, pero la Acción conjunta ha permitido la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de 104 maderas, una metodología de agrupamiento en

función a la densidad básica de cada especie, una regla de clasificación de visual, además del “MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO, en la que se recopila todo lo logrado por los PADRT-REFORT, además de este se desprenden todas las normas correspondientes a Diseño de estructuras en Madera, de los países miembros del Grupo Andino.

2.1.3. Estudio de las propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera de 104 especies de los Bosques Tropicales de la Subregión Andina.

En el año 1980, La Junta del Acuerdo de Cartagena, como parte de los PADT-REFORT presenta su informe final.” Estudio de las propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera de 104 especies de los Bosques Tropicales de la Subregión Andina”. Donde indica que “Según los resultados obtenidos en maderas tropicales (Latifoliadas) el Módulo de Elasticidad en compresión paralela a las fibras es mayor que el Módulo de Elasticidad en flexión estática, no obstante, usualmente se toma el segundo como genérico de la especie, por ser las deflexiones en elementos a flexión criterio básico en su dimensionamiento”, esto hace deducir que en la investigación se limitaron a ensayos de compresión paralela y ensayos de flexión Estática.

2.1.4. Maderas tropicales como material de construcción en los países del Grupo Andino de América del sur.

Keenan y Tejada (1987), en su publicación titulada “Maderas tropicales como material de construcción en los países del Grupo Andino de América del sur” que es un resumen de la investigación hecha en los cinco países que conforman el Grupo Andino en cooperación del CIID como parte de los PART-REFORT. Se enuncian los ensayos realizados en probetas Pequeñas libres de Defectos en el marco del “Estudio de las propiedades Físicas

y Mecánicas de la Madera de 104 especies de los Bosques Tropicales de la Subregión Andina.” Que son:

- Contenido de Humedad
- Densidad
- Contracción (Radial, Tangencial y Volumétrica)
- Flexión Estática (Esfuerzo al límite proporcional, módulo de ruptura y módulo de elasticidad)
- Compresión Paralela y Perpendicular al grano.
- Cizallamiento (Radial y Tangencial)
- Tenacidad (Radial y Tangencial)

Nuevamente el ensayo de tracción paralela al grano es obviado.

2.1.5. Norma Técnica Peruana NTP E.010

La Norma Técnica Peruana de Maderas (NTP. E.010), Adopta como valores del módulo de elasticidad de cada Tipo de madera (Tipo A, B y C), el valor propuesto por el (Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, 1984),

Ahora, si nos dirigimos al mencionado manual podremos encontrar que enuncia lo siguiente “Se ha considerado conveniente usar el mismo módulo de elasticidad para tracción o compresión paralela a las fibras; la limitada información disponible indica que esto es en general es conservador” (Junta del acuerdo de Cartagena, 1984, págs. 7-9)

2.1.6. Publicación: Diagrama Esfuerzo - Deformación de la madera libre de defectos de *Pinus elliotti* de procedencia Uruguaya.

Publicación que acerca de los Módulos de Elasticidad de la madera utilizada en Uruguay de acuerdo a la norma europea EN 338.

Indica textualmente Estos valores de módulo de elasticidad están determinados en tramo elástico de comportamiento y considerando un valor de módulo de elasticidad longitudinal paralelo a la fibra obtenido a partir de ensayos de flexión. En la realidad, el comportamiento de las vigas de madera sometidas a flexión difiere ligeramente de esta simplificación, pues el módulo de elasticidad en la zona comprimida es diferente al de la zona traccionada. Además, el comportamiento es lineal sólo parcialmente, pues a partir de un punto, límite elástico, comienza la plastificación de la madera sometida a compresión, mientras que la madera a sometida a tracción continúa con un comportamiento lineal hasta la rotura. (Baño, Centrangolo, O'Neil, & Morquio, 2014)

De esto podemos ratificar lo indicado por la Norma E.010 Maderas, “utilizar el mismo módulo de elasticidad tanto para flexión, tracción y compresión resulta conservador”

Una de las conclusiones establece rangos para la relación entre el MOE a tracción y el MOE a compresión, además en la investigación se supone la linealidad hasta la rotura en el comportamiento de tracción.

2.1.7. Investigación Titulada: Determinación de la curva Tensión – Deformación en madera de ‘Pinus sylvestris’ L. para la simulación numérica de vigas de madera libre de defectos.

Mediante simulación numérica de vigas simplemente apoyadas sometidas a una carga puntual, con un MOE aparente, obtenido a partir de los módulos de elasticidad a tracción y compresión paralela a las fibras. La investigación concluye en que la relación entre el MOE a tracción y el MOE a compresión, influye en un 7.7% y 16.47% sobre las deformaciones estimadas.

Esbeltez / Slenderness, l/h	Relación entre módulos de elasticidad a tracción y compresión / Relation between modulus of elasticity in tension and compression, $E_{t,0}/E_{c,0}$	Rigidez / Stiffness (mm/kN)	Diferencia / Difference (mm/kN)	Diferencia / Difference (%)
6.1	1.0	0.53	0.00	0.0
	1.2	0.49	-0.04	-7.7
	1.3	0.48	-0.05	-9.6
	1.4	0.47	-0.06	-11.5
11.9	1.0	2.95	0.00	0.0
	1.2	2.63	-0.32	-10.9
	1.3	2.55	-0.40	-13.7
15.9	1.0	6.67	0.00	0.0
	1.2	5.96	-0.71	-10.7
	1.3	5.74	-0.93	-14.0
	1.4	5.56	-1.11	-16.7

Figura 1 Influencia de la relación entre el módulo de elasticidad a tracción y compresión paralela a las fibras.

Fuente: (Baño, Arguelles , Regueira, & Guaita, 2012)

2.2. Marco Teórico Conceptual

2.2.1. La Madera.

La madera proviene de los árboles, aunque obvio este hecho resulta el más importante para tener presente su naturaleza. La madera tiene una compleja estructura natural, diseñada para servir a las necesidades funcionales de un árbol en vida, más que para ser un material que satisfaga las cualidades de un material de construcción.⁴

2.2.2. Maderas Tropicales (*Latifoliadas*) y *Coníferas*.

A las maderas provenientes de los bosques tropicales y subtropicales se les denomina genéricamente maderas tropicales. Estas especies conocidas también con el nombre de *Latifoliadas* o frondosas, se diferencian tanto externa como internamente de las maderas *Coníferas* que, en general, crecen en climas templados.

⁴ (Corporacion Chilena de la Madera, 2013, pág. 13)

La práctica limitada en el diseño y construcción con madera ha estado basada en información proveniente de países consumidores de madera conífera, que por su distinta constitución anatómica a la de la madera Latifoliada presenta propiedades y comportamiento diferentes.⁵

2.2.3. La Madera en nuestra Subregión

En nuestra Subregión existen en limitada proporción algunas especies de coníferas en bosques naturales y zonas reforestadas. Sin embargo, son las especies Latifoliadas las que representan el volumen importante.

2.2.4. Estructura de la Madera.

2.2.4.1. El Tronco.

En un árbol maduro, la sección transversal del tronco presenta las siguientes partes:

- Corteza Exterior
- Corteza Interior
- Cambium

La Madera o Xilema (Parte maderable del tronco)

- o La Albura
- o El Duramen
- o Medula

⁵ (Junta del acuerdo de Cartagena, 1984)

2.2.4.2. Planos de la Madera.

Para una mejor comprensión de la madera se consideran los siguientes tres planos principales.

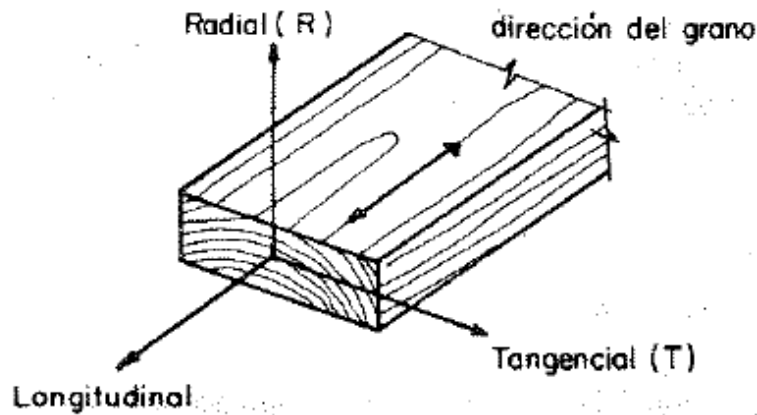


Figura 2. Planos ortogonales de la Madera.

Fuente: (Junta del acuerdo de Cartagena, 1984)

2.2.4.3. Estructura Macroscópica.

Anillos de Crecimiento: En zonas templadas, en donde las estaciones son bien marcadas todos los árboles tienen anillos bien definidos, pero en las zonas tropicales en donde las estaciones no son muy marcadas, los anillos de crecimiento no siempre se distinguen claramente.

2.2.4.4. Estructura Microscópica.

Según la estructura microscópica, las especies se dividen en dos grupos: las maderas Latifoliadas y las coníferas.

- La madera tiene una estructura anatómica heterogénea, conformada principalmente por células leñosas que pueden representar entre el 6% y 50% del volumen total de la **Maderas Latifoliadas**. madera (el porcentaje podría ser mayor en maderas blandas o porosas). Además, existen fibras que son células adaptadas a la función mecánica que forman el 50% o más del volumen total de la madera; a mayor porcentaje de fibras mayor densidad y en consecuencia mayor resistencia mecánica.

Maderas Coníferas. - la madera presenta una estructura anatómica homogénea constituida por células leñosas que tienen la función de resistencia y conducción; estas forman del 80% al 90%

2.2.5. *Composición Química de la Madera.*

La composición química elemental de la madera es prácticamente idéntica en cualquier especie leñosa. Se puede generalizar que las maderas contienen (Zanni, 2008, pág. 31):

Tabla 2
Composición química de la Madera

<i>Elemento</i>	<i>Porcentaje</i>
Carbono	50%
Hidrogeno	6%
Oxigeno	43%
Nitrógeno y otros Minerales	1%

Fuente: (Zanni, 2008)

2.2.6. *Características Químicas.*

Los elementos químicos antes mencionados se agrupan para constituir las paredes celulares de la madera formando componentes primarios (Celulosa, Hemicelulosa, Lignina) por quienes se definen las propiedades físicas y mecánicas de la madera, y componentes secundarios (grasas, resinas, aceites, ceras alcaloides, azúcares, sales minerales, almidón, aceites esenciales, etc.) o también llamadas sustancias de impregnación, que pueden considerarse extrañas a la pared celular, pues se incorporan a estar luego de su formación. (Zanni, 2008, pág. 31)

- Celulosa (50%). Parte de la celulosa tiene grupos polares –OH, -CH₂, por lo que al ser el agua también un compuesto polar, ambas pueden quedar retenidas, lo que justifica el carácter higroscópico de la madera.
- Hemicelulosa (25%): Sustancias de sostén o reserva, que son insolubles en agua

- Lignina (25%): protege la pared celular, proporciona rigidez y resistencia a la compresión. (Zanni, 2008, pág. 32)

2.2.7. Propiedades Químicas de la Madera.

2.2.7.1. Comportamiento frente al fuego.

La madera en general es un material combustible. La madera pesada prende entre 300 y 400°C; inicialmente la combustión es rápida y luego la rata de avance se estabiliza dependiendo de la humedad y de la forma de las estructuras; las superficies planas son mucho más resistentes al fuego. (Gutierrez De Lopez, 2003, pág. 160)

La descomposición de la madera sometida a temperatura creciente sigue las siguientes fases:

- A 95°C se evapora el agua de saturación. - Entre los 95°C y 150°C, se volatizan los materiales extraños o gases.
- Entre 150 y 205°C, tostamiento y desprendimiento ligero de gases inflamables sin arder.
- Entre 205 y 372°C, carbonización con desprendimiento de gases en mayor cantidad; iniciación de brasas e inflamación a los 275°C.
- Entre 375 y 510°C emisión rápida de gases inflamables y transformación del carbón en brasas.

En una pieza de madera después de un incendio se puede observar una capa de carbón en el exterior, que recubre la parte central intacta. La resistencia mecánica del carbón es nula, pero la parte central conserva sus propiedades originales. (Gutierrez De Lopez, 2003, pág. 161)

Por lo anterior, la reducción de resistencia de una pieza de madera después de un incendio se debe a la disminución de su sección útil.

2.2.7.2. **Comportamiento de la Madera ante el Aire, La luz y El Agua.**

La madera bajo la acción de la luz, se comporta bien si está en grandes piezas, en láminas de pequeño espesor son atacadas fuertemente. Cuando la luz es rica en rayos ultravioleta cambia el color de la madera, dándole un tono tostado o grisáceo. (Gutierrez De Lopez, 2003, pág. 161)

La meteorización de la madera por la acción de los agentes atmosféricos, aumenta con la intensidad y duración de la luz, con la magnitud de los cambios de temperatura y humedad y con la velocidad del viento. (Gutierrez De Lopez, 2003, pág. 161)

2.2.7.3. **Degradación por ataque de organismos.**

- Insectos Xilofagos.
- Hongos Xilofagos
- Hongos Cromogenos
- Mohos

2.2.7.4. **Ataques Químicos.**

Fuera de la pérdida de propiedades a causa del hinchamiento, que suelen ser reversibles, soluciones químicas que descomponen las sustancias constitutivas de la madera tienen un efecto químico permanente. Se pueden hacer las siguientes generalizaciones.

- Algunas especies son bastante resistentes al ataque de minerales diluidos y ácidos orgánicos.
- Ácidos oxidantes degradan la madera más que ácidos no-oxidantes.
- Soluciones alcalinas son más destructivas que soluciones acidas.

2.2.8. Características Físicas de la Madera.

2.2.8.1. Anisotropía.

Las propiedades físicas y mecánicas de la madera no son las mismas en todas las direcciones, es decir presenta diferentes propiedades mecánicas en direcciones diferentes.

2.2.8.2. Higroscopia.

La madera es higroscópica, absorbe o desprende humedad según el medio ambiente, la cantidad de agua presente en una pieza de madera es el resultado de un proceso dinámico de transferencia con el medio ambiente. Una pieza seca colocada en un ambiente húmedo absorbe agua esta penetra por los espacios existentes en su estructura y queda retenida en ella, en consecuencia, sufre hinchamiento, por el contrario, una pieza con alto contenido de humedad colocada en un ambiente seco, libera agua y como consecuencia se contrae. (Grupo de Estudio de Maderas, 2007)

2.2.8.3. Contenido de humedad.

La madera contiene agua en tres formas:

- Agua Libre, presente en las cavidades celulares.
- Agua Higroscópica, contenida en las paredes celulares.
- Agua de constitución, forma parte de la estructura molecular.

En el proceso de secado se pierde primero el agua libre y después el agua higroscópica, el agua de constitución no se pierde hasta la combustión de la madera. Entonces en función a la cantidad de agua que contenga la madera se presentaran los siguientes estados:

- Verde : Cuando ha perdido parte del agua Libre.
- Seco : Cuando ha perdido toda el agua libre y parte del agua higroscópica.

- Anhidro : Cuando ha perdido toda el agua libre y toda el agua higroscópica.

El Contenido de Humedad es entonces:

$$CH\% = \frac{\text{Peso Humedo} - \text{Peso Anhidro}}{\text{Peso Anhidro}} \times 100$$

El peso Anhidro se consigue mediante el uso de un horno a 103 +/- 2°C. También se le llama peso seco al horno.

2.2.8.3.1. Índices de Saturación.

Existen dos valores del CH que toman marcada importancia, el primero es el CH que tiene la madera cuando ha perdido la totalidad del agua libre y comenzara a perder el agua higroscópica se le dice “Punto de saturación de las fibras” (PSF) entre 25 y 30 por ciento; a partir de este momento la madera comenzara a experimentar cambios dimensionales, además variaran sus propiedades mecánicas. Al segundo CH se le llama “Contenido de Humedad de Equilibrio” (CHE) cuando la madera expuesta al aire libre pierde agua higroscópica hasta alcanzar un CH que estará en equilibrio con la humedad relativa del aire.

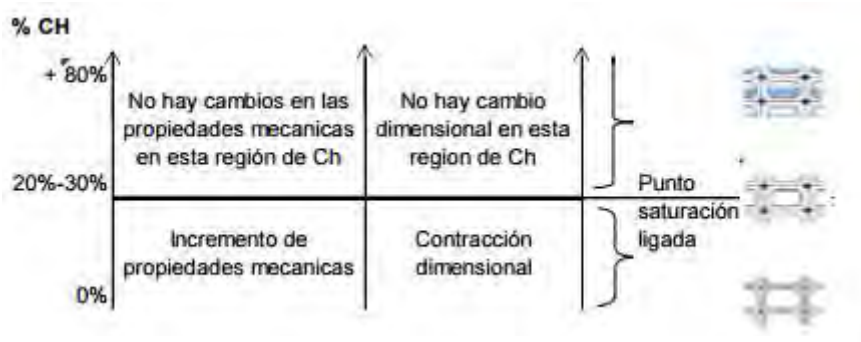


Figura 3. Diagrama de rangos de Humedad.

Fuente: (Ordoñez Garcia & Lugo Chavez, 2016)

2.2.8.4. Densidad Básica de la Madera.

La densidad de un cuerpo es el cociente entre su masa y su volumen.

$$\text{Densidad basica (DB)} = \frac{\text{Peso seco al Horno (PSH)}}{\text{Volumen Verde (VV)}}$$

Aunque se pueden distinguir otras tres densidades para una misma muestra,” La densidad básica es la que se usa con ventaja ya que las condiciones en las que se basa (peso seco al horno y volumen verde) son estables en una especie determinada” (Junta del acuerdo de Cartagena, 1984, págs. 1-19).

2.2.9. Propiedades hidráulicas de la Madera.

2.2.9.1. Flujo de líquido.

El transporte de agua desde la raíz, hasta las hojas, a través de la planta, se realiza por la xilema. Este es un tejido especializado en el transporte de agua, y sus células tienen la característica de estar muertas cuando son funcionales, ya que pierden todo el citoplasma, quedando solamente las paredes celulares que forman conductos. Este tejido constituye el camino preferencial por el que fluye el agua, y se caracteriza por tener una baja resistencia al flujo. (Hugalde, pág. 12)

2.2.9.2. Permeabilidad.

La permeabilidad es un índice que mide la capacidad que tiene un material de permitir que un flujo lo atraviese.

2.2.10. Características Hidráulicas de la Madera.

Conductividad hidráulica. El agua es el vehículo de transporte que emplean las plantas para su alimentación, esta actividad está centrada fundamentalmente en la albura, de modo que las células que lo constituyen se encuentran saturadas a fin de permitir que existan columnas ininterrumpidas de líquido desde la raíz hasta las hojas. (Zanni, 2008, pág. 51)

El proceso de transpiración crea una diferencia de potencial entre las hojas y las raíces, lo que se traduce en una fuerza impulsora, que produce que el agua ingrese del suelo a la raíz, este proceso es pasivo y no requiere energía metabólica de la planta. (Hugalde, pág. 9)

La celulosa también contribuye a la absorción de agua desde el exterior del árbol.

2.2.11. Propiedades Resistentes de la Madera.

Como se mencionó en el apartado 4.2.2.3. En la madera se pueden apreciar tres planos principales ortogonales entre sí, estos son:

- Longitudinal (Paralelo a las fibras)
- Tangencial (Perpendicular a las fibras)
- Radial (Perpendicular a las fibras)

En la práctica consideraremos dos direcciones:

- Longitudinal o Paralela a las fibras.
- Transversal o perpendicular a las fibras.

2.2.11.1. Resistencia a la Compresión Paralela.

“La Resistencia a la compresión paralela es la fuerza que se genera en la madera contra las tensiones de compresión a lo largo de sus fibras” (Ordoñez Garcia & Lugo Chavez, 2016, pág. 15).

La orientación de las fibras que coincide con el eje longitudinal se traduce en la gran resistencia que presenta la madera a los esfuerzos de compresión paralela a sus fibras.

Cuando se trata de elementos como columnas, solamente aquellas de una relación de esbeltez menor que diez desarrollan toda su resistencia al esforzar la sección a su máxima capacidad, entonces se puede decir que la capacidad está limitada más por el pandeo de las fibras que por su propia resistencia al aplastamiento.

2.2.11.2. Resistencia a la Compresión Perpendicular.

“La Resistencia a la compresión perpendicular es la fuerza (capacidad de carga) que se genera en la madera contra las tensiones de compresión perpendiculares a sus fibras” (Ordoñez Garcia & Lugo Chavez, 2016).

Bajo este tipo de carga las pequeñas cavidades contenidas en la madera tienden a ser comprimidas. Esto permite que mientras se incrementa la magnitud de la carga, la densidad aumente y en consecuencia también la capacidad de resistir mayor carga.

2.2.11.3. **Resistencia a la Tracción.**

La Resistencia a la tracción paralela es la fuerza que se genera en la madera contra las tensiones de tracción a lo largo de sus fibras, la naturaleza con la que se produce la falla es explosiva y violenta (frágil) además en especímenes pequeños libres de defectos es aproximadamente el doble del valor de la resistencia a la compresión paralela.

La resistencia a la tracción paralela es también afectada de forma significativa por la inclinación de las fibras.

2.2.11.4. **Resistencia al corte.**

Son las fuerzas que se generan en la madera como reacción contra las fuerzas que pretenden que una sección del cuerpo se deslice sobre la otra. Como la madera no es homogénea, la resistencia al corte que presenta que cada uno de sus dos direcciones es diferente, la menor es aquella paralela a las fibras.

2.2.11.5. **Resistencia a la Flexión.**

El comportamiento típico de elementos sometidos a flexión combina las solicitaciones de la tracción y la compresión paralela a las fibras, entonces la diferencia entre estas dos resistencias toma importancia, como la resistencia a la compresión es menor esta falla antes por lo que las deformaciones en la zona en compresión se incrementan desplazando el eje neutro hacia la zona en tracción, finalmente el elemento falla por tracción.

2.2.11.6. Resistencia a la abrasión.

Es la resistencia a los efectos de la acción mecánica de rozamiento con otros cuerpos. Su importancia en la madera radica en el uso de madera como revestimiento del piso, “según la norma EN13696 la resistencia a la abrasión se evalúa desgastando la cara de las muestras a ensayar usando dos discos abrasivos”. (Molla, 2017)



Figura 4. Abrasimetro (Izquierda), Detalle de los discos (Derecha).

Fuente: (TABER INDUSTRIES, 2017)

2.2.12. Propiedades elásticas de la madera.

El módulo de elasticidad, el módulo de corte y el módulo de Poisson representan las características elásticas de un material. La madera como material ortotrópico tiene tres módulos de elasticidad, tres módulos de corte y seis módulos de Poisson.

2.2.12.1. Módulo de Elasticidad (MOE).

A partir del principio de ROBERT HOOKE quien indica que “en el rango elástico de un material los esfuerzos son proporcionales a las deformaciones a través de una constante” surge el denominado módulo de elasticidad o de Young, que es la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria además de ser un indicador de la rigidez de un material

El módulo de elasticidad de la madera puede ser hallado por métodos directos mediante un ensayo de compresión paralela y su consecuente curva esfuerzo-deformación, puede también ser hallado por métodos indirectos mediante ensayos a flexión.

2.2.12.2. Módulo de Corte.

El módulo de corte relaciona las deformaciones o distorsiones con los esfuerzos de corte o cizallamiento que les dan origen

2.2.12.3. Módulo de Poisson.

Se conoce como módulo de Poisson a la relación que existe entre deformación lineal y deformación longitudinal, para la madera existen en general 6 módulos de Poisson

2.2.13. Propiedades Resistentes y Elásticas de Maderas Saturadas.

2.2.13.1. Influencia de contenido de Humedad.

El grado de saturación de la madera varía en forma directa con el contenido de humedad, el Manual de diseño en maderas del Grupo Andino, propone la siguiente curva.

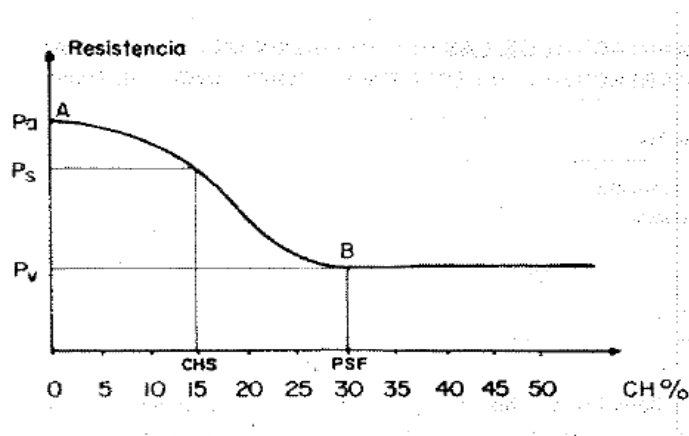


Figura 5. Influencia del contenido de Humedad en la resistencia.

Fuente: (Junta del acuerdo de Cartagena, 1984)

Curva que representa la variación de la resistencia con el contenido de humedad para probetas pequeñas libre de defectos. En ella podemos observar como la madera pierde resistencia conforme aumenta el contenido de Humedad, se puede observar también que a resistencia permanece constante una vez el contenido de humedad varía por encima de PSF.

La curva se ajusta por la siguiente expresión de tipo exponencial

$$P = P_s \left(\frac{P_s}{P_v} \right)^{-k}$$

$$k = \frac{CH - CHS}{PSF - CHS}$$

Donde:

- P = Valor de la propiedad a un CH dado.
- P_s = Valor de la propiedad a un CHS.
- P_v = Valor de la propiedad en estado verde.
- CH = Contenido de humedad.
- CHS= Contenido de humedad en estado seco.
- PSF = Punto de saturación de las fibras.

2.2.14. Propiedades térmicas de la madera.

2.2.14.1. Resistencia a la variación de la temperatura ambiente.

Como todos los materiales, la Madera se dilata con el calor y contrae al descender la temperatura, pero este efecto no suele notarse. Como es sabido los efectos en el volumen de la madera a causa de la variación humedad son mayores, lo otro es inapreciable (CONSTRUMATICA, 2017).

Sin embargo, existen valores para el coeficiente de dilatación térmica de la madera:

- Del rango de $[3 - 6] \times 10^{-6} .^{\circ}\text{C}^{-1}$ (en la dirección paralela a las fibras)
- Del rango de $[30 - 70] \times 10^{-6} .^{\circ}\text{C}^{-1}$ (en la dirección perpendicular a las fibras)⁶

La contracción y expansión presentan los siguientes valores.

- Contracción Longitudinal (CL) es del orden del 0.1 por ciento

⁶ (Infomadera, 2017)

- La contracción tangencial (CT) y la contracción radial (CR) son las principales responsables del cambio volumétrico. Los valores encontrados para CT/CR en maderas latifoliadas varían entre 1.4 a 2.9.⁷

Con lo que podemos entender que apenas y se dilata por efectos térmicos. Es necesario mencionar que el volumen de la madera es constante cuando está en estado verde, una vez que el CH es menor que el PSF surgen los cambios volumétricos, hasta que se alcanza el estado anhidrido o seco al horno en donde vuelve a ser constante. (Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, 1984, págs. 1-16).

Para lograr la estabilidad dimensional de una madera, es necesario que su humedad sea igual a la humedad de equilibrio correspondiente a las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire en el sitio donde se encuentra en servicio. (Estructuras de Madera, 2014)

2.2.15. Norma de Clasificación Visual por defectos PADT-REFORT.

Como parte de los PADT- REFORT, se ha propuesto una norma de clasificación visual que estable un rango de aceptación en los defectos que pueda presentar un tronco de madera, esto para facilitar el uso de la madera tropical como un material de construcción, esta norma puede encontrarse en el (Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, 1984, págs. 3-17)

⁷ (Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, 1984, págs. 1-16)

2.2.16. Agrupamiento Estructural en el Perú.

El modo de clasificación presentado en NTP E.010 se hace en función de la densidad básica, la resistencia mecánica y los Módulos de elasticidad obtenidos en ensayos de flexión en vigas y para la incorporación de nuevas especies a estos grupos se deberá:

- Ensayar 30 vigas provenientes de 10 árboles distintos (mínimamente de cinco), por especie.
- Se identificarán en forma Botánica y se efectúa una descripción anatómica de las muestras.
- Se determinará la densidad básica promedio de la especie, la cual se compara con los valores normalizados y se clasifica la especie en el grupo cuyos rangos de densidad básica contengan a la densidad básica de la nueva especie. Y se le atribuyen todas las propiedades mecánicas correspondientes al grupo.

Tabla 3

Rangos por grupo para clasificación.

Grupo	Densidad Básica (g/cm³)
A	≥ 0.71
B	0.56 0.70
C	0.40 a 0.55

Fuente: NTP Madera Norma E.010

Tabla 4

Módulos de elasticidad

Grupo	MOE mínimo MPa (kg/cm²)	Moe promedio MPa (kg/cm²)
A	9 316 (95 000)	12 748 (130 000)
B	7 355 (75 000)	9 806 (100 000)
C	5 394 (55 000)	8 826 (90 000)

El MOE es aplicable para elementos en flexión, tracción o compresión en la dirección paralela a las fibras.

Fuente: NTP Madera Norma E.010

Tabla 5
Esfuerzos admisibles.

Grupo	Esfuerzos admisibles Mpa (kg/cm ²)				
	Flexión fm	Tracción Paralela ft	Compresión Paralela fc//	Compresión Perpendicular Fc I	Corte Paralelo fv
A	20.6 (210)	14.2 (145)	14.2 (145)	3.9 (40)	1.5 (15)
B	14.7 (150)	10.3 (105)	10.8 (110)	2.7 (28)	1.2 (12)
C	9.8 8 (10)	7.3 (75)	7.8 (80)	1.5 (15)	0.8 (8)

Para los esfuerzos admisibles en compresión deberán considerarse adicionalmente los efectos de pandeo.

Fuente: NTP Madera Norma E.010

CAPITULO 3 Metodología

3.1. Tipo y Diseño de la Investigación

3.1.1. Tipo de Investigación.

- En cuanto al diseño de investigación esta será **“Cuasi experimental”** puesto que el estudio se basará en observación, registro y análisis de las variables, presentes en modelos o testigo predeterminados.
- Según el énfasis en la naturaleza de los datos manejados, la investigación será de carácter **“Cuantitativo”** puesto que el estudio de los datos que se recolectaran se basara en la cuantificación y cálculo de los mismos.

3.1.2. Nivel de Investigación.

Con la investigación se buscará establecer una relación entre las dos variables que serán sometidas a estudio, esto se ajusta a un nivel de investigación **Correlacional**.

3.2. Unidad de Análisis

La investigación se realizará en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

3.3. Población de Estudio

Para esta investigación se considerará como población a toda especie maderera tipo A, B y C comercializada en la Provincia del Cusco.

3.4. Selección de Muestras

Para la selección de muestras se seguirán los lineamientos de la NTP251.008 la cual se basa en un sistema de selección al azar **“Probabilístico”**, de modo que cada una de las muestras tenga la misma probabilidad de ser elegida.

3.5. Tamaño de Muestra

3.5.1. Número de Árboles.

Como Indica la Norma NTP E.010 en su Capítulo 1, Anexo 12. En cuanto a la inclusión de nuevas especies. “Para que los resultados sean confiables, (...), se deben ensayar 30 especímenes por especie provenientes de 10 árboles y 3 repeticiones por árbol (...), pudiéndose aceptar un mínimo de 5 árboles dadas las dificultades de recolectar muestras”.

La norma ITINTEC 251.008 en su ítem 4.3.2.1 precisa “Para estudios preliminares que permitan obtener un valor promedio de las propiedades físicas y mecánicas deben tomarse como mínimo 3 árboles por población. Se recomienda trabajar preferiblemente con una seguridad estadística del 95% y un intervalo de confianza de más o menos 15% para lo cual deben tomarse como mínimo 5 árboles.”

En razón a lo que se determina evaluar:

- 30 testigos de la madera, obtenidas de 5 árboles para cada especie.

En resumen, la muestra de la presente investigación fueron un total de 15 árboles (5 de cada especie), de cada árbol se extrajeron 30 muestras para ensayos a tracción paralela y 30 muestras para ensayos a compresión paralela, además de 2 muestras por árbol para determinar la densidad básica de cada uno.

Tabla 6
Número total de testigos de madera.

Ensayos	Nº total de testigos
Tracción Paralela a las Fibras	90
Compresión Paralela a las Fibras	90
Densidad básica	30

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2. Tipo de Muestra.

La norma E.010 en su artículo 6, ítem 6.1.2, establece que la incorporación de nuevas especies se hará en función de la densidad obtenida y la resistencia mecánica obtenida mediante ensayos de flexión en vigas de tamaño natural.

Si bien en el párrafo anterior se precisa que los ensayos para determinar la resistencia mecánica deben ser realizados en vigas de tamaño natural, recordemos que la presente investigación buscará determinar y relacionar únicamente los módulos de elasticidad, está demostrado que la influencia de los defectos en el MOE es menor que para la resistencia.

En la figura 6 se muestra mencionada correlación.

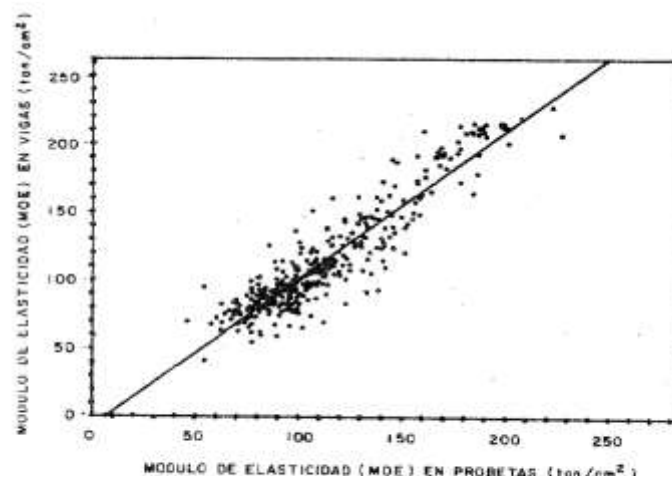


Figura 6. Correlación entre el módulo de elasticidad en vigas a tamaño real y el módulo de elasticidad en testigos libres de defectos.

Fuente: (Junta del acuerdo de Cartagena, 1984, págs. 1-3)

Investigaciones previas a esta, realizadas para determinar la relación entre el módulo de elasticidad a tracción y compresión paralela y su influencia en madera conífera, han realizado sus ensayos en testigos pequeños libres de defectos. (Baño, Centrangolo, O'Neil, & Morquío, 2014) usaron como muestra probetas de madera libres de defectos. y (Baño, Arguelles, Regueira, & Guaita, 2012) realizaron ensayos de compresión paralela en 34 probetas de tamaño 20x20x60 mm y ensayos de tracción paralela en un total de 82 probetas.

CAPITULO 4 Muestro, Ensayos y Recolección De Datos

4.1. Materiales

4.1.1. Selección de Especies.

La investigación busca ensayar las especies de mayor demanda en la provincia del Cusco por lo que, basado en el estudio denominado “Demanda de Madera del Corredor sur peruano” realizado por el WWF-CEDEFOR en el año 2005, obtenemos que las especies de mayor comercialización en la Provincia del Cusco (tabla 7).

Tabla 7
Volúmenes de madera adquiridos por establecimientos dedicados a la compra venta de madera. (Cusco - 2005)

ESPECIE	TOTAL	Densidad	
		Básica (gr/cm ³)	Grupo Estructural
Achihua	5,000	*	*
Caoba	3,000	0.43	C
Catahua	175,000	0.41	C
Cedro	83,000	0.42	C
Copaiba	147,500	0.61	B
Copal	10,000	0.7	B
Cumala	101,000	0.45	C
Estoraque	15,000	0.78	A
Ishpingo	25,000	0.43	C
Isigo	10,000	*	*
Lagasto Caspi	58,000	0.56	B
Lupana	10,000	0.28	#
Misa	40,000	0.59	B
Mohena	32,500	0.56	B
Pashaco	135,000	0.4	C
Quillobordon	5,000	0.6	B
Quinilla	10,000	0.87	A
Requia	20,000	0.6	B
Tornillo	259,000	0.45	C

* Especie carente de información.

No alcanza clasificación, ver Tabla 3

Fuente (Volúmenes): (Dancé Sifuentes & Rojas Gutierrez, 2005)

Fuente (Densidad básica): ⁸

⁸ (CPM, Confederación Peruana de la Madera, 2008)

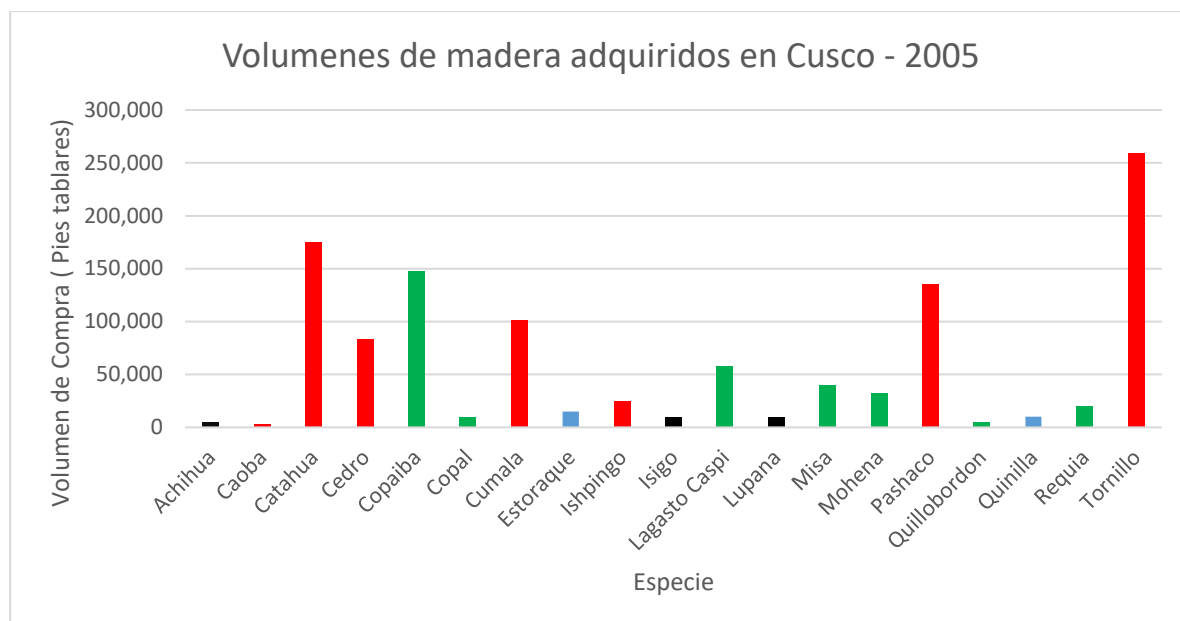


Figura 7 Volúmenes de madera adquiridos por establecimientos dedicados a la compra venta de madera. (Cusco - 2005)



Entonces tenemos como especies de mayor demanda:

- Para el Grupo C el Tornillo (Aguano Maldonado)
- Para el Grupo B, la Copaiba

Alcanzando volúmenes de compra sobre los 150,000.00 p.t., además se evidencia la ausencia de maderas del grupo A en el mercado Cusqueño pues el número de establecimientos que los comercializan es mínimo y sus volúmenes de compra solo llegan a los 15,000.00 p.t. Por lo que se decidió prescindir, como muestra del estudio, alguna especie de madera del Grupo A, pues su comercialización en la Provincia del Cusco es mínima.

Además, resulta necesario precisar que el Cusco forma parte del “Corredor Sur Peruano” el cual es abastecido en su totalidad por madera explotada en Madre de Dios.

Si bien el estudio antes mencionado data de hace más de 10 años se toman sus valores como vigentes pues el volumen de producción de estas especies en Madre de Dios, departamento que abastece el mercado cusqueño de madera, se ha mantenido constante ver Figura 7.

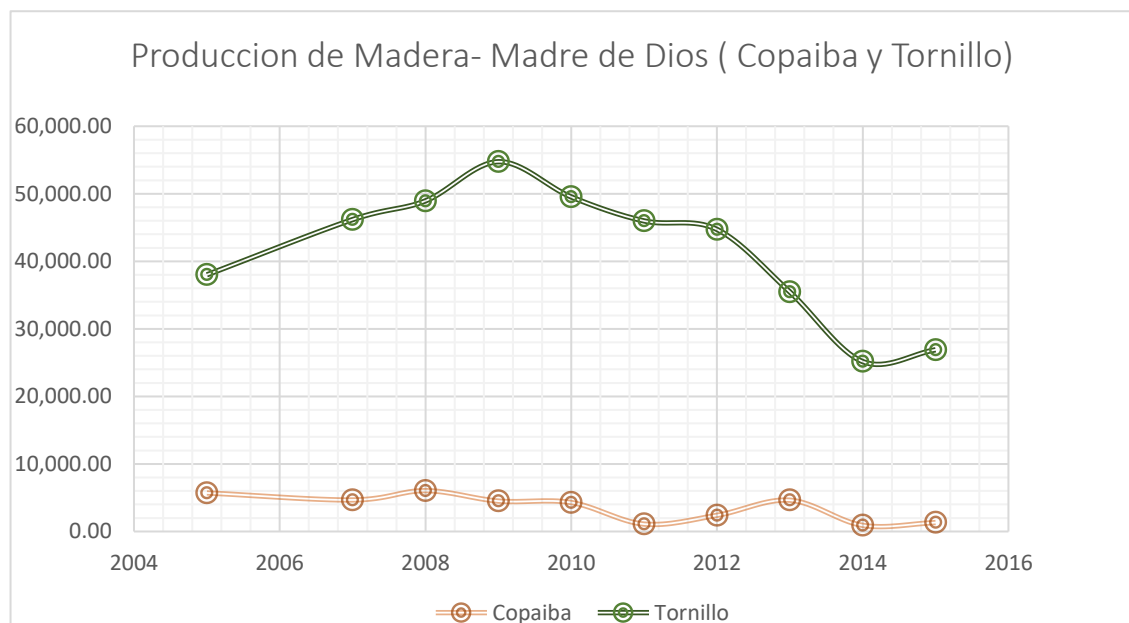


Figura 8 Producción de madera en el Departamento de Madre de Dios.
Fuente: Centro de Información Forestal, 2006 – 2015.

Según las publicaciones del SERFOR “Aspectos económicos del Sector Forestal” del (2010) y “Perú Forestal en los años 2006-2016”. (Ver tablas 8 y 9), las dos especies mencionadas (Copaiba y Tornillo), son dos de las diez especies más explotadas en el Perú, manteniendo su volumen de producción constante en los últimos años. Siendo además el Eucalipto la especie más explotada a nivel nacional.

Tabla 8

Volumen de producción maderera de las 10 especies de mayor producción en el Perú (2006 - 2011).

Especie \ Año	2005	2007	2008	2009	2010	2011
Eucalipto	188,574.33	333,170.36	457,862.34	330,427.79	424,019.15	413,547.19
Tornillo	139,699.26	207,174.47	216,421.10	197,854.59	192,029.33	179,717.39
Shihuahuaco	65,182.08	110,712.91	149,635.05	155,877.84	175,523.00	144,439.79
Cumala	181,848.57	266,378.33	301,078.15	160,046.92	168,806.99	135,836.32
Lupuna	138,941.85	166,117.10	188,396.90	154,313.75	137,107.20	142,467.30
Capirona	87,520.89	81,268.51	96,286.78	127,039.40	90,991.01	103,182.15
Capinuri	6,515.58	19,790.72	20,556.93	22,814.76	66,897.17	69,616.84
Cachimbo	18,825.46	53,120.54	75,269.91	65,519.88	64,915.46	88,776.81
Bolaina Blanca	18,561.53	47,099.98	70,944.98	52,172.02	63,922.96	63,773.62
Copaiba	30,546.70	50,929.15	63,656.43	49,751.73	55,858.04	71,492.75

Fuente: Perú Forestal en Números (2006 - 2011)

Tabla 9

Volumen de producción maderera de las 10 especies de mayor producción en el Perú (2012 - 2015).

Especie \ Año	2012	2013	2014	2015	2016
Eucalipto	526,496.99	385,676.27	347,632.75	8,812.18	35,699.73
Tornillo	239,971.53	183,106.63	163,477.52	165,414.92	151,836.61
Shihuahuaco	87,132.04	127,808.69	152,295.53	183,018.58	101,324.01
Cumala	193,759.41	147,046.33	181,584.64	213,733.30	98,860.68
Lupuna	132,456.06	126,628.00	147,030.51	153,491.02	101,967.67
Capirona	87,161.79	93,896.06	111,599.27	87,072.79	69,947.26
Capinuri	67,004.78	90,220.40	112,885.44	152,964.82	139,506.74
Cachimbo	95,024.26	82,894.96	66,733.78	57,945.94	92,536.97
Bolaina Blanca	27,521.59	84,946.84	83,060.97	56,119.05	36,464.50
Copaiba	60,143.41	57,840.12	57,093.20	59,118.50	57,448.99

Fuente: Perú Forestal en Números (2012 - 2016)

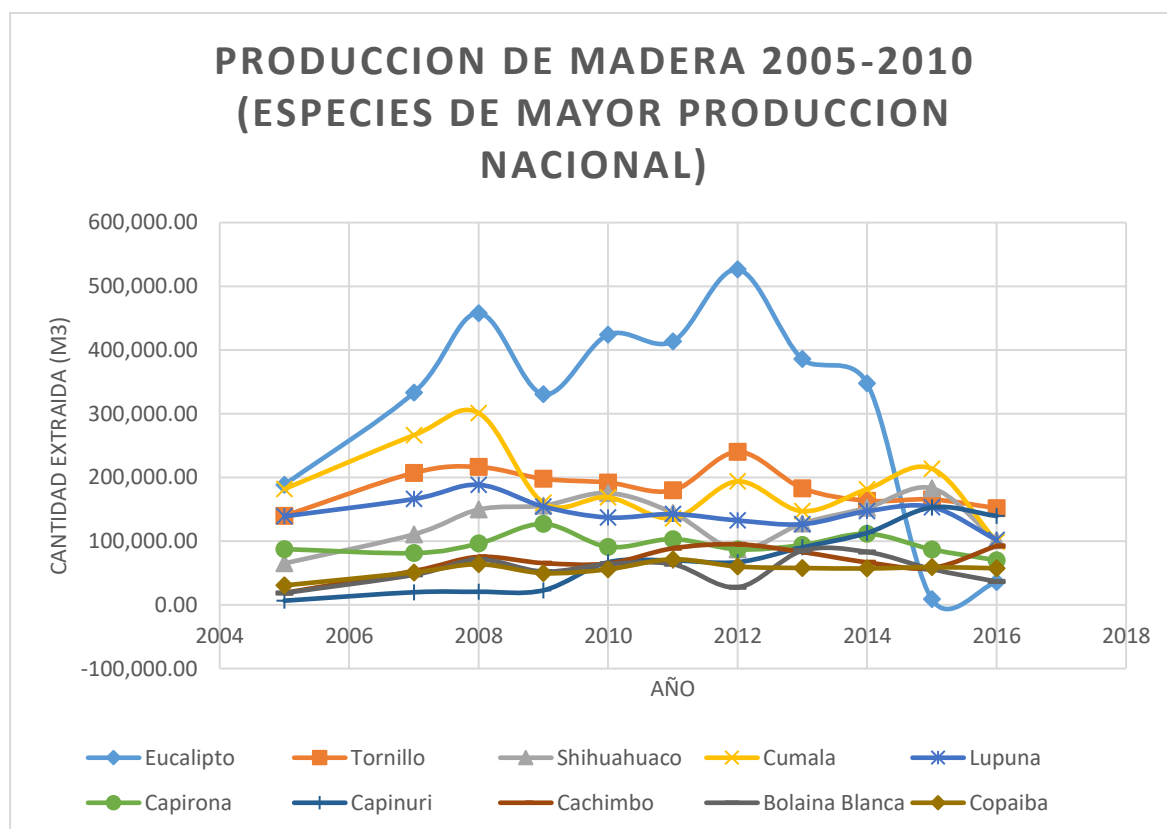


Figura 9. Volumen de producción maderera de las 10 especies de mayor producción en el Perú.

Fuente: Centro de Información Forestal, 2006-2016

Siendo el Tornillo y la Copaiba las especies de mayor demanda, y el Eucalipto la especie de madera de mayor producción en el departamento de Cusco, (SERFOR, 2014). Se seleccionan estas tres especies como Muestra del presente estudio.

4.1.2. *Sobre las especies.*

4.1.2.1. **Eucalipto.**

- **Nombre internacional:** Eucalipto, Blu Gum,
- **Nombre Científico:** Eucalyptus Globulus Labill.
- **Nombre Común:** Eucalipto.
- **Familia:** MYRTACEAE.

Fuente: (CPM, Confederación Peruana de la Madera, 2008)

4.1.2.2. **Copaiba.**

- **Nombre internacional:** Copaiba, Cupay.
- **Nombre Científico:** Copaifera officinalis L.
- **Nombre Común:** Copaiba.
- **Familia:** CAESALPINACEAE.

Fuente: (CPM, Confederación Peruana de la Madera, 2008)

4.1.2.3. **Tornillo.**

- **Nombre internacional:** Cedro Rana, Tornillo.
- **Nombre Científico:** Cedrelinga catenaeformis Ducke.
- **Nombre Común:** Tornillo, Aguano Maldonado, Aguano.
- **Familia:** MIMOSACEAE.

Fuente: (CPM, Confederación Peruana de la Madera, 2008)

Desde este punto se hará referencia a las tres especies estudiadas mediante sus nombres comunes, si bien en el caso del Eucalipto y la Copaiba esto no tiene mayor relevancia, el Tornillo, en la ciudad del Cusco, es conocido con mayor familiaridad por el nombre de Aguano.

4.2. Muestreo

El muestreo y selección se realizó bajo la norma NTP 251.008, que se basa en un muestreo estadístico al azar, en cuanto al eucalipto se logró cumplir cada uno de los requerimientos de mencionada norma, en cuanto al Tornillo y la Copaiba se deben tomar en cuenta las limitaciones que ofrecen los bosques tropicales en lo que concierne a la accesibilidad de los bosques y a la carencia de información de la zona. Este tipo de muestreo al azar comprende las siguientes etapas: Selección de zonas, talado, trozado y aserrío primario, apilado y transporte de tablones, obtención de viguetas, obtención de probetas en las viguetas

4.2.1. Eucalipto.

4.2.1.1. Selección de Zonas.

Partimos de los volúmenes de madera registrados por el SERFOR (Servicio Forestal y de Fauna silvestre) entre los años 2014-2017, dicha información fue proporcionada en por la oficina del SERFOR y fue resumida por el autor (tablas 10 y 11).

Tabla 10

Producción de Eucalipto Departamento del Cusco, Periodo 2014- 2015

Provincia	Volumen de Eucalipto 2014 - 2015 (m3)
Cusco	790,631.83
Acomayo	37,600.49
Anta	947,471.14
Calca	37,196.18
Canas	4,245.64
Canchis	123,904.67
Chumbivilcas	7,556.25
Espinar	0.00
La Convención	0.00
Paruro	14,594.92
Paucartambo	60,908.73
Quispicanchis	176,891.57
Urubamba	87,654.40

Fuente: Serfor, 2015.

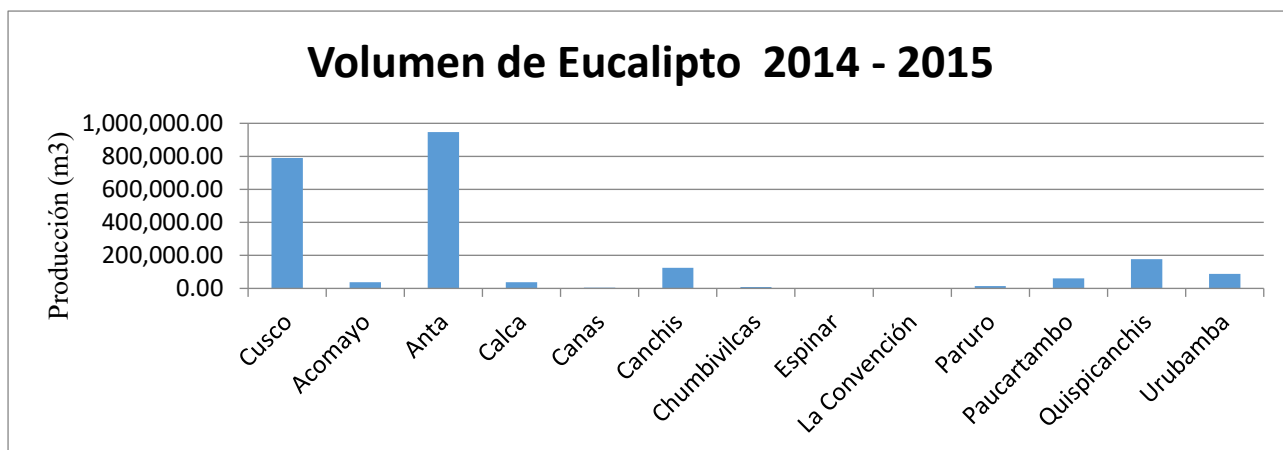


Figura 10 Producción de Eucalipto Departamento del Cusco, Periodo 2014- 2015

Tabla 11

Producción de Eucalipto Departamento del Cusco, Periodo 2016 – 2017.

Provincia	Volumen De Eucalipto 2016- 2017 (m3)
Cusco	94,634.33
Acomayo	33,131.38
Anta	74,832.50
Calca	1,549.15
Canas	0.00
Canchis	2,144.49
Chumbivilcas	0.00
Espinar	0.00
La Convención	0.00
Paruro	5,849.21
Paucartambo	7,125.19
Quispicanchis	46,613.94
Urubamba	31,347.00

Fuente: Serfor, 2017.

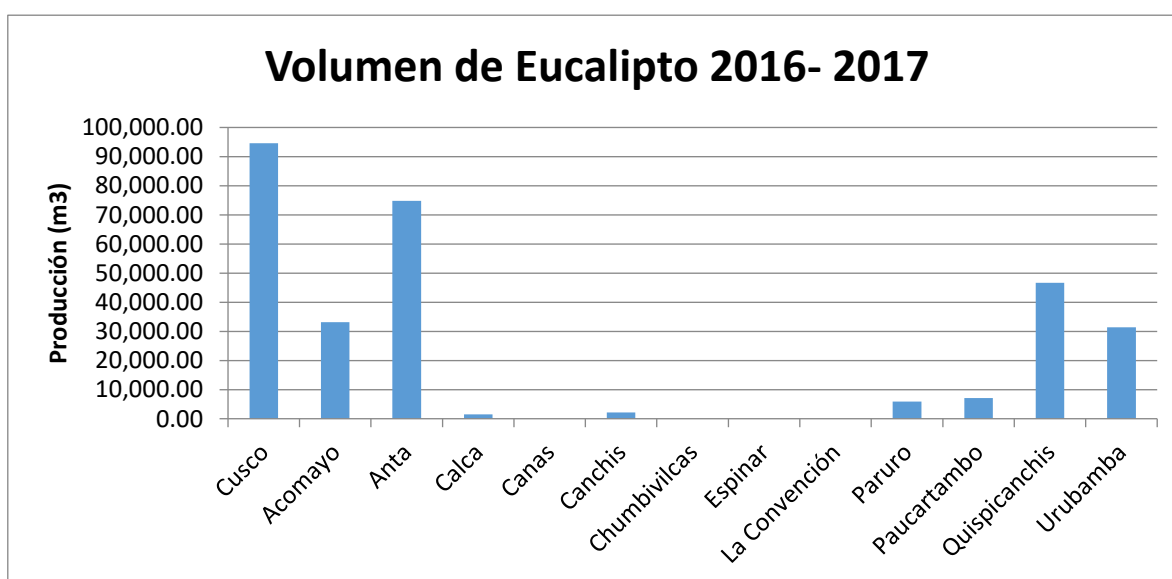


Figura 11 Producción de Eucalipto Departamento del Cusco, Periodo 2016 – 2017.

Se decidió dividir el departamento del Cusco en cuatro Sub Zonas, agrupando las diferentes provincias bajo un criterio de altitud promedio (m.s.n.m.), además de su cercanía geográfica. Cada provincia recibe la categoría de Bloque.

Tabla 12
Provincias Agrupadas en Sub Zonas.

PROVINCIA	ALTITUD (m.s.n.m)	Bloques	Sub Zona
La Convención	1,063.00	1	I
Urubamba	2,869.00	1	II
Calca	2,905.00	2	
Paucartambo	3,005.00	3	
Paruro	3,068.00	1	III
Quispicanchis	3,158.00	2	
Acomayo	3,221.00	3	
Anta	3,345.00	4	
Cusco	3,414.00	5	IV
Canchis	3,546.00	1	
Chumbivilcas	3,678.00	2	
Canas	3,910.00	3	
Espinar	3,924.00	4	

Fuente: Elaboración Propia

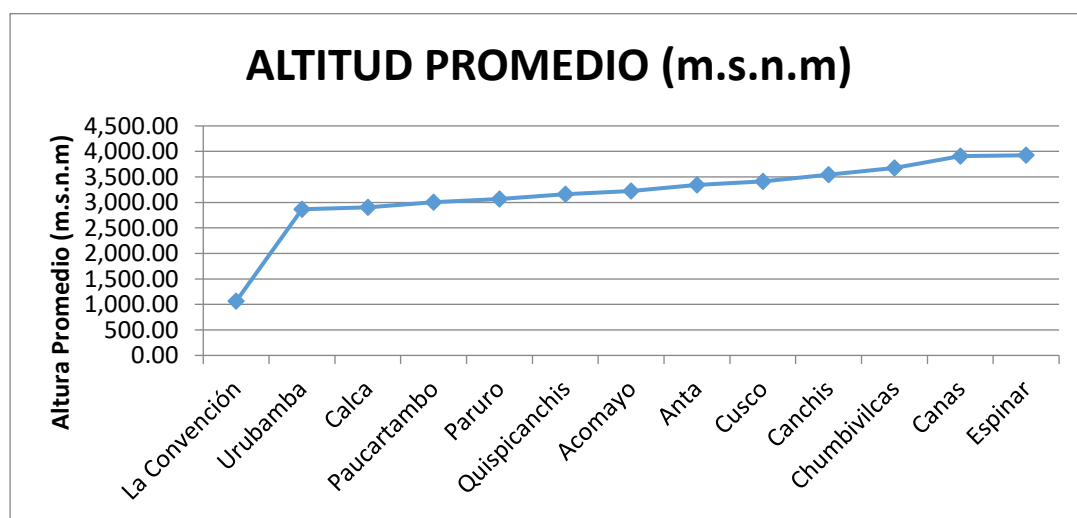


Figura 12 Altitud Promedio por Provincia

Establecidas las Sub-Zonas se determinó el volumen total de eucalipto existente en cada una (tabla 13), además se pudo determinar el porcentaje del acumulado que cada uno representa y de cuál de estas serán extraídos los Árboles.

Tal como sugiere la norma NTP 251.008, para un estudio sobre propiedades físico-mecánicas será suficiente un 15% de precisión del valor promedio por lo que se necesitaran 5 árboles seleccionados al azar. Para determinar de cual Sub-Zona se extrajo cada árbol, se multiplico el número de árboles por el porcentaje del acumulado (tabla 14).

Tabla 13
Volumen de Eucalipto por Sub-Zona.

Sub Zona	Volumen (m3)	Volumen Total Sub Zona (m3)
I	0.00	0.00
	119,001.40	
II	38,745.33	225,780.65
	68,033.92	
	20,444.13	
	223,505.52	
III	70,731.87	2,222,251.3161
	1,022,303.64	
	885,266.16	
	126,049.16	
IV	7,556.25	137,851.05
	4,245.64	
	0.00	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14
Cantidad de árboles a extraer por Sub-Zona

Sub Zona	Volumen Total (m3)	Volumen Acumulado (m3)	Porcentaje del acumulado (%)	# de Arboles
I	0.00	0.00	0.00	0.00
II	225,780.65	225,780.65	8.73	0.44
III	2,222,251.32	2,448,031.96	85.94	4.30
IV	137,851.05	2,585,883.01	5.33	0.27

Fuente: Elaboración Propia

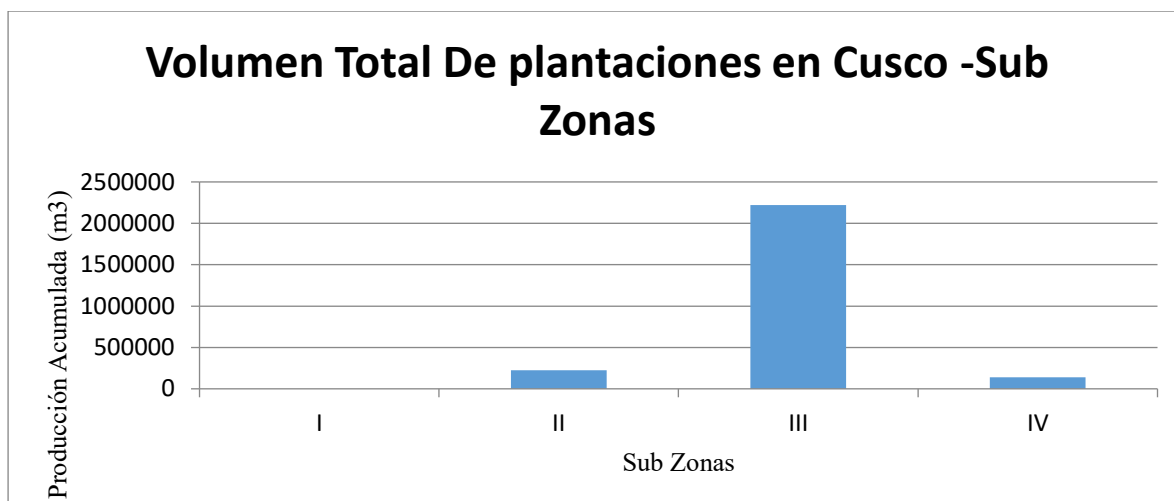


Figura 13 Volumen total de Plantaciones por Sub Zonas

De lo anterior se determina extraer cinco árboles de la “Sub-Zona III”, pues el aproximado de los valores de las Sub- Zonas II y IV, no alcanzan la unidad.

La selección de Bloques se realizó por conveniencia, la facilidad de acceso a cada bosque fue determinante.

4.2.1.2. Colección de Muestras.

La colección comprende la selección de árboles, Talado, Trozado, Aserrío primario.



Figura 14. Transporte de troncos de eucalipto.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 15. (Izquierda) Aserrío Primario, (Derecha) Trozas

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.2. Aguano y Copaiba.

En cuanto a las dos especies restantes, el acceso a bosques productores y proveedores de mencionadas especies en Madre de Dios no fue factible, pero a partir de información otorgada por el SERFOR, podemos decir que las especies que ingresan en mayor volumen, y en consecuencia las de mayor comercialización, procedentes del departamento de Madre de Dios a la ciudad del CUSCO son:

- Copaiba
- Aguano

Al no poder acceder a troncos enteros de estas dos especies, se decidió adquirir cuartones de madera (troncos de madera sometidos a aserrado primario) de establecimientos expendedores de madera. Teniendo a Madre de Dios como el principal abastecedor de los aserraderos del Cusco, para que un cuartón fuera seleccionado como parte de la muestra debía garantizar su procedencia del departamento de Madre de Dios. Se adquirió cinco cuartones por especie de cinco aserraderos distintos, cada uno de estos abastecidos con madera procedente de Madre de Dios. A partir de cada cuartón de madera se obtendrán 2 trozas.



Figura 16. Trozas de Aguano.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.3. Muestras.

La tabla 15. muestra la cantidad de trozas de madera que tenemos hasta el momento antes de preparar las muestras para los respectivos ensayos.

Tabla 15.

Cantidad de Trozas

Especie	Cantidad de Arboles / Cuartones	Cantidad de Trozas
Eucalipto	5.00	10.00
Copaiba	5.00	10.00
Aguano	5.00	10.00

Fuente: Elaboración Propia

Las Trozas de las tres especies fueron secadas al aire libre, protegidas de la lluvia, hasta alcanzar su punto de saturación (aproximadamente 30%) punto a partir del cual la pérdida de humedad empieza a generar variaciones volumétricos y cambios en las propiedades mecánicas de la madera, es entonces que se procede a la obtención de viguetas de sección 6 x 6 cm, de estas viguetas construirán los testigos finales.

4.3. Construcción De Testigos

4.3.1. *Previo a la construcción de testigos.*

Las viguetas que fueron destinadas para la construcción de testigos debían evidenciar libertad de defectos, defectos que podrían comprometer las propiedades mecánicas de los testigos, evitar el alabeo es imprescindible para garantizar la orientación de las fibras en los testigos construidos posteriormente.

4.3.2. *Construcción De Los Testigos.*

NORMAS A CONSULTAR:

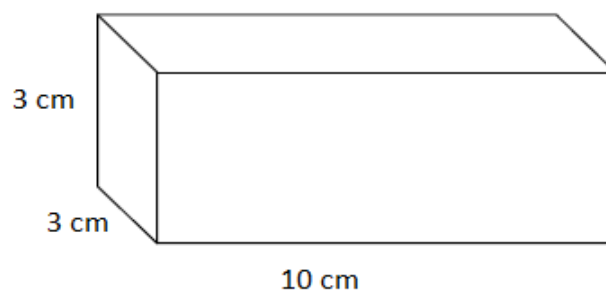
- NTP 251.011 – Método para determinar la densidad.
- NTP 251.014 – Método para determinar la compresión axial o paralela al grano.
- NTP 251.085 – Determinación de la tensión paralela a las fibras.



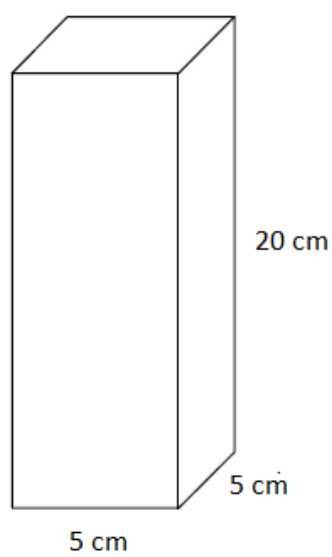
Figura 17. (Izquierda) Viguetas de eucalipto, (Derecha) tallado de testigos de tracción.

Fuente: Elaboración propia.

Para la construcción de las probetas es imperante el uso de máquinas semi-industriales de carpintería las cuales deben ser manipuladas por personal calificado, por lo cual se recurrió a un taller de carpintería para la construcción de los testigos mencionados en las normas antes mencionadas.

4.1.1. Testigos.**Figura 18.** Testigo para Densidad Básica.

Fuente: (Norma Técnica Peruana, 2014)

**Figura 19.** Testigo de Compresión paralela a las fibras.

Fuente: (Norma Técnica Peruana, 2014)

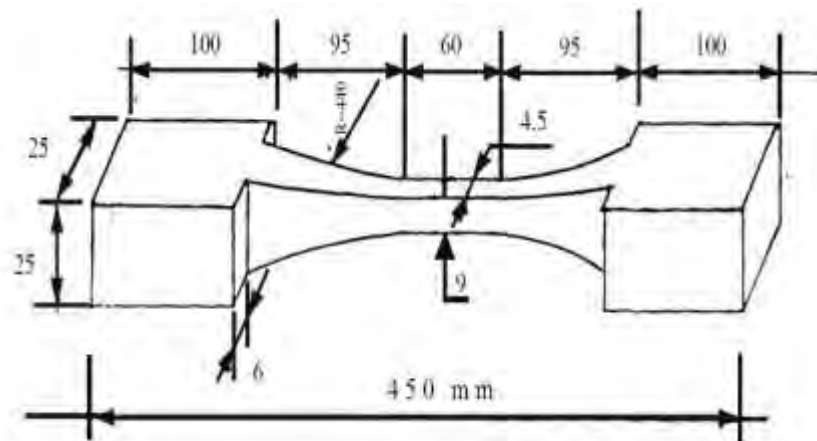


Figura 20. Testigo para Tracción paralela a las fibras.

Fuente: (Norma Tecnica Peruana , 2012)

4.4. Ensayos

Con la finalidad de calcular los módulos de elasticidad a tracción y compresión paralela a las fibras de las especies objeto de estudio se realizaron diversos ensayos sobre testigos de madera libre de defectos.

4.4.1. Densidad.

Norma a consultar: NTP 251.011

La actual norma E.010 “Maderas” clasifica a las especies de madera en tres grupos en función a su densidad y sus propiedades mecánicas. La madera al tener diferentes puntos de saturación representativos (PSF, CHE, etc.) se le puede determinar hasta cuatro densidades, pero la que cobra mayor importancia, pues en esta se basa la clasificación, es la densidad básica que es la relación entre el peso seco al horno (PSH) y el volumen verde (VV).

La NTP 251.011 otorga las pautas para el cálculo de las cuatro densidades, pero los fines de la presente investigación solo requieren el cálculo de la densidad básica, que se reduce a los siguientes pasos.

- Determinación del peso seco al Horno (PSH).

- Determinación del Volumen Verde (VV).

Se extrajo un testigo para cada troza de cada especie obteniendo en total 30 testigos.

4.4.1.1. **Determinación del Peso Seco al Horno (PSH).**

- Secado de los testigos: Los testigos fueron sometidos a secado en horno a una temperatura de 103 ± 2 °C hasta alcanzar peso constante.
- Determinación del peso: Antes de pesar los testigos secos (anhídros) estos debieron enfriar hasta alcanzar temperatura ambiente en un desecador con algún material higroscópico, para evitar que el testigo absorba humedad del ambiente. El material higroscópico seleccionado fue SODA CAUSTICA. NaOH.

4.4.1.2. **Determinación del Volumen Verde o en estado Saturado (VV).**

- Previo a determinar el volumen, los testigos fueron introducidos en agua hasta que alcancen peso constante, durante 20 días los testigos estuvieron sumergidos en agua, controlando su peso a diario.
- Una vez los testigos alcanzaron peso constante el cálculo de volumen Verde (VV) se realizó por medición directa en el cual mediante un vernier se toma el ancho alto y largo de cada muestra, el volumen verde (VV) es el producto de los tres valores mencionados.

Una vez determinados el peso seco al horno (PSH) y el Volumen Verde (VV) la densidad básica (DB) es la relación de estos.

$$DB = \frac{PSH}{VV} \left(\frac{gr}{cm^3} \right)$$

4.4.2. *Compresión Paralela a las Fibras.*

Norma a consultar: NTP 251.014

Se sometió a compresión paralela a un total de 90 testigos (30 para cada especie) de madera libre de defectos, de longitud 20 cm y sección transversal de 5 x 5cm, sobre el banco de una maquina universal de ensayos con capacidad de 60Tn, aplicando carga a velocidad constante de 0.6 mm/min, durante el ensayo se registraron las deformaciones dentro del espécimen, partir de las deformaciones registradas en el testigo y teniendo conocimiento de la carga aplicada, obtenemos el Módulo de elasticidad a compresión paralela a las fibras en el rango elástico.

4.4.2.1. **Cantidad de Testigos.**

Tabla 16

Cantidad de Testigos para Compresión paralela

Especie	Cantidad de Testigos
Eucalipto	30.00
Copaiba	30.00
Aguano	30.00
Total	90.00

Tres testigos por troza.

Fuente: Elaboración Propia

4.4.2.2. **Equipos necesarios.**

- **Máquina de ensayos universales:** El laboratorio de “Mecánica de Suelos y Materiales” de la facultad de “Arquitectura e Ingeniería Civil”, cuenta con una maquina universal con capacidad de 60 tn.
- **Medidores de deflexión (deformímetro):** precisión de 0.02 mm, capaz de medir las deformaciones del testigo durante el ensayo.

- **Acoples:** Pequeñas estructuras metálicas que permiten acoplar los medidores de deflexión sin dañar el testigo.



Figura 21. Maquina universal de ensayos del laboratorio de mecánica de suelos y materiales, Facultad de Ingeniería Civil, UNSAAC.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 22. Testigo de compresión paralela listo para ensayar.

Fuente: Elaboración Propia

4.4.2.3. Procedimiento.

- Acoplar los diales al testigo
- Ubicar el testigo centrándola en el plato de la maquina universal
- Aplicar carga sobre las bases de los testigos a una velocidad de 0.6 mm/min constante durante todo el ensayo.
- Registrar las de deformaciones en cada dial
- Determinar el contenido de humedad.
- Registrar el tipo de falla.

Determinación del contenido de Humedad: Del testigo ensayado se cortó un prisma de dos centímetros de altura exento de fallas, los cantos fueron lijados y se determina el contenido de humedad según norma NTP 251.010.

4.4.3. Tracción.

Norma a consultar: NTP 251.85

Se realizaron ensayos a tracción paralela a las fibras en testigos de madera libre de defectos para cada especie, en igual número que para compresión paralela a las fibras, testigos con sección transversal 0.9 x 0.45 cm, los testigos fueron centrados en la maquina universal mediante mordazas, se aplicó carga a una velocidad de 0.1 mm/min mientras que las deformaciones en el testigo (deformaciones locales) fueron registradas mediante los deformímetros instalados en el testigo, conocidas las deformaciones y la carga que las genera es posible determinar el módulo de elasticidad a tracción paralela a las fibras en el rango elástico.

4.4.3.1. Cantidad de Testigos.

Tabla 17

Cantidad de Testigos para Tracción paralela

Especie	Cantidad de Testigos
Eucalipto	30.00
Copaiba	30.00
Aguano	30.00
Total	90.00

Tres testigos por troza.

Fuente: Elaboración Propia

4.4.3.2. Equipos necesarios.

- Máquina de ensayos universales
- Medidores de Deflexión
- Mordazas y acoples

**Figura 23.** Testigo de tracción paralela a las fibras.

Fuente: Elaboración Propia.

4.4.3.3. Procedimientos.

- Acoplar los medidores de deflexión en ambas caras del testigo.
- Centrar el testigo con las mordazas
- Aplicar carga a velocidad constante de 1 mm/min.
- Registrar la deformación para cada carga
- Aplicar la carga hasta la ruptura del testigo, se registra esta carga
- Determinar el contenido de humedad según norma NTP 251.010

4.5. Recolección De Datos.

4.5.1. Densidad Básica (DB).

En las siguientes tablas se resume los datos obtenidos para cada una de las 10 muestras de cada especie de árbol: Peso se al Horno (PSH), Volumen Verde (V.V.) y densidad básica (D.B.); las dimensiones y pesos fueron obtenidas mediante instrumentos con la precisión requerida.

4.5.1.1. Eucalipto.

Tabla 18

Densidad básica -Datos Recolectados - Eucalipto

Muestra	PSH(g)	En estado Saturado				
		Dimensiones (cm)		VV (cm ³)	DB (g/cm ³)	
M-1-1	55.980	3.136	3.234	10.078	102.209	0.548
M-1-2	51.940	3.138	3.080	10.060	97.230	0.534
M-2-1	64.290	3.240	3.210	10.070	104.732	0.614
M-2-2	64.080	3.260	3.188	10.018	104.116	0.615
M-3-1	56.730	3.150	3.176	10.074	100.784	0.563
M-3-2	55.230	3.118	3.178	9.940	98.495	0.561
M-4-1	63.620	3.296	3.256	10.040	107.747	0.590
M-4-2	59.760	3.300	3.226	10.040	106.884	0.559
M-5-1	53.620	3.162	3.138	10.068	99.898	0.537
M-5-2	56.340	3.280	3.258	10.060	107.504	0.524

Fuente: Elaboración Propia

4.5.1.2. **Copaiba.**

Tabla 19

Densidad básica -Datos Recolectados - Copaiba

Muestra	PSH(g)	En estado Saturado			VV (cm3)	DB (g/cm3)
		Dimensiones (cm)				
B-1-1	81.210	3.176	3.110	9.974	98.517	0.824
B-1-2	76.650	3.100	3.148	9.962	97.217	0.788
B-2-1	56.660	3.100	3.178	9.978	98.301	0.576
B-2-2	59.200	3.182	3.120	10.018	99.457	0.595
B-3-1	54.530	3.180	3.082	10.072	98.713	0.552
B-3-2	55.030	3.098	3.162	10.064	98.586	0.558
B-4-1	51.250	3.098	3.164	10.080	98.805	0.519
B-4-2	54.920	3.118	3.174	10.052	99.480	0.552
B-5-1	56.500	3.106	3.110	9.998	96.577	0.585
B-5-2	55.010	3.120	3.084	10.188	98.030	0.561

*Fuente: Elaboración Propia*4.5.1.3. **Aguano.**

Tabla 20

Densidad básica -Datos Recolectados - Aguano

Muestra	PSH(g)	En estado Saturado			VV (cm3)	DB (g/cm3)
		Dimensiones (cm)				
C-1-1	46.920	3.184	3.120	10.068	100.016	0.469
C-1-2	56.840	3.100	3.168	10.060	98.797	0.575
C-2-1	52.260	3.152	3.100	10.030	98.005	0.533
C-2-2	55.080	3.158	3.138	10.000	99.098	0.556
C-3-1	48.360	3.098	3.138	10.040	97.604	0.495
C-3-2	48.110	3.138	3.098	10.022	97.429	0.494
C-4-1	48.010	3.118	3.178	10.020	99.288	0.484
C-4-2	47.950	3.146	3.144	10.020	99.108	0.484
C-5-1	53.240	3.140	3.098	10.040	97.666	0.545
C-5-2	51.590	3.100	3.118	10.000	96.658	0.534

Fuente: Elaboración Propia

4.5.2. Compresión Paralela a las Fibras.

De cada ensayo a compresión se obtienen las deformaciones para cada carga, datos que se presentan con mayor detalle en los anexos del presente informe, las tablas 21, 22 y 23 presentan los datos más relevantes:

- A : Largo del testigo
- B : Ancho del testigo
- Def. : Deformación al límite proporcional
- Def. max : Deformación a la carga máxima
- P' : Carga al límite proporcional
- P : Carga máxima
- C.H. : Contenido de Humedad al momento del ensayo.

Además, se diferencian las deformaciones otorgadas por el programa de la maquina universal (Deformación Global), de las lecturas obtenidas hechas a los diales acoplados a cada espécimen. (Deformación Local).

4.5.2.1. **Eucalipto.**

Tabla 21

Compresión Paralela a las Fibras - Datos Recolectados - Eucalipto

TESTIGO	A (cm)	B (cm)	Def. Globales.*		Def. Locales.**		P' (kg)	P (kg)	C.H. (%)
			Def. (mm)	Def. Max (mm)	Def. (mm)	Def. Max (mm)			
M - 1 - 1	4.87	4.88	0.18	0.24	0.47	0.55	7241.00	8407.00	8.45
M - 1 - 1	4.80	4.90	0.17	0.25	0.44	0.52	6273.00	7794.00	8.46
M - 1 - 2	4.80	4.90	0.17	0.25	0.43	0.54	6525.00	7838.00	8.15
M - 1 - 2	5.00	5.00	0.12	0.20	0.53	***	4503.00	5254.00	26.35
M - 1 - 2	5.00	4.98	0.12	0.31	0.43	***	4501.00	5530.00	30.00
M - 2 - 1	4.80	4.90	0.19	0.25	0.84	1.08	6005.00	7035.00	8.55
M - 2 - 1	4.85	4.80	0.14	0.21	0.41	0.62	7260.00	8976.00	7.73
M - 2 - 1	4.85	4.75	0.12	0.19	0.27	0.38	4751.00	6171.00	8.61
M - 2 - 2	4.90	4.70	0.19	0.24	0.43	***	6759.00	7779.00	8.49
M - 2 - 2	4.90	4.90	0.14	0.20	0.46	0.63	6012.00	7139.00	8.64
M - 2 - 2	5.00	4.80	0.17	0.21	0.46	0.54	7513.00	8711.00	8.17
M - 3 - 1	5.00	4.90	0.16	0.25	0.47	0.55	6257.00	7803.00	8.46
M - 3 - 1	4.80	4.90	0.19	0.28	0.52	0.65	7268.00	8589.00	8.62
M - 3 - 1	5.20	5.00	0.12	0.20	0.39	0.71	4006.00	4963.00	28.67
M - 3 - 2	4.80	4.98	0.19	0.29	0.48	0.59	6505.00	7763.00	8.41
M - 3 - 2	4.90	4.80	0.19	0.27	0.48	0.57	7738.00	9464.00	7.65
M - 3 - 2	5.00	5.03	0.24	0.29	0.36	0.55	5257.00	5983.00	27.74
M - 4 - 1	4.90	4.80	0.13	0.19	0.30	***	6761.00	8302.00	8.11
M - 4 - 1	4.80	4.80	0.16	0.26	0.61	0.84	6760.00	8128.00	8.27
M - 4 - 1	4.90	4.85	0.17	0.23	0.53	0.64	8007.00	9204.00	8.06
M - 4 - 2	4.85	4.90	0.15	0.20	0.51	***	5753.00	6565.00	8.47
M - 4 - 2	4.80	4.90	0.15	0.24	0.39	0.68	6269.00	7657.00	8.77
M - 4 - 2	4.70	4.80	0.17	0.22	0.39	0.53	6021.00	7131.00	8.15
M - 5 - 1	4.80	4.85	0.18	0.23	0.49	0.62	7747.00	8930.00	7.84
M - 5 - 1	5.02	5.00	0.15	0.20	0.38	***	5247.00	5906.00	23.99
M - 5 - 1	4.87	4.93	0.15	0.20	0.49	0.65	6007.00	7003.00	8.65
M - 5 - 2	4.80	4.80	0.21	0.25	0.51	0.80	9006.00	10159.00	7.66
M - 5 - 2	4.85	4.90	0.16	0.22	0.51	0.64	6025.00	7258.00	7.99
M - 5 - 2	4.91	4.87	0.23	0.31	0.50	0.61	7749.00	9395.00	7.80

* = Deformaciones obtenidas de la maquina universal de ensayos.

**= Deformaciones obtenidas de los deformímetros acoplados al testigo.

*** = Deformación no registrada.

Fuente: Elaboración Propia

4.5.2.2. **Copaiba.**

Tabla 22

Compresión Paralela a las Fibras - Datos Recolectados - Copaiba

TESTIGO	A (cm)	B (cm)	Def. Globales.*		Def. Locales.**		P' (kg)	P (kg)	C.H. (%)
			Def. (mm)	Def. Max (mm)	Def. (mm)	Def. Max (mm)			
B - 1 - 1	4.78	4.9	0.19	0.23	0.47	0.57	8201	9862	10.35
B - 1 - 1	4.94	4.93	0.21	0.24	0.46	0.52	9524	10886	10.6
B - 1 - 1	4.80	4.94	0.19	0.23	0.41	0.49	9269	11162	10.8
B - 1 - 2	4.85	4.96	0.21	0.24	0.52	0.58	9359	10517	10.45
B - 1 - 2	4.93	4.92	0.19	0.22	0.42	0.48	8641	9962	10.6
B - 1 - 2	4.82	4.98	0.20	0.23	0.43	0.49	9898	11254	10.25
B - 2 - 1	4.91	4.93	0.15	0.20	0.63	0.82	6022	7834	10.32
B - 2 - 1	4.96	4.91	0.13	0.17	0.45	0.58	6030	7839	10.68
B - 2 - 1	5.01	4.93	0.20	0.24	0.45	0.56	6254	7729	10.23
B - 2 - 2	4.96	4.93	0.20	0.25	0.70	0.90	6019	7674	10.52
B - 2 - 2	4.95	4.95	0.17	0.24	0.48	0.67	6004	8351	10.48
B - 2 - 2	5.00	4.9	0.16	0.21	0.49	0.65	5743	7628	10.7
B - 3 - 1	4.89	4.96	0.14	0.18	0.54	0.68	5264	6646	10.28
B - 3 - 1	4.91	4.93	0.17	0.21	0.54	0.69	5744	7291	10.3
B - 3 - 1	4.95	4.91	0.18	0.23	0.71	0.89	5507	6956	10.1
B - 3 - 2	4.91	4.93	0.14	0.20	0.48	0.69	4000	5768	10.25
B - 3 - 2	4.90	4.96	0.21	0.28	0.62	0.83	4999	6694	10.05
B - 3 - 2	4.92	4.91	0.14	0.19	0.51	0.68	4263	5703	9.95
B - 4 - 1	4.86	4.93	0.17	0.24	0.49	0.68	5259	7272	10.5
B - 4 - 1	4.88	4.95	0.14	0.20	0.48	0.71	5010	7403	10.8
B - 4 - 1	4.89	4.92	0.25	0.32	0.46	0.58	4763	6068	10.9
B - 4 - 2	4.90	4.98	0.12	0.19	0.40	0.62	4019	6149	11.12
B - 4 - 2	4.98	4.96	0.11	0.18	0.30	0.46	3253	5073	10.9
B - 4 - 2	4.92	4.92	0.16	0.21	0.52	0.69	5013	6689	11.2
B - 5 - 1	4.99	4.93	0.17	0.20	0.55	0.63	5948	6846	9.6
B - 5 - 1	4.90	4.93	0.19	0.23	0.49	0.60	6011	7286	9.75
B - 5 - 1	4.90	4.95	0.16	0.18	0.53	0.61	6197	7151	9.45
B - 5 - 2	4.92	4.92	0.18	0.22	0.33	0.40	5546	6751	9.6
B - 5 - 2	4.95	4.96	0.16	0.19	0.56	0.66	5863	6949	9.82
B - 5 - 2	4.89	4.91	0.17	0.22	0.49	0.63	4988	6424	9.65

* = Deformaciones obtenidas de la maquina universal de ensayos.

**= Deformaciones obtenidas de los deformímetros acoplados al testigo.

*** = Deformación no registrada.

Fuente: Elaboración Propia

4.5.2.3. **Aguano.**

Tabla 23

Compresión Paralela a las Fibras - Datos Recolectados - Aguano

TESTIGO	A (cm)	B (cm)	Def. Globales.*		Def. Locales.**		P' (kg)	P (kg)	C.H. (%)
			Def.	Def.	Def.	Def.			
			(mm)	Max (mm)	(mm)	Max (mm)			
C - 1 - 1	4.92	4.95	0.02	0.23	0.53	***	6245.00	7636.00	9.46
C - 1 - 1	4.93	4.91	0.02	0.25	0.53	***	7244.00	8199.00	8.70
C - 1 - 1	4.96	4.91	0.19	0.26	0.45	0.79	7261.00	7958.00	9.34
C - 1 - 2	4.96	4.90	0.16	0.31	0.58	0.84	5500.00	7239.00	10.10
C - 1 - 2	4.97	4.93	0.19	0.33	0.54	0.71	6258.00	7493.00	11.64
C - 1 - 2	4.96	4.93	0.14	0.21	0.42	0.57	5255.00	6417.00	10.66
C - 2 - 1	4.86	4.89	0.19	0.30	0.56	0.95	5753.00	6923.00	11.83
C - 2 - 1	5.02	4.90	0.15	0.28	0.50	0.63	5743.00	7228.00	11.03
C - 2 - 1	4.98	4.87	0.13	0.22	0.47	0.59	5492.00	7767.00	10.03
C - 2 - 2	4.92	4.93	0.18	0.46	0.54	0.97	5246.00	7275.00	8.99
C - 2 - 2	4.93	4.92	0.14	0.28	0.44	0.73	6528.00	8413.00	9.34
C - 2 - 2	4.88	4.90	0.12	0.24	0.40	0.63	5516.00	7724.00	11.12
C - 3 - 1	4.96	4.96	0.15	0.38	0.28	0.70	4010.00	5730.00	9.86
C - 3 - 1	4.93	4.93	0.17	0.36	0.31	0.61	4503.00	5821.00	10.46
C - 3 - 1	4.93	4.92	0.17	0.33	0.47	0.67	4243.00	5682.00	10.62
C - 3 - 2	4.91	4.91	0.15	0.25	0.51	0.72	5017.00	6116.00	11.54
C - 3 - 2	4.95	4.93	0.18	0.26	0.46	0.58	5745.00	6869.00	10.35
C - 3 - 2	4.93	4.95	0.13	0.24	0.53	0.86	4761.00	5959.00	9.18
C - 4 - 1	4.94	4.79	0.15	0.25	0.55	0.92	5009.00	5967.00	10.15
C - 4 - 1	4.93	4.97	0.15	0.26	0.48	0.61	5024.00	6432.00	9.46
C - 4 - 1	4.92	4.95	0.15	0.27	0.52	0.76	5015.00	6253.00	8.70
C - 4 - 2	4.94	4.93	0.15	0.30	0.48	0.64	5022.00	6708.00	9.33
C - 4 - 2	4.93	4.97	0.13	0.27	0.50	0.69	4500.00	6583.00	9.35
C - 4 - 2	4.97	4.91	0.15	0.29	0.48	0.62	5005.00	6831.00	9.19
C - 5 - 1	4.92	4.92	0.12	0.22	0.47	0.61	5025.00	6394.00	8.93
C - 5 - 1	4.93	4.96	0.14	0.24	0.48	0.75	5018.00	6095.00	9.06
C - 5 - 1	4.90	4.92	0.18	0.25	0.49	0.69	6027.00	7065.00	9.06
C - 5 - 2	4.93	4.92	0.13	0.22	0.42	0.53	5024.00	6740.00	8.94
C - 5 - 2	4.94	4.96	0.16	0.28	0.47	0.62	4512.00	5774.00	9.01
C - 5 - 2	4.97	4.93	0.14	0.28	0.47	0.62	4751.00	6527.00	8.98

* = Deformaciones obtenidas de la maquina universal de ensayos.

**= Deformaciones obtenidas de los deformímetros acoplados al testigo.

*** = Deformación no registrada.

Fuente: Elaboración Propia

4.5.3. Tracción Paralela a las Fibras.

De igual manera los ensayos de tracción paralela se realizaron controlando los desplazamientos en el testigo (desplazamientos locales) mientras la carga de tracción se aplicaba a una velocidad constante de 0.1 mm/seg, las deformaciones locales se midieron con los deformímetros acoplados a cada testigo

En las tablas 24, 25 y 26, se presentan los datos recopilados de cada ensayo de tracción paralela.

- A : largo
- B : Ancho
- Def. Global. : Deformación global a la carga máxima.
- Def. Local : Deformación local máxima.
- P : Carga máxima
- C.H. : Contenido de humedad obtenido luego de cada ensayo.

A diferencia de las tablas presentadas con los datos obtenidos de los ensayos de compresión, para tracción el valor de la deformación al límite proporcional es el mismo valor que la deformación máxima o de rotura. Similar situación con la carga P valor equivalente a la carga al límite proporcional. Esto se desprende de asumir que el espécimen tiene comportamiento elástico hasta su falla.

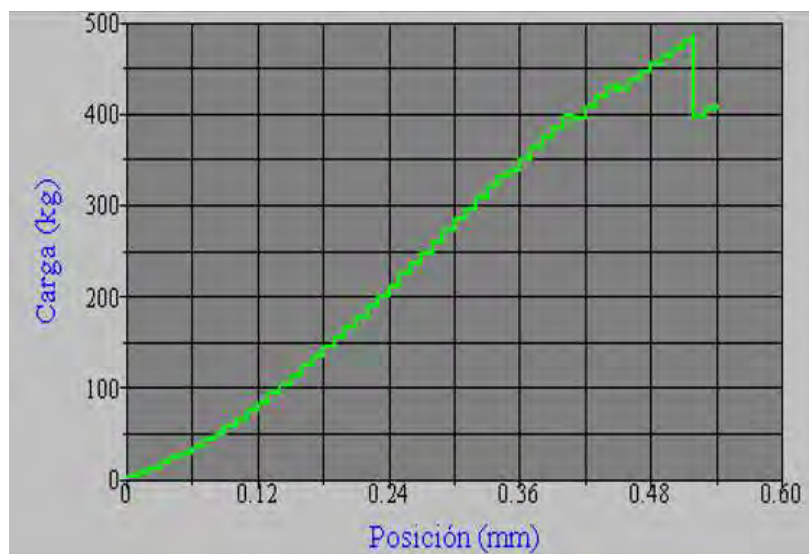


Figura 24. Curva Carga – Deformación típica en ensayos a tracción paralela a las fibras.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.3.1. **Eucalipto.**

Tabla 24

Tracción Paralela a las Fibras - Datos Recolectados - Eucalipto

TESTIGO	A (cm)	B (cm)	Def. Global Max. (mm)	Def. Local Max. (mm)	P (kg)	C.H. (%)
M - 1 - 1*	0.79	0.45	-	-	-	-
M - 1 - 1	0.84	0.51	0.95	0.49	396.00	9.42
M - 1 - 1	0.98	0.45	0.43	0.58	439.00	9.71
M - 1 - 2*	0.90	0.48	-	-	-	-
M - 1 - 2	0.75	0.42	0.26	0.40	202.00	8.90
M - 1 - 2	0.82	0.51	0.35	0.41	384.00	9.19
M - 2 - 1	0.68	0.45	0.20	0.72	135.00	9.19
M - 2 - 1	0.85	0.45	0.40	0.76	401.00	9.44
M - 2 - 1	0.84	0.44	0.16	0.27	168.00	9.35
M - 2 - 2	0.85	0.37	0.36	0.46	315.00	9.47
M - 2 - 2	0.88	0.33	0.26	0.26	204.00	9.75
M - 2 - 2	0.82	0.52	0.28	0.64	262.00	9.08
M - 3 - 1	0.90	0.55	0.89	0.59	381.00	9.42
M - 3 - 1	0.82	0.55	0.76	0.49	426.00	9.47
M - 3 - 1	0.70	0.49	0.74	0.65	388.00	9.21
M - 3 - 2	0.88	0.50	0.53	0.50	407.00	9.11
M - 3 - 2	0.71	0.56	0.45	0.39	193.00	9.45
M - 3 - 2	0.96	0.49	0.70	0.60	391.00	9.60
M - 4 - 1	0.87	0.49	0.36	0.49	331.00	10.09
M - 4 - 1	0.84	0.44	0.38	0.63	251.00	9.39
M - 4 - 1	0.80	0.45	0.41	0.40	290.00	9.32
M - 4 - 2	0.88	0.44	0.41	0.46	412.00	9.08
M - 4 - 2	0.86	0.42	0.52	0.60	486.00	9.22
M - 4 - 2	0.99	0.42	0.39	0.45	504.00	9.24
M - 5 - 1	0.76	0.45	0.39	0.47	390.00	9.12
M - 5 - 1	0.88	0.46	0.60	0.69	557.00	9.55
M - 5 - 1	0.84	0.48	0.42	0.50	482.00	9.37
M - 5 - 2	0.80	0.46	0.45	0.40	287.00	9.23
M - 5 - 2	0.80	0.45	0.38	0.43	345.00	9.15
M - 5 - 2	0.90	0.45	0.33	0.55	363.00	8.97

* = Testigos dañados o facturados antes del ensayo.

Fuente: Elaboración Propia

4.5.3.2. **Copaiba.**

Tabla 25

Tracción Paralela a las Fibras - Datos Recolectados - Copaiba

TESTIGO	A (cm)	B (cm)	Def. Global Max. (mm)	Def. Local Max. (mm)	P (kg)	C.H. (%)
B - 1 - 1	0.86	0.57	0.36	0.55	277.00	8.61
B - 1 - 1	0.90	0.50	0.35	0.24	258.00	8.71
B - 1 - 1	0.95	0.51	0.38	0.26	289.00	8.68
B - 1 - 2	0.79	0.41	0.74	0.54	450.00	8.66
B - 1 - 2	0.96	0.49	0.41	0.37	318.00	9.04
B - 1 - 2	1.00	0.50	0.33	0.35	295.00	8.57
B - 2 - 1	0.85	0.51	0.76	0.55	438.00	8.44
B - 2 - 1	0.97	0.61	0.61	0.24	300.00	9.29
B - 2 - 1	0.90	0.58	0.82	0.80	404.00	8.40
B - 2 - 2	0.94	0.50	0.57	0.47	279.00	8.97
B - 2 - 2	0.87	0.58	0.54	0.53	365.00	8.49
B - 2 - 2	0.79	0.59	0.72	0.75	425.00	8.57
B - 3 - 1	0.89	0.50	0.68	0.72	281.00	9.57
B - 3 - 1	0.88	0.54	0.60	0.29	227.00	8.97
B - 3 - 1	0.94	0.51	0.52	0.52	268.00	9.08
B - 3 - 2	0.82	0.51	0.57	0.18	314.00	9.26
B - 3 - 2	0.89	0.52	0.54	0.81	232.00	8.92
B - 3 - 2*	0.95	0.50	-	-	-	-
B - 4 - 1	0.93	0.52	0.46	0.39	255.00	9.25
B - 4 - 1*	0.99	0.50	-	-	-	-
B - 4 - 1*	0.96	0.54	-	-	-	-
B - 4 - 2	0.87	0.45	0.20	0.36	117.00	9.37
B - 4 - 2	0.91	0.49	0.43	0.24	219.00	9.09
B - 4 - 2	0.89	0.51	0.53	0.62	289.00	9.11
B - 5 - 1	0.98	0.50	0.57	0.53	320.00	9.21
B - 5 - 1	0.88	0.58	0.49	0.38	316.00	9.09
B - 5 - 1	0.94	0.46	0.54	0.47	275.00	9.25
B - 5 - 2	0.99	0.49	0.56	0.48	346.00	9.17
B - 5 - 2	0.87	0.50	0.46	0.50	245.00	9.19
B - 5 - 2	0.96	0.46	0.49	0.47	296.00	9.25

* = Testigos dañados o facturados antes del ensayo.

Fuente: Elaboración Propia

4.5.3.3. **Aguano.**

Tabla 26

Tracción Paralela a las Fibras - Datos Recolectados - Aguano

TESTIGO	A (cm)	B (cm)	Def. Global Max. (mm)	Def. Local Max. (mm)	P (kg)	C.H. (%)
C - 1 - 1	0.42	0.81	0.24	0.18	150.00	9.23
C - 1 - 1	0.51	0.83	0.32	0.31	178.00	9.51
C - 1 - 1	0.58	0.83	0.29	0.31	220.00	9.23
C - 1 - 2	0.53	0.86	0.36	0.24	121.00	8.99
C - 1 - 2*	-	-	-	-	-	-
C - 1 - 2*	-	-	-	-	-	-
C - 2 - 1	0.43	0.86	0.54	0.37	251.00	9.30
C - 2 - 1	0.51	0.89	0.19	0.18	121.00	9.58
C - 2 - 1	0.49	0.84	0.18	0.18	121.00	9.06
C - 2 - 2	0.38	0.80	0.25	0.20	121.00	9.75
C - 2 - 2	0.44	0.84	0.32	0.26	143.00	9.64
C - 2 - 2	0.52	0.84	0.45	0.44	132.00	9.72
C - 3 - 1	0.41	0.90	0.51	0.51	236.00	9.68
C - 3 - 1	0.45	0.89	0.54	0.62	276.00	9.59
C - 3 - 1	0.49	0.86	0.71	0.47	318.00	9.59
C - 3 - 2	0.59	0.93	0.56	0.40	289.00	9.62
C - 3 - 2	0.44	0.84	0.33	0.52	133.00	9.38
C - 3 - 2	0.52	0.81	0.33	0.31	159.00	10.01
C - 4 - 1	0.54	0.84	0.79	0.41	289.00	9.26
C - 4 - 1	0.42	0.86	0.36	0.36	111.00	9.33
C - 4 - 1	0.48	0.78	0.28	0.22	114.00	9.64
C - 4 - 2	0.44	0.86	0.28	0.48	123.00	9.28
C - 4 - 2	0.83	0.43	0.32	0.42	135.00	9.31
C - 4 - 2	0.93	0.51	0.49	0.37	194.00	9.62
C - 5 - 1	0.46	0.85	0.41	0.51	237.00	9.26
C - 5 - 1	0.41	0.82	0.62	0.50	310.00	9.14
C - 5 - 1	0.85	0.49	0.42	0.47	305.00	9.24
C - 5 - 2	0.81	0.47	0.59	0.53	381.00	9.49
C - 5 - 2	0.94	0.54	0.57	0.31	315.00	9.03
C - 5 - 2	0.40	0.91	0.53	0.23	325.00	9.19

* = Testigos dañados o facturados antes del ensayo.

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO 5 Procesamiento De Datos

5.1. Densidad Básica

A partir de las medidas realizadas a cada muestra obtenemos los datos suficientes para determinar la Densidad básica de cada una, con la siguiente relación.

$$DB = \frac{PSH}{VV}$$

- DB : Densidad Básica
- PSH : Peso seco al Horno
- VV : Volumen Verde.

Tabla 27
Densidad básica - Valor para cada muestra.

Eucalipto		Copaiba		Aguano	
Muestra	Densidad Básica (g/cm ³)	Muestra	Densidad Básica (g/cm ³)	Muestra	Densidad Básica (g/cm ³)
M - 1 - 1	0.55	B - 1 - 1	0.82	C - 1 - 1	0.47
M - 1 - 2	0.53	B - 1 - 2	0.79	C - 1 - 2	0.58
M - 2 - 1	0.61	B - 2 - 1	0.58	C - 2 - 1	0.53
M - 2 - 2	0.62	B - 2 - 2	0.60	C - 2 - 2	0.56
M - 3 - 1	0.56	B - 3 - 1	0.55	C - 3 - 1	0.50
M - 3 - 2	0.56	B - 3 - 2	0.56	C - 3 - 2	0.49
M - 4 - 1	0.59	B - 4 - 1	0.52	C - 4 - 1	0.48
M - 4 - 2	0.56	B - 4 - 2	0.55	C - 4 - 2	0.48
M - 5 - 1	0.54	B - 5 - 1	0.59	C - 5 - 1	0.55
M - 5 - 2	0.52	B - 5 - 2	0.56	C - 5 - 2	0.53
Promedio*	0.56		0.61		0.52

*= Media aritmética.

Fuente: Elaboración propia.

La densidad básica para cada especie es el promedio del resultado de todas las muestras, no se aplicó ningún criterio de exclusión.

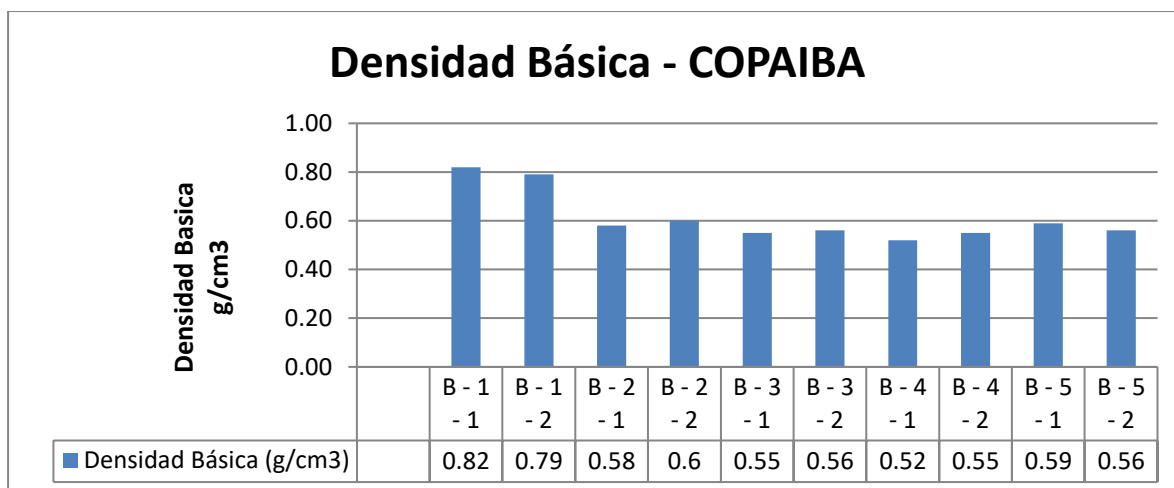


Figura 25 Densidad Básica – Copaiba

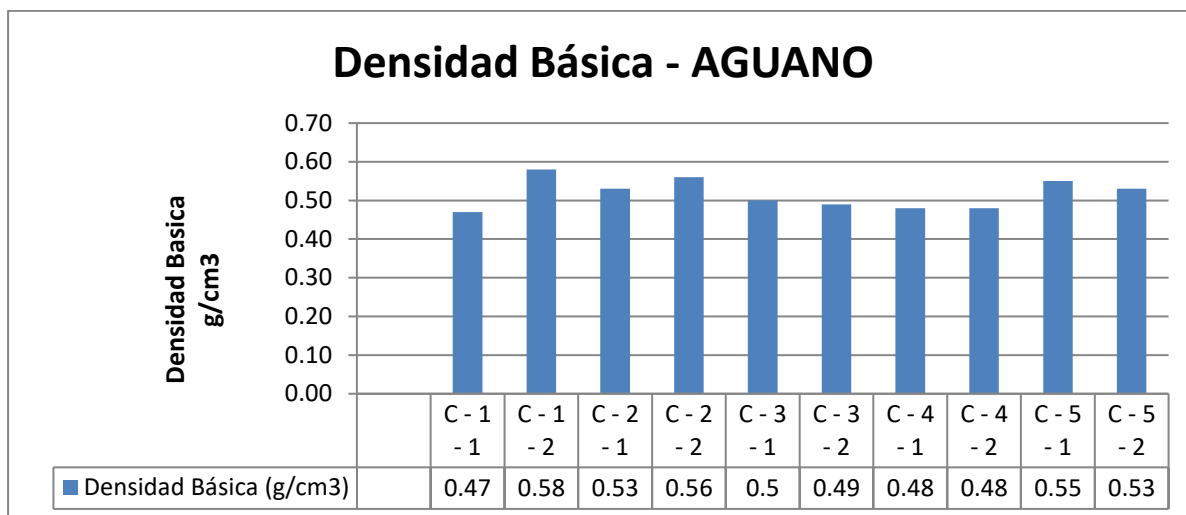


Figura 26 Densidad Básica - Aguano

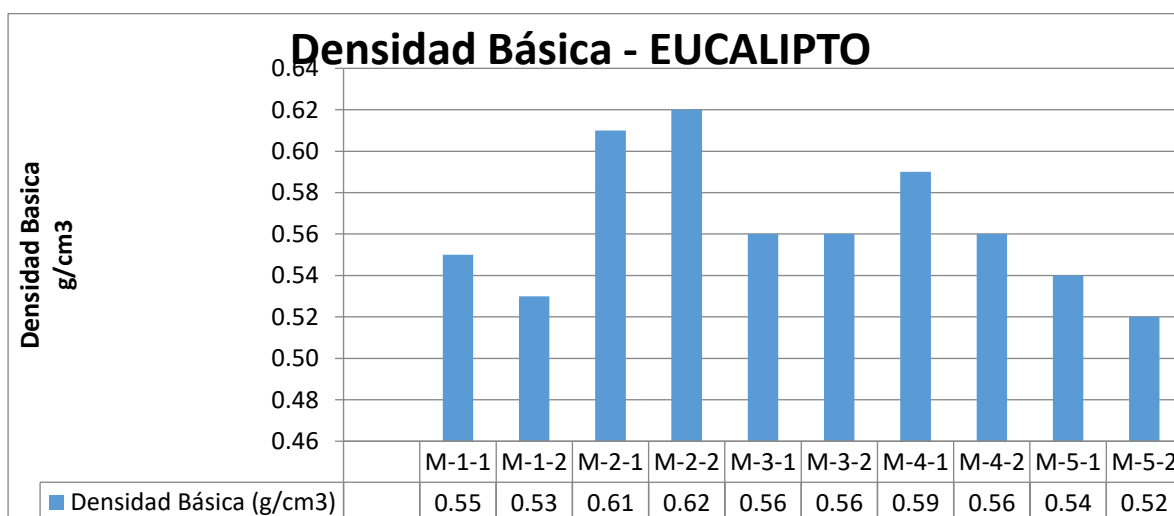


Figura 27 Densidad Básica - Eucalipto

Tabla 28
Densidad básica - Valor promedio de cada especie.

ESPECIE	Densidad Básica (g/cm ³)	GRUPO
Eucalipto	0.56	B
Copaiba	0.61	B
Aguaño	0.52	C

Fuente: Elaboración propia

5.2. Compresión Paralela a las Fibras

5.2.1. Cálculo Del Módulo De Elasticidad a Compresión Paralela Para Cada Testigo.

Obtenidas las deformaciones de las probetas en la fase elástica, y conocidas también las cargas que generan estas deformaciones, se determinó el módulo de módulo de elasticidad a compresión paralela a las fibras para cada testigo, mediante la siguiente ecuación:

$$MOE = \frac{P' * L}{A * D}$$

Donde:

- MOE : Modulo de elasticidad (kg/cm²)
- P' : Carga al Límite Proporcional. (kg)
- P : Carga máxima o carga de rotura. (kg)
- L : Distancia entre las abrazaderas del deformímetro. (15 cm)
- A : Área Transversal del testigo, (cm²)
- D : Deformación de la probeta al límite proporcional. (cm)

Cada ensayo de compresión paralela fue llevado hasta la rotura, pudiendo así determinar no solamente las deformaciones hasta el límite elástico y sus correspondientes cargas, sino también la carga máxima que soporta el espécimen (carga que logra la rotura del espécimen) lográndose determinar además del Esfuerzo al límite proporcional (E.L.P.) la resistencia máxima (R.M.) que soporta el testigo.

$$ELP = \frac{P'}{A} \quad RM = \frac{P}{A}$$

En las tablas 29, 30 y 31 se presentan los módulos de elasticidad a compresión paralela calculadas para cada testigo además del valor del esfuerzo al límite proporcional (ELP) y el de la resistencia máxima (RM).

Las tablas además presentan dos módulos de elasticidad “MOE_{global}”, el cual corresponde al valor del módulo de elasticidad calculado a partir de las deformaciones obtenidas de la maquina universal (deformaciones globales) y el “MOE_{local}”, valores que corresponden al módulo de elasticidad calculado a partir de las deformaciones leídas de los deformímetros instalados en cada testigo al momento de ser ensayados (deformaciones Locales), es necesaria hacer esta diferenciación pues las deformaciones globales son los desplazamientos de los platos de carga de la maquina universal de ensayos, mientras que las deformaciones locales son registradas directamente del testigo.

5.2.2. Módulo De Elasticidad Mínimo Y Modulo De Elasticidad Promedio.

La norma E.010 presenta dos valores para el módulo de elasticidad de cada grupo estructural, el MOE_{min} y el MOE_{promedio}, bajo este lineamiento se determinó primero el módulo de elasticidad promedio para cada especie, para esto se aplicó un criterio de exclusión igual al 5% pues “se ha adoptado este criterio, en lugar de suponer una distribución normal y determinar probabilísticamente el 5 percentil, porque representa un mejor estimado para toda la población de árboles (Junta del acuerdo de Cartagena, 1984, págs. 7-6)”

Para aplicar este límite es exclusión se eliminaron los valores máximos y mínimos en un número igual al 5% del total de datos, es así que:

$$0.05 * 30 = 1.5 \approx 2$$

Para 30 datos se eliminaron dos datos máximos y dos mínimos, los datos restantes son considerados los representativos de la especie, el MOE_{promedio}, tomara el valor de la media aritmética de todos los datos representativos del módulo de elasticidad. y el MOE_{min} tomara el valor del menor módulo de elasticidad.

5.2.3. *Eucalipto.*

Tabla 29

Compresión Paralela a las Fibras - Modulo de elasticidad para cada testigo – Eucalipto.

TESTIGO	AREA (cm ²)	MOE Global (kg/cm ²)	MOE Local (kg/cm ²)	E.L.P (kg/cm ²)	R.M. (kg/cm ²)
M - 1 - 1	25.05	187297.88	63760.98	199.78	244.22
M - 1 - 1	23.77	253903.40	97239.60	304.68	353.75
M - 1 - 1	23.52	235331.63	90923.59	266.71	331.38
M - 1 - 2	23.52	244785.41	96775.63	277.42	333.25
M - 1 - 2	25.00	225150.00	50977.36	180.12	210.16
M - 1 - 2	24.90	225953.82	63056.88	180.76	222.09
M - 2 - 1	23.52	201564.18	45591.90	255.31	299.11
M - 2 - 1	23.28	334131.08	114093.54	311.86	385.57
M - 2 - 1	23.04	257786.22	114571.65	206.23	267.87
M - 2 - 2	23.03	229359.67	101344.97	293.49	337.78
M - 2 - 2	24.01	268281.07	81650.76	250.40	297.33
M - 2 - 2	24.00	276213.24	102078.80	313.04	362.96
M - 3 - 1	24.50	239426.02	81506.73	255.39	318.49
M - 3 - 1	23.52	243958.11	89138.54	309.01	365.18
M - 3 - 1	26.00	192596.15	59260.36	154.08	190.88
M - 3 - 2	23.90	214839.62	85040.68	272.13	324.76
M - 3 - 2	23.52	259734.16	102811.44	329.00	402.38
M - 3 - 2	25.15	130641.15	87094.10	209.03	237.89
M - 4 - 1	23.52	331681.71	143728.74	287.46	352.98
M - 4 - 1	23.04	275065.10	72148.22	293.40	352.78
M - 4 - 1	23.77	297285.92	95355.86	336.92	387.29
M - 4 - 2	23.77	242078.69	71199.61	242.08	276.25
M - 4 - 2	23.52	266539.12	102515.04	266.54	325.55
M - 4 - 2	22.56	235489.67	102649.35	266.89	316.09
M - 5 - 1	23.28	277312.43	101869.87	332.77	383.59
M - 5 - 1	25.10	209043.82	82517.30	209.04	235.30
M - 5 - 1	24.01	250196.80	76590.86	250.20	291.68
M - 5 - 2	23.04	279203.87	114966.30	390.89	440.93
M - 5 - 2	23.77	237678.83	74565.91	253.52	305.41
M - 5 - 2	23.91	211348.24	97220.19	324.07	392.90
Promedio		244235.58	88730.02	267.70	319.65
Min		192596.15	59260.36	180.76	222.09

Valores sombreados de celeste, corresponden a los dos valores mínimos.

Valores sombreados de verde, corresponden a los dos valores máximos.

Los valores sombreados son considerados como no representativos por tanto no se le considera para el cálculo de los valores mínimos ni promedios.

Fuente: Elaboración Propia

5.2.4. *Copaiba.*

Tabla 30

Compresión Paralela a las Fibras - Modulo de elasticidad para cada testigo – Copaiba.

TESTIGO	AREA (cm ²)	MOE Global (kg/cm ²)	MOE Local (kg/cm ²)	E.L.P (kg/cm ²)	R.M. (kg/cm ²)
B - 1 - 1	23.42	276427.02	111747.09	350.19	421.08
B - 1 - 1	24.34	279329.94	127520.19	391.30	447.25
B - 1 - 1	23.71	308604.57	143011.87	390.94	470.79
B - 1 - 2	24.06	277893.25	112226.12	388.98	437.12
B - 1 - 2	24.25	281248.13	127231.30	356.31	410.81
B - 1 - 2	23.99	309266.11	143844.70	412.60	469.12
B - 2 - 1	24.21	248778.21	59232.91	248.74	323.59
B - 2 - 1	24.35	285694.61	82534.00	247.64	321.92
B - 2 - 1	24.70	189904.17	84401.85	253.19	312.90
B - 2 - 2	24.45	184610.76	52745.93	246.19	313.87
B - 2 - 2	24.50	216208.43	76573.82	245.08	340.87
B - 2 - 2	24.50	219757.65	71757.60	234.39	311.36
B - 3 - 1	24.26	232535.13	60286.88	216.99	273.96
B - 3 - 1	24.20	209376.70	65914.89	237.36	301.27
B - 3 - 1	24.30	188819.63	47869.77	226.64	286.27
B - 3 - 2	24.20	177049.54	51639.45	165.30	238.34
B - 3 - 2	24.30	146918.79	49762.82	205.72	275.46
B - 3 - 2	24.16	189074.06	51902.68	176.44	236.06
B - 4 - 1	23.96	193669.99	67191.63	219.48	303.50
B - 4 - 1	24.16	222216.31	64813.09	207.36	306.42
B - 4 - 1	24.06	118783.98	64556.51	197.97	252.22
B - 4 - 2	24.40	205874.52	61762.36	164.73	252.01
B - 4 - 2	24.70	179585.64	65848.07	131.70	205.38
B - 4 - 2	24.21	194150.62	59738.65	207.05	276.29
B - 5 - 1	24.60	213336.83	65940.47	241.78	278.28
B - 5 - 1	24.16	196445.18	76172.62	248.79	301.57
B - 5 - 1	24.25	239525.36	72309.54	255.54	294.87
B - 5 - 2	24.21	190927.47	104142.26	229.07	278.85
B - 5 - 2	24.55	223874.33	63964.09	238.80	283.07
B - 5 - 2	24.01	183306.74	63596.22	207.75	267.56
Promedio		219216.16	75605.78	247.83	311.95
Min		177049.54	51639.45	165.30	238.34

Valores sombreados de celeste, corresponden a los dos valores mínimos.

Valores sombreados de verde, corresponden a los dos valores máximos.

Los valores sombreados son considerados como no representativos por tanto no se le considera para el cálculo de los valores mínimos ni promedios.

Fuente: Elaboración Propia

5.2.5. *Aguano.*

Tabla 31

Compresión Paralela a las Fibras - Modulo de elasticidad para cada testigo – Aguano.

TESTIGO	AREA (cm ²)	MOE Global (kg/cm ²)	MOE Local (kg/cm ²)	E.L.P (kg/cm ²)	R.M. (kg/cm ²)
C - 1 - 1	24.35	192319.54	72573.41	256.43	313.54
C - 1 - 1	24.21	224445.70	84696.49	299.26	338.71
C - 1 - 1	24.35	235380.74	99382.98	298.15	326.77
C - 1 - 2	24.30	212156.44	58525.91	226.30	297.85
C - 1 - 2	24.50	201636.85	70946.30	255.41	305.81
C - 1 - 2	24.45	230254.09	76751.36	214.90	262.42
C - 2 - 1	23.77	191111.54	64841.41	242.07	291.31
C - 2 - 1	24.60	233474.27	70042.28	233.47	293.85
C - 2 - 1	24.25	261288.40	72271.26	226.45	320.25
C - 2 - 2	24.26	180233.29	60077.76	216.28	299.93
C - 2 - 2	24.26	288357.56	91750.13	269.13	346.85
C - 2 - 2	23.91	288348.95	86504.68	230.68	323.02
C - 3 - 1	24.60	162997.53	87320.10	163.00	232.91
C - 3 - 1	24.30	163474.66	89647.39	185.27	239.50
C - 3 - 1	24.26	154348.83	55828.30	174.93	234.26
C - 3 - 2	24.11	208104.33	61207.16	208.10	253.69
C - 3 - 2	24.40	196180.88	76766.43	235.42	281.48
C - 3 - 2	24.40	225109.58	55215.56	195.09	244.19
C - 4 - 1	23.66	211684.26	57732.07	211.68	252.17
C - 4 - 1	24.50	205043.65	64076.14	205.04	262.51
C - 4 - 1	24.35	205921.00	59400.29	205.92	256.75
C - 4 - 2	24.35	206206.73	64439.60	206.21	275.44
C - 4 - 2	24.50	211912.76	55097.32	183.66	268.67
C - 4 - 2	24.40	205100.26	64093.83	205.10	279.93
C - 5 - 1	24.21	259487.16	66252.04	207.59	264.15
C - 5 - 1	24.45	219869.65	64128.65	205.21	249.26
C - 5 - 1	24.11	208333.33	76530.61	250.00	293.06
C - 5 - 2	24.26	238993.18	73974.08	207.13	277.87
C - 5 - 2	24.50	172636.15	58769.75	184.15	235.65
C - 5 - 2	24.50	207751.87	61883.54	193.90	266.39
Promedio		211850.40	69203.11	217.72	278.29
Min		163474.66	55828.30	183.66	235.65

Valores sombreados de celeste, corresponden a los dos valores mínimos.

Valores sombreados de verde, corresponden a los dos valores máximos.

Los valores sombreados son considerados como no representativos por tanto no se le considera para el cálculo de los valores mínimos ni promedios.

Fuente: Elaboración Propia

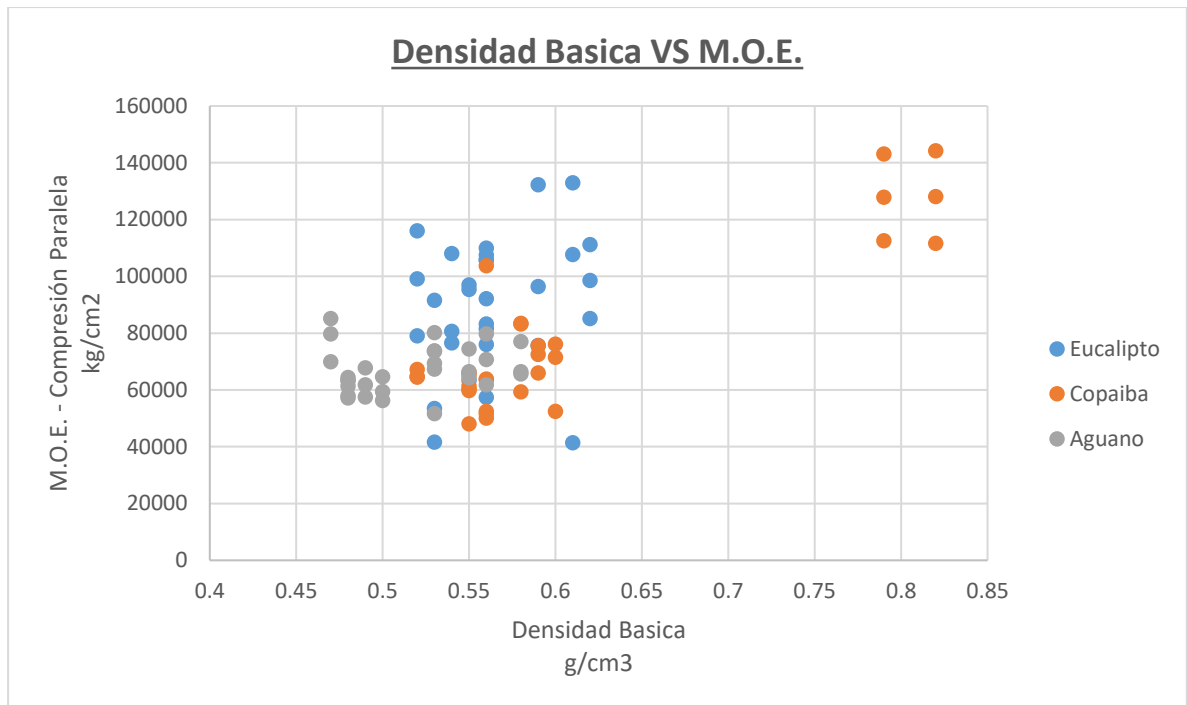


Figura 28 Densidad Básica vs. Módulo de Elasticidad a compresión paralela a las fibras

5.3. Tracción Paralela a las Fibras

5.3.1. Cálculo Del Módulo De Elasticidad a Tracción Paralela Para Cada Testigo.

Determinadas las deformaciones y cargas que generan las mismas, se calculó el módulo de elasticidad paralelo a las fibras mediante la siguiente ecuación:

$$MOE = \frac{P' * L}{A * D}$$

Donde:

- MOE : Modulo de elasticidad. (kg/cm²)
- P : Carga máxima . (kg)
- L : Distancia entre las abrazaderas del deformímetro. (cm)
- A : Área Transversal del testigo. (cm²)
- D : Deformación de la probeta al límite proporcional. (cm)

A diferencia de los ensayos a compresión paralela, en los ensayos de tracción se asume que el testigo se comporta en el rango elástico hasta alcanzar la rotura, es entonces que

el valor correspondiente a la carga al límite proporcional (P'), mencionado en los ensayos de compresión, será el mismo que el de carga máxima o de rotura (P), adicionalmente el valor del esfuerzo al límite proporcional (ELP) será el mismo que el valor de la resistencia máxima.

Con lo anterior es que se presentan las siguientes tablas 32, 33 y 34, las que contienen el módulo de elasticidad a tracción paralela a las fibras calculadas para cada uno de los 90 testigos, la carga máxima que soporto el testigo y la correspondiente resistencia máxima. Nuevamente se diferencia los módulos de elasticidad calculados a partir de los datos obtenidos de la maquina universal "MOE_{global}", de los calculados con las deformaciones registradas de los deformímetros "MOE_{local}".

5.3.2. Módulo De Elasticidad Mínimo Y Modulo De Elasticidad Promedio.

Los módulos de elasticidad mínimo y promedio a tracción paralela se determinaron de la misma forma que para los módulos de elasticidad mínimo y promedio a compresión paralela, en cuanto al 5% correspondiente al límite de exclusión tenemos:

$$0.05 * 28 = 1.4 \cong 1$$

Se consideran solo 28 datos a tracción paralela por especie, los 2 restantes sufrieron daño durante la manipulación de los testigos, antes o durante el ensayo. Se descartará un dato máximo y un dato mínimo.

5.3.3. *Eucalipto.*

Tabla 32

Tracción Paralela a las Fibras - Modulo de elasticidad para cada testigo – Eucalipto.

TESTIGO	AREA (cm ²)	MOE Global (kg/cm ²)	MOE Local (kg/cm ²)	R.M. (kg/cm ²)
M - 1 - 1*	0.35	-	-	-
M - 1 - 1	0.43	48883.82	94774.75	928.79
M - 1 - 1	0.44	115751.73	85815.94	998.89
M - 1 - 2*	0.43	-	-	-
M - 1 - 2	0.32	122736.66	79778.83	638.23
M - 1 - 2	0.42	130537.65	111434.58	913.76
M - 2 - 1	0.31	110132.16	30592.27	440.53
M - 2 - 1	0.38	131941.23	69442.75	1055.53
M - 2 - 1	0.37	141270.30	83715.73	452.06
M - 2 - 2	0.32	138361.80	108283.14	996.20
M - 2 - 2	0.29	133474.31	133474.31	694.07
M - 2 - 2	0.43	109722.59	48003.64	614.45
M - 3 - 1	0.49	43247.08	65237.12	769.80
M - 3 - 1	0.45	62560.14	97032.05	950.91
M - 3 - 1	0.34	76432.12	87015.03	1131.20
M - 3 - 2	0.44	87614.61	92871.49	928.71
M - 3 - 2	0.40	53934.72	62232.37	485.41
M - 3 - 2	0.47	59371.96	69267.29	831.21
M - 4 - 1	0.42	109229.85	80250.50	786.45
M - 4 - 1	0.37	88952.59	53653.94	676.04
M - 4 - 1	0.36	98048.92	100500.14	804.00
M - 4 - 2	0.39	130354.67	116185.68	1068.91
M - 4 - 2	0.36	129376.44	112126.25	1345.51
M - 4 - 2	0.42	154663.66	134041.84	1206.38
M - 5 - 1	0.34	146793.73	121807.56	1144.99
M - 5 - 1	0.40	114690.61	99730.97	1376.29
M - 5 - 1	0.40	141723.36	119047.62	1190.48
M - 5 - 2	0.37	86438.49	97243.30	777.95
M - 5 - 2	0.36	126096.49	111434.11	958.33
M - 5 - 2	0.41	134901.79	80941.07	890.35
	Promedio	108820.49	91588.47	893.79
	Min	48883.82	48003.64	452.06

Valores sombreados de celeste, corresponden a los dos valores mínimos.

Valores sombreados de verde, corresponden a los dos valores máximos.

Los valores sombreados son considerados como no representativos por tanto no se le considera para el cálculo de los valores mínimos ni promedios.

*= Testigos sin lectura.

Fuente: Elaboración Propia

5.3.4. *Copaiba*

Tabla 33

Tracción Paralela a las Fibras - Modulo de elasticidad para cada testigo – Copaiba.

TESTIGO	AREA (cm ²)	MOE Global (kg/cm ²)	MOE Local (kg/cm ²)	R.M. (kg/cm ²)
B - 1 - 1	0.49	78573.75	51430.09	565.73
B - 1 - 1	0.45	81904.76	119444.44	574.36
B - 1 - 1	0.48	78485.69	114709.85	601.37
B - 1 - 2	0.33	93201.79	127720.97	1379.39
B - 1 - 2	0.47	82441.51	91354.11	675.97
B - 1 - 2	0.50	92349.11	87072.02	588.83
B - 2 - 1	0.43	66316.37	91637.17	1008.01
B - 2 - 1	0.59	41695.20	105975.31	508.68
B - 2 - 1	0.52	47519.57	48707.56	779.32
B - 2 - 2	0.47	52491.60	63660.03	598.40
B - 2 - 2	0.50	67130.73	68397.35	725.01
B - 2 - 2	0.46	63481.65	60942.38	914.14
B - 3 - 1	0.45	46408.82	43830.55	631.16
B - 3 - 1	0.48	39717.53	82174.21	476.61
B - 3 - 1	0.48	53753.09	53753.09	557.85
B - 3 - 2	0.42	65862.89	208565.81	750.84
B - 3 - 2	0.46	46595.55	31063.70	503.23
B - 3 - 2*	0.47	-	-	-
B - 4 - 1	0.48	57759.00	68126.01	531.38
B - 4 - 1*	0.50	-	-	-
B - 4 - 1*	0.52	-	-	-
B - 4 - 2	0.39	75209.82	41783.23	300.84
B - 4 - 2	0.45	56628.41	101459.23	487.00
B - 4 - 2	0.45	60066.43	51347.11	640.30
B - 5 - 1	0.49	57286.07	61609.55	654.35
B - 5 - 1	0.51	63175.74	81463.45	624.51
B - 5 - 1	0.44	58887.52	67658.00	631.89
B - 5 - 2	0.48	63683.48	74297.40	719.08
B - 5 - 2	0.44	61219.39	56321.84	558.41
B - 5 - 2	0.44	68396.92	71307.43	674.62
Promedio		63492.92	75447.30	639.24
Min		41695.20	41783.23	476.61

Valores sombreados de celeste, corresponden a los dos valores mínimos.

Valores sombreados de verde, corresponden a los dos valores máximos.

Los valores sombreados son considerados como no representativos por tanto no se le considera para el cálculo de los valores mínimos ni promedios.

*= Testigos sin lectura.

Fuente: Elaboración Propia

5.3.5. *Aguano.*

Tabla 34

Tracción Paralela a las Fibras - Modulo de elasticidad para cada testigo – Aguano.

TESTIGO	AREA (cm ²)	MOE Global (kg/cm ²)	MOE Local (kg/cm ²)	R.M. (kg/cm ²)
C - 1 - 1	0.34	91631.48	122175.31	439.83
C - 1 - 1	0.43	65133.44	67234.52	416.85
C - 1 - 1	0.48	78959.82	73865.64	457.97
C - 1 - 2	0.45	37096.39	55644.59	267.09
C - 1 - 2*	-	-	-	-
C - 1 - 2*	-	-	-	-
C - 2 - 1	0.37	61979.28	90456.24	669.38
C - 2 - 1	0.45	70468.96	74383.90	267.78
C - 2 - 1	0.41	82190.01	82190.01	295.88
C - 2 - 2	0.30	80026.46	100033.07	400.13
C - 2 - 2	0.37	60729.91	74744.51	388.67
C - 2 - 2	0.43	33999.73	34772.45	306.00
C - 3 - 1	0.37	62398.21	62398.21	636.46
C - 3 - 1	0.40	63242.55	55082.22	683.02
C - 3 - 1	0.42	53050.12	80139.55	753.31
C - 3 - 2	0.55	47026.74	65837.43	526.70
C - 3 - 2	0.37	54783.37	34766.37	361.57
C - 3 - 2	0.43	56619.48	60272.35	373.69
C - 4 - 1	0.45	39023.59	75191.80	639.49
C - 4 - 1	0.36	42380.96	42380.96	305.14
C - 4 - 1	0.37	54652.98	69558.34	306.06
C - 4 - 2	0.38	57514.99	33550.41	322.08
C - 4 - 2	0.36	58546.91	44607.17	374.70
C - 4 - 2	0.48	41663.69	55176.24	408.30
C - 5 - 1	0.39	73426.52	59029.16	602.10
C - 5 - 1	0.34	73284.56	90872.85	908.73
C - 5 - 1	0.42	87177.73	77903.50	732.29
C - 5 - 2	0.38	84245.16	93782.34	994.09
C - 5 - 2	0.50	55076.34	101269.40	627.87
C - 5 - 2	0.37	83863.18	83863.18	888.95
	Promedio	62483.13	69440.62	503.58
	Min	37096.39	34766.37	267.78

Valores sombreados de celeste, corresponden a los dos valores mínimos.

Valores sombreados de verde, corresponden a los dos valores máximos.

Los valores sombreados son considerados como no representativos por tanto no se le considera para el cálculo de los valores mínimos ni promedios.

*= Testigos sin lectura.

Fuente: Elaboración Propia

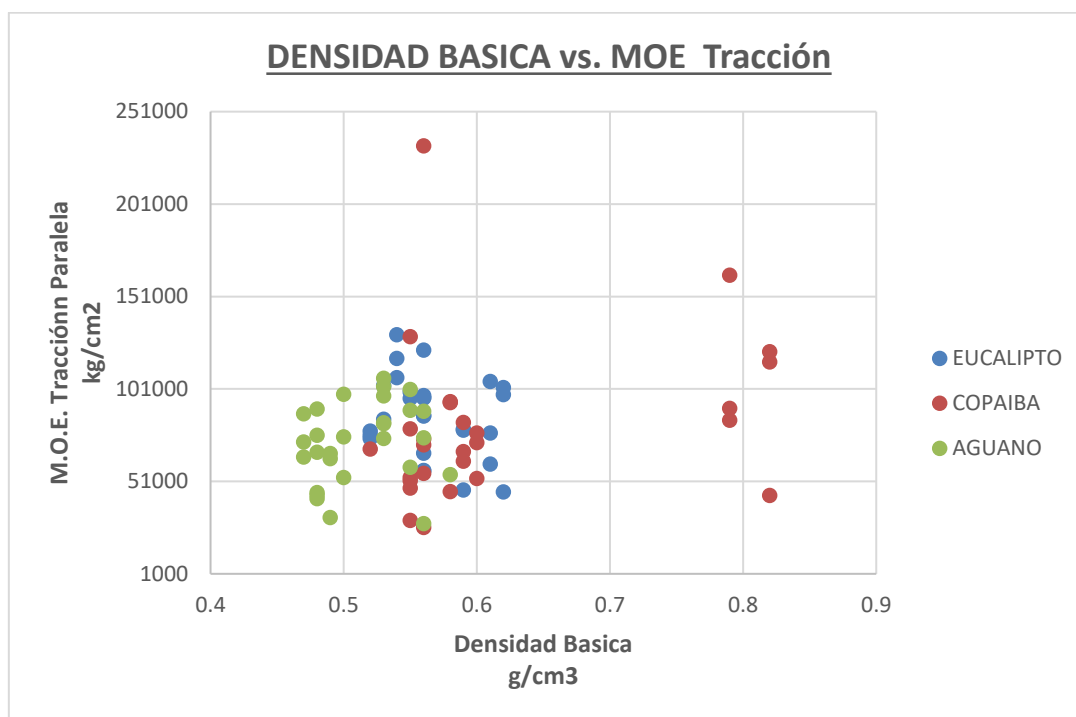


Figura 29 Densidad Básica vs. Módulo de elasticidad a Tracción paralela

5.4. Comparación entre el Módulo de Elasticidad en Tracción y Compresión Paralela a las Fibras.

La relación entre el módulo de elasticidad a tracción y el de compresión “ MOE_t/MOE_c ”, no es más que la división de ambos valores.

En las tablas 29, 30 y 31 se muestran los módulos de elasticidad promedio determinados para las tres especies objeto de estudio por la investigación con estos valores podría confirmársele un grupo estructural para cada especie, estando todos estos valores dentro de los rangos establecidos por la norma E.10 con excepción de los valores correspondientes a los Módulos de elasticidad promedio a compresión paralela global (MOE_{global}) de las tres especies, siendo estos valores muy altos (sobre los 200 000 kg /cm²) en comparación incluso con el grupo estructural A , cuyo valor promedio es de apenas 130 000 kg/cm², esto se debería a que el MOE_{global} es calculado con los desplazamientos del plato que transmite la carga del equipo de ensayos, mientras que el MOE_{local} es calculado con los

desplazamiento medidos en el mismo testigo, por tanto el investigador consideró estos resultados alejados de la realidad así mismo no considerados para determinar una relación entre módulos de elasticidad.

Entonces la relación “ MOE_t/MOE_c ”, se determinará únicamente entre los $MOE_{locales}$.

Para determinar la relación “ MOE_t/MOE_c ” promedio de cada especie, aplicaremos un límite de exclusión correspondiente al cinco por ciento mediante el cual se podrá eliminar los valores extremos (máximos y mínimos). Al tener en promedio 28 valores validos (los testigos de tracción faltantes, si bien fueron ensayados no fue posible obtener registro alguno de las deformaciones o sufrieron daño durante su manipulación) tenemos:

$$0.05 * 28 = 1.4 \approx 1$$

Se descartará un valor máximo y un valor mínimo, en las tablas 35 36 y 37 los valores sombreados son los valores máximo y mínimo que fueron descartados, la media aritmética de los datos restantes será el valor promedio de la relación “ MOE_t/MOE_c ” de cada especie.

5.4.1. *Eucalipto.*

Tabla 35

Relación entre el módulo de elasticidad a tracción y compresión paralela a las fibras - Eucalipto.

TESTIGO	Tracción	Compresión	Relación
	MOE local	MOE local	MOEt/MOEc
M - 1 - 1*	-	63760.98	-
M - 1 - 1	94774.75	97239.60	0.97
M - 1 - 1	85815.94	90923.59	0.94
M - 1 - 2*	-	96775.63	-
M - 1 - 2	79778.83	50977.36	1.56
M - 1 - 2	111434.58	63056.88	1.77
M - 2 - 1	30592.27	45591.90	0.67
M - 2 - 1	69442.75	114093.54	0.61
M - 2 - 1	83715.73	114571.65	0.73
M - 2 - 2	108283.14	101344.97	1.07
M - 2 - 2	133474.31	81650.76	1.63
M - 2 - 2	48003.64	102078.80	0.47
M - 3 - 1	65237.12	81506.73	0.80
M - 3 - 1	97032.05	89138.54	1.09
M - 3 - 1	87015.03	59260.36	1.47
M - 3 - 2	92871.49	85040.68	1.09
M - 3 - 2	62232.37	102811.44	0.61
M - 3 - 2	69267.29	87094.10	0.80
M - 4 - 1	80250.50	143728.74	0.56
M - 4 - 1	53653.94	72148.22	0.74
M - 4 - 1	100500.14	95355.86	1.05
M - 4 - 2	116185.68	71199.61	1.63
M - 4 - 2	112126.25	102515.04	1.09
M - 4 - 2	134041.84	102649.35	1.31
M - 5 - 1	121807.56	101869.87	1.20
M - 5 - 1	99730.97	82517.30	1.21
M - 5 - 1	119047.62	76590.86	1.55
M - 5 - 2	97243.30	114966.30	0.85
M - 5 - 2	111434.11	74565.91	1.49
M - 5 - 2	80941.07	97220.19	0.83
Promedio**			1.06

Valores sombreados de celeste, corresponden a los dos valores mínimos.

Valores sombreados de verde, corresponden a los dos valores máximos.

Los valores sombreados son considerados como no representativos por tanto no se le considera para el cálculo de los valores mínimos ni promedios.

*= Testigos sin lectura.

**= Media aritmética de los valores representativos.

Fuente: Elaboración Propia

5.4.2. *Copaiba.*

Tabla 36

Relación entre el módulo de elasticidad a tracción y compresión paralela a las fibras - Copaiba.

TESTIGO	Tracción	Compresión	Relación
	MOE local	MOE local	MOEt/MOEc
B - 1 - 1	51430.09	111747.09	0.46
B - 1 - 1	119444.44	127520.19	0.94
B - 1 - 1	114709.85	143011.87	0.80
B - 1 - 2	127720.97	112226.12	1.14
B - 1 - 2	91354.11	127231.30	0.72
B - 1 - 2	87072.02	143844.70	0.61
B - 2 - 1	91637.17	59232.91	1.55
B - 2 - 1	105975.31	82534.00	1.28
B - 2 - 1	48707.56	84401.85	0.58
B - 2 - 2	63660.03	52745.93	1.21
B - 2 - 2	68397.35	76573.82	0.89
B - 2 - 2	60942.38	71757.60	0.85
B - 3 - 1	43830.55	60286.88	0.73
B - 3 - 1	82174.21	65914.89	1.25
B - 3 - 1	53753.09	47869.77	1.12
B - 3 - 2	208565.81	51639.45	4.04
B - 3 - 2	31063.70	49762.82	0.62
B - 3 - 2*	-	51902.68	-
B - 4 - 1	68126.01	67191.63	1.01
B - 4 - 1*	-	64813.09	-
B - 4 - 1*	-	64556.51	-
B - 4 - 2	41783.23	61762.36	0.68
B - 4 - 2	101459.23	65848.07	1.54
B - 4 - 2	51347.11	59738.65	0.86
B - 5 - 1	61609.55	65940.47	0.93
B - 5 - 1	81463.45	76172.62	1.07
B - 5 - 1	67658.00	72309.54	0.94
B - 5 - 2	74297.40	104142.26	0.71
B - 5 - 2	56321.84	63964.09	0.88
B - 5 - 2	71307.43	63596.22	1.12
Promedio**			0.96

- Valores sombreados de celeste, corresponden a los dos valores mínimos.

- Valores sombreados de verde, corresponden a los dos valores máximos.

- Los valores sombreados son considerados como no representativos por tanto no se le considera para el cálculo de los valores mínimos ni promedios.

*= Testigos sin lectura.

**= Media aritmética de los valores representativos.

Fuente: Elaboración Propia

5.4.3. *Aguano.*

Tabla 37

Relación entre el módulo de elasticidad a tracción y compresión paralela a las fibras - Aguano.

TESTIGO	Tracción	Compresión	Relación
	MOE local	MOE local	MOEt/MOEc
C - 1 - 1	122175.31	72573.41	1.68
C - 1 - 1	67234.52	84696.49	0.79
C - 1 - 1	73865.64	99382.98	0.74
C - 1 - 2	55644.59	58525.91	0.95
C - 1 - 2*	-	70946.30	-
C - 1 - 2*	-	76751.36	-
C - 2 - 1	90456.24	64841.41	1.40
C - 2 - 1	74383.90	70042.28	1.06
C - 2 - 1	82190.01	72271.26	1.14
C - 2 - 2	100033.07	60077.76	1.67
C - 2 - 2	74744.51	91750.13	0.81
C - 2 - 2	34772.45	86504.68	0.40
C - 3 - 1	62398.21	87320.10	0.71
C - 3 - 1	55082.22	44782.29	1.23
C - 3 - 1	80139.55	55828.30	1.44
C - 3 - 2	65837.43	61207.16	1.08
C - 3 - 2	34766.37	76766.43	0.45
C - 3 - 2	60272.35	55215.56	1.09
C - 4 - 1	75191.80	57732.07	1.30
C - 4 - 1	42380.96	64076.14	0.66
C - 4 - 1	69558.34	59400.29	1.17
C - 4 - 2	77327.52	64439.60	1.20
C - 4 - 2	44607.17	55097.32	0.81
C - 4 - 2	55176.24	64093.83	0.86
C - 5 - 1	59029.16	66252.04	0.89
C - 5 - 1	90872.85	64128.65	1.42
C - 5 - 1	77903.50	76530.61	1.02
C - 5 - 2	93782.34	73974.08	1.27
C - 5 - 2	101269.40	58769.75	1.72
C - 5 - 2	83863.18	61883.54	1.36
Promedio**			1.08

- Valores sombreados de celeste, corresponden a los dos valores mínimos.

- Valores sombreados de verde, corresponden a los dos valores máximos.

- Los valores sombreados son considerados como no representativos por tanto no se le considera para el cálculo de los valores mínimos ni promedios.

*= Testigos sin lectura.

**= Media aritmética de los valores representativos.

Fuente: Elaboración Propia

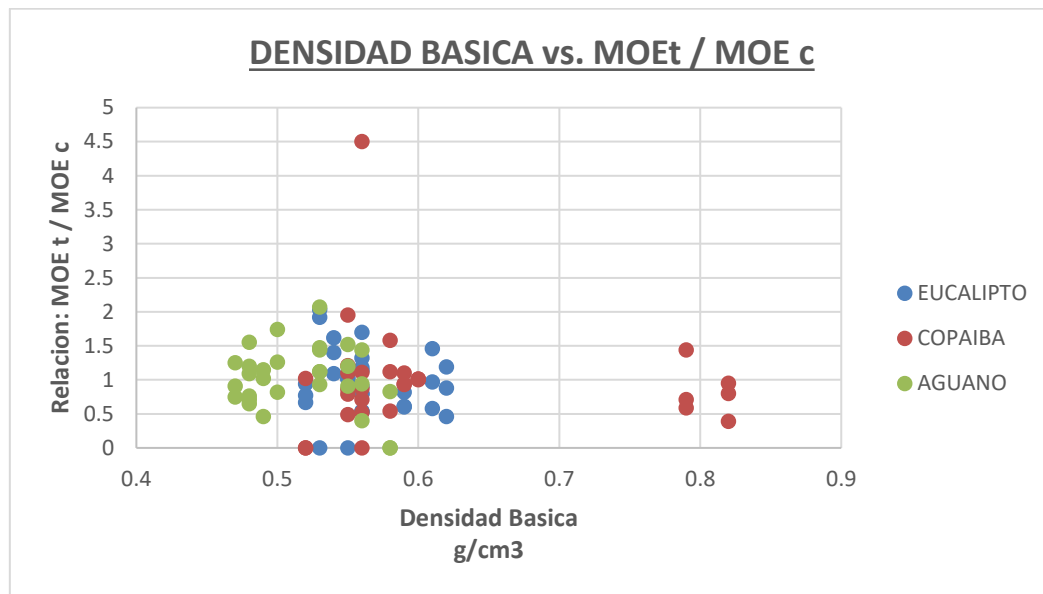


Figura 30 Densidad básica Vs. Relación entre módulo de elasticidad a tracción y compresión paralela a las fibras.

5.5. Evaluación estadística de los datos

El análisis de variables aleatorias, variables de las que su probabilidad de eventos posibles es mayor que uno, amerita el uso de métodos diferentes para generar una distribución de probabilidades que se ajuste al comportamiento de este fenómeno.

Las distribuciones de probabilidad continua pueden tomar varias formas, pero un gran número de variables aleatorias observadas en la naturaleza poseen una distribución de frecuencia que tiene más o menos la forma de montículo, o como diría un estadístico, es de aproximadamente una distribución normal. La experiencia para datos de madera, evidencia que los datos posibles para las propiedades mecánicas de la madera, no se ajustan fehacientemente a alguna distribución existente, es bajo esta premisa que se evaluarán los datos obtenidos, determinando además de sus medidas de tendencia (media, desviación estándar), los valores de asimetría y valor de Courtosis, estos últimos con respecto a una distribución normal.

Adicionalmente, se ha intentado buscar alguna distribución de probabilidades que se ajuste a los datos obtenidos, para esto se ha recurrido al análisis de los datos mediante el programa estadístico EASY FIT en su versión gratuita. En las siguientes tablas 38 y 39 se presentan los cinco mejores ajustes encontrados para los MOE y las RM de cada especie, el orden de prelación se efectuó en función a la bondad de ajuste otorgada por el Método de Anderson Darling.

5.5.1. Análisis Estadístico – Tracción Paralela a las Fibras

Tabla 38 - Análisis Estadístico – Tracción Paralela a las Fibras

Tabla 38								
Análisis Estadístico - Datos ensayos a traccion Paralela - todos los especimenes.								
TESTIGO	MOE Local (kg/cm2)	R.M. (kg/cm2)	TESTIGO	MOE Local (kg/cm2)	R.M. (kg/cm2)	TESTIGO	MOE Local (kg/cm2)	R.M. (kg/cm2)
M - 1 - 1	*	*	B - 1 - 1	43328.67	565.73	C - 1 - 1	87558.97	439.83
M - 1 - 1	99275.1	928.79	B - 1 - 1	121074.27	574.36	C - 1 - 1	64190.48	416.85
M - 1 - 1	95931.7	998.89	B - 1 - 1	115636.65	601.37	C - 1 - 1	72232.9	457.97
M - 1 - 2	*	*	B - 1 - 2	162596.35	1379.39	C - 1 - 2	54576.06	267.09
M - 1 - 2	84556.82	638.23	B - 1 - 2	90512.57	675.97	C - 1 - 2	*	*
M - 1 - 2	102821.9	913.76	B - 1 - 2	84006.32	588.83	C - 1 - 2	*	*
M - 2 - 1	60286.64	440.53	B - 2 - 1	94093.35	1008.01	C - 2 - 1	82654.43	669.38
M - 2 - 1	104985.49	1055.53	B - 2 - 1	93558.64	508.68	C - 2 - 1	74281.45	267.78
M - 2 - 1	77112.35	452.06	B - 2 - 1	45423.49	779.32	C - 2 - 1	82190.01	295.88
M - 2 - 2	97859.62	996.2	B - 2 - 2	52538.88	598.4	C - 2 - 2	88926.74	400.13
M - 2 - 2	101691.84	694.07	B - 2 - 2	77198.72	725.01	C - 2 - 2	74607.86	388.67
M - 2 - 2	45338.09	614.45	B - 2 - 2	72048	914.14	C - 2 - 2	28196.8	306
M - 3 - 1	86685.59	769.8	B - 3 - 1	47410.79	631.16	C - 3 - 1	53054.01	636.46
M - 3 - 1	56849.11	950.91	B - 3 - 1	79436.57	476.61	C - 3 - 1	75089.15	683.02
M - 3 - 1	97463.08	1131.2	B - 3 - 1	53037.03	557.85	C - 3 - 1	98137.75	753.31
M - 3 - 2	96091.77	928.71	B - 3 - 2	232554.91	750.84	C - 3 - 2	66090.42	526.7
M - 3 - 2	56722.76	485.41	B - 3 - 2	25993.38	503.23	C - 3 - 2	31395.32	361.57
M - 3 - 2	66237.51	831.21	B - 3 - 2	*	*	C - 3 - 2	63298.1	373.69
M - 4 - 1	79242.5	786.45	B - 4 - 1	68579.12	531.38	C - 4 - 1	90101.27	639.49
M - 4 - 1	46257.04	676.04	B - 4 - 1	*	*	C - 4 - 1	44910.45	305.14
M - 4 - 1	78672.15	804	B - 4 - 1	*	*	C - 4 - 1	66762.71	306.06
M - 4 - 2	122064.36	1068.91	B - 4 - 2	29972.71	300.84	C - 4 - 2	75986.31	322.08
M - 4 - 2	96294.87	1345.51	B - 4 - 2	129197.74	487	C - 4 - 2	43499.38	374.7
M - 4 - 2	86344.89	1206.38	B - 4 - 2	51298.57	640.3	C - 4 - 2	41597.3	408.3
M - 5 - 1	117584.13	1144.99	B - 5 - 1	61996.84	654.35	C - 5 - 1	58603.85	602.1
M - 5 - 1	107182.49	1376.29	B - 5 - 1	82891.96	624.51	C - 5 - 1	100789.02	908.73
M - 5 - 1	130319.56	1190.48	B - 5 - 1	67075.84	631.89	C - 5 - 1	89419.22	732.29
M - 5 - 2	78121.52	777.95	B - 5 - 2	73891.38	719.08	C - 5 - 2	102235.32	994.09
M - 5 - 2	74289.56	958.33	B - 5 - 2	55395.24	558.41	C - 5 - 2	106689.1	627.87
M - 5 - 2	76006.89	890.35	B - 5 - 2	70715.6	674.62	C - 5 - 2	97185.95	888.95
Mediana	86515.240	921.235		72048.000	624.510		74444.655	428.340
Des. Est.	21790.143	249.515		43288.642	200.203		21736.834	210.156
Coef. Var.	25.186	27.085		60.083	32.058		29.199	49.063
Coef. Asimetria	-0.114	-0.032		1.915	1.970		-0.336	0.768
Curtosis	-0.394	-0.438		5.010	6.158		-0.691	-0.414
Mejor Bondad de ajuste, según la Prueba de Anderson Darling								
1	Chi-Squared	Normal		Log-Logistic (3P)	Burr		Johnson SB	Johnson SB
2	Gen. Extreme Value	Gen. Extreme Value		Frechet (3P)	Log-Logistic (3P)		Gen. Extreme Value	Gen. Pareto
3	Johnson SB	Johnson SB		Pearson 5 (3P)	Cauchy		Log-Pearson 3	Fatigue Life (3P)
4	Normal	Chi-Squared (2P)		Gen. Extreme Value	Log-Logistic		Weibull (3P)	Lognormal (3P)
5	Error	Log-Logistic (3P)		Lognormal	Frechet (3P)		Error	Inv. Gaussian (3P)

5.5.2. Análisis Estadístico – Compresión Paralela a las Fibras

Tabla 39 - Análisis Estadístico – Compresión Paralela a las Fibras

Tabla 39								
Análisis Estadístico - Datos ensayos a compresion Paralela - todos los especimenes.								
TESTIGO	MOE Local (kg/cm2)	R.M. (kg/cm2)	TESTIGO	MOE Local (kg/cm2)	R.M. (kg/cm2)	TESTIGO	MOE Local (kg/cm2)	R.M. (kg/cm2)
M - 1 - 1	63760.98	244.22	B - 1 - 1	111747.09	421.08	C - 1 - 1	72573.41	313.54
M - 1 - 1	97239.60	353.75	B - 1 - 1	127520.19	447.25	C - 1 - 1	84696.49	338.71
M - 1 - 1	90923.59	331.38	B - 1 - 1	143011.87	470.79	C - 1 - 1	99382.98	326.77
M - 1 - 2	96775.63	333.25	B - 1 - 2	112226.12	437.12	C - 1 - 2	58525.91	297.85
M - 1 - 2	50977.36	210.16	B - 1 - 2	127231.30	410.81	C - 1 - 2	70946.30	305.81
M - 1 - 2	63056.88	222.09	B - 1 - 2	143844.70	469.12	C - 1 - 2	76751.36	262.42
M - 2 - 1	45591.90	299.11	B - 2 - 1	59232.91	323.59	C - 2 - 1	64841.41	291.31
M - 2 - 1	114093.54	385.57	B - 2 - 1	82534.00	321.92	C - 2 - 1	70042.28	293.85
M - 2 - 1	114571.65	267.87	B - 2 - 1	84401.85	312.90	C - 2 - 1	72271.26	320.25
M - 2 - 2	101344.97	337.78	B - 2 - 2	52745.93	313.87	C - 2 - 2	60077.76	299.93
M - 2 - 2	81650.76	297.33	B - 2 - 2	76573.82	340.87	C - 2 - 2	91750.13	346.85
M - 2 - 2	102078.80	362.96	B - 2 - 2	71757.60	311.36	C - 2 - 2	86504.68	323.02
M - 3 - 1	81506.73	318.49	B - 3 - 1	60286.88	273.96	C - 3 - 1	87320.10	232.91
M - 3 - 1	89138.54	365.18	B - 3 - 1	65914.89	301.27	C - 3 - 1	89647.39	239.50
M - 3 - 1	59260.36	190.88	B - 3 - 1	47869.77	286.27	C - 3 - 1	55828.30	234.26
M - 3 - 2	85040.68	324.76	B - 3 - 2	51639.45	238.34	C - 3 - 2	61207.16	253.69
M - 3 - 2	102811.44	402.38	B - 3 - 2	49762.82	275.46	C - 3 - 2	76766.43	281.48
M - 3 - 2	87094.10	237.89	B - 3 - 2	51902.68	236.06	C - 3 - 2	55215.56	244.19
M - 4 - 1	143728.74	352.98	B - 4 - 1	67191.63	303.50	C - 4 - 1	57732.07	252.17
M - 4 - 1	72148.22	352.78	B - 4 - 1	64813.09	306.42	C - 4 - 1	64076.14	262.51
M - 4 - 1	95355.86	387.29	B - 4 - 1	64556.51	252.22	C - 4 - 1	59400.29	256.75
M - 4 - 2	71199.61	276.25	B - 4 - 2	61762.36	252.01	C - 4 - 2	64439.60	275.44
M - 4 - 2	102515.04	325.55	B - 4 - 2	65848.07	205.38	C - 4 - 2	55097.32	268.67
M - 4 - 2	102649.35	316.09	B - 4 - 2	59738.65	276.29	C - 4 - 2	64093.83	279.93
M - 5 - 1	101869.87	383.59	B - 5 - 1	65940.47	278.28	C - 5 - 1	66252.04	264.15
M - 5 - 1	82517.30	235.30	B - 5 - 1	76172.62	301.57	C - 5 - 1	64128.65	249.26
M - 5 - 1	76590.86	291.68	B - 5 - 1	72309.54	294.87	C - 5 - 1	76530.61	293.06
M - 5 - 2	114966.30	440.93	B - 5 - 2	104142.26	278.85	C - 5 - 2	73974.08	277.87
M - 5 - 2	74565.91	305.41	B - 5 - 2	63964.09	283.07	C - 5 - 2	58769.75	235.65
M - 5 - 2	97220.19	392.90	B - 5 - 2	63596.22	267.56	C - 5 - 2	61883.54	266.39
Mediana	90031.063	325.155		65927.681	301.420		65546.728	276.655
Des. Est.	21090.170	62.134		28078.443	70.983		12110.263	32.123
Coef. Var.	23.425	19.109		42.590	23.550		18.476	11.611
Coef. Asimetría	0.105	-0.282		1.222	1.016		0.796	0.400
Curtois	0.524	-0.500		0.356	0.177		-0.255	-0.734
Mejor Bondad de ajuste, según la Prueba de Anderson Darling								
1 Weibull (3P)	Burr		Log-Logistic (3P)	Burr		Gen. Extreme Value	Johnson SB	
2 Johnson SB	Johnson SB		Frechet (3P)	Log-Logistic (3P)		Gamma (3P)	Gen. Pareto	
3 Log-Logistic (3P)	Gen. Extreme Value		Pearson 5 (3P)	Gen. Extreme Value		Fatigue Life (3P)	Gen. Extreme Value	
4 Log-Pearson 3	Weibull (3P)		Lognormal (3P)	Frechet (3P)		Log-Pearson 3	Log-Pearson 3	
5 Normal	Log-Pearson 3		Inv. Gaussian (3P)	Pearson 5 (3P)		Lognormal (3P)	Lognormal (3P)	

Sobre el análisis descriptivo de los datos podemos decir los siguiente

Para el análisis descriptivo de los datos únicamente podemos recurrir al análisis de la desviación estándar para alcanzar alguna conclusión, pues para el acuerdo de Cartagena el cálculo de los valores representativos, promedio o media aritmética, es calculado bajo otros criterios, mismos que se detallan en el numeral 5.2.2. “Módulo de elasticidad mínimo y Modulo de elasticidad promedio”.

Sobre la desviación estándar y su correspondiente coeficiente de variación no se ha encontrado bibliografía o antecedentes que establezcan valores estándares o rangos que permitan evaluar la calidad estadística de este tipo de datos en específico, propiedades mecánicas de especies madereras, pese a esto se citan tres autores que establecen rangos para verificar la calidad estadística en función del valor del coeficiente de variación.

- Según la DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística)- - Censo General 2005 Colombia.
 - o Valores menores del 7% : Es Precisa.
 - o Valores entre 8% y 14% : Precisión Aceptable.
 - o Valores entre 15% y 20% : Precisión Regular.
 - o Valores mayores al 20% : Poca Precisión

- Pimentel (1985), para ensayos agrícolas en campo:
 - o Valores menores a 10% : Dispersión Baja.
 - o Valores entre 10% y 20% : Dispersión Media.
 - o Valores entre 20% y 30% : Dispersión Alta.
 - o Valores mayores a 30% : Dispersión Muy Alta

Una gran cantidad de investigadores (Gomes y Gomes. 1984; Martinez 1988; Patel et al. 2001), indican que, si el valor del coeficiente de variación supera los 30%, los datos deben ser descartados por la baja precisión que se tuvo.

La tabla 40 Presenta un resumen de los valores de desviación estandar y coeficiente de variación obtenidos del análisis estadístico así tenemos:

Tabla 40

Análisis Estadístico - Varianza y Coeficiente de Variación

ESPECIE	Densidad básica (g/cm ³)	<i>MOE Compresión Paralela</i>		<i>MOE Tracción paralela</i>	
		Desviacion Estandar	Coef. Variación (%)	Desviacion Estandar	Coef. Variación (%)
Eucalipto	0.56	21090.17	23.43	25549.99	27.23
Copaiba	0.61	28078.44	42.59	35902.74	52.49
Aguano	0.52	12110.26	18.48	21753.05	30.33

Fuente: Elaboración Propia.

En cuanto a la presente investigación los datos obtenidos para las tres especies nos presentan coeficientes de variación de hasta 50% lo que se traduce en una dispersión extremadamente alta, esto evidencia la alta variación en los valores de las propiedades mecánicas de madera aun entre especímenes de la misma especie, el Manual del Acuerdo de Cartagena , ya contempla este alto grado de dispersión, es por eso que no emplea métodos estadísticos para la determinación de los valores representativos.

CAPITULO 6 . Resultados Y Discusión

6.1. Contenido de Humedad (CH)

Se determinó el contenido de humedad de cada testigo inmediatamente después de cada tanda de ensayos (aproximadamente 20 testigos por jornada).

Las trozas de cada árbol fueron secadas protegidas del sol al aire libre durante un tiempo aproximado de 4 meses (enero 2018 – mayo 2018). La Confederación Peruana de la madera CPM en su publicación “Compendio de información técnica de 32 especies forestales, Tomo I y II” propone un tiempo de secado para el Eucalipto, Copaiba y Aguano de 55, 53 y 71 días respectivamente, para disminuir el CH de 71% a 20 %, entonces al estar las trozas, objeto de este estudio, secando durante 120 días con un CH inicial del 35%(aproximadamente el valor del Punto de Saturación de las Fibras), se deduce entonces que los testigos han alcanzado el equilibrio con las condiciones ambientales por lo que el contenido de humedad (CH) determinado luego de cada ensayo correspondería al valor del Contenido de Humedad Equilibrio (CHE).

Se presenta el valor promedio del CH de cada especie, correspondiente a la media aritmética del total de los valores hallados.

Tabla 41
Contenido de humedad equilibrio

ESPECIE	COMPRESION TRACCIÓN	
	C.H. (%)	C.H. (%)
Eucalipto	8.26	9.34
Copaiba	10.34	8.97
Aguano	9.81	9.42

Fuente: Elaboración Propia

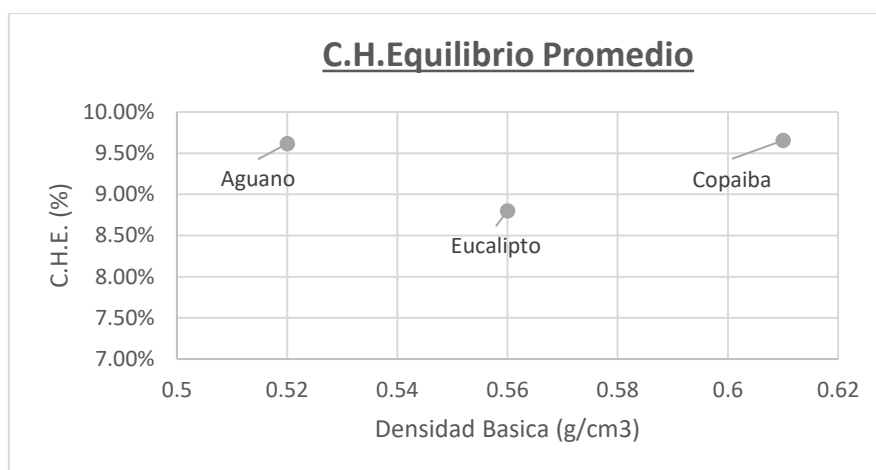


Figura 31 Resultados Contenido de Humedad equilibrio Vs. Densidad Básica

6.2. Densidad Básica

La norma e.010 nos permite “pre-clasificar” en un grupo estructural los árboles a partir de su densidad básica, dichos grupos están delimitados por los rangos:

Tabla 42

Rangos de Densidad Básica por grupo.

Grupo	Densidad Básica (g/cm ³)
A	≥ 0.71
B	0.56 0.70
C	0.40 a 0.55

Fuente: NTP Madera Norma E.010

Se determinó la densidad básica de cada árbol, para esto se obtuvo una muestra de cada troza haciendo en total dos muestras por árbol y 10 muestras por especie. La tabla 43 presenta el valor promedio de la Densidad básica correspondiente al promedio aritmético de los 10 valores obtenidos para cada árbol. Además, establece preliminarmente el grupo estructural al cual pertenecería cada especie.

Tabla 43

Densidad básica - Valor promedio de cada especie.

ESPECIE	Densidad Básica (g/cm ³)	GRUPO
Eucalipto	0.56	B
Copaiba	0.61	B
Aguano	0.52	C

Fuente: Elaboración propia

La publicación “Compendio de información técnica de 32 especies forestales, Tomo I y II” de la Confederación Peruana de la Madera CPM, da los valores correspondientes a la densidad básica del Eucalipto, Copaiba y Aguano siendo estos: 0.57 g/cm³, 0.61 g/cm³, 0.45g/cm³ respectivamente, lo que nos permite corroborar los valores hallados por la presente investigación, para el eucalipto y la Copaiba, Con respecto al Aguano, el valor calculado es un 15 % mayor, de lo que podría desprenderse que el aguano comercializado en la ciudad del Cusco podría presentar mejores propiedades mecánicas, esto no tendrá relevancia al momento del diseño pues una vez que la madera se clasifica en un grupo estructural, se usan los valores que la norma propone para el grupo estructural.

6.3. Esfuerzo al Limite Proporcional y Resistencia Máxima

6.3.1. Compresión Paralela a las Fibras.

Para especies de madera Latifoliada se espera que la resistencia máxima a la compresión sea entre un 20 y 25 % mayor que tal resistencia al límite proporcional.

En madera, un mayor valor en la densidad básica es relacionado con mayores valores de resistencia, pese a esto, el eucalipto, que tiene una densidad básica igual a 0.56 (g/cm³), tiene un valor de resistencia a la compresión paralela 3% mayor que la resistencia a la compresión paralela de la copaiba, que tiene una densidad básica de 0.61(g/cm³), si hacemos esta misma comparación entre la copaiba y el aguano, se cumple lo esperado pues la copaiba especie de una densidad básica mayor presenta mayores valores de resistencia.

Tabla 46

Esfuerzo al límite proporcional y Resistencia máxima por compresión paralela.

ESPECIE	E.L.P (kg/cm ²)	R.M. (kg/cm ²)	Variación del RM con respecto al ELP (%)
Eucalipto	267.70	319.65	19.41
Copaiba	247.83	310.02	25.09
Aguano	217.72	278.29	27.82

Fuente: Elaboración Propia.

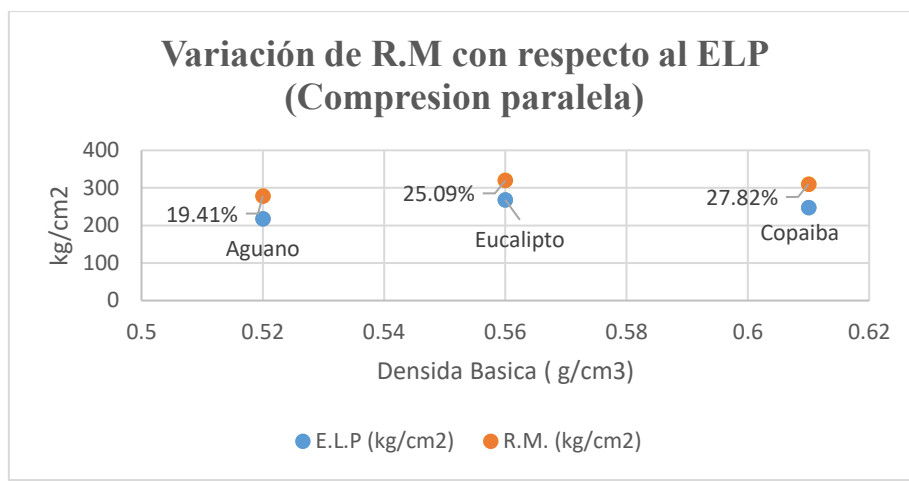


Figura 32 Variación de la Resistencia Máxima con respecto al Esfuerzo al Limite Proporcional.

6.3.2. Tracción Paralela a las Fibras.

Se ha asumido que el comportamiento en tracción de la madera se da siempre en el rango elástico, por tanto, en tracción dejaría de tomarse en cuenta el esfuerzo al límite proporcional (E.L.P.) y se tomaría como única referencia la carga que lleva al espécimen a la rotura es decir la Resistencia Máxima (R.M.). La resistencia máxima promedio que se presenta para cada especie, es el promedio aritmético de los datos válidos.

Tabla 47
Resistencia máxima a la tracción paralela.

ESPECIE	R.M. (kg/cm2)
Eucalipto	893.79
Copaiba	639.24
Aguano	503.58

Fuente: Elaboración Propia.

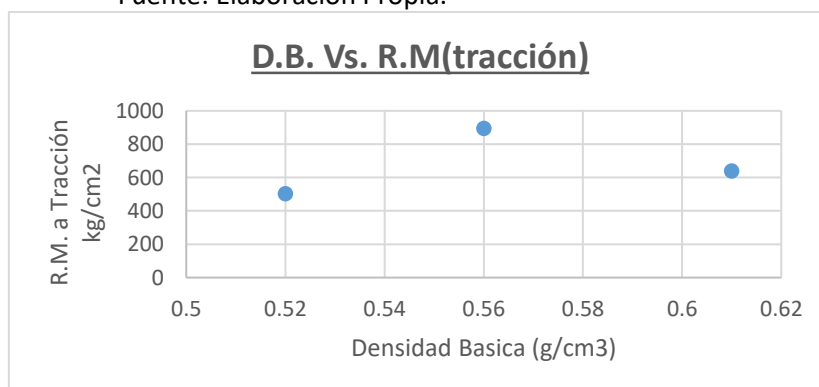


Figura 33 Variación de la Resistencia Máxima con respecto a la Densidad Básica.

Nuevamente el eucalipto presenta un mayor valor de resistencia frente a la copaiba pese a la diferencia de densidades básicas, pero en este caso la resistencia a la tracción paralela del eucalipto es un 39.82 % mayor que a la tracción de la copaiba, mientras que el valor del MOE a tracción del eucalipto es solo 21.39 % mayor que el MOE a tracción de la copaiba.

6.4. Relación entre la resistencia a la tracción y la resistencia a la compresión paralela a las fibras.

En cuanto a la resistencia a la tracción está caracterizada por la resistencia máxima, mientras la resistencia a la compresión se caracteriza por el esfuerzo al límite proporcional.

“Para testigos de madera Latifoliada libre de defectos usualmente la resistencia a la tracción es aproximadamente el doble de la resistencia a la compresión” (Junta del acuerdo de Cartagena, 1984, págs. 1-22). Esto se cumple para dos de las tres especies estudiadas la Copaiba y el Aguano, para el eucalipto la resistencia a la tracción es casi el tripe de la resistencia a la compresión. En el punto 6.5.2 se evidencia el comportamiento superlativo del eucalipto ante sollicitaciones de tracción.

Tabla 48

Relación entre RM tracción y RM Compresión.

ESPECIE	RM t / RM c
Eucalipto	2.80
Copaiba	2.06
Aguano	1.81

Fuente: Elaboración Propia.

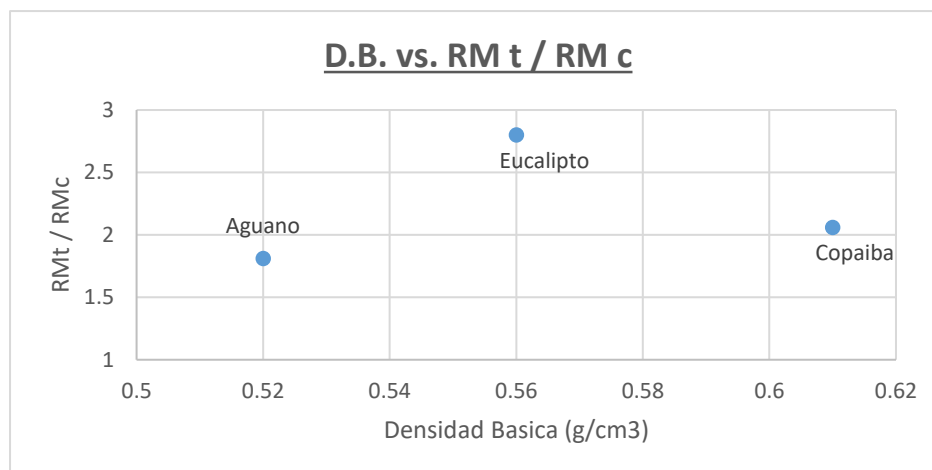


Figura 34 Variación de la Relación entre la resistencia máxima a la tracción y la resistencia máxima a la compresión paralela respecto a la densidad básica.

6.5. Módulos de Elasticidad

6.5.1. Compresión Paralela a las Fibras

A partir de los ensayos a compresión paralela en los testigos de madera libres de defectos se obtienen los valores que definen las curva Esfuerzo – Deformación para las tres especies objeto de estudio. De un total de 30 testigos ensayados para cada especie, luego de aplicar un límite de exclusión del 5%, se obtiene un MOE promedio en el rango elástico.

Además, se presenta el MOE mínimo; criterio abordado por la vigente Norma E.010.

Tabla 44

Módulos de elasticidad a compresión paralela

ESPECIE	MOE de la Especie (Kg/cm ²)	
	Local	
	MOE min	MOE prom
Eucalipto	59260.36	88730.02
Copaiba	51639.45	75605.78
Aguano	55828.30	69203.11

Fuente: Elaboración Propia.

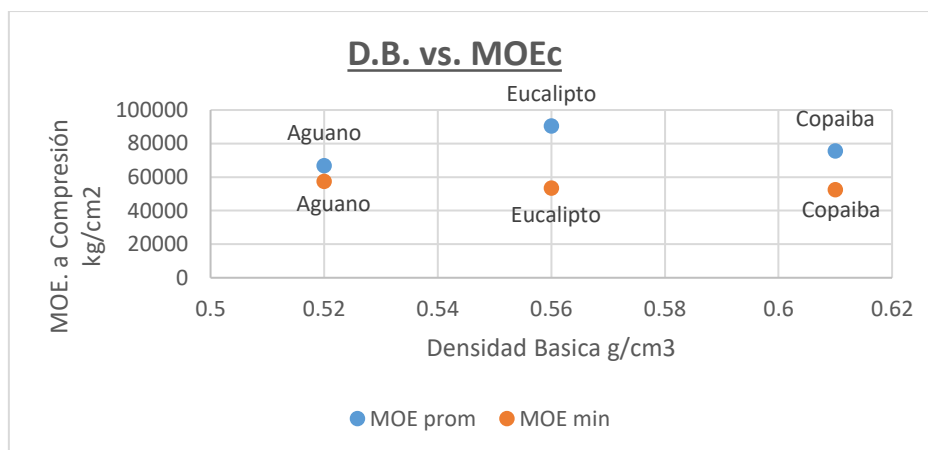


Figura 35 Módulo de elasticidad a compresión paralela respecto a la Densidad básica.

Se determinó descartar los valores del MOE global pues se considera a estos alejados de la realidad (ver punto 5.4).

6.5.2. Tracción Paralela a las Fibras

Se determinó también los Módulos de elasticidad promedio a tracción paralela para un total de 90 testigos (30 de cada especie).

Tabla 45
Módulos de elasticidad a tracción paralela

ESPECIE	MOE de la Especie (Kg/cm2)	
	Local	
	MOE min	MOE prom
Eucalipto	48003.64	91588.47
Copaiba	41783.23	75447.30
Aguano	34766.37	69440.62

Fuente: Elaboración Propia.

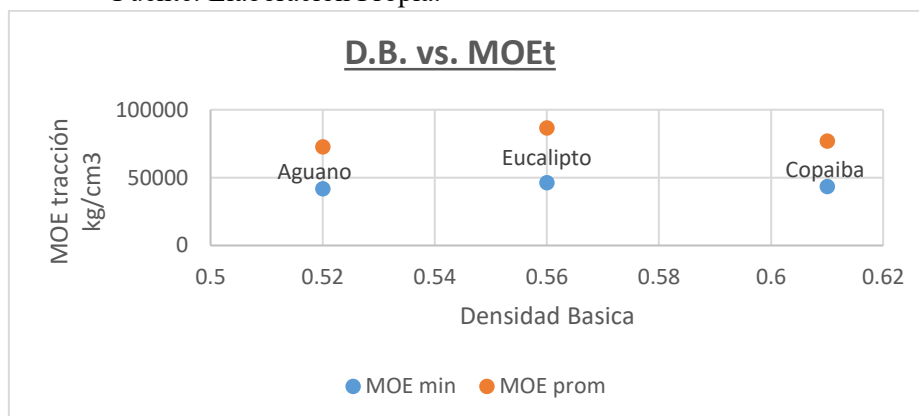


Figura 36 Módulo de elasticidad a tracción paralela respecto a la Densidad básica.

Pese que la resistencia a la tracción del eucalipto tomo valores muy altos en comparación a las otras dos especies (ver punto 6.3.2.), este fenómeno no se evidencia en cuanto a los módulos de elasticidad pues el MOE_{prom} a tracción de eucalipto es solamente 21.39 % mayor que el de la Copaiba.

Se determinó descartar los valores del MOE global pues se considera a estos alejados de la realidad (ver punto 5.4).

Con respecto a la clasificación estructural, se deben comparar los módulos de elasticidad y las resistencias calculadas con los propuestos por la norma Tablas 4 y 5, pero es necesario resaltar que los valores propuestos por la norma son determinados de ensayos a flexión estática y que según (Junta del acuerdo de Cartagena, 1984) en su publicación “Manual de diseño para maderas del grupo andino” menciona que: “... el MOE en compresión paralela es mayor que el MOE en flexión estática...”, es así que podemos deducir que los MOE a flexión para los árboles estudiados en la presente investigación resultarían valores inferiores a los de la tabla 44, y en consecuencia no alcanzarían el límite inferior del grupo estructural C, esto no excluiría a las especies estudiadas de alcanzar una clasificación, pues las resistencia calculadas nos permiten clasificar las especies. Pero resulta cuanto menos relevante que los MOE se encuentren en el rango del valor mínimo de clasificación bajo este criterio, lo que nos indicaría una falla más dúctil en elementos de las especies estudiadas y nos surge la posibilidad, que también menciona la Norma E 0.10, de la creación de un nuevo grupo estructural.

CAPITULO 7 Comparación entre el módulo de elasticidad a tracción y compresión paralela a las fibras

7.1. Comparación Entre Módulos – por cada espécimen.

En los numerales 7.1.1., 7.1.2. y 7.1.3. se muestra el valor de la relación entre MOE a tracción frente al de compresión para cada espécimen ensayado, se han considerado también los valores máximos mínimos con el afán de tener el mayor número posible de datos, estos valores por espécimen se comparan con la densidad básica correspondiente a cada troza de la que el espécimen fue extraído, esta comparación puede apreciarse para cada especie en las figuras 36, 37 y 38 y de forma global, comparativa para el total de muestra ensayadas en la figura 39.

En todas gráficas podemos apreciar una línea de tendencia que si bien no cumple con los rangos para aceptar la regresión, lo que limita una vez más el tratamiento estadístico de datos ligados a madera, nos permite apreciar el comportamiento que tiene la densidad básica frente a la relación entre MOE's, pues todas presentan una pendiente negativa lo que se traduce en una relación inversamente proporcional entre estos valores.

Si bien para la elaboración de las figuras 36 al 41, no se ha aplicado un límite de exclusión para eliminar valores máximos y mínimos, como normalmente se hace para hallar los valores representativos, y se han comparado el total de datos recolectados, esto nos ha permitido evidenciar los patrones que se ratifican cuando se aplica el límite exclusión y se comparan únicamente los valores representativos por especie.

7.1.1. *Eucalipto*

Tabla 46

Relación entre el módulo de elasticidad a tracción y compresión paralela a las fibras (Promedio por Troza) - Eucalipto.

TESTIGO	D.B. (g/cm ³)	MOEt/MOEc
M - 1 - 1*	0.55	0.00
M - 1 - 1	0.55	0.97
M - 1 - 1	0.55	0.94
M - 1 - 2*	0.53	0.00
M - 1 - 2	0.53	1.56
M - 1 - 2	0.53	1.77
M - 2 - 1	0.61	0.67
M - 2 - 1	0.61	0.61
M - 2 - 1	0.61	0.73
M - 2 - 2	0.62	1.07
M - 2 - 2	0.62	1.63
M - 2 - 2	0.62	0.47
M - 3 - 1	0.56	0.80
M - 3 - 1	0.56	1.09
M - 3 - 1	0.56	1.47
M - 3 - 2	0.56	1.09
M - 3 - 2	0.56	0.61
M - 3 - 2	0.56	0.80
M - 4 - 1	0.59	0.56
M - 4 - 1	0.59	0.74
M - 4 - 1	0.59	1.05
M - 4 - 2	0.56	1.63
M - 4 - 2	0.56	1.09
M - 4 - 2	0.56	1.31
M - 5 - 1	0.54	1.20
M - 5 - 1	0.54	1.21
M - 5 - 1	0.54	1.55
M - 5 - 2	0.52	0.85
M - 5 - 2	0.52	1.49
M - 5 - 2	0.52	0.83

Los valores iguales a cero, corresponden a los testigos que no lograron lectura (dañados o rotos durante su manipulación).

Fuente: Elaboración propia.

7.1.2. Copaiba

Tabla 47

Relación entre el módulo de elasticidad a tracción y compresión paralela a las fibras (Promedio por Troza) - Copaiba.

TESTIGO	D.B. (g/cm³)	MOEt/MOEc
B - 1 - 1	0.82	0.46
B - 1 - 1	0.82	0.94
B - 1 - 1	0.82	0.80
B - 1 - 2	0.79	1.14
B - 1 - 2	0.79	0.72
B - 1 - 2	0.79	0.61
B - 2 - 1	0.58	1.55
B - 2 - 1	0.58	1.28
B - 2 - 1	0.58	0.58
B - 2 - 2	0.6	1.21
B - 2 - 2	0.6	0.89
B - 2 - 2	0.6	0.85
B - 3 - 1	0.55	0.73
B - 3 - 1	0.55	1.25
B - 3 - 1	0.55	1.12
B - 3 - 2	0.56	4.04
B - 3 - 2	0.56	0.62
B - 3 - 2*	0.56	0.00
B - 4 - 1	0.52	1.01
B - 4 - 1*	0.52	0.00
B - 4 - 1*	0.52	0.00
B - 4 - 2	0.55	0.68
B - 4 - 2	0.55	1.54
B - 4 - 2	0.55	0.86
B - 5 - 1	0.59	0.93
B - 5 - 1	0.59	1.07
B - 5 - 1	0.59	0.94
B - 5 - 2	0.56	0.71
B - 5 - 2	0.56	0.88
B - 5 - 2	0.56	1.12

Los valores iguales a cero, corresponden a los testigos que no lograron lectura (dañados o rotos durante su manipulación).

Fuente: Elaboración propia.

7.1.3. *Aguano*

Tabla 48

Relación entre el módulo de elasticidad a tracción y compresión paralela a las fibras (Promedio por Troza) - Aguano

TESTIGO	D.B. (g/cm³)	MOEt/MOEc
C - 1 - 1	0.47	1.68
C - 1 - 1	0.47	0.79
C - 1 - 1	0.47	0.74
C - 1 - 2	0.58	0.95
C - 1 - 2*	0.58	0.00
C - 1 - 2*	0.58	0.00
C - 2 - 1	0.53	1.40
C - 2 - 1	0.53	1.06
C - 2 - 1	0.53	1.14
C - 2 - 2	0.56	1.67
C - 2 - 2	0.56	0.81
C - 2 - 2	0.56	0.40
C - 3 - 1	0.5	0.71
C - 3 - 1	0.5	1.23
C - 3 - 1	0.5	1.44
C - 3 - 2	0.49	1.08
C - 3 - 2	0.49	0.45
C - 3 - 2	0.49	1.09
C - 4 - 1	0.48	1.30
C - 4 - 1	0.48	0.66
C - 4 - 1	0.48	1.17
C - 4 - 2	0.48	1.20
C - 4 - 2	0.48	0.81
C - 4 - 2	0.48	0.86
C - 5 - 1	0.55	0.89
C - 5 - 1	0.55	1.42
C - 5 - 1	0.55	1.02
C - 5 - 2	0.53	1.27
C - 5 - 2	0.53	1.72
C - 5 - 2	0.53	1.36

Los valores iguales a cero, corresponden a los testigos que no lograron lectura (dañados o rotos durante su manipulación).

Fuente: Elaboración propia.

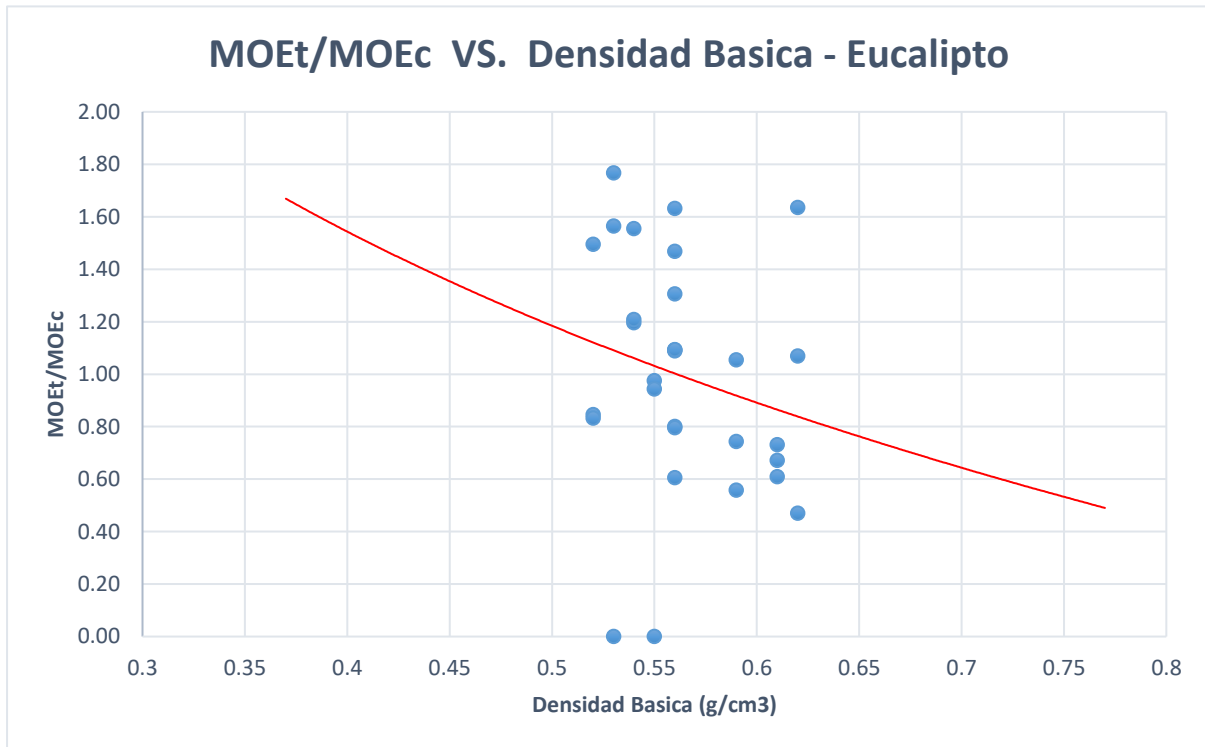


Figura 37 Comparación entre la relación MOE's y la densidad Básica - especímenes de Eucalipto

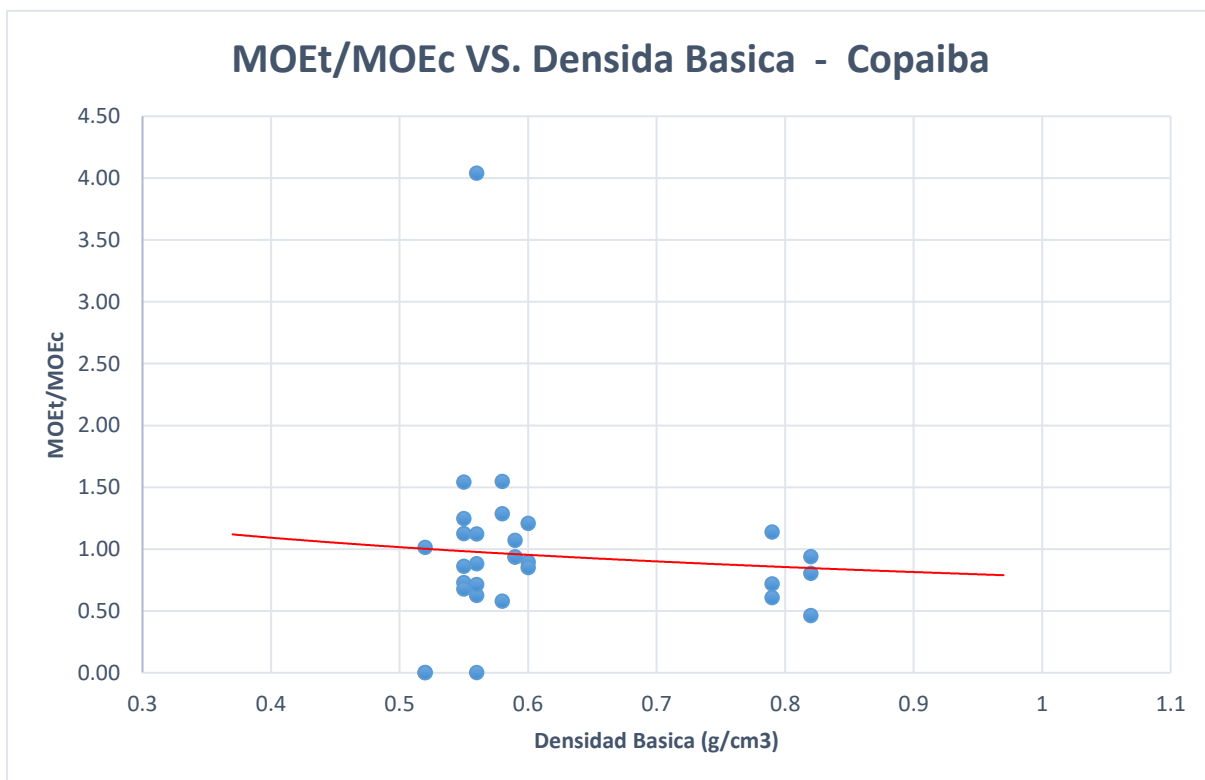


Figura 38 Comparación entre la relación MOE's y la densidad Básica - especímenes de Copaiba

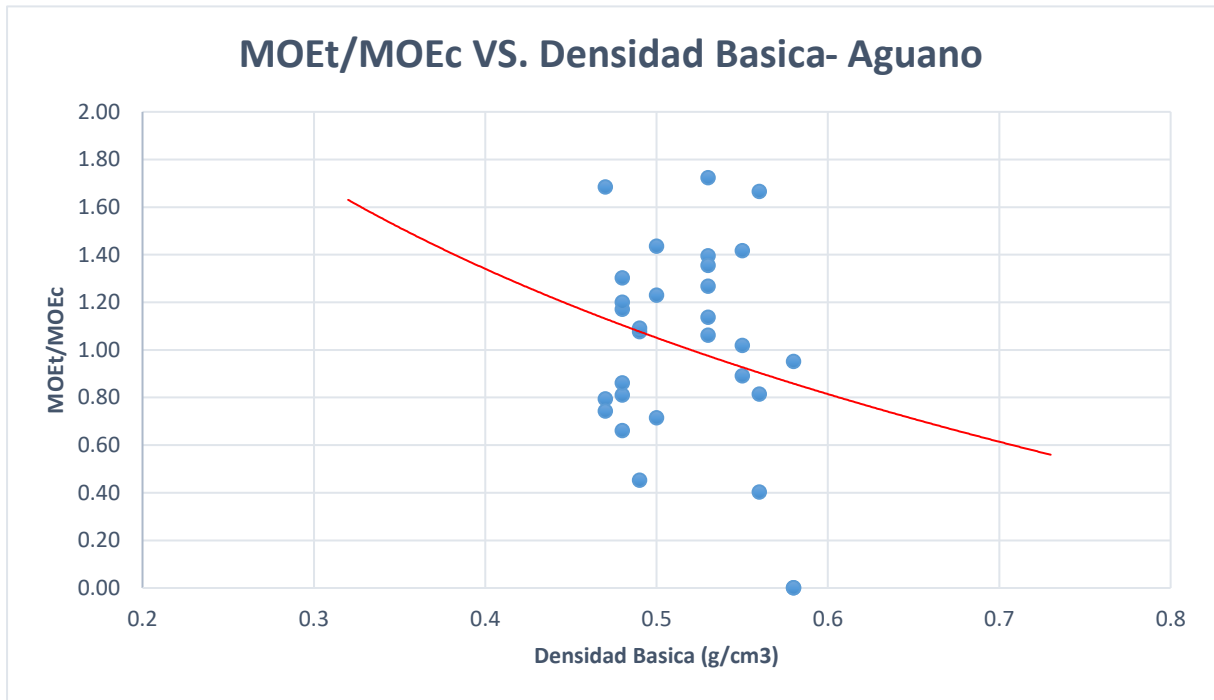


Figura 39 Comparacion entre la relación MOE's y la densidad Basica - especímenes de Aguano.

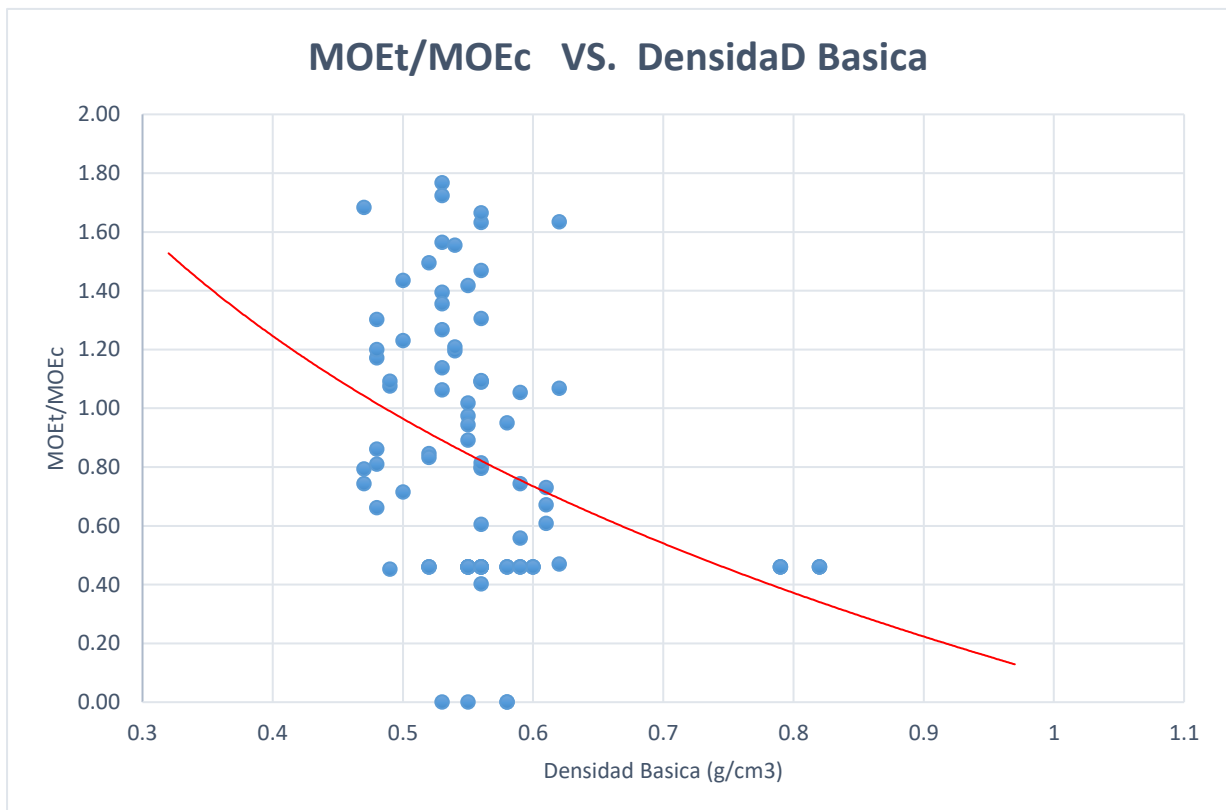


Figura 40 Comparación entre la relación MOE's y la densidad Basica - Todas las muestras.

Resulta complicado establecer una relación numérica entre los dos valores comparados, pues los valores de regresión para las líneas de tendencia rondan el valor de 5%.

7.2. Comparación entre valores Representativos por especie.

“En maderas coníferas el valor de esta relación toma el valor de 1.2, aunque estos valores pueden variar en función de la especie, la procedencia o la probeta ensayada.” (Baño, Centrangolo, O'Neil, & Morquio, 2014) Para las especies abordadas en la presente investigación se determinaron los valores que se presentan en la tabla 49.

Tabla 49

Densidad Básica y Relación entre el módulo de elasticidad a tracción y compresión paralela.

ESPECIE	D.B. (g/cm3)	MOEt /MOEc
Eucalipto	0.56	1.06
Copaiba	0.61	0.96
Aguano	0.52	1.08

Fuente: Elaboración Propia

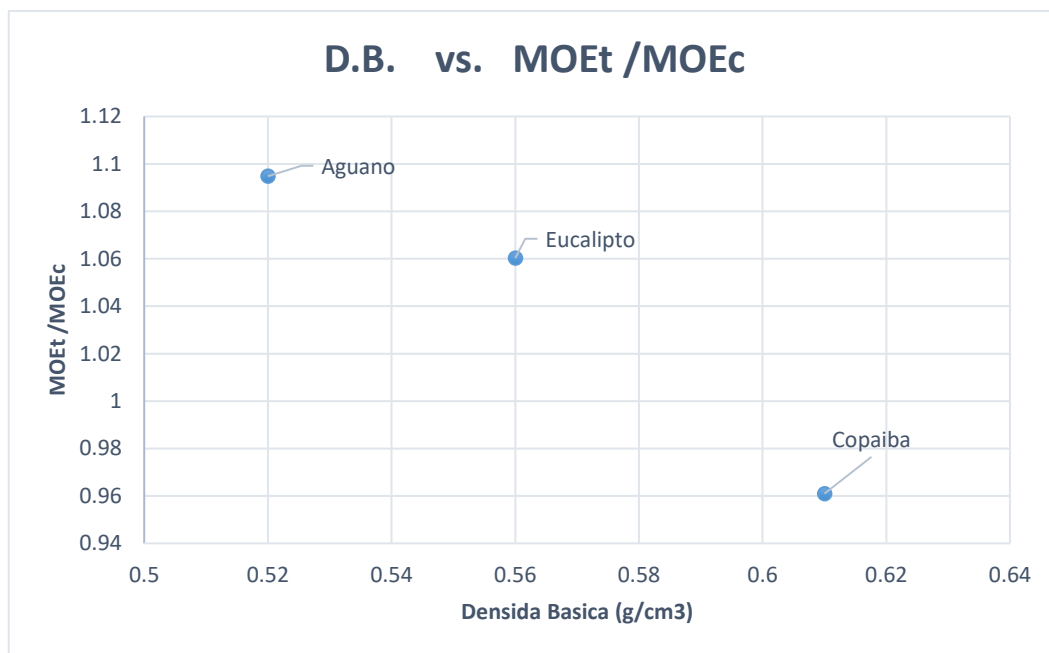


Figura 41 Variación de la Relación entre el módulo de elasticidad a tracción y compresión paralela a las fibras respecto a la densidad básica.

Como se ha especificado en puntos anteriores, una de las propiedades que toma más relevancia para la clasificación estructural de las especies madereras, es la densidad básica, en consecuencia, la figura 41 presenta una gráfica que compara la relación entre módulos de elasticidad calculados frente a la densidad básica de cada una. De esta comparación podemos

deducir que, aparentemente el valor de la relación $MOEt/MOEc$ guardaría una relación inversamente proporcional al valor de la densidad básica de la especie (mientras menor sea el valor de la densidad básica mayor sería el valor de la relación entre Módulo de elasticidad), pues el Aguano, especie que posee el valor más bajo de densidad básica 0.52 g/cm^3 , presenta el valor más alto para la relación entre módulos 1.08 , además la copiaba que presenta la densidad básica más alta tiene el valor de la relación de módulos más baja.

En este punto es necesario mencionar la investigación precedente a esta mencionada en el ítem 2.1.7 “Determinación de la curva Tensión – Deformación en madera “Pinus Sylvestris” para la simulación numérica de vigas de madera libre de defectos”. A diferencia de los demás antecedentes mencionados en el capítulo 2 “Estado del Conocimiento”, esta investigación aborda directamente el concepto de “Relación entre módulos de elasticidad a tracción y compresión paralela en testigos de madera” investigación que llega a la conclusión: “la relación entre el MOE a tracción y el MOE compresión, influye entre un 7.7% y 16.47% sobre las deformaciones estimadas en elementos sometidos a flexión.” (Baño, Arguelles, Regueira, & Guaita, 2012) Además de la figura 1, que es parte de la publicación de dicha investigación, podemos deducir que esta influencia se da cuando el valor de la relación está por encima de la unidad.

De lo anterior podemos entender que, para densidades básicas menores a 0.59 g/cm^3 , la relación entre el módulo de elasticidad a tracción y compresión paralela empieza a alejarse de la unidad, y en consecuencia la relación entre MOE influenciara en las deformaciones máximas estimadas en elementos sometidos a flexión.

En base a una interpolación entre los datos generados por (Baño, Arguelles, Regueira, & Guaita, 2012), para el Aguano, se esperan que las deformaciones máximas para un elemento a flexión sean entre un 3.08% y 4.28% menores de las deformaciones máximas esperadas a normalmente. Mientras que para el Eucalipto entre 2.31% y 3.21% .

CAPITULO 8 Conclusiones y Recomendaciones

8.1. Conclusiones:

Conclusion 1.- Los valores de la relación entre los Módulos de elasticidad a tracción y compresión paralela a las fibras (MOEt/MOE_c) son:

Tabla 50

Relación entre el módulo de elasticidad a tracción y compresión paralela a las fibras.

ESPECIE	MOEt /MOEc
Eucalipto	1.06
Copaiba	0.96
Aguano	1.08

Fuente: Elaboración Propia

- El valor de la densidad básica guarda una relación inversamente proporcional con el valor de la relación del MOE a tracción entre el MOE a compresión paralela.
- Para densidades menores a 0.59 g/cm³ el valor de la relación entre MOE, empieza a influenciar, de forma negativa, en las deformaciones estimadas de elementos sometidos a flexión.
- La creación de un grupo estructural que contemple maderas con un valor de densidad básica menor a los rangos actuales de los tres grupos estructurales, otorgaría mayor relevancia al concepto de relación entre módulos de elasticidad, pues se puede deducir este grupo tendría valores más altos para esta relación.
- Para el aguano y el eucalipto se espera que las deformaciones estimadas para para elementos sometidos a flexión, sean entre 3.08 % y 4.28% y 2.31% y 3.21% menores de los normal, respectivamente.

Conclusion 2.- Se considera conveniente seguir empleando el mismo módulo de elasticidad tanto para tracción y compresión paralela para las tres especies de madera, sin embargo, deberá considerarse un factor de seguridad adicional que limite las deformaciones estimadas en elementos que serán sometidos a flexión proporcionalmente a la influencia del valor de relación entre módulos de elasticidad.

Conclusion 3.- Los valores del módulo de elasticidad a tracción paralela a las fibras para las especies Madereras, Eucalipto, Copaiba y Aguano comercializados en la provincia del Cusco, son:

Tabla 51

Módulos de elasticidad a tracción paralela

ESPECIE	MOE de la Especie (Kg/cm ²)	
	Local	
	MOE min	MOE prom
Eucalipto	48003.64	91588.47
Copaiba	41783.23	75447.30
Aguano	34766.37	69440.62

Fuente: Elaboración Propia.

Los valores de módulo a compresión paralela a las fibras para las especies de madera: Eucalipto, Copaiba y Aguano comercializadas en la provincia del Cusco, son:

Tabla 52

Módulos de elasticidad a compresión paralela

ESPECIE	MOE de la Especie (Kg/cm ²)	
	Local	
	MOE min	MOE prom
Eucalipto	59260.36	88730.02
Copaiba	51639.45	75605.78
Aguano	55828.30	69203.11

Fuente: Elaboración Propia.

Conclusion 4.-Se han corroborados los valores ya publicados, para la densidad básica de las especies en estudio, por la (CPM, Confederación Peruana de la Madera, 2008) Tomo I y II.

Recomendaciones

- Recomendacion 1.-** Vista la relación inversa entre el valor de la densidad básica y la relación entre módulos de elasticidad, se puede deducir que para especies de madera de clasificación A, la relación entre módulos de elasticidad no tendrá mayor relevancia, sin embargo, esto deberá ser confirmado.
- Recomendacion 2.-** Se recomienda garantizar el paralelismo de las fibras en los testigos destinados a los ensayos, si bien las normas NTP 251.085 y 251.014, normas peruanas para ensayos a tracción y compresión respectivamente, no especifican un proceso específico para esto, se podrá recurrir a otras publicaciones, como por ejemplo el “Manual de diseño para maderas del grupo Andino” en su numeral 1.6.1 “defectos de crecimiento”
- Recomendacion 3.-** Se recomienda analizar las variaciones entre las deformaciones globales y las locales, a fin de poner encontrar, de ser posible, un posible factor de corrección o correlación entre ambos valores.
- Recomendacion 4.-** Se recomienda aplicar una pre-carga inicial, previo a iniciar el ensayo a tracción y o compresión, esto ayudara a evitar los desplazamientos que se generan mientras los acoples se acomodan y propiciara la lectura inmediata de deformaciones, para tracción se recomiendan al menos 50.00 kg y 250 kg para compresión.
- Recomendacion 5.-** Se recomienda estudiar un mayor número de especies, con el fin de obtener conclusiones que puedan considerarse verdaderas para todas las especies de madera latifoliada de las que disponemos. Por lo pronto la presente investigación se ha centrado en estudiar únicamente especies que cuentan con un volumen de comercialización, y en consecuencia explotación, importante, es necesario mencionar

que hasta la fecha las especies de madera tipo A, maderas duras, se han visto relegadas a su uso para revestimiento de pisos siendo incluso este en mínima cantidad.

Recomendacion 6.- Evidenciados los valores bajos del valor del MOE de las especies estudiadas se recomienda evaluar la hipótesis de su influencia en el tipo de falla

Recomendacion 7.- Si bien el eucalipto presenta un mejor comportamiento mecánico que especies de un mayor valor de densidad básica, su uso común se ve limitado por la dificultad en cuanto a trabajabilidad, pues durante el secado sufre demasiadas deformaciones, se recomienda estudiar procesos de secado controlado que faciliten la trabajabilidad de esta especie maderera.

Bibliografía

- Arbaiza Mendoza, C., C, M., & H, A. (2013). Madera en la Industria de la Construcción. *Sistemas de Construcción de Viviendas*, 7-16.
- Baño, V., Arguelles , R., Regueira, R., & Guaita, M. (2012). Determinación de la curva tensión-deformación en madera de ‘Pinus sylvestris’ L. para la simulación numérica de vigas de madera libre de defectos. *Materiales de Construcción*, 269 - 284.
- Baño, V., Centrangolo, G., O'Neil, H., & Morquio, A. (Noviembre de 2014). Diagrama Tension-Deformacion de la madera libre de defectos de Pinnus elliotti de procedencia Uruguay. *XXXVI Jornadas Sudamericanas de Ingenieria Estructural*. Montevideo, Montevideo, Uruguay.
- Centro de Informacion Forestal. (2005). *Perú Fotrestal en Numeros*. Lima.
- Confederación Peruana de la Madera, CPM. (2008). *Compendio de información tecnica de 32 especies forestales, TOMO II*. Lima: Centro de Innovación tecnologica de la Madera.
- CONSTRUMATICA. (12 de 09 de 2017). Obtenido de <http://www.construmatica.com/construpedia/Madera>
- Corporacion Chilena de la Madera. (2013). *Manual La Construcción de Viviendasd en Madera*. Santiago, Chile: Corma.
- CPM, Confederación Peruana de la Madera. (2008). *Compendio de Informacion tecnica de 32 Especies forestales, TOMO I*. Lima: Centro de Innovación Tecnologica de la Madera.
- Dancé Sifuentes, R., & Rojas Gutierrez, J. (2005). *Demanda de Madera del Corredor Sur Peruano*. Lima: WWF - Perú.
- Garcia Bendezu, L. (04 de marzo de 2016). *El Comercio* . Obtenido de El Comercio : <https://elcomercio.pe/lima/peru-faltan-1-8-millones-viviendas-165624-noticia/>

- Grupo de Estudio de Maderas. (Junio de 2007). Propiedades de hinchamiento y contracción en la madera de *Eucalyptus grandis* de Argentina. *Madeira*.
- Gutierrez De Lopez, L. (2003). *El Concreto y otros materiales para la construcción*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Hugalde, I. P. (s.f.). *Relaciones entre cavitacion y cierre estomaticoen vides sometidas a deficit hidrico*. Mendoza.
- Infomadera*. (12 de 09 de 2017). Obtenido de Infomadera.net:
http://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_2_Maderageneral.pdf
- International Timber. (8 de Febrero de 2017). *Madera21*. Obtenido de Madera21:
<https://www.madera21.cl/blog/2017/02/08/seis-razones-por-las-que-la-madera-es-superior-al-acero-y-al-ladrillo/>
- Junta del acuerdo de Cartagena. (1984). *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino*. Lima: Junta del Acuerdo de Cartagena.
- Keenan, F., & Tejada, M. (1987). *Maderas Tropicales como Material de Construcción en los paises del Grupo Andino de America del Sur*. Bogota.
- Marmanillo Velazco, E. (1950). Investigación sobre las características resistentes de nuestras maderas regionales. *Revista Universitaria UNSAAC*.
- memoriachilena*. (s.f.). Obtenido de memoriachilena: <http://www.memoriachilena.cl/602/w3-article-3373.html>
- Molla, J. (12 de 09 de 2017). *Simbolo Calidad Blog*. Obtenido de
<http://blog.simbolocalidad.com/ensayos-de-resistencia-a-la-abrasion-de-suelos-de-madera>
- Munthe, B., & Youncquist, W. (1948). *The Abrasive resistance of wood as determined with the U.S. Navy wear-test machine*. Wisconsin: U.S. Department of Agriculture.

Norma Técnica Peruana . (2012). *MADERA. Determinación de la tensión paralela a las fibras*. Lima: INDECOPI.

Norma Técnica Peruana. (2014). *MADERA. Metodo para determinar la compresión axial o paralela al grano*. Lima: INDECOPI.

Norma Técnica Peruana. (2014). *MADERA. Metodo para determinar la densidad*. Lima: INDECOPI.

Ordoñez García, P. K., & Lugo Chavez, Y. K. (Abril de 2016). Estructuras de madera aplicadas al sector de la construcción en el Perú. Lima, Lima, Perú: PUCP.

Quora. (2019). *Quora*. Obtenido de Quora: <https://es.quora.com/Es-mejor-una-casa-de-madera-o-cemento>

TABER INDUSTRIES. (2017). Abrasímetro Taber. *Aparatos para ensayo y evaluación*.

UCV Radio. (29 de Noviembre de 2016). *Madera y Construcción*. Obtenido de <https://maderayconstruccion.com.ar/peru-apuestan-al-uso-de-madera-cultivada-para-construir-viviendas-y-contribuir-al-deficit-habitacional/>

Vivienda, M. D. (Diciembre de 2014). Estructuras de Madera. *Estructuras de Madera*. Ecuador: Dirección de Comunicación Social. MIDUVI.

Wagner Muñoz, M. (01 de Septiembre de 2014). Norma Chilena NCh 1198 Construcciones en Madera- Cálculo. Montevideo, Uruguay.

Zanni, E. (2008). *Patología de la Madera: degradación y rehabilitación de estructuras de madera* . Córdoba: Editorial Brujas.

Índice de Figuras

Figura 1	Influencia de la relación entre el módulo de elasticidad a tracción y compresión paralela a las fibras.	10
Figura 2	Planos ortogonales de la Madera.	12
Figura 3	Diagrama de rangos de Humedad.	17
Figura 4	Abrasimetro (Izquierda), Detalle de los discos (Derecha).	21
Figura 5	Influencia del contenido de Humedad en la resistencia.	22
Figura 6	Correlación entre el módulo de elasticidad en vigas a tamaño real y el módulo de elasticidad en testigos libres de defectos.	29
Figura 7	Volúmenes de madera adquiridos por establecimientos dedicados a la compra venta de madera. (Cusco - 2005).....	31
Figura 8	Producción de madera en el Departamento de Madre de Dios.	32
Figura 9	Volumen de producción maderera de las 10 especies de mayor producción en el Perú.....	33
Figura 10	Producción de Eucalipto Departamento del Cusco, Periodo 2014- 2015	36
Figura 11	Producción de Eucalipto Departamento del Cusco, Periodo 2016 – 2017.....	36
Figura 12	Altitud Promedio por Provincia	37
Figura 13	Volumen total de Plantaciones por Sub Zonas.....	39
Figura 14	Transporte de troncos de eucalipto.....	39
Figura 15	(Izquierda) Aserrió Primario, (Derecha) Trozas	40
Figura 16	Trozas de Aguano.....	41
Figura 17	(Izquierda) Viguetas de eucalipto, (Derecha) tallado de testigos de tracción.	42
Figura 18	Testigo para Densidad Básica.	43
Figura 19	Testigo de Compresión paralela a las fibras.....	43
Figura 20	Testigo para Tracción paralela a las fibras.....	44
Figura 21	Maquina universal de ensayos del laboratorio de mecánica de suelos y materiales, Facultad de Ingeniería Civil, UNSAAC.....	47
Figura 22	Testigo de compresión paralela listo para ensayar.	47
Figura 23	Testigo de tracción paralela a las fibras.	49
Figura 24	Curva Carga – Deformación típica en ensayos a tracción paralela a las fibras.....	56
Figura 25	Densidad Básica – Copaiba	61
Figura 26	Densidad Básica - Aguano	61
Figura 27	Densidad Básica - Eucalipto.....	61
Figura 28	Densidad Básica vs. Módulo de Elasticidad a compresión paralela a las fibras ...	67
Figura 29	Densidad Básica vs. Módulo de elasticidad a Tracción paralela.....	72
Figura 30	Densidad básica Vs. Relación entre módulo de elasticidad a tracción y compresión paralela a las fibras.	77
Figura 31	Resultados Contenido de Humedad equilibrio Vs. Densidad Básica.....	83
Figura 32	Variación de la Resistencia Máxima con respecto al Esfuerzo al Limite Proporcional.	85
Figura 33	Variación de la Resistencia Máxima con respecto a la Densidad Básica.....	85
Figura 34	Variación de la Relación entre la resistencia máxima a la tracción y la resistencia máxima a la compresión paralela respecto a la densidad básica.	87
Figura 35	Modulo de elasticidad a compresión paralela respecto a la Densidad básica.	88
Figura 36	Módulo de elasticidad a tracción paralela respecto a la Densidad básica.	88
Figura 37	Comparación entre la relación MOE's y la densidad Básica - especímenes de Eucalipto	94
Figura 38	Comparación entre la relación MOE's y la densidad Básica - especímenes de Copaiba	94

Figura 39 Comparacion entre la relación MOE's y la densidad Basica - especímenes de Aguano.	95
Figura 40 Comparación entre la relación MOE's y la densidad Basica - Todas las muestras.	95
Figura 41 Variación de la Relación entre el módulo de elasticidad a tracción y compresión paralela a las fibras respecto a la densidad básica.	96

Anexos

Anexo 1: Videos de ensayos realizados:

<https://youtu.be/kIqcecu2g2s>

Anexo 2: Fichas de Ensayos

https://drive.google.com/drive/folders/1RanZH6eobn_mT-DqgmQt_8ZbH857dkCV

Anexo 3: Panel Fotográfico



Fotografía 1 - Transporte de troncos de madera



Fotografía 2 - Trozado de Madera



Fotografía 3 – Madera Trozada



Fotografía 4 – Control de Contenido de Humedad durante el secado, con higrómetro digital.



Fotografía 5 – Viguetas de madera lista para la construcción de testigos para los ensayos



Fotografía 6 – Fabricación de testigos en taller de carpintería.



Fotografía 7 – Tallado de Testigo Para ensayo a Tracción.



Fotografía 8 – Testigo con acoples y deformímetros dispuestos para ensayo de compresión paralela.



Fotografía 9 - Testigo de tracción paralela colocada en la maquina universal, listo para el ensayo.



Fotografía 10 – Equipo de grabación para cada ensayo.

Anexo 4: Solicitud de información al SERFOR.

Sr. Miguel Ángel Escalante Molina
Administrador Técnico Forestal y de Fauna Silvestre
SERFOR – Cusco

Previo un cordial saludo, la presente tiene el objetivo de solicitar a su despacho o al que corresponda, información necesaria para la realización del Trabajo de grado que mi persona viene desarrollando, titulado “Comparación entre el Modulo de elasticidad en tracción y compresión paralela a las fibras, en especie de madera Latifoliada Tipo A, B y C comercializada en la provincia del Cusco” para optar el grado de Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. La información necesaria se detalla a continuación:

- Datos sobre Bosques de Tornillo (Aguano) y Copaiba, que abastecen la demanda de madera en la Provincia de Cusco.
- Posible información relacionada al ítem anterior (Superficies, Número de árboles, Volumen promedio de las especies mencionadas, etc.)
- Información sobre las especies de mayor demanda en el departamento del Cusco.

Es necesario mencionar que cualquier información que me pueda ser brindada será bienvenida. Sin más, quedo de usted con la esperanza que mi solicitud pueda ser atendida.

Atentamente,



Cuatrecasas Mamani Ricardo Eduardo
DNI: 72525769

Cel: 930366803
E mail: cus15cm@gmail.com

Anexo 5: Carta del SERFOR


SERFOR

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Diálogo y Reconciliación Nacional"

Cusco, 06 de marzo de 2018

CARTA N° 46 -2018-MINAGRI-SERFOR-ATFFS-CUSCO

Señor
CUSIHUALLPA MAMANI RICARDO EDUARDO
 E-mail: cusi5cm@gmail.com
 Cel: 930-366803
Cusco

Asunto: Solicitud de información

Referencia: CUT 9092-2018

Tengo el agrado de dirigirme a usted en relación a la solicitud de información respecto a las especies *Cedrelinga cateniformis* (águano o tornillo) y *Copaifera officinalis* (copaiba), comercializadas en la provincia del Cusco, entre otros.

Al respecto se le comunica que la ATFFS Cusco no ha autorizado el aprovechamiento de las mencionadas especies dentro del departamento, considerando además que casi la totalidad de la madera de selva comercializada en la provincia de Cusco procede del departamento de Madre de Dios. En ese sentido se recomienda solicitar la información a la Dirección Forestal y de Fauna Silvestre del gobierno Regional de Madre de Dios.

Respecto a su consulta sobre las especies de mayor demanda en la provincia, recomiendo realizar entrevistas directamente en los centros de comercialización autorizados, ya que son quienes realizan las operaciones de producción y comercio de manera directa. No obstante, de acuerdo al registro y emisión de Gulas de Transporte Forestal por parte de la ATFFS Cusco se puede observar que las especies de mayor movimiento son *Cedrelinga cateniformis* (águano o tornillo) y *Copaifera officinalis* (copaiba) *Matisia cordata* (sapote), *Schizolobium amazonicum* (pashaco), *Couratari sp.* (misa).

Por otro lado, se recomienda revisar la normativa forestal y de fauna silvestre vigente (Ley N°29763 y sus reglamentos) para conocer más respecto a los procedimientos que dan origen a los permisos de aprovechamiento de productos forestales maderables, así como la normativa respecto al otorgamiento de autorizaciones de investigación respecto a especies que forman parte del patrimonio forestal. Así mismo, se le invita a visitar nuestra página web www.serfor.gob.pe donde encontrará información que puede ser de interés para los fines de su investigación.

Atentamente,

Oscar Escalante Miroslav
 Director Regional Escalante Miroslav
 Dirección Regional Forestal y
 Fauna Silvestre Regional
 ATFFS CUSCO

cmo/MAEM

9092-18

ATFFS CUSCO
 Av. Venezuela N.º 8, Urb. Desplazada
 Wanchaq - Cusco
 Tel: 04-231948

SEDE CENTRAL
 Avenida 7 Nro. 225, Urb. Fincas de Baja
 La Molina, Lima - Perú
 inform@serfor.gob.pe
 www.serfor.gob.pe

 Trabajando para
 todos los peruanos

Anexo 6: Uso de Laboratorio (Solicitud, Registro de los ensayos y Certificado)

Cusco, 07, febrero 2018

SOLICITUD DE USO DE LA LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

Ing. Luz Mariene Nieto Palomino

Jefa del Laboratorio de mecánica de Suelos y Materiales - UNSAAC.

Yo, Bachiller en Ingeniería Civil Cusibunqui Manuel Ricardo Eduardo con DNI N° 72525769, con domicilio en la urb. Flor de la Cruzeta Z-1-J, Distrito de San Sebastián, Cusco. Ante Usted con el Debido Respeto me presento y Expongo.

Que habiendo Cumplido con la Formación Académica de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC. Mi persona viene desarrollando el trabajo de grado titulado "Comparación entre el módulo de elasticidad en tracción y compresión Paralelo a las Fibras, en especies de madera Lufffoluda, Tipo A, B y C; conseralizadas en la provincia del Cusco", aprobada bajo resolución Nro 2143-2017. Para el cual solicito respetuosamente a su persona, se me permita el uso de los siguientes recursos del laboratorio de mecánica de suelos y materiales:

ID	NOMBRE	CARACTERÍSTICAS
1	Máquina Universal	Obs: Mg. A MSLER
2	Horno	
3	Balanza y recipientes.	

Es necesario mencionar que todo el uso del laboratorio se desarrollará con seriedad, responsabilidad y honestidad.

Se Anexa el Cronograma de Uso del Laboratorio.

Agradecemos su atención.


 Ing. Juan Carlos Rojas Narro
 Presidente Comité directiva de tesis


 Cusibunqui Manuel Ricardo Eduardo
 Dni: 72525769


 16 FEB 2018


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales


Cronograma de Ensayos
Tesis: "Comparación entre el método de clasificación en tracción y compresión, en especies de madera latifoliada, Tipo A, B y C; comercializadas en la provincia del Cuzco"

Ensayo	Equipo	Número de Ensayos	1ra Semana							2da Semana							3ra Semana																			
			L	Ma	Mi	J	V	S	D	L	Ma	Mi	J	V	S	D	L	Ma	Mi	J	V	S	D													
Compresión Paralela a las Fibras	Máquina Universal	90	15	15	15	15	15	15																												
Determinación de la resistencia a la tracción	Horno y balanza	90	15	15	15	15	15	15																												
Tracción Paralela a las Fibras	Máquina universal	90																				15	15	15	15	15										
Determinación de humedad	Horno y balanza	90																																		
Determinación de Densidad	Balanza y Probeta	90																																		

- Total de Ensayos destructivos (Compresión y Tracción) : 180 especímenes
- Total de Ensayos no destructivos (Humedad y Densidad) : 90 especímenes
- Tiempo total acumulado : 14 días hábiles



Ing. Juan Carlos Rojas Bravo
 Presidente Comisión de Ejecución de Tesis

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

Profesor Asistente Miguel Eduardo Eduardo
 Dat: 72525769



Ing. Luz Mariela Nieto Palomino
 Jefe de Laboratorio

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL.
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES.

CERTIFICADO.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO.


CERTIFICA.

Que, el Bachiller en Ingeniería Civil, Cusiwallpa Mamari Ricardo, Eduardo, con código de matrícula 124728, ha realizado en este laboratorio las pruebas de:

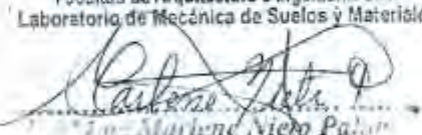
- Ensayos destructivos (compresión y tracción) : 180 especímenes.
- Ensayos no destructivos (humedad y densidad) : 210 especímenes.

Las pruebas arriba indicados corresponden al desarrollo de la tesis titulado "COMPARACION ENTRE EL MODULO DE ELASTICIDAD DE TRACCION Y COMPRESION PARALELA A LAS FIBRAS, EN ESPECIMENES DE MADERA LATIFOLIADA TIPO A, B, C, COMERCIALIZADA EN LA PROVINCIA DEL CUSCO", aprobado mediante resolución Nro. 2143-2017, ensayos realizados en los meses de abril, mayo, junio, y julio de 2018, durante el uso de las maquinas del laboratorio ha demostrado responsabilidad.

Certificado se expide a petición del interesado en la ciudad del Cusco, a los 11 días de noviembre del año 2019.

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 Facultad de Ingeniería Civil
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

 Felipe
 TECNICO LABORATORIO DE SUELOS


 Germán José Flores
 Nájera

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

 Mariene Nieto Palomares
 Jefa de Laboratorio

Anexo 7: Normas Técnicas usadas para los ensayos

NORMA TÉCNICA	NTP 251.085
PERUANA	1986 (revisada el 2011)

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias-INDECOPI
Calle de La Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú

MADERAS. Determinación de la tensión paralela a las fibras

WOODS. Determination of the tension parallel to fibres

2011-12-29
1ª Edición

R.0063-2011/CNB-INDECOPI. Publicada el 2012-01-13

Precio basado en 06 páginas

I.C.S.: 79.040

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptores: Madera, tracción, ensayos

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

NORMA TÉCNICA
PERUANA

NTP 251.014
2014

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI
Calle de La Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú

MADERA. Método para determinar la compresión axial o paralela al grano

WOOD. Determination of ultimate stress in compression parallel to grain

2014-12-30
3ª Edición

R.0151-2014/CNB-INDECOPI Publicada el 2015-01-14

Precio basado en 09 páginas

I.C.S.: 79.040

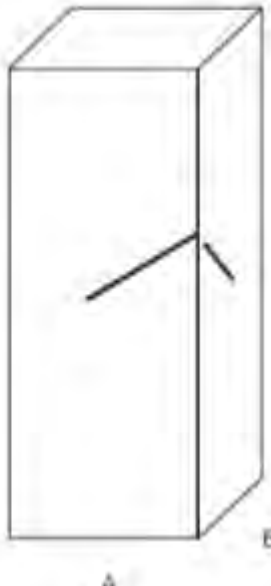
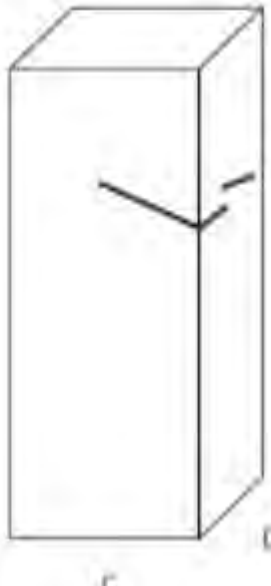
ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptor: Madera, método de ensayo, compresión axial, grano

© INDECOPI 2014

Anexo 8: Muestras de Fichas de Ensayos

RESULTADOS DE ENSAYO - COMPRESION PARALELA A LAS FIBRAS

Nombre Común : Eucalipto Nombre Científico: <i>Eucalyptus Globulus Labill</i> Familia: MYRTACEAE		Muestra N°: M-1-1 Procedencia: Quispicanchis - Cusco
Datos para el centro de Computo	Condición	Carga (Kg) Deformacion(mm)
Luz: 15.00 cm P: 6273.00 kg Pi: 7794.00 kg	Seca al Aire: ████████ Saturada:	1000 0.07 2000 0.13 3000 0.20 4000 0.28 5000 0.34 6000 0.44 7000 0.52
Ancho: 4.80 cm Espesor: 4.90 cm	Datos del Contenido de Humedad Peso: 30.56 g Peso seco al horno: 28.18 g Contenido de Humedad: 8.46 %	
 		
Resultados al contenido de Humedad (kg/cm²)		
Esfuerzo de las fibras al limite proporcional		266.71 kg/cm ²
Resistencia Maxima		331.38 kg/cm ²
Modulo de Elasticidad		90923.59 kg/cm ²
Informacion General		
Proyecto:	Comparacion entre el modulo de elasticidad a Traccion y compresion paralela a las fibras en especies de madera latifoliada tipo A, B y C.	
Ejecutor:	Cusihuallpa Mamani Ricardo Eduardo	
Fecha:	16/05/2018	

RESULTADOS DE ENSAYO - TRACCION PARALELA A LAS FIBRAS

Nombre Comun : Eucalipto Nombre Cientifico: <i>Eucalyptus Globulus Labill</i> Familia: MYRTACEAE		Muestra N°: M - 1 - 1 Procedencia: Quispicanchis - Cusco																																	
Datos para el centro de Computo Luz: 5.00 cm P: 396.00 kg Ancho: 0.84 cm Espesor: 0.51 cm		Condicion Seca al Aire: ██████████ Saturada: Datos del Contenido de Humedad Peso: 235.91 g Peso seco al horno: 215.6 g Contenido de Humedad: 9.42 %																																	
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Carga</th> <th>Deformacion</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>25</td><td>0.03</td></tr> <tr><td>50</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>75</td><td>0.10</td></tr> <tr><td>100</td><td>0.13</td></tr> <tr><td>125</td><td>0.16</td></tr> <tr><td>150</td><td>0.20</td></tr> <tr><td>175</td><td>0.23</td></tr> <tr><td>200</td><td>0.26</td></tr> <tr><td>225</td><td>0.29</td></tr> <tr><td>250</td><td>0.33</td></tr> <tr><td>275</td><td>0.36</td></tr> <tr><td>300</td><td>0.39</td></tr> <tr><td>325</td><td>0.42</td></tr> <tr><td>350</td><td>0.46</td></tr> <tr><td>375</td><td>0.49</td></tr> </tbody> </table>		Carga	Deformacion	25	0.03	50	0.07	75	0.10	100	0.13	125	0.16	150	0.20	175	0.23	200	0.26	225	0.29	250	0.33	275	0.36	300	0.39	325	0.42	350	0.46	375	0.49
Carga	Deformacion																																		
25	0.03																																		
50	0.07																																		
75	0.10																																		
100	0.13																																		
125	0.16																																		
150	0.20																																		
175	0.23																																		
200	0.26																																		
225	0.29																																		
250	0.33																																		
275	0.36																																		
300	0.39																																		
325	0.42																																		
350	0.46																																		
375	0.49																																		
<div style="text-align: center;"> <p>Carga VS. Deformación - Local</p> </div>																																			
<div style="text-align: center;"> <p>Carga VS. Deformación - Global</p> </div>																																			
Resultados al contenido de Humedad (kg/cm2)																																			
Resistencia Maxima		928.79 kg/cm2																																	
Modulo de Elasticidad		94774.8 kg/cm2																																	
Informacion General																																			
Proyecto:	Comparacion entre el modulo de elasticidad a Traccion y compresion paralela a las fibras en especies de madera latifoliada tipo A, B y C.																																		
Ejecutor:	Cusihualpa Mamani Ricardo Eduardo																																		
Fecha:	16/05/2018																																		