

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LAS
ESPECIES DE MADERA DE ACACIA, EUCALIPTO Y PINO CARIBE



Por:
Jeniffer Andrea Céspedes Medina
José Nicolás Gaitán Rivera



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2020

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LAS
ESPECIES DE MADERA DE ACACIA, EUCALIPTO Y PINO CARIBE**



Por:
Jeniffer Andrea Céspedes Medina
José Nicolás Gaitán Rivera

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional de ingeniero civil

Aprobado por:
Ing. Jhon Jairo Gil Peláez, Ph.D.
Director

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2020

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Fray José Gabriel Mesa Angulo, O.P.
Rector General

Fray Eduardo González Gil, O.P.
Vicerrector Académico General

Fray José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.
Rector Sede Villavicencio

Fray Rodrigo García Jara, O.P.
Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Julieth Andrea Sierra Tobón
Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. Manuel Eduardo Herrera Pabón
Decano Facultad de Ingeniería Civil

Nota de aceptación

Ing. MANUEL EDUARDO HERRERA PABÓN
Decano Facultad Ingeniería Civil

Ing. JHON JAIRO GIL PELÁEZ, Ph.D.
Director Trabajo de Grado

Jurado

Jurado

Villavicencio, febrero de 2020

DEDICATORIA

Este logro se lo dedicamos a nuestros padres, que fueron nuestro pilar para lograr llegar a este punto, ya que depositaron en nosotros su confianza, sus consejos y nos dieron la oportunidad de culminar nuestra carrera profesional.

AGRADECIMIENTOS

Profundamente agradecidos con nuestro director de tesis el ingeniero Jhon Jairo Gil por su acompañamiento durante el proceso y su apoyo para lograr que esto fuera posible. Con la universidad Santo Tomas por brindarnos todos los medios para obtener los resultados de nuestra tesis y a cada uno de los docentes que nos formaron durante estos años.

RESUMEN

El presente documento tiene como propósito determinar las propiedades físicas y mecánicas de tres tipos de maderas, los cuales son, acacia, eucalipto y pino caribe con el fin de conocer sus características y ver su viabilidad como maderas estructurales basados con el reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10). El proyecto consta de 5 etapas metodológicas que estiman la procedencia y selección de la madera, el acondicionamiento de las probetas, los ensayos, los análisis estadísticos y por último la caracterización de la madera.

En general, con los ensayos realizados, se pudo establecer un cuadro comparativo con los resultados obtenidos, el cual nos permitió establecer el grupo perteneciente de cada tipo de madera según lo establecido en la NSR-10 y, además una correlación de datos que permitieron diferenciar la resistencia de cada una.

Palabras Clave: *Propiedades físico–mecánicas, madera acacia, madera eucalipto, madera pino caribe.*

ABSTRACT

The purpose of this document is to determine the physical and mechanical properties of three types of wood, which are, acacia, eucalyptus and Caribbean pine in order to know their characteristics and to see their viability as structural woods based on the Colombian regulation of resistant earthquake construction (NSR-10). The project consists of 5 methodological stages that estimate the origin and selection of wood, the conditioning of the specimens, the tests, the statistical analyses and finally the characterization of the wood.

In general, with the tests carried out, a comparative table could be established with the results obtained, which allowed us to establish the group belonging to each type of wood as established in the NSR-10 and also a correlation of data that allowed the resistance to be differentiated from each.

Keywords: efforts, mechanics, properties, physics, standard, wood.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	15
2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
3.	JUSTIFICACIÓN	18
4.	OBJETIVOS	19
4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	19
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
5.	ALCANCE	20
6.	MARCO DE REFERENCIA	21
6.1.	MARCO TEÓRICO	21
6.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	21
6.2.1	MADERA	21
6.2.2	ACACIA MANGIUM	22
6.2.3	PINO CARIBE	22
6.2.4	EUCALIPTO.....	22
6.2.5	PROPIEDADES FÍSICAS	22
6.2.6	PROPIEDADES MECÁNICAS	22
6.3.	ESTADO DEL ARTE	23
6.4.	MARCO NORMATIVO.....	25
6.5.	MARCO GEOGRÁFICO	25
7.	METODOLOGÍA.....	27
8.	ETAPA 1: PROCEDENCIA Y SELECCIÓN DE LA MADERA.....	28
9.	ETAPA 2: ACONDICIONAMIENTO DE LA MADERA.....	29
9.1.	PRE DIMENSIONAMIENTO DE LAS TROZAS	29
9.2.	IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	30
10.	ETAPA 3: ENSAYOS.....	31
10.1.	PROPIEDADES FÍSICAS.....	31
10.1.1	SECADO Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA	31
10.1.2	DENSIDAD O PESO ESPECÍFICO	32
10.1.3	CAMBIOS DIMENSIONALES DE LA MADERA.....	32
10.2.	AJUSTE DEL CONTENIDO DE HUMEDAD	33
10.3.	PROPIEDADES MECÁNICAS.....	33
10.3.1	DUREZA	34
10.3.2	COMPRESIÓN PERPENDICULAR	35
10.3.3	COMPRESIÓN PARALELA	37
10.3.4	FLEXIÓN ESTÁTICA	38
10.3.5	CIZALLAMIENTO	39
10.3.6	TENACIDAD	39
11.	ETAPA 4: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO	41
11.1.	COEFICIENTES DE VARIACIÓN.....	41
11.2.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO	41
11.3.	TEST DE NORMALIDAD.....	42
11.4.	ANÁLISIS DE VARIANZA.....	42
11.5.	MODELOS DE REGRESIÓN	42
12.	ETAPA 5: CARACTERIZACIÓN DE LA MADERA.....	44

12.1. CLASIFICACIÓN SEGÚN LA DENSIDAD BÁSICA	44
13. ANÁLISIS DE RESULTADOS	45
13.1. RESULTADO DE PROPIEDADES FÍSICAS	45
13.1.1 DENSIDADES	46
13.1.2 CONTENIDO DE HUMEDAD	47
13.1.3 CONTRACCIONES	53
13.2. RESULTADO DE PROPIEDADES MECÁNICAS	55
13.2.1 DUREZA	55
13.2.2 COMPRESIÓN PERPENDICULAR	56
13.2.3 COMPRESIÓN PARALELA	59
13.2.4 FLEXIÓN ESTÁTICA	63
13.2.5 CIZALLAMIENTO RADIAL	69
13.2.6 TENACIDAD	71
13.3. CARACTERIZACIÓN DE LA MADERA	71
14. RESULTADOS E IMPACTOS	72
15. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	73
15.1. CONCLUSIONES	73
15.2. TRABAJOS FUTUROS	73
BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS	78

LISTA DE TABLAS

Tabla 6.1. Superficie apta para actividades forestales comerciales en Colombia .	24
Tabla 9.1 Dimensionamiento de las probetas	29
Tabla 10.1 Ensayos para la obtención de las propiedades físicas.....	31
Tabla 10.2. Maderas según su coeficiente de contracción volumétrica	32
Tabla 10.3. Relación de las contracciones Tangencial/Radial	32
Tabla 10.4 Factores de corrección para el ajuste en contenido de humedad	33
Tabla 10.9 Ensayos para las propiedades mecánicas.....	34
Tabla 11.1 Coeficientes de variación admitidos para cada ensayo	41
Tabla 13.1 Propiedades físicas de las tres especies objeto de estudio	46
Tabla 13.2 Clasificación de las maderas según sus densidades	46
Tabla 13.5. Promedios de masa de cada tipo de especie y ensayo	47
Tabla 13.6. Masa inicial de las probetas y obtención de resultados a partir del secado cada 6 h para los ensayos 1 y 2 con las probetas de Pino Caribe	48
Tabla 13.7. Masa inicial de las probetas y obtención de resultados a partir del secado cada 6 h para los ensayos 1 y 2 con las probetas de Eucalipto	49
Tabla 13.8. Masa inicial de las probetas y obtención de resultados a partir del secado cada 6 h para los ensayos 1 y 2 con las probetas de Acacia	50
Tabla 13.9. Horas de secado para cada uno de los ensayos en cada tipo de madera	52
Tabla 13.8 Clasificación de la contracción volumétrica para las tres especies	53
Tabla 13.12 Relación de las contracciones Tangencial/Radial.....	54
Tabla 13.13 Resultados de las propiedades mecánicas.....	55
Tabla 13.14 Promedio de los datos obtenidos del pino caribe.....	56
Tabla 13.15 Promedio de los datos obtenidos de la Acacia	56
Tabla 13.16 Promedio de los datos obtenidos del Eucalipto	57
Tabla 13.17 Datos obtenidos del pino caribe	59
Tabla 13.18 Datos obtenidos de la especie Acacia	60
Tabla 13.19 Datos obtenidos de la especie Eucalipto	61
Tabla 13.20 valores obtenidos del pino caribe	63
Tabla 13.21 RM, RLP y MOE del pino caribe	64
Tabla 13.22. Valores obtenidos de la Acacia	65
Tabla 13.23 RM, RLP y MOE de la Acacia.....	66
Tabla 13.24 Datos obtenidos de la especie Eucalipto	67
Tabla 13.25 Resistencia máxima, límite proporcional y módulo elasticidad del eucalipto	68
Tabla 13.26 Datos obtenidos de la maquina universal	69
Tabla 13.27 Resistencia máxima de cada especie.....	70
Tabla 13.28 Clasificación de la tenacidad según ASTM.....	71
Tabla 14.1 Resultados	72
Tabla 14.2 Impactos.....	72
Tabla 0.1 Probetas del ensayo N°4 del eucalipto	94
Tabla 0.2 Probetas del ensayo número 4 de la Acacia.....	95
Tabla 0.3 Probetas del ensayo N° 5 de Acacia	96
Tabla 0.4 Probetas del ensayo N° 5 del Eucalipto.....	97

Tabla 0.5 Probetas del ensayo N° de Eucalipto	98
Tabla 0.6 Probetas de ensayo N° 6 de la Acacia	99
Tabla 0.7 Probetas del ensayo N°4 del Pino caribe	100
Tabla 0.8 Probetas del ensayo N°3 de Acacia	101
Tabla 0.9 Probetas del ensayo N° 3 del eucalipto	102
Tabla 0.10 Probetas del ensayo N° 3 del Pino caribe	103
Tabla 0.11 Probetas del ensayo N°5 del Pino caribe	104
Tabla 0.12 Probetas del ensayo N° 6 del Pino Caribe	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 6.1. Mapa de la altillanura	25
Figura 7.1 Etapas de la metodología.....	27
Figura 9.1. Planos y cortes de la madera	29
Figura 9.2. Elaboración de las probetas	29
Figura 9.3. Formato de identificación de las muestras	30
Figura 10.1 Proceso de obtención de las propiedades mecánicas de la madera .	34
Figura 10.2. Ensayo de dureza	35
Figura 10.3. Ensayo de compresión perpendicular.	36
Figura 10.4. Ensayo de compresión paralela	37
Figura 10.5. Ensayo flexión estática.....	38
Figura 10.6. Esquema de corte por cizallamiento.....	39
Figura 13.1 Densidad en estado seco de las especies estudiadas.....	46
Figura 13.2. Gráficas de la variación de la masa de las probetas para los ensayos 1 y 2 en las especies acacia, eucalipto y pino caribe según las horas de secado ...	51
Figura 13.3 Contenido de humedad en estado seco de las especies estudiadas.	52
Figura 13.4 Contracción radial y tangencial para los tres tipos de maderas	54
Figura 13.5 Tipos de dureza para las tres especies forestales	55
Figura 13.6 Curva de esfuerzo vs deformación del pino caribe	57
Figura 13.7 Curva de esfuerzo vs deformación de la Acacia.....	57
Figura 13.8 Curva de esfuerzo vs deformación del Eucalipto.....	58
Figura 13.9 Compresión perpendicular en las tres especies maderables.....	58
Figura 13.10 Esfuerzo (kg/cm ²) vs Deformación (mm) Pino caribe.....	59
Figura 13.11 Esfuerzo (kg/cm ²) vs Deformación (mm) Acacia	60
Figura 13.12 Esfuerzo (kg/cm ²) vs Deformación (mm) Eucalipto	61
Figura 13.13 Comparación de variables RM y RLP de compresión paralela	62
Figura 13.14 Valor del MOE resultado de compresión paralela.....	62
Figura 13.15 Carga (kgf) vs Deformación (mm) Pino caribe.....	63
Figura 13.16 Carga (kgf) vs deformación (mm) Acacia	65
Figura 13.17 Carga (kgf) vs Deformación (mm) Eucalipto.....	67
Figura 13.18 Comparación de los valores de la flexión estática radial	68
Figura 13.19 Valor de resistencia máxima por cizallamiento radial y tangencial ..	70
Figura 0.1 Anexo 1 CH.....	78
Figura 0.2 Anexo 1 CH.....	79
Figura 0.3 Anexo 2 peso específico	80
Figura 0.4 Anexo 2 peso específico	81
Figura 0.5 Anexo 3 Dureza	82
Figura 0.6 Anexo 3 Dureza	83
Figura 0.7 Anexo 4 Compresión perpendicular	84
Figura 0.8 Anexo 4 Compresión perpendicular	85
Figura 0.9 Anexo 5 compresión paralela	86
Figura 0.10 Anexo 5 compresión paralela	87
Figura 0.11 Anexo 6 Flexión estática	88
Figura 0.12 Anexo 6 Flexión estática	89
Figura 0.13 Anexo 6 Flexión estática	90

Figura 0.14 Anexo 7 Cizallamiento.....	91
Figura 0.15 Anexo 7 Cizallamiento.....	92
Figura 0.16 Anexo 8 Tenacidad	93
Figura 0.17 Masa según horas de secado para las probetas de los ensayos 3, 5 y 6 de la especie Pino Caribe	106
Figura 0.18 Masa según horas de secado para las probetas de los ensayos 4 de la especie acacia	106
Figura 0.19. Masa según horas de secado para las probetas del ensayo 4 de la especie Eucalipto.....	107
Figura 0.20. Masa según horas de secado para las probetas del ensayo 5 de la especie Acacia.....	107
Figura 0.21. Masa según horas de secado para las probetas del ensayo 5 de la especie Eucalipto.....	108
Figura 0.22. Masa según horas de secado para las probetas del ensayo 6 de la especie Eucalipto.....	108
Figura 0.23 Masa según horas de secado para las probetas del ensayo 4 de la especie Pino Caribe.....	109
Figura 0.24 Masa según horas de secado para las probetas del ensayo 3 de la especie Acacia.....	109
Figura 0.25 Masa según horas de secado para las probetas del ensayo 3 de la especie Eucalipto.....	110

1. INTRODUCCIÓN

El desconocimiento de las propiedades físico-mecánicas de la madera que pueden ser obtenidas de las diferentes fuentes forestales en Colombia es uno de los principales factores de su poca aplicación como elemento estructural en el sector de la construcción.

Las especies forestales introducidas son aquellas cuyo origen natural no corresponde al lugar en el que se les considera introducidas, es decir, son el resultado de actividades humanas voluntarias mediante la reforestación proveniente de plantaciones forestales.

Un caso es el de las maderas tipo acacia, eucalipto y pino caribe, especies introducidas en la región conformada por los departamentos de Meta y Vichada donde no existe información disponible con muestras provenientes de especímenes cultivados en este sector. En esta zona perteneciente a la altillanura colombiana no se han llevado a cabo estudios acerca de las propiedades de las maderas existentes. Y en general el conocimiento hoy disponible ha resultado empírico. A todo lo anterior se suma el que no existe interés en la búsqueda de materiales procedentes de fuentes renovables, pues la región oferta gran cantidad de recursos tradicionales tales como el acero y el concreto.

La metodología que se pretende implementar en este estudio se compone de cuatro etapas: la primera, consiste en realizar una clasificación visual para seleccionar y adquirir las muestras de madera de las especies que son objeto de estudio, de las cuales se fabricarán y acondicionarán las probetas para cada prueba. La segunda etapa se realizará en el Laboratorio de Tecnología de Maderas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en donde se evaluarán las características generales de las maderas y se efectuarán los ensayos correspondientes para determinar las propiedades físicas y mecánicas de cada una de las especies seleccionadas. En la tercera etapa se realizará un análisis estadístico de los datos obtenidos, generando las tablas y gráficas pertinentes. Y en la cuarta etapa se establecerán los usos potenciales de las especies en el sector de la construcción.

La determinación del uso de las especies forestales a partir de la caracterización de sus propiedades físico-mecánicas, permitiría fomentar y optimizar el uso de la madera proveniente de plantaciones forestales, contribuyendo con la conservación de los ecosistemas naturales, ya que al ser usada como un elemento estructural en la construcción, se minimizaría el impacto que la ingeniería civil genera sobre el medio ambiente, es segura de manipular y en su calidad de material renovable, en la medida en que los árboles que se aprovechan continúen siendo replantados, seguirá estando disponible, para el caso de las especies planteadas, alrededor de 6 años tomaría el aprovechamiento de las mismas luego de haber sido plantadas.

En este documento se presenta detalladamente cada uno de los componentes del estudio que se pretende realizar como propuesta de investigación, en donde, a partir de fundamentos teóricos coherentes, se pretende validar lo anteriormente expuesto.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La búsqueda de soluciones para reducir el cambio climático a través de formas alternativas de construcción, ha conducido a un interés creciente por la utilización de la madera como un material de construcción [1], debido a que es un recurso natural que ofrece grandes ventajas ambientales; en comparación del acero y el concreto [2]. Ya que se requiere poca energía para su conversión en componentes estructurales [3], con lo cual favorece los procesos de cuidado al ecosistema y a su vez, brinda enormes garantías como materia prima de alto potencial para la construcción gracias a sus propiedades físicas, mecánicas y estéticas [4].

Colombia tiene una extensión territorial de 114.174.800 ha [5], de las cuales, 24.805.854 ha corresponden a territorio apto para el establecimiento de plantaciones comerciales, lo que equivale al 21,72% del territorio continental colombiano [6]. Sin embargo, actualmente las plantaciones forestales con fines comerciales corresponden a 310.137 ha [7], es decir, tan solo el 0,27 % del territorio apto para el aprovechamiento forestal está siendo utilizado en Colombia.

En Colombia, el principal aprovechamiento de madera se realiza a partir de las plantaciones de especies forestales existentes, con el fin de proteger la madera del bosque natural, amenazada por el eterno problema de la tala ilegal [7]. A partir de investigaciones sobre la producción histórica de madera, en 2013, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural determinó a las especies introducidas de eucalipto, pino, teca, melina y acacia como las principales especies cultivadas en el país [8].

A pesar de que el sector de la construcción demanda el 80% de madera producida en Colombia [9], la madera se usa principalmente como un elemento temporal (formaletas, andamios, estacas, entablados, encofrados, parales, travesaños y cerramientos). El uso de la madera como un elemento estructural en las construcciones es mínimo y se restringe a proyectos especiales de diseños exclusivos y no como un elemento estructural de uso general en cualquier tipo de infraestructura [10].

¿Cuáles son los valores de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas acacia, eucalipto y pino caribe, que nos permitan conocer si son aptas o no para ser aprovechadas como un elemento de uso estructural de acuerdo a los criterios establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente del 2010 título G?

3. JUSTIFICACIÓN

Determinar las propiedades físico–mecánicas de las especies forestales presentes en Colombia, específicamente para establecer la dureza, la resistencia a la compresión perpendicular y paralela a la fibra, la resistencia a la flexión, la resistencia al corte y la tenacidad. Esto permitirá establecer su posible uso en la construcción y tener un registro cuantificable de las características de la especie. De esta manera, se podrán determinar sus aplicaciones como un elemento estructural en la construcción, lo que podría llevar a su industrialización y a un aumento en su valor agregado [11]. Favoreciendo el sector de asociado a la obtención y producción de madera.

La razón por la que se plantea realizar este estudio con las maderas de Acacia, Eucalipto y Pino Caribe, es porque el Meta y Vichada, departamentos que la conforman la altillanura colombiana, representan el 21.8% de superficie apta para actividades forestales comerciales en el país [6] y en conjunto se consideran como la región que tiene el potencial más grande en el país para un desarrollo excepcional en el sector de plantaciones forestales comerciales debido a sus vastas extensiones de terreno a precios relativamente bajos, presentando en su mayoría una topografía plana. Es cierto que son bajas de baja fertilidad pero que pueden ser repotenciados a partir de la implementación de adecuados problemas de fertilización. [7]

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar las propiedades físico – mecánicas de las maderas de acacia, eucalipto y pino caribe de la región de la altillanura colombiana según los criterios establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente del 2010 título G.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar las características esenciales de las especies de madera utilizadas en la construcción.
- Realizar los ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas de las especies acacia, eucalipto y pino Caribe.
- Determinar la calidad de la madera a partir de sus propiedades físicas y mecánicas que permitan orientar su posible uso como elemento estructural.
- Mostrar al sector civil que las especies de estudio son viables o no para la aplicación en la construcción.

5. ALCANCE

En este trabajo específicamente se va a establecer la dureza, la resistencia a la compresión perpendicular y paralela a la fibra, la resistencia a la flexión, la resistencia al corte y la tenacidad, las cuales son la de mayor uso. Al final del presente proyecto se habrán caracterizado las maderas del tipo acacia, eucalipto y pino Caribe de la región de la zona comprendida entre el Meta y Vichada.

En concordancia con los intereses expuestos, la presente investigación a modo de entregable, realizará una caracterización física de los tres tipos de maderas con el fin de conocer su comportamiento. Así mismo, conforme a los resultados arrojados por los ensayos mecánicos y los parámetros requeridos por la NSR-10 se determinará si este material es viable para el uso constructivo en Colombia.

El desarrollo del proyecto es simplemente de carácter institucional, siendo así los interesados directos, el personal estudiantil, y directivos, y como interesados indirectos podemos encontrar personas afines en el sector de obras civiles.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. MARCO TEÓRICO

El ser humano, se encuentra sometido al medio natural que lo rodea. Es precisamente la naturaleza, tanto viviente como inanimada, la que proporciona los elementos necesarios para la existencia de las sociedades humanas. [12] Lo anterior se engloba al concepto del uso de las maderas, como fuente primaria con fines constructivos, se habla de un material fácil de encontrar y beneficioso para el medio ambiente, el patrimonio cultural o las actividades económicas

En los países latinoamericanos existe una gran cantidad de especies de árboles, pero el hombre solo explota algunas. “Los bosques de los países andinos, que corresponden principalmente a las cuencas de los ríos Orinoco y Amazonas, cubren aproximadamente el 60% del área de la subregión y abarca 22 millones de ha [13]

Se calcula que hay unas 2500 especies en los bosques naturales. De éstas, sólo se han identificado botánicamente unas 1000 y la industria maderera no aprovecha regularmente más que unas 50 especies [13]. Por ende, se puede evidenciar que el 70% de la madera que se comercializa en Colombia pertenece tan solo a seis especies. Cifra altamente inquietante teniendo en cuenta la gran diversidad de especies maderables de los bosques en Colombia [14] Por tal motivo, “*es importante generar iniciativas de investigación que generen un interés del aprovechamiento y uso de las especies poco conocidas con potencial comercial, y aumentar la rentabilidad del manejo forestal sostenible*”. [14]

La forma de generar un mejor aprovechamiento del uso a las maderas, es a partir de un conocimiento previo de sus características y la recomendación de usos con base en estos distintivos. Para poder obtener esta información, es necesario desarrollar una metodología para el estudio integral de las especies maderables poco utilizadas y la realización de una serie de pruebas que permitan conocer las propiedades de cada una de las diferentes maderas. [15] Los resultados del estudio de las características tecnológicas de la madera mediante ensayos estandarizados permitirían ampliar el espectro de usos de esta especie y habilitar su recomendación hacia nuevas aplicaciones de mayor valor agregado. [16]

6.2. MARCO CONCEPTUAL

6.2.1 MADERA

“La madera es un material de origen orgánico más o menos compacto de naturaleza fibrosa que proviene de las plantas leñosas (árboles), que se caracteriza por sus propiedades anisotrópicas e higroscópicas.” [13]

6.2.2 ACACIA MANGIUM

Es un árbol del trópico húmedo originario del sudeste asiático y que se desarrolla naturalmente en el norte de Australia y en países como Papúa Nueva Guinea e Indonesia. Gracias a su rápido crecimiento y a la tolerancia a condiciones adversas en los suelos, se ha sembrado en plantaciones forestales con fines comerciales a lo largo de la franja tropical asiática, africana y recientemente en América. [17]

En Colombia la especie se introdujo cerca del año 1995 con propósitos ambientales de recuperación de suelos degradados, pero por sus cualidades biológicas y el potencial maderable cuando se cultiva con estándares técnicos, ha sido plantada en nuevos proyectos de reforestación comercial en zonas como el Bajo Cauca Antioqueño, sur de Córdoba, Magdalena medio y Llanos orientales. [17]

6.2.3 PINO CARIBE

Es un árbol procedente de Centroamérica. Se encuentra en una zona tropical con una amplia distribución geográfica, como lo es Nicaragua, Honduras, Belice, Guatemala, Islas Bahamas y Colombia. [18]

6.2.4 EUCALIPTO

Es un árbol de gran magnitud, puede llegar a medir 60m de altura y con un diámetro de 1.5m. La corteza es áspera y persistente desde la base hasta uno o dos metros de altura. El Eucalipto se encuentra ampliamente distribuido en Colombia y de acuerdo a la oferta ambiental puede presentar algunas variaciones morfológicas, pero en general, su comportamiento y fisonomía son similares [19]

6.2.5 PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas corresponden a las diferentes características de la estructura leñosa de la madera; entre ellas se puede mencionar, el peso específico que determina la relación peso/volumen del material, el contenido de humedad, el cual me especifica la cantidad de agua que posee la madera y los cambios dimensionales de la madera en cuanto a su altura, ancho y largo [13].

6.2.6 PROPIEDADES MECÁNICAS

La investigación consiste en aplicar ensayos mecánicos a diferentes probetas de madera de acuerdo a la normatividad de cada país. En este caso las implementadas en Colombia, la Norma Técnica Colombiana (NTC). Los ensayos mecánicos tienen por finalidad proveer información que permita predecir la respuesta de los materiales frente a sollicitaciones mecánicas externas [13].

Las probetas se someten a ensayos y cuando el esfuerzo se aplica en forma de cargas controladas y estas experimentan deformaciones obteniendo como resultado la carga máxima o esfuerzo máximo soportado por la pieza de madera

teniendo en cuenta que la relación que existe entre esfuerzo deformación consiste en que tanto esfuerzo soporta la probeta sin llegar a su deformación total. Los datos obtenidos sirven para realizar la gráfica esfuerzo-deformación de cada especie. [20]. Entre estos ensayos encontramos los siguientes:

- Dureza: resistencia que tiene la madera a alteraciones como la penetración, y el rayado.
- Compresión perpendicular: La resistencia que soporta la madera al ser sometida a esfuerzos de compresión perpendiculares a sus fibras.
- Compresión paralela: La resistencia que soporta la madera al ser sometida a esfuerzos de compresión paralelas a sus fibras.
- Flexión estática: Se realiza para determinar el límite de resistencia a esfuerzos de flexión del material.
- Cizallamiento: Resistencia a las fuerzas paralelas y opuestas que se producen por deslizamiento entre fibras.
- Tenacidad: Capacidad de absorber la energía transmitida a partir de un golpe.

6.3. ESTADO DEL ARTE

La madera es un material de origen orgánico más o menos compacto de naturaleza fibrosa que proviene de las plantas leñosas, caracterizada por sus propiedades anisotrópicas e higroscópicas. Se dice que es anisótropa por la completa heterogeneidad de propiedades en sus diferentes planos de corte, mientras la higroscopia es la capacidad de absorber o eliminar humedad dependiendo de las condiciones externas. [20]

Una gran cantidad de investigaciones se ha orientado a la recomendación de usos potenciales de las maderas, a partir principalmente del análisis de sus propiedades físicas y mecánicas y a la comparación cualitativa con maderas de usos ampliamente reconocidos. [21]

Teniendo en cuenta lo anterior se resalta también, que Colombia cuenta con un potencial de más de 24 millones de hectáreas con aptitud forestal. [22] lo cual permite replantear la sostenibilidad de aquellos recursos, dado que el aprovechamiento de los mismos está limitado a un grupo muy selecto de especies forestales determinados por las normas y sus respectivos estudios. Adicionalmente, las maderas de acacia, eucalipto y pino caribe representan el 24.95% de la superficie apta para actividades forestales comerciales en el país, tal y como se aprecia en la tabla 6.1. [6]

Tabla 6.1. Superficie apta para actividades forestales comerciales en Colombia

No.	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	SUPERFICIE APTA	
			%	ha
1	<i>Pinus caribaea</i>	Pino	15.32%	3,800,257
2	<i>Acacia mangium</i>	Acacia	7.14%	1,771,138
3	<i>Eucalyptus pellita</i>	Eucalipto	2.49%	617,666
4	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Eucalipto plateado	5.89%	1,460,141
5	<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto	7.36%	1,825,176
6	<i>Eucalyptus grandis</i>	Eucalipto	3.68%	912,588
7	<i>Eucalyptus urophylla</i>	Eucalipto	3.68%	912,588
8	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	Eucalipto	11.04%	2,737,764
9	<i>Pinus oocarpa</i>	Pino	4.41%	1,095,105
10	<i>Pinus patula</i>	Pino	3.68%	912,588
11	<i>Pinus maximinoii</i>	Pino	7.36%	1,825,176
12	<i>Pinus tecunumanii</i>	Pino	8.83%	2,190,211
13	<i>Tectona grandis</i>	Teca	8.09%	2,007,693
14	<i>Gmelina arborea</i>	Melina	5.89%	1,460,141
15	<i>Cupressus lusitanica</i>	Ciprés	5.15%	1,277,623
TOTAL			100%	24,805,854

Fuente: Resolución 000474 de 2013. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

Por ende se puede percibir que estas especies, por su falta de estudio en lo que se refiere a sus propiedades físico-mecánicas no han sido implementadas en usos constructivos y las cuales podrían generar un impacto positivo teniendo en cuenta aquellas especies que tienen cifras de aprovechamiento bastante significativas, criterios que han sido sustentados por el Ministerio del Medio Ambiente y las Corporaciones. [23]

En el campo de la construcción, la madera resulta útil pues su papel es significativo debido a su elevada capacidad resistente. Razón por la cual, es necesario conocer lo que se refiere a sus propiedades [20], con objeto de darle una aplicación adecuada. De igual manera Roussy (2013), afirma que los resultados del estudio de las características tecnológicas de la madera, llevados a cabo mediante ensayos estandarizados, permiten ampliar el espectro de usos de una especie y dar la recomendación hacia nuevas aplicaciones de mayor valor agregado. [24]

Frente a la determinación de los posibles usos de la madera son muy pocas las metodologías que trabajan para llegar a determinar el uso de una especie maderable con base en los resultados de sus propiedades físico - mecánicas [23], razón por la cual Klinger & Talero (2001), formularon una propuesta metodológica para identificar usos potenciales a partir del análisis cuantitativo de 14 parámetros físico-mecánicos obteniendo como resultado una base de datos de propiedades físico mecánicas y usos actuales de aproximadamente 700 especies. [21]

Adicionalmente, es importante resaltar que las constructoras del país estén dando un vistazo hacia la transformación de la construcción de edificaciones con una actividad que involucre diseños y materiales con altos estándares de sostenibilidad como lo es la madera. Ya que, con los estudios adecuados, este material es altamente resistente para la construcción y hoy en día se encuentra en el listado de los materiales sostenibles con mayor importancia. Con lo cual se puede apreciar la gran necesidad de realizar estudios minuciosos determinando sus propiedades a todas aquellas maderas que no se encuentran establecidas en la NSR-10 y que podrían ser de gran utilidad.

6.4. MARCO NORMATIVO

El marco normativo de la presente propuesta se basa en las normas del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación; Icontec, teniendo como referencia las normas de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas; COPANT y la Reglamentación Colombiana de Construcción Sismorresistente NSR-10.

6.5. MARCO GEOGRÁFICO

La Orinoquia es geográficamente muy diversa por lo que hay varias propuestas de divisiones en subregiones. Tales como su cercanía a los Andes, la transición de sabana a selva de la Amazonia, el andén del río Orinoco y el territorio que comprende la Sierra de la Macarena [25]. La definición de la Altillanura como región, aunque es más acertado llamarla subregión de la Orinoquia, se debe precisamente a su característica de sabana no inundable. Su delimitación corresponde a tierras conformadas "por sabanas unos metros más altos que el cauce del río Meta, con una red hidrográfica autónoma de tal manera que en la temporada de lluvias estas sabanas no se inundan como sí lo hacen las del margen izquierdo del río Meta." [26]

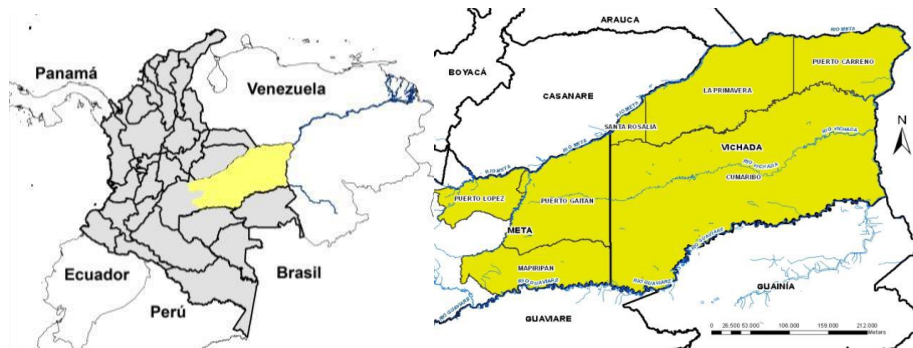


Figura 6.1. Mapa de la altillanura
Fuente: DNP con base en información del IGAC (2011)

En cuanto a su división político-administrativa el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), reconoce que la Altillanura es Conformada por los municipios de Puerto Gaitán, Puerto López, Mapiripán, La Primavera, Santa Rosalía, Cumaribo y Puerto Carreño. La Altillanura colinda con el departamento de Casanare y los siete municipios que la componen pertenecen a los departamentos de Meta y Vichada.

La plantación de 300 hectáreas de Pino Caribe, se estableció en la Finca Cabo de Hacha con una extensión total de 843 hectáreas. El predio está ubicado en el municipio de Puerto Gaitán - Meta, en la vereda Nuevas Fundaciones; se accede a este por la vía que conduce de Villavicencio - Puerto Gaitán – Vía a Rubiales Km 40 costado izquierdo, recorriendo 252 kilómetros aproximadamente desde Villavicencio. Su acceso se hace por una carretera en buenas condiciones con 212 km pavimentada y 40 km de una vía destapada con mantenimiento permanente.

7. METODOLOGÍA

La metodología con la cual se desarrolló la presente propuesta de investigación comprende cinco etapas:

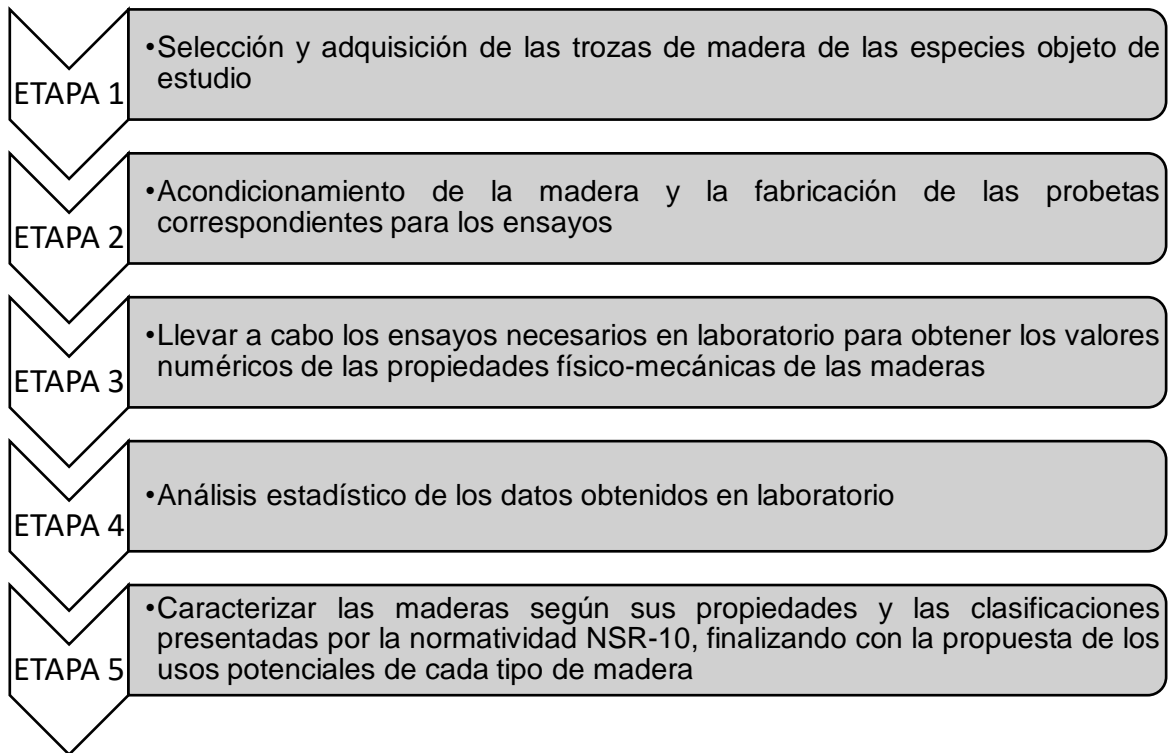


Figura 7.1 Etapas de la metodología
Fuente: Autores

8. ETAPA 1: PROCEDENCIA Y SELECCIÓN DE LA MADERA

Las trozas de madera de las especies de acacia, eucalipto y pino caribe fueron suministradas por la empresa Maderas El Vergel, las cuales fueron seleccionadas de diferentes ubicaciones dentro de la misma parcela de cada especie en el proyecto de plantación Cabo de Hacha, en el municipio de Puerto Gaitán, Meta.

Según la norma COPANT 458, se seleccionaron cinco 5 árboles de cada especie por parcela. En total se seleccionaron 15 árboles, para los cuales se tuvo en cuenta su buen porte; fuste recto y sano, un diámetro a la altura del pecho mayor a 40 cm, altura comercial mayor a 8 m y poca presencia de nudos.

Luego de realizar el apeo de los 15 árboles, estos se dividieron en trozas de 2 m y luego fueron trasladadas hasta las instalaciones de Maderas El Vergel en Villavicencio, Meta.

9. ETAPA 2: ACONDICIONAMIENTO DE LA MADERA

El acondicionamiento de las trozas de madera seleccionadas se llevó a cabo según la NTC 790, a partir de la cual se pre elaboraron 120 probetas de cada especie, las cuales se protegieron en los extremos con pintura para evitar la formación de grietas debido al secado rápido, y luego, se elaboró la probeta definitiva cepillando las cuatro caras y dimensionando a la sección y longitud indicadas en las normas correspondientes a cada ensayo.

9.1. PRE DIMENSIONAMIENTO DE LAS TROZAS

Para llevar a cabo los ensayos de dureza, flexión estática en el plano tangencial, compresión paralela y perpendicular al grano, cizallamiento en el plano tangencial y radial e impacto en el plano tangencial y radial, se tuvieron en cuenta las normas COPANT respectivas, como se observa en la tabla 10-1, indicando las dimensiones requeridas para las probetas de cada tipo de madera.

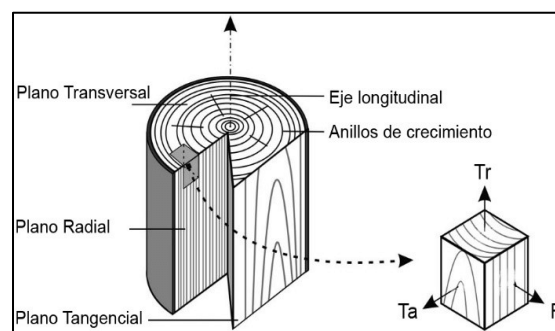


Figura 9.1. Planos y cortes de la madera
Fuente: Autores

Tabla 9.1 Dimensionamiento de las probetas

No.	Ensayo	Dimensiones (cm)	No. Probetas
1	Dureza	5 x 5 x 15	20
2	Compresión perpendicular	5 x 5 x 15	20
3	Compresión paralela	2.5 x 2.5 x 10	20
4	Flexión estática	2.5 x 2.5 x 41	20
5	Cizallamiento	5 x 5 x 6.5	20
6	Impacto o tenacidad	2 x 2 x 24	20

Fuente: Normas COPANT



Figura 9.2. Elaboración de las probetas
Fuente: Autores

9.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

Durante la elaboración, las piezas serán identificadas mediante un código único, de tal forma que cada muestra estará identificada por su especie, dimensión y un número específico. Así pues, las piezas fueron identificadas mediante un patrón de forma “N E M”, donde “N” es el número del ensayo, “E” indica la especie (A: Acacia Mangium; E: Eucalipto Pellita; P: Pino Caribe), y “M” corresponde el número de la muestra (01, 02, ..., n) conformado por dos dígitos. Por ejemplo, una probeta con un código 2A03 correspondería a la probeta número 03 de la especie acacia mangium con las dimensiones necesarias para ser utilizada en el ensayo no. 2 correspondiente a la compresión perpendicular al grano.

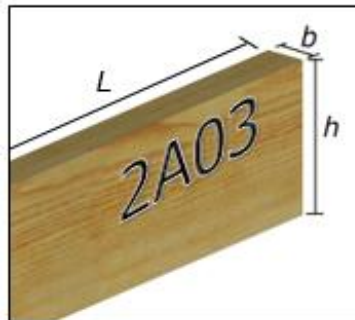


Figura 9.3. Formato de identificación de las muestras
Fuente: Autores

10. ETAPA 3: ENSAYOS

Una vez dimensionadas y fabricadas cada una de las probetas de cada tipo de madera, se realizaron los ensayos que determinarían las propiedades físico-mecánicas de las maderas. La metodología que se implementó en estos ensayos estuvo orientada por lo propuesto por Zárate [27] y Solórzano [28], aplicando las normas NTC y COPANT respectivas para cada ensayo, los cuales se presentan en los anexos del presente documento.

10.1. PROPIEDADES FÍSICAS

Para realizar los ensayos de las propiedades físicas de las maderas seleccionadas se utilizaron las probetas pre dimensionadas elaboradas tal y como indicó en la tabla 9.1, dado que sus dimensiones facilitan la toma de medidas y pesos, por lo tanto, se tomaron 20 probetas por cada tipo de madera para llevar a cabo los siguientes ensayos:

Tabla 10.1 Ensayos para la obtención de las propiedades físicas

Prueba	Normas técnicas
Contenido de humedad	COPANT 460 – NTC 2500
Densidad o peso específico	COPANT 461 – NTC 2500
Cambios dimensionales de la madera	COPANT 462 – NTC 2500

Fuente: Autores

10.1.1 SECADO Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA

Para obtener el contenido de humedad de las probetas, se implementó la NTC 206, utilizando veinte probetas pre-dimensionadas para cada tipo de madera. Se pesó la probeta con una exactitud de $\pm 0,1$ g. Luego, se secó la probeta hasta masa constante, a una temperatura de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se consideró como masa constante, aquella alcanzada cuando la pérdida entre dos pesajes sucesivos, efectuados en un intervalo de 6 h, fue igual o menor al 0,5 % de la masa de la probeta. El contenido de humedad se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$CH = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

Donde: CH es el contenido de humedad (%), m_1 la masa de la probeta antes del secado (g) y m_2 la masa de la probeta después del secado (g).

Se tomó el registro de los valores para cada tipo de madera y se calculó la media aritmética de los resultados obtenidos para las probetas individuales y se registra esta como el valor promedio del contenido de humedad de las probetas y del tipo de madera.

10.1.2 DENSIDAD O PESO ESPECÍFICO

Este ensayo se realizó aplicando la NTC 290, para la cual se utilizaron cada una de las probetas pre dimensionadas debidamente secas, se tomó el peso de cada una de las muestras mediante lectura directa en una balanza electrónica expresándose en gramos. El volumen se evaluó a partir de sus dimensiones: ancho (a), altura (h) y longitud (l), expresándose en cm³:

$$V = a \times h \times l$$

Para obtener el valor del peso específico aparente se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$PE_{CH=12\%} = \frac{M_{CH=12\%}}{V_{CH=12\%}}$$

Donde $PE_{CH=12\%}$ corresponde al peso específico de la probeta seca (g/cm^3), $M_{CH=12\%}$ a la masa de la probeta seca expresada en gramos y $V_{CH=12\%}$ al volumen de la probeta seca expresada en centímetros cúbicos, a lo que el subíndice CH=12% indica que es el valor correspondiente a cuando la muestra de madera está a un contenido de humedad del 12%.

10.1.3 CAMBIOS DIMENSIONALES DE LA MADERA

Según la NTC 2500, antes de establecer las dimensiones reales de escuadría de los diferentes elementos de madera que se debe utilizar en la construcción, se deben tener en cuenta los cambios dimensionales del material a partir de las dimensiones nominales o comerciales.

Así mismo, se deben tener en cuenta los coeficientes de contracción volumétrica; según los valores de la tabla 10.2 y la relación de contracciones tangencial/radial; teniendo en cuenta los parámetros de la tabla 10.3, según el destino que se le vaya a dar a cada tipo de madera.

Tabla 10.2. Maderas según su coeficiente de contracción volumétrica

Coeficiente de contracción volumétrica total (%)	Tipo de madera
Menor de 0,35	Contracción baja
0,36 a 0,55	Contracción moderada
0,56 a 0,75	Contracción alta
0,76 a 1,00	Contracción muy alta

Fuente: NTC 2500.

Tabla 10.3. Relación de las contracciones Tangencial/Radial

Relación (%)	Tipo de madera
Menos de 1,5	Muy estable dimensionalmente
1,5 a 1,8	Estable dimensionalmente
Más de 1,8	Poco estable dimensionalmente

Fuente: NTC 2500

Para este ensayo se utilizaron las medidas de las probetas elaboradas, y una vez realizado el proceso de secado, se volvieron a tomar las medidas de las probetas para establecer los coeficientes de contracción volumétricos y tangencial/radial.

10.2. AJUSTE DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Cuanto el contenido de humedad, al cual serán evaluadas las probetas, difiera del 12% se requerirá aplicar los factores de corrección [29] por cada unidad porcentual mayor o menor al 12% al resultado final de cada ensayo con el fin de reportar los resultados en estado seco [30]. La NTC 301 propone ciertos factores de corrección que se presentan en la tabla 10.4, y mediante la siguiente ecuación propuesta por Klinger [31] se realizaría el ajuste para cada uno de los ensayos:

$$V_a = V_i + \frac{(CH_i - 12) \times (C) \times (V_i)}{100}$$

Donde, V_a es el valor de la propiedad ajustado a un contenido de humedad del 12%, V_i es el valor hallado en laboratorio para la propiedad, CH_i es el contenido de humedad de la madera al momento de las pruebas, C corresponde al porcentaje de aumento por cada 1% de humedad.

Tabla 10.4 Factores de corrección para el ajuste en contenido de humedad

Ensayo	Corrección C (%)
Flexión Resistencia Límite Proporcional	5
Flexión Resistencia Máxima	4
Flexión Modulo de Elasticidad	2
Compresión paralela Resistencia Máxima	5
Compresión paralela Resistencia Límite Proporcional	6
Compresión perpendicular Resistencia Máxima	5.5
Cizallamiento	3
Tenacidad	0.5

Fuente: Klinger [31]

Para el ajuste de la dureza al 12% de contenido de humedad, se emplearon los resultados de corrección descritos por Silvester [32], teniendo que para los datos correspondientes al plano transversal se emplearía un factor del 4% y en planos laterales (radial y tangencial) un factor del 2,5% por cada 1% de variación del contenido de humedad.

10.3. PROPIEDADES MECÁNICAS

Los ensayos mecánicos se realizaron aplicando los métodos propuestos en cada una de las normas técnicas de COPANT e Icontec. El procedimiento general para cada uno de los ensayos consistió en lo siguiente:



Figura 10.1 Proceso de obtención de las propiedades mecánicas de la madera

Fuente: Autores

Para el cargue de la probeta se tuvo en cuenta los criterios y especificaciones de carga y velocidad del ensayo, y en la falla de la probeta se realizó un registro fotográfico y de medición de deformación.

Los ensayos que se presentan en la tabla 3 se realizaron en la maquina universal hidráulica Mohr & Federhaff con un dispositivo de lectura de deformaciones SATURN PLUS y un péndulo de tenacidad para la determinación de las propiedades mecánicas.

Tabla 10.5 Ensayos para las propiedades mecánicas

Ensayo	Norma
Dureza	COPANT 465 – NTC 918
Compresión perpendicular	COPANT 466 – NTC 785
Compresión paralela	COPANT 464 – NTC 784
Flexión estática	COPANT 555 – NTC 663
Cizallamiento	COPANT 463 – NTC 775
Tenacidad	COPANT 556 – NTC 1823

Fuente: Autores

10.3.1 DUREZA

Para realizar este ensayo se utilizó la NTC 918, la cual tiene por objeto establecer el método para determinar la dureza de la madera. Las probetas empleadas para este ensayo tuvieron una sección de 5 cm x 5 cm x 15 cm de longitud. Las caras fueron paralelas al grano, una de sus caras paralela a los anillos de crecimiento.

Utilizando un cabezal, cuyo extremo inferior es una semiesfera metálica y una prensa, se introdujo la semiesfera totalmente una vez, en los extremos y en las caras de las probetas, de acuerdo con el siguiente orden:

- En cada uno de los extremos.
- En cada una de las caras tangenciales.
- En cada una de las caras radiales.

La probeta se colocó inmediatamente debajo de la semiesfera, se accionó la prensa en tal forma que esta se aproximó a la probeta a una velocidad de 6 mm por minuto y se mantuvo esa velocidad constante durante todo el ensayo hasta conseguir la penetración total de la semiesfera. En este instante se detuvo la prensa y se retiró la probeta.

Cuando la penetración de la semiesfera llegó al máximo, se movió constantemente el anillo, alrededor del vástago, en un ángulo de aproximadamente 20°, lo cual permitía advertir tan pronto como se frene el movimiento que la base del anillo ya ha tocado el extremo de la probeta; esto es, que se ha logrado la penetración de la semiesfera.

Se anotó en la planilla correspondiente el valor de cada penetración, así como el promedio de valores homólogos.



Figura 10.2. Ensayo de dureza
Fuente: Autores

10.3.1.1 Cálculos

Los valores de la penetración se expresaron en deca-Newtons. Si el ensayo se efectuó sobre la cara transversal de una probeta con un contenido de humedad mayor de 12%, para ajustar los resultados a este valor se aumentó en un 4% el valor de dureza obtenido en el ensayo por cada 1% de diferencia en el contenido de humedad. Cuando el ensayo se efectuó sobre las caras laterales, se aumentó el valor obtenido en el ensayo, en un 2,5%.

10.3.2 COMPRESIÓN PERPENDICULAR

Se utilizó la NTC 785, la cual tiene por objeto establecer el método para determinar la resistencia de la madera a la compresión perpendicular al grano. Las dimensiones de las probetas empleadas en este ensayo fueron de 5 cm x 5 cm de sección transversal y 15 cm de longitud, cortadas de tal manera que las caras longitudinales sean paralelas al grano, dos de sus caras opuestas tangenciales y las otras dos radiales.

Se colocó la probeta centrada sobre la base del aparato en forma tal que la fuerza se aplicara sobre la cara tangencial o radial. La pieza de presión se colocó sobre la probeta, perfectamente centrada con esta y se hizo descansar sobre cilindro basculante los extremos de los brazos, uno de los cuales accionaba el deflectómetro.

Se accionó la prensa de tal forma que una de las crucetas toque ligeramente la pieza de presión. En ese instante se ajustó el deflectómetro de modo que todas las manecillas indicaran cero. Luego se accionó nuevamente la prensa a una velocidad de ensayo de 0,3 mm por minuto. Esta velocidad se mantuvo constante hasta alcanzar una deformación del 5% del espesor de la probeta.

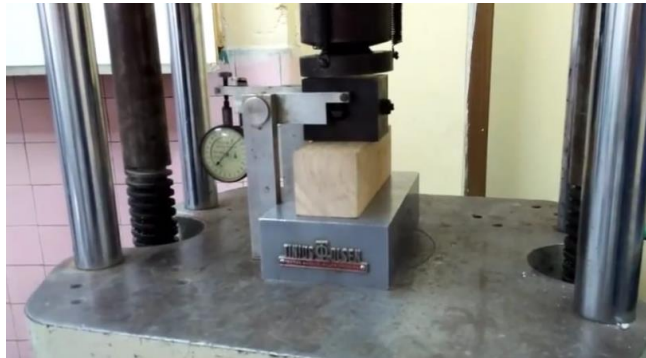


Figura 10.3. Ensayo de compresión perpendicular.
Fuente: Autores

10.3.2.1 Expresión de resultados

Con los valores hallados en el ensayo se construyó un gráfico sobre el cual se determina el punto en el cual termina la parte recta y comienza la parte curva del mismo. Dicho punto corresponde a la carga en el límite proporcional.

10.3.2.2 Cálculos

- La resistencia en el límite proporcional se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{P_1}{S}$$

Donde σ corresponde a la resistencia en el límite proporcional de daN por centímetro cuadrado, P_1 la carga en el límite proporcional, en daN y S es la superficie impresa sobre la probeta por la pieza de presión, en centímetros cuadrados. Esta superficie se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$S = a \times a'$$

Donde a es el ancho de la probeta, en centímetros y a' el ancho del prisma recto, en centímetros.

10.3.3 COMPRESIÓN PARALELA

Para realizar este ensayo se aplicó la norma COPANT 464, que tiene por objeto establecer el método para determinar la resistencia de la madera axial o paralela al grano. Las probetas necesarias consistieron en prismas rectos de 2.5 cm x 2.5 cm x 10 cm. La fibra fue paralela a la longitud.

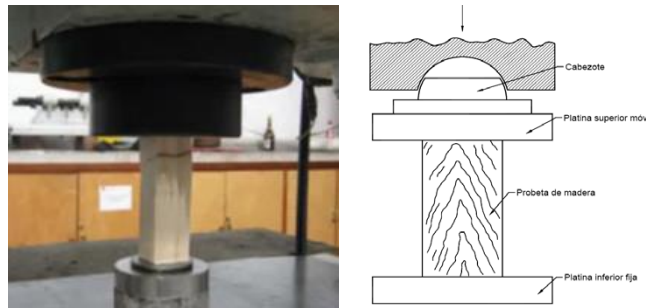


Figura 10.4. Ensayo de compresión paralela
Fuente: Autores

10.3.3.1 Cálculos

- La resistencia máxima a la rotura por compresión axial se calculó aplicando la siguiente ecuación:

$$\sigma = c \text{ máx.} = \frac{P}{S}$$

Donde $\sigma c \text{ máx.}$ es la resistencia máxima a la rotura, en deca-newtons por centímetro cuadrado, P es la carga máxima soportada por la probeta, en deca-newtons, y S es la superficie de la sección transversal de la probeta, calculada antes del ensayo, en centímetros cuadrados:

$$S = a \cdot a'$$

La resistencia en el límite proporcional a la compresión axial se determinó aplicando la siguiente ecuación:

$$\sigma = c \text{ límite proporcional} = \frac{P_1}{S}$$

Donde $\sigma = c \text{ límite proporcional}$ corresponde a la resistencia en el límite proporcional de daN por centímetro cuadrado, P_1 la carga soportada por la probeta en el límite proporcional, en newtons, y S es la superficie de la sección transversal de la probeta, en centímetros cuadrados.

Con los valores de la carga y de la deformación leídos en el defleómetro, se trazó un gráfico sobre el cual se determina el punto P_1 correspondiente al límite proporcional, esto es, el punto final en el cual termina la parte recta y comienza la

parte curva del gráfico. El módulo de elasticidad se calculó aplicando a la siguiente ecuación:

$$E_c = \frac{P_1 \times L}{S \times d}$$

Donde E_c es el módulo de elasticidad de la madera ensayada, en daN por centímetro cuadrado, P_1 es la carga en el límite proporcional, en newtons, L la distancia entre las abrazaderas del deflectómetro, en centímetros, la S , es la superficie de la sección transversal de la probeta calculada antes del ensayo, en centímetros cuadrados y la d significa la deformación experimentada por la probeta en el límite proporcional, en centímetros.

10.3.4 FLEXIÓN ESTÁTICA

Para realizar los ensayos correspondientes a la flexión estática se aplicaron los criterios propuestos por la NTC 663. Para este ensayo se utilizaron las probetas de dimensiones 2.5 cm x 2.5 cm x 41 cm, el grano de la madera estaba paralelamente al eje longitudinal de la probeta, esta se colocó sobre dos soportes y se aplicó la carga en el centro de luz en luz, tal y como se muestra a continuación:

La probeta se cargó en forma continua y constante para obtener una deformación de 2,5 mm por minuto, hasta la rotura, registrándose la deformación y la carga correspondientes.

La lectura de la carga se efectuó en intervalos de 0,02 mm de deflexión y después del límite proporcional en razón del aumento de la carga, cada 100 kg.



Figura 10.5. Ensayo flexión estática
Fuente: Autores

10.3.4.1 Cálculos

La resistencia a la flexión se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$s \text{ máx} = \frac{3PL}{2ae}$$

Donde $s_{m\acute{a}x}$ representa la resistencia máxima a la flexión, en kilogramos por centímetro cúbico, P es la carga de rotura en newtons, L la luz entre los soportes en centímetros, a es el ancho de la probeta en la dirección radial, en centímetros y e la altura del probeta en la dirección tangencial, en centímetros.

10.3.5 CIZALLAMIENTO

El ensayo de cizallamiento se realizó según lo indicado por la NTC 775, para la cual se utilizaron dos probetas de 5 cm x 5 cm x 6,25 cm.

Se colocó la probeta en el dispositivo de cizallamiento de tal manera que la cara de 5 cm x 5 cm quedara en posición paralela a la pieza móvil y que la superficie B recibiera la presión de la cizalla. La probeta quedó fuertemente ajustada al accesorio por medio de dos tornillos y ligeramente apretada entre otros dos tornillos colocados próximos al asiento de la probeta.

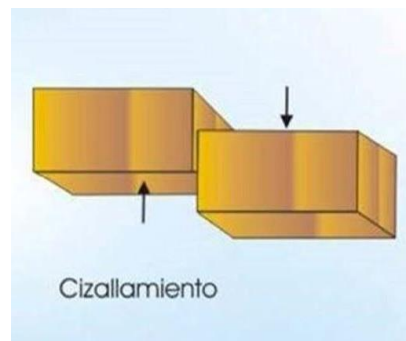


Figura 10.6. Esquema de corte por cizallamiento
Fuente: Autores

10.3.5.1 Cálculos

La resistencia máxima de rotura por cizallamiento se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_{cz} = \frac{P}{S}$$

Donde, σ_{cz} es la resistencia máxima de rotura, en kilogramos-fuerza por centímetro cuadrado, P es la carga máxima soportada por la probeta, en kilogramos-fuerza y S la superficie del plano en que se produce el cizallamiento, en centímetros cuadrados.

10.3.6 TENACIDAD

Para este ensayo se tuvo en cuenta la NTC 1823, la cual define que las probetas deben ser de 2 cm x 2 cm de sección transversal y 30 cm de longitud y deberán cumplir con los requisitos de la NTC 301.

10.3.6.1 Cálculos

La tenacidad se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$T = PL(\cos \alpha 2 - \cos \alpha 1) \times 0,098$$

Dónde: T equivale a la tenacidad, en julios, P es la masa del péndulo, en kilogramos, L , la distancia del centro del eje soporte al centro de gravedad del péndulo en centímetros, 1 el ángulo inicial en grados y 2 el ángulo que finalmente hace el péndulo con la vertical después de la rotura de la probeta, en grados.

11. ETAPA 4: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO

Los datos que se obtuvieron a partir de los ensayos se recopilaron en ficheros Excel, con los cuales y con base en la metodología planteada por Cáceres [33] se desarrolló un análisis descriptivo de todas las propiedades físico-mecánicas obtenidas en cada ensayo realizado teniendo en cuenta todas las variables utilizadas. Posteriormente, se realizó la comparación de los valores de los módulos y esfuerzos obtenidos y se plantearon las correspondientes funciones de predicción para cada tipo de madera.

11.1. COEFICIENTES DE VARIACIÓN

Para definir el máximo coeficiente de variación admitido para los diferentes ensayos se tomaron como referencia los siguientes valores propuestos por la NTC 301:

Tabla 11.1 Coeficientes de variación admitidos para cada ensayo

Ensayos	Coeficientes de variación
Flexión, módulo de ruptura	16%
Flexión, módulo de elasticidad	22%
Compresión paralela, esfuerzos de ruptura	18%
Cizallamiento, módulo de ruptura	14%
Compresión perpendicular, esfuerzo en el límite proporcional	28%

Fuente: Autores

Los resultados de los ensayos que fueron mayores al coeficiente especificado, se eliminaron hasta obtener el coeficiente admitido o en su defecto repetir el ensayo hasta lograrse un valor aceptable, conservando en todo caso el mínimo de datos para que la muestra sea estadísticamente válida [29].

11.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO

A continuación se muestran los procesos estadísticos descriptivos que se emplearon, los cuales están presentes en los diversos análisis y grupos de resultados referidos a las distintas variables de los ensayos que se realizaron [34]:

- Media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Donde n es el número total de probetas analizadas de la muestra y x_i es el valor individual de la variable x de cada probeta.

- Desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde x_i es el valor individual de la variable x de cada probeta, \bar{x} es la media de la variable x y N es el número total de la muestra.

- Coeficiente de variación:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100$$

Donde σ es la desviación típica y \bar{x} es la media de la variable x .

De igual forma, datos como los mínimos, máximos, el sesgo y la curtosis, serán tenidos en cuenta para la presentación de todos los valores como resultado de los ensayos a realizar.

11.3. TEST DE NORMALIDAD

La comprobación de la normalidad de las distribuciones de las variables por analizar, fue realizada mediante el test no paramétrico de Kolmogorov-Smirnov, el cual se basa en la comparación de la distribución acumulada de los datos observados con la de una distribución dada, en este caso la normal, midiendo la máxima distancia entre ambas [34].

De este modo, el en test fueron obtenidas dos variables: el estadístico Z , calculado a partir de la mayor diferencia entre la función de distribución de la muestra y la función de distribución normal de la ecuación x y el valor de significación, siendo rechazada la hipótesis de normalidad cuando este resultó menor de 0,05.

$$Z_{k-s} = \max|D_i|\sqrt{n}$$

11.4. ANÁLISIS DE VARIANZA

Se realizó un análisis de varianza para comparar varios grupos en las variables cuantitativas, es decir, las diferentes variables fueron analizadas en función de los grupos definidos por los distintos tamaños de sección, para detectar las diferencias significativas existentes entre sus medias.

La comparación de medias fue realizada mediante el test de la Diferencia Mínima Significativa (DMS), para la que se adoptó un valor de significación de 0,05.

11.5. MODELOS DE REGRESIÓN

Los modelos de regresión se llevaron a cabo a partir de la regresión lineal y múltiple [34], de la forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

Donde Y es la variable dependiente, X_1, X_2, \dots, X_n son las variables independientes, β_0 es el término constante, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ son los parámetros de las variables independientes y ε es el término aleatorio.

Se hizo uso de modelos de regresión con el módulo de elasticidad de cada ensayo como regresor, obteniendo la recta de cada regresión, sus respectivos coeficientes de correlación y sus respectivos coeficientes de determinación ajustados.

12. ETAPA 5: CARACTERIZACIÓN DE LA MADERA

12.1. CLASIFICACIÓN SEGÚN LA DENSIDAD BÁSICA

Para efectos de agrupar la madera de uso estructural, se utilizó la densidad básica como indicador de sus propiedades mecánicas propuestas por la NSR-10, así:

Grupo A: maderas con densidad básica superior a $0,71 \text{ g/cm}^3$

Grupo B: maderas con densidad básica entre $0,56$ y $0,70 \text{ g/cm}^3$

Grupo C: maderas con densidad básica entre $0,4$ y $0,55 \text{ g/cm}^3$

13. ANÁLISIS DE RESULTADOS

13.1. RESULTADO DE PROPIEDADES FÍSICAS

En la tabla 13.1 se presentan los valores de las propiedades físicas de las tres especies de estudio en la que se agrupan según las variables de estado de la madera entre verde y seca al horno, para las propiedades de contenido de humedad y densidad o peso específico y para las propiedades de contracción volumétrica, radial y tangencial para cada una de las especies. Según estos valores, la propiedad de contenido de humedad presenta los menores coeficientes de variación, siendo el estado seco al horno quien presentó la menor variación con un 4,473 %, luego, las propiedades de densidad en ambos estados presentaron en promedio un 12,854 % de variación y, por último, las diferentes contracciones de la madera presentaron un promedio equivalente al 12,909 % de variación. Las maderas contienen un porcentaje de humedad que varía del 70% y el 200%, luego de realizado el proceso oscila entre el 9% y el 25%, esto depende de su peso y la humedad relativa del aire. Según la NSR-10 capítulo G.11 en estructuras se debe usar la madera seca con un CH máximo del 19% o del 12% si se trata de madera laminada.

Para determinar si es viable o no como uso estructural la madera en estudio a partir del contenido de humedad, hay que tener en cuenta el equilibrio de contenido de humedad (CH), el cual consiste en ese instante en el que el material empieza a perder humedad y se equilibra con el medio ambiente

En cuanto a su densidad se encuentra una clasificación propuesta por la Publicación Maderas Colombianas y en referencia a Guevara (2001). En la cual se presenta 3 grupos, Pesadas que son aquellas maderas con una densidad de 0.76 g/cm^3 a 1 g/cm^3 , semipesados que están entre 0.56 g/cm^3 a 0.75 g/cm^3 y livianas que son las menos densas por ende más porosas que van de 0.35 g/cm^3 a 0.55 g/cm^3 .

Según la publicación de maderas colombianas, encontramos diversas especies de árboles existentes en nuestro país, nos muestran sus características, lo cual nos permiten tener una idea clara de que comportamiento presenta una madera, pesada, semipesado y liviana.

Por ejemplo, encontramos el creolino, una especie que cuenta con una densidad de 1.03 g/cm^3 la cual se clasifica en pesada, por ser de esta densidad es un material extremadamente pesada y tiene buena resistencia a flexión, compresión y dureza extrema. Requiere de sierras especiales para trabajar, es empleada como pisos, postes para viviendas.

Tabla 13.1 Propiedades físicas de las tres especies objeto de estudio

PROPIEDAD FÍSICA	VARIABLE	PINO CARIBE		EUCALIPTO		ACACIA	
		Media	C.V.	Media	C.V.	Media	C.V.
Contenido de humedad (g/cm ³)	Verde	138.7	8.517	127.5	6.266	192.6	8.236
	Seca al horno	16.38	3.522	17.24	4.302	21.47	5.596
Densidad o peso específico (%)	Verde	1.06	9.836	2.31	7.744	3.52	19.721
	Seca al horno	0.45	18.602	0.97	7.471	0.72	13.752
Contracción total de la madera (%)	Volumétrica	8.63	14.953	20.9	13.455	18.4	2.796
	Radial	2.97	25.036	6.7	13.024	3.4	21.108
	Tangencial	0.47	10.638	14.2	5.285	8.5	9.884

Fuente: Autores

13.1.1 DENSIDADES

Se presenta la tabla 13.2, los valores de las densidades de los tres tipos de madera secas al horno, con base en la clasificación propuesta por la Publicación Maderas Colombianas y en referencia a Guevara (2001). De acuerdo con esta categorización, cada especie de madera se ajustó a cada categoría propuesta siendo Pino caribe, Acacia y Eucalipto maderas Livianas, Medianamente pesadas y Pesadas, respectivamente.

Tabla 13.2 Clasificación de las maderas según sus densidades

CATEGORÍA	RANGO (g/cm ³)	VALOR (g/cm ³)	ESPECIE
Livianas	0.35 - 0.55	0.45	Pino caribe
Medianamente pesadas	0.56 - 0.75	0.72	Acacia
Pesadas	0.76 - 1.00	0.97	Eucalipto

Fuente: Autores

En la siguiente figura, se puede observar que las especie que presenta mayor densidad es el Eucalipto, seguido de la Acacia y luego del Pino Caribe, correspondientes a la media de todos los datos recolectados.

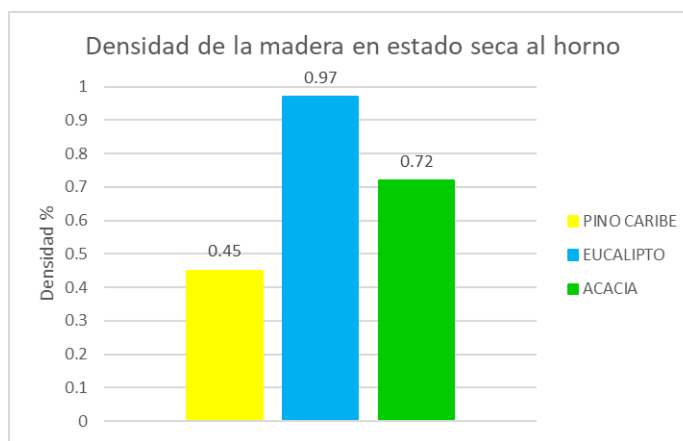


Figura 13.1 Densidad en estado seco de las especies estudiadas.

Fuente: Autores

13.1.2 CONTENIDO DE HUMEDAD

Para determinar el contenido de humedad en cada especie, se realizó el debido procedimiento con la totalidad de las probetas para cada ensayo, ya que las probetas de cada ensayo cuentan con dimensiones diferentes y así se manejó un alto grado de homogeneidad en el resultado de esta propiedad.

Primeramente, se registró la masa de cada probeta según la especie y el tipo de ensayo, con lo que para los ensayos 1 y 2, se agruparon los resultados debido a que comparten las mismas dimensiones, y se realizó un promedio para cada ítem, tal y como se muestra a continuación:

Tabla 13.3. Promedios de masa de cada tipo de especie y ensayo

ESPECIE	No. ENSAYO	MASA (g)
ACACIA	1 Y 2	270.00
ACACIA	3	45.00
ACACIA	4	184.50
ACACIA	5	117.00
ACACIA	6	69.12
EUCALIPTO	1 Y 2	363.75
EUCALIPTO	3	60.63
EUCALIPTO	4	248.56
EUCALIPTO	5	157.63
EUCALIPTO	6	93.12
PINO CARIBE	1 Y 2	168.75
PINO CARIBE	3	28.13
PINO CARIBE	4	115.31
PINO CARIBE	5	73.13
PINO CARIBE	6	43.20

Fuente: Autores

Para efectos de presentación de la información, se presentan los resultados de los ensayos 1 y 2, y los demás ensayos se presentarán como anexos.

Una vez se tomó el registro de los valores para cada tipo de madera y se calculó la media aritmética de los resultados obtenidos para las probetas individuales, se registró esta como el valor promedio del contenido de humedad de las probetas y del tipo de madera, secando esta misma, y cada 6 horas se tomó el peso de todas las probetas hasta cuando la diferencia del promedio de pesos fue inferior al 0,5%.

Tabla 13.4. Masa inicial de las probetas y obtención de resultados a partir del secado cada 6 h para los ensayos 1 y 2 con las probetas de Pino Caribe

CONTENIDO DE HUMEDAD - PINO CARIBE - PROBETAS TIPO ENSAYO 1 Y 2															
No. Probeta	Masa de la probeta (g)														C.H. (%)
	Inicial	6 h	% dif.	12 h	% dif.	18 h	% dif.	24 h	% dif.	30 h	% dif.	36 h	% dif.	Final	
1P01	202.84	182.12	2.11%	178.28	0.10%	178.10	0.78%	176.71	0.30%	176.18	0.52%	175.27	0.38%	174.61	16.17%
1P02	180.95	163.54	1.44%	161.19	1.17%	159.31	0.10%	159.15	0.49%	158.37	0.50%	157.58	0.50%	156.80	15.40%
1P03	203.69	183.40	0.86%	181.82	1.64%	178.83	0.49%	177.95	0.30%	177.42	0.72%	176.14	0.17%	175.84	15.84%
1P04	188.73	169.17	2.39%	165.13	0.39%	164.49	0.88%	163.03	0.10%	162.87	0.45%	162.15	0.45%	161.42	16.92%
1P05	179.55	162.79	0.96%	161.23	1.35%	159.05	0.78%	157.80	0.20%	157.49	0.91%	156.05	0.08%	155.93	15.15%
1P06	193.98	175.30	0.86%	173.79	2.21%	169.95	0.59%	168.95	0.20%	168.61	0.85%	167.18	0.04%	167.11	16.08%
1P07	184.76	167.40	2.19%	163.72	0.98%	162.13	0.39%	161.49	0.10%	161.33	0.91%	159.86	0.08%	159.73	15.67%
1P08	207.55	184.36	2.58%	179.60	0.00%	179.60	0.88%	178.02	0.10%	177.84	0.86%	176.31	0.13%	176.08	17.87%
1P09	197.84	176.22	2.19%	172.36	0.97%	170.68	0.20%	170.34	0.39%	169.67	0.87%	168.19	0.12%	167.99	17.77%
1P10	197.48	178.19	0.96%	176.48	1.55%	173.75	0.49%	172.90	0.30%	172.39	0.75%	171.09	0.24%	170.68	15.70%
1P11	186.13	168.56	1.25%	166.47	1.07%	164.69	0.88%	163.24	0.10%	163.07	0.56%	162.15	0.43%	161.46	15.28%
1P12	184.00	166.68	2.57%	162.39	0.49%	161.60	0.59%	160.64	0.30%	160.17	0.53%	159.33	0.37%	158.74	15.91%
1P13	205.16	183.83	1.15%	181.72	1.93%	178.22	0.49%	177.34	0.20%	176.99	0.44%	176.22	0.46%	175.41	16.96%
1P14	206.71	182.50	1.92%	178.99	0.39%	178.29	0.20%	177.94	0.49%	177.06	0.93%	175.42	0.06%	175.31	17.91%
1P15	182.09	162.01	1.35%	159.83	0.68%	158.74	0.49%	157.96	0.39%	157.34	0.87%	155.97	0.12%	155.78	16.89%
1P16	205.49	186.53	2.19%	182.45	0.68%	181.20	0.98%	179.43	0.10%	179.25	0.45%	178.45	0.45%	177.65	15.67%
1P17	202.40	180.66	1.63%	177.70	0.49%	176.84	0.39%	176.14	0.49%	175.28	0.73%	173.99	0.26%	173.54	16.63%
1P18	197.92	175.91	1.63%	173.05	0.97%	171.36	0.59%	170.35	0.20%	170.02	0.53%	169.12	0.37%	168.50	17.46%
1P19	193.74	174.65	1.63%	171.80	0.88%	170.30	0.59%	169.29	0.20%	168.96	0.52%	168.09	0.38%	167.45	15.70%
1P20	194.77	175.15	0.96%	173.47	1.16%	171.45	0.88%	169.93	0.10%	169.76	0.40%	169.09	0.50%	168.25	15.76%
2P01	187.86	166.39	0.67%	165.27	1.35%	163.04	0.49%	162.24	0.49%	161.44	0.72%	160.27	0.27%	159.84	17.53%
2P02	194.24	173.40	1.34%	171.07	0.88%	169.57	0.39%	168.90	0.49%	168.07	0.41%	167.39	0.49%	166.57	16.61%
2P03	202.05	179.18	2.30%	175.06	0.49%	174.20	0.10%	174.03	0.59%	173.00	0.62%	171.92	0.27%	171.46	17.84%
2P04	181.29	162.80	0.29%	162.33	1.83%	159.36	0.49%	158.58	0.39%	157.95	0.70%	156.84	0.29%	156.39	15.92%
2P05	198.56	178.59	0.76%	177.23	2.12%	173.48	0.49%	172.63	0.39%	171.94	0.87%	170.44	0.02%	170.41	16.52%
2P06	206.50	187.79	2.57%	182.96	0.29%	182.43	0.69%	181.18	0.30%	180.64	0.86%	179.08	0.13%	178.85	15.46%
2P07	190.82	171.61	1.63%	168.82	1.17%	166.85	0.10%	166.68	0.49%	165.86	0.74%	164.63	0.25%	164.22	16.20%
2P08	178.71	162.52	0.76%	161.27	1.83%	158.32	0.79%	157.08	0.20%	156.77	0.60%	155.82	0.29%	155.37	15.02%
2P09	205.57	185.33	0.96%	183.55	1.45%	180.88	0.29%	180.35	0.49%	179.46	0.40%	178.75	0.50%	177.86	15.58%
2P10	187.62	166.19	0.96%	164.59	1.07%	162.83	0.69%	161.72	0.30%	161.24	0.70%	160.10	0.29%	159.64	17.53%
2P11	200.33	182.26	2.19%	178.27	1.17%	176.18	0.49%	175.32	0.10%	175.14	0.40%	174.45	0.50%	173.58	15.41%
2P12	184.35	166.54	1.24%	164.48	2.03%	161.15	0.59%	160.20	0.10%	160.04	0.48%	159.28	0.42%	158.61	16.23%
2P13	183.20	164.00	2.00%	160.72	0.88%	159.31	0.39%	158.69	0.49%	157.90	0.95%	156.40	0.04%	156.34	17.18%
2P14	192.47	172.11	1.44%	169.64	1.26%	167.50	0.49%	166.67	0.20%	166.34	0.67%	165.22	0.22%	164.86	16.75%
2P15	206.83	183.14	1.05%	181.21	1.65%	178.22	0.00%	178.22	0.49%	177.35	0.59%	176.29	0.40%	175.59	17.79%
2P16	204.29	184.29	0.29%	183.76	2.31%	179.52	0.39%	178.81	0.20%	178.46	0.95%	176.76	0.04%	176.69	15.62%
2P17	194.67	174.37	1.82%	171.19	0.59%	170.18	0.29%	169.68	0.49%	168.85	0.79%	167.51	0.10%	167.34	16.33%
2P18	180.91	161.38	0.96%	159.83	0.97%	158.27	0.98%	156.72	0.10%	156.57	0.78%	155.34	0.11%	155.17	16.59%
2P19	196.66	175.14	0.58%	174.13	1.45%	171.60	0.79%	170.25	0.20%	169.92	0.62%	168.85	0.27%	168.40	16.78%
2P20	197.80	176.90	1.72%	173.86	1.26%	171.66	0.39%	170.98	0.10%	170.81	0.50%	169.95	0.49%	169.12	16.96%
Promedio	194.26	174.32	1.46%	171.77	1.13%	169.83	0.53%	168.94	0.29%	168.45	0.67%	167.32	0.27%	166.86	16.38%

Fuente: Autores

Tabla 13.5. Masa inicial de las probetas y obtención de resultados a partir del secado cada 6 h para los ensayos 1 y 2 con las probetas de Eucalipto

No. Probeta	CONTENIDO DE HUMEDAD - EUCALIPTO - PROBETAS TIPO ENSAYO 1 Y 2																								C.H. (%)		
	Masa de la probeta (g)																										
	Inicial	6 h	% dif.	12 h	% dif.	18 h	% dif.	24 h	% dif.	30 h	% dif.	36 h	% dif.	42 h	% dif.	48 h	% dif.	54 h	% dif.	60 h	% dif.	66 h	% dif.	72 h	% dif.	Final	
1E01	427.14	408.71	3.57%	394.11	0.56%	391.92	0.65%	389.37	0.37%	387.91	0.94%	384.26	1.04%	380.25	0.38%	378.79	1.73%	372.22	0.10%	371.85	1.57%	366.01	0.24%	365.14	0.06%	364.92	17.05%
1E02	426.89	404.72	2.77%	393.51	1.01%	389.53	0.46%	387.72	0.84%	384.47	1.51%	378.68	4.49%	375.79	0.96%	372.17	0.78%	369.28	0.29%	368.19	1.47%	362.77	0.16%	362.19	0.14%	361.68	18.03%
1E03	424.56	403.91	2.50%	393.81	1.37%	388.39	0.84%	385.14	0.75%	382.26	0.47%	380.45	5.12%	376.84	1.44%	371.43	0.39%	369.98	0.78%	367.10	0.79%	364.21	0.77%	361.39	0.12%	360.96	17.62%
1E04	427.92	407.71	3.75%	392.42	0.28%	391.33	0.74%	388.42	0.75%	385.51	1.04%	381.50	4.58%	379.32	0.96%	375.68	1.07%	371.67	0.98%	368.03	0.10%	367.67	0.98%	364.07	0.01%	364.03	17.55%
1E05	423.29	405.97	2.77%	394.73	1.47%	388.93	0.56%	386.76	0.47%	384.94	0.75%	382.04	5.12%	379.51	1.62%	373.34	0.10%	372.98	1.75%	366.46	0.00%	366.46	0.87%	363.27	0.22%	362.47	16.78%
1E06	425.83	407.18	2.59%	396.63	1.37%	391.18	0.28%	390.09	1.30%	385.00	0.47%	383.18	5.12%	379.91	0.86%	376.64	1.25%	371.91	0.68%	369.37	1.18%	365.00	0.39%	363.59	0.01%	363.55	17.13%
1E07	426.93	408.36	3.57%	393.76	0.09%	393.39	0.46%	391.57	0.93%	387.92	1.32%	382.81	4.67%	379.89	0.38%	378.43	1.16%	374.05	0.68%	371.50	0.88%	368.21	0.57%	366.10	0.32%	364.93	16.99%
1E08	423.78	405.60	3.30%	392.20	0.83%	388.94	0.65%	386.40	0.84%	383.14	0.85%	379.88	4.67%	378.80	1.24%	374.09	1.26%	369.38	0.29%	368.30	1.18%	363.95	0.14%	363.44	0.36%	362.14	17.02%
1E09	419.94	405.28	3.48%	391.17	0.56%	389.00	0.74%	386.10	1.03%	382.12	0.28%	381.04	5.03%	377.42	1.05%	373.44	0.58%	371.27	1.27%	366.56	0.30%	365.48	0.79%	362.58	0.20%	361.86	16.05%
1E10	428.85	404.51	2.95%	392.59	0.92%	388.98	0.84%	385.73	1.22%	381.03	0.57%	378.87	4.67%	376.70	0.77%	373.81	1.06%	369.84	0.39%	368.39	0.88%	365.14	0.92%	361.78	0.17%	361.17	18.74%
1E11	432.55	408.27	3.39%	394.42	0.55%	392.23	0.28%	391.14	1.68%	384.58	0.09%	384.21	5.12%	380.20	0.77%	377.29	1.16%	372.91	0.39%	371.46	1.18%	367.08	0.47%	365.37	0.23%	364.53	18.66%
1E12	432.95	407.56	2.32%	398.09	1.46%	392.26	0.93%	388.62	0.84%	385.34	0.95%	381.70	4.58%	378.42	0.58%	376.24	0.58%	374.05	1.17%	369.68	0.89%	366.41	0.48%	364.66	0.12%	364.22	18.87%
1E13	432.39	408.36	2.50%	398.15	1.47%	392.32	0.37%	390.86	1.40%	385.39	0.47%	383.57	4.94%	379.56	1.06%	375.55	0.39%	374.09	1.17%	369.71	0.59%	367.53	0.62%	365.27	0.18%	364.61	18.59%
1E14	422.97	404.26	2.86%	392.70	1.29%	387.64	0.09%	387.28	1.21%	382.58	0.47%	380.78	5.12%	377.53	1.53%	371.75	0.39%	370.30	0.88%	367.05	1.28%	362.35	0.12%	361.92	0.18%	361.27	17.08%
1E15	424.57	408.42	2.59%	397.84	1.47%	392.01	0.28%	390.92	0.84%	387.63	1.32%	382.53	4.67%	381.07	0.96%	377.42	0.77%	374.51	1.56%	368.67	0.10%	368.31	0.72%	365.64	0.27%	364.66	16.43%
1E16	426.67	403.92	2.50%	393.82	1.56%	387.69	0.28%	386.61	1.31%	381.56	0.47%	379.75	5.03%	375.43	0.96%	371.82	0.39%	370.38	0.88%	367.13	1.18%	362.80	0.39%	361.40	0.21%	360.64	18.31%
1E17	425.70	407.88	2.95%	395.85	1.20%	391.11	0.75%	388.19	0.47%	386.37	0.94%	382.73	4.76%	379.81	0.86%	376.53	0.77%	373.61	1.17%	369.24	0.49%	367.42	0.50%	365.59	0.30%	364.50	16.79%
1E18	420.38	405.53	2.14%	396.83	1.83%	389.58	0.56%	387.41	1.22%	382.69	0.66%	380.16	4.67%	378.71	0.67%	376.17	1.06%	372.18	1.17%	367.84	1.18%	363.49	0.27%	362.51	0.03%	362.40	16.00%
1E19	431.35	405.68	2.23%	396.62	1.55%	390.46	1.02%	386.47	0.56%	384.29	0.94%	380.67	4.76%	378.49	1.34%	373.42	0.19%	372.69	1.17%	368.34	0.69%	365.80	0.61%	363.56	0.28%	362.54	18.98%
1E20	421.07	404.55	2.95%	392.62	0.83%	389.37	0.56%	387.20	0.84%	383.94	1.41%	378.52	4.49%	375.27	0.87%	372.01	0.87%	368.76	0.69%	366.23	0.30%	365.15	0.96%	361.64	0.03%	361.53	16.47%
2E01	425.60	404.30	2.77%	393.11	1.10%	388.78	1.02%	384.80	0.47%	383.00	1.13%	378.67	4.67%	376.86	1.44%	371.45	0.68%	368.92	0.68%	366.39	0.39%	364.95	0.78%	362.10	0.31%	360.98	17.90%
2E02	427.21	408.22	2.59%	397.65	1.28%	392.54	1.02%	388.54	0.38%	387.08	1.41%	381.61	4.49%	381.25	0.76%	378.33	1.64%	372.13	0.49%	370.31	0.79%	367.40	0.51%	365.54	0.29%	364.48	17.21%
2E03	426.73	406.60	2.68%	395.70	1.01%	391.70	1.02%	387.71	0.84%	384.43	0.85%	381.16	4.67%	377.89	0.96%	374.26	0.39%	372.81	1.27%	368.08	0.99%	364.45	0.02%	364.38	0.28%	363.36	17.44%
2E04	422.37	405.73	3.66%	390.86	0.19%	390.14	0.28%	389.05	1.40%	383.61	0.66%	381.07	4.85%	378.17	1.05%	374.18	0.48%	372.37	1.27%	367.66	0.99%	364.03	0.14%	363.52	0.26%	362.58	16.49%
2E05	423.54	406.12	2.77%	394.87	1.38%	389.42	0.75%	386.52	0.94%	382.89	0.38%	381.44	4.85%	377.45	0.19%	376.72	1.35%	371.64	0.39%	370.19	1.08%	366.20	0.58%	364.06	0.31%	362.93	16.70%
2E06	422.82	403.77	2.77%	392.58	1.38%	387.17	0.75%	384.28	0.85%	381.04	0.19%	380.31	5.12%	377.43	1.05%	373.46	0.87%	370.21	0.97%	366.60	1.08%	362.63	0.41%	361.15	0.09%	360.83	17.18%
2E07	428.07	403.07	3.40%	389.39	0.74%	386.51	0.37%	385.06	0.56%	382.90	1.03%	378.94	4.94%	376.78	1.05%	372.82	0.77%	369.94	0.97%	366.33	0.98%	362.73	0.50%	360.93	0.20%	360.21	18.84%
2E08	425.71	405.09	2.68%	394.24	1.10%	389.90	1.21%	385.20	0.94%	381.58	0.57%	379.41	4.67%	378.69	1.34%	373.63	0.68%	371.09	1.07%	367.12	0.49%	365.31	0.94%	361.87	0.05%	361.69	17.70%
2E09	418.82	403.58	2.68%	392.77	1.47%	387.01	0.84%	383.76	0.66%	381.24	1.04%	377.28	4.49%	376.92	1.34%	371.87	0.78%	368.99	0.98%	365.38	1.08%	361.42	0.07%	361.17	0.23%	360.34	16.23%
2E10	426.05	405.95	3.57%	391.44	0.28%	390.35	0.65%	387.81	1.03%	383.82	0.66%	381.28	4.85%	377.29	0.87%	374.03	0.97%	370.40	0.59%	368.22	0.49%	366.41	0.68%	363.90	0.31%	362.78	17.44%
2E11	421.44	403.36	3.13%	390.75	1.11%	386.43	0.37%	384.99	0.84%	381.75	0.75%	378.87	4.94%	374.55	0.58%	372.38	0.87%	369.14	0.59%	366.98	1.08%	363.02	0.56%	361.00	0.24%	360.14	17.02%
2E12	429.02	404.95	2.95%	393.01	1.01%	389.03	0.28%	387.95	1.03%	383.97	1.13%	379.62	4.67%	377.09	1.25%	372.38	0.68%	369.85	0.20%	369.13	1.27%	364.42	0.30%	363.34	0.40%	361.89	18.55%
2E13	424.18	405.35	3.22%	392.31	0.74%	389.41	1.02%	385.42	0.09%	385.06	0.85%	381.80	5.12%	377.09	0.38%	375.64	1.54%	369.85	0.69%	367.31	0.39%	365.86	0.93%	362.46	0.06%	362.24	17.10%
2E14	431.07	407.41	3.66%	392.48	0.37%	391.02	0.93%	387.38	0.09%	387.02	1.22%	382.28	4.76%	378.64	0.77%	375.73	0.68%	373.18	0.88%	369.91	0.98%	366.26	0.45%	364.63	0.15%	364.08	18.40%
2E15	430.93	405.46	3.40%	391.69	0.56%	389.52	0.19%	388.79	0.93%	385.17	1.51%	379.37	4.49%	376.47	0.67%	373.93	0.97%	370.31	0.98%	366.69	0.20%	365.96	0.81%	362.99	0.18%	362.34	18.93%
2E16	423.38	407.75	2.77%	396.46	1.29%	391.35	0.56%	389.17	1.03%	385.16	0.19%	384.43	5.21%	379.33	0.96%	375.69	0.29%	374.59	1.46%	369.13	0.49%	367.31	0.65%	364.90	0.14%	364.39	16.19%
2E17	427.76	404.20	2.59%	393.73	1.47%	387.96	0.93%	384.35	0.85%	381.10	0.57%	378.93	4.76%	377.85	0.86%	374.60	1.64%	368.47	0.39%	367.03	0.79%	364.14	0.70%	361.58	0.19%	360.89	18.53%
2E18	423.72	407.49	2.32%	398.03	1.92%	390.39	0.47%	388.57	0.37%	387.12	0.85%	383.84	5.21%	378.75	0.96%	375.11	0.87%	371.83	0.29%	370.74	1.18%	366.38	0.64%	364.05	0.06%	363.83	16.46%
2E19	426.10	403.78	2.68%	392.97	1.19%	388.28	1.02%	384.31	0.47%	382.51	1.04%	378.55	4.76%	377.46	1.15%	373.14	1.35%	368.09	0.10%	367.73	1.67%	361.60	0.24%	360.74	0.06%	360.52	18.19%
2E20	422.01	404.53	2.86%	392.97	1.29%	387.92	0.56%	385.75	0.56%	383.58	1.13%	379.25	4.76%	377.80	1.63%	371.66	0.68%	369.14	0.88%	365.89	0.49%	364.08	0.53%	362.17	0.27%	361.19	16.84%
Promedio	425.81	405.83	2.92%	393.97	1.06%	389.78	0.64%	387.29	0.83%	384.07	0.83%	380.89	4.73%	378.07	0.96%	374.43	0.85%	371.23	0.81%	368.20	0.83%	365.14	0.53%	363.19	0.19%	362.51	17.46%

Tabla 13.6. Masa inicial de las probetas y obtención de resultados a partir del secado cada 6 h para los ensayos 1 y 2 con las probetas de Acacia

No. Probeta	CONTENIDO DE HUMEDAD - ACACIA - PROBETAS TIPO ENSAYO 1 Y 2																								C.H. (%)		
	Masa de la probeta (g)																										
	Inicial	6 h	% dif.	12 h	% dif.	18 h	% dif.	24 h	% dif.	30 h	% dif.	36 h	% dif.	42 h	% dif.	48 h	% dif.	54 h	% dif.	60 h	% dif.	66 h	% dif.	72 h	% dif.	Final	
1A01	315.17	314.53	0.41%	313.23	0.50%	311.67	0.83%	309.08	0.34%	308.04	0.67%	305.96	1.78%	300.51	2.16%	294.02	1.32%	290.13	8.05%	266.78	0.58%	265.22	1.86%	260.29	0.30%	259.51	21.45%
1A02	328.69	328.23	0.74%	325.79	0.42%	324.44	0.67%	322.27	0.92%	319.30	0.76%	316.86	14.60%	314.15	2.58%	306.04	1.77%	300.63	8.01%	276.54	0.68%	274.65	1.10%	271.62	0.38%	270.59	21.47%
1A03	338.84	337.55	0.00%	337.55	1.07%	333.93	0.33%	332.81	0.75%	330.30	0.84%	327.51	14.82%	322.77	2.16%	315.79	2.74%	307.15	4.45%	293.48	2.85%	285.11	1.79%	280.00	0.37%	278.97	21.46%
1A04	335.07	333.69	0.50%	332.04	0.58%	330.11	0.08%	329.83	1.42%	325.14	0.25%	324.32	14.97%	317.70	2.00%	311.36	2.30%	304.19	5.98%	285.98	2.03%	280.19	1.54%	275.89	0.04%	275.78	21.50%
1A05	330.53	329.55	0.83%	326.83	0.25%	326.01	0.75%	323.56	0.76%	321.11	0.51%	319.48	14.82%	314.58	2.51%	306.69	2.40%	299.34	6.82%	278.93	0.68%	277.03	1.63%	272.51	0.14%	272.13	21.46%
1A06	311.91	311.43	0.66%	309.37	0.41%	308.09	0.42%	306.80	1.26%	302.95	0.34%	301.93	14.97%	299.87	1.88%	294.22	4.10%	282.16	4.55%	269.32	3.15%	260.85	1.27%	257.54	0.31%	256.74	21.49%
1A07	313.41	312.17	0.33%	311.14	0.58%	309.33	0.17%	308.81	0.84%	306.23	1.10%	302.88	14.82%	297.98	2.51%	290.50	0.80%	288.17	6.00%	270.89	2.38%	264.44	2.11%	258.87	0.34%	257.99	21.48%
1A08	334.58	333.56	0.25%	332.73	0.66%	330.53	0.50%	328.88	0.92%	325.85	0.93%	322.82	14.68%	321.71	2.40%	314.00	2.54%	306.01	6.12%	287.28	2.30%	280.67	1.65%	276.05	0.22%	275.44	21.47%
1A09	338.50	337.21	0.25%	336.38	0.83%	333.59	0.58%	331.64	0.76%	329.13	0.34%	328.02	15.04%	324.67	2.75%	315.76	1.68%	310.46	5.75%	292.62	3.43%	282.59	1.29%	278.94	0.09%	278.69	21.46%
1A10	325.42	325.25	0.91%	322.31	0.17%	321.77	0.92%	318.82	0.76%	316.41	0.59%	314.54	14.82%	310.52	2.50%	302.75	1.95%	296.86	6.77%	276.76	2.42%	270.06	0.57%	268.54	0.23%	267.92	21.46%
1A11	324.61	323.86	0.33%	322.79	0.91%	319.85	0.67%	317.71	0.25%	316.91	0.84%	314.24	14.97%	310.50	2.58%	302.48	2.39%	295.27	7.06%	274.42	1.56%	270.15	0.86%	267.82	0.23%	267.21	21.48%
1A12	322.49	321.95	0.91%	319.03	0.17%	318.50	0.92%	315.58	0.50%	313.99	0.85%	311.34	14.75%	308.68	1.55%	303.91	3.84%	292.23	6.09%	274.44	2.03%	268.87	1.26%	265.47	0.02%	265.42	21.50%
1A13	320.05	319.29	0.91%	316.39	0.08%	316.13	0.25%	315.34	1.25%	311.39	0.85%	308.75	14.68%	303.75	0.69%	301.64	2.71%	293.47	6.19%	275.29	3.83%	264.76	0.13%	264.41	0.37%	263.44	21.49%
1A14	326.10	325.62	0.99%	322.40	0.00%	322.40	0.58%	320.52	1.26%	316.49	0.68%	314.34	14.60%	308.97	1.22%	305.22	2.99%	296.09	6.17%	277.84	2.42%	271.12	0.95%	268.55	0.04%	268.44	21.48%
1A15	336.74	336.18	0.25%	335.35	0.74%	332.86	0.33%	331.75	1.09%	328.15	1.10%	324.54	14.60%	323.99	1.71%	318.45	3.05%	308.75	5.30%	292.39	4.74%	278.54	0.36%	277.54	0.14%	277.15	21.50%
1A16	312.10	311.97	0.74%	309.66	0.50%	308.12	0.92%	305.29	0.76%	302.98	0.42%	301.69	14.82%	296.04	0.09%	295.78	4.34%	282.93	6.63%	264.18	1.75%	259.55	0.78%	257.52	0.21%	256.98	21.45%
1A17	331.77	331.49	0.49%	329.86	0.83%	327.13	0.08%	326.85	1.25%	322.76	0.93%	319.75	14.60%	314.29	1.39%	309.92	2.29%	302.82	5.23%	286.99	3.62%	276.61	0.96%	273.96	0.33%	273.06	21.50%
1A18	332.26	331.58	0.83%	328.84	0.25%	328.02	0.17%	327.48	0.75%	325.01	1.26%	320.91	14.75%	315.71	2.08%	309.15	2.30%	302.03	6.07%	283.70	2.31%	277.14	0.99%	274.40	0.30%	273.58	21.45%
1A19	321.98	320.69	0.08%	320.42	0.83%	317.77	0.75%	315.39	0.76%	313.00	0.59%	311.15	14.82%	306.64	0.86%	303.99	4.27%	291.00	5.46%	275.10	1.54%	270.86	1.82%	265.93	0.34%	265.03	21.49%
1A20	314.76	313.57	0.66%	311.50	0.33%	310.46	0.25%	309.68	0.59%	307.87	1.35%	303.72	14.68%	301.39	1.38%	297.25	2.79%	288.95	7.71%	266.67	1.75%	262.00	0.73%	260.08	0.36%	259.15	21.46%
2A01	319.59	319.14	0.66%	317.04	0.66%	314.93	0.50%	313.35	0.25%	312.56	1.09%	309.14	14.89%	303.88	0.43%	302.57	4.43%	289.15	5.64%	272.83	2.12%	267.05	1.44%	263.21	0.04%	263.10	21.47%
2A02	328.99	328.78	0.66%	326.61	0.66%	324.44	0.42%	323.09	0.84%	320.38	0.76%	317.94	14.82%	313.88	1.55%	309.01	2.37%	301.69	5.75%	284.36	4.19%	272.44	0.23%	271.82	0.37%	270.82	21.48%
2A03	323.88	323.35	0.74%	320.95	0.25%	320.15	0.42%	318.82	1.17%	315.09	0.85%	312.42	14.68%	308.15	1.90%	302.29	2.65%	294.29	7.43%	272.43	0.88%	270.04	1.23%	266.70	0.05%	266.57	21.50%
2A04	319.77	318.56	0.50%	316.98	0.42%	315.66	0.83%	313.03	0.76%	310.66	0.51%	309.08	14.82%	304.08	1.13%	300.65	1.49%	296.18	7.29%	274.59	3.36%	265.38	0.74%	263.40	0.05%	263.27	21.46%
2A05	322.82	321.81	0.83%	319.15	0.25%	318.36	0.50%	316.76	0.76%	314.37	0.68%	312.24	14.89%	311.18	2.56%	303.21	1.49%	298.69	8.99%	271.85	0.29%	271.05	1.63%	266.64	0.34%	265.74	21.48%
2A06	311.64	311.18	0.82%	308.62	0.33%	307.59	0.67%	305.54	0.67%	303.49	0.51%	301.95	15.04%	299.64	2.23%	292.97	3.77%	281.94	4.64%	268.85	3.91%	258.34	0.64%	256.69	0.06%	256.54	21.48%
2A07	335.32	335.08	0.58%	333.14	0.58%	331.21	0.33%	330.11	1.25%	325.97	0.17%	325.42	15.18%	321.28	2.84%	312.17	1.86%	306.37	7.03%	284.84	1.55%	280.43	1.25%	276.92	0.33%	276.01	21.49%
2A08	324.81	323.82	0.25%	323.02	0.58%	321.15	0.50%	319.54	0.75%	317.14	0.76%	314.73	15.04%	312.32	3.34%	301.89	1.59%	297.08	5.76%	279.97	4.01%	268.74	0.37%	267.75	0.13%	267.40	21.47%
2A09	335.12	334.38	0.66%	332.17	0.50%	330.52	0.33%	329.41	0.84%	326.65	0.51%	325.00	15.11%	321.69	1.72%	316.17	2.71%	307.62	7.44%	284.72	0.78%	282.51	2.16%	276.41	0.19%	275.89	21.47%
2A10	319.00	318.74	0.82%	316.11	0.25%	315.32	0.33%	314.27	1.17%	310.60	0.34%	309.55	15.18%	303.77	1.12%	300.36	3.06%	291.17	6.22%	273.05	2.69%	265.70	0.87%	263.39	0.32%	262.55	21.50%
2A11	331.40	331.15	0.58%	329.25	0.58%	327.34	0.67%	325.15	0.59%	323.24	0.84%	320.52	14.89%	318.33	2.14%	311.51	2.01%	305.24	7.15%	283.42	1.92%	277.96	1.83%	272.89	0.04%	272.78	21.49%
2A12	332.94	332.53	0.58%	330.61	0.58%	328.69	0.75%	326.23	0.84%	323.49	0.51%	321.84	14.82%	317.18	0.95%	314.16	2.44%	306.49	7.96%	282.09	2.24%	275.78	0.45%	274.55	0.15%	274.14	21.45%
2A13	336.06	335.06	0.08%	334.78	1.07%	331.19	0.17%	330.63	0.67%	328.42	0.76%	325.93	15.11%	319.84	1.47%	315.14	3.51%	304.07	6.19%	285.26	2.42%	278.34	0.24%	277.68	0.36%	276.68	21.46%
2A14	329.48	329.24	0.91%	326.25	0.42%	324.90	0.75%	322.46	0.34%	321.37	0.68%	319.20	15.04%	314.32	0.78%	311.88	3.39%	301.30	7.29%	279.34	1.94%	273.91	0.70%	271.99	0.29%	271.20	21.49%
2A15	339.33	338.57	0.17%	338.01	1.07%	334.38	0.67%	332.15	0.25%	331.31	1.26%	327.12	14.60%	326.00	2.66%	317.34	1.41%	312.87	7.50%	289.41	2.70%	281.58	0.75%	279.46	0.04%	279.35	21.47%
2A16	310.04	308.79	0.17%	308.28	0.91%	305.47	0.58%	303.69	0.67%	301.65	0.42%	300.37	15.04%	295.01	1.12%	291.69	3.15%	282.51	7.14%	262.35	1.46%	258.52	0.98%	255.99	0.31%	255.20	21.49%
2A17	326.46	326.27	0.41%	324.93	0.74%	322.51	0.33%	321.44	0.75%	319.02	0.67%	316.87	15.18%	312.30	2.24%	305.31	3.26%	295.37	4.55%	281.93	2.76%	274.14	1.69%	269.51	0.28%	268.76	21.47%
2A18	326.89	325.84	0.66%	323.69	0.50%	322.08	0.25%	321.27	1.01%	318.04	0.68%	315.89	14.82%	312.12	1.03%	308.89	2.70%	300.55	5.91%	282.79	2.47%	275.80	2.11%	269.98	0.34%	269.07	21.49%
2A19	333.54	333.02	0.25%	332.19	0.74%	329.72	0.33%	328.62	0.84%	325.88	0.84%	323.13	15.04%	318.19	2.59%	309.96	1.95%	303.92	4.79%	289.37	4.08%	277.56	1.03%	274.70	0.06%	274.54	21.49%
2A20	314.68	314.55	0.41%	313.25	0.83%	310.66	0.92%	307.81	0.67%	305.74	0.34%	304.70	14.97%	299.52	1.47%	295.11	2.72%	287.08	6.05%	269.72	3.55%	260.14	0.14%	259.77	0.26%	259.10	21.45%
Promedio	313.68	313.00	0.59%	311.14	0.72%	308.90	0.73%	306.63	1.14%	303.12	2.18%	296.50	9.54%	286.99	2.88%	278.69	1.70%	273.96	1.05%	271.08	0.51%	269.70	0.59%	268.10	0.17%	267.63	21.47%

A partir de la información registrada en las anteriores tablas, se realizaron las siguientes gráficas que representan el comportamiento del contenido de humedad según las horas de secado en una probeta de dimensiones 5 x 5 x 15 cm correspondientes a los ensayos 1 y 2 en cada una de las especies de estudio:

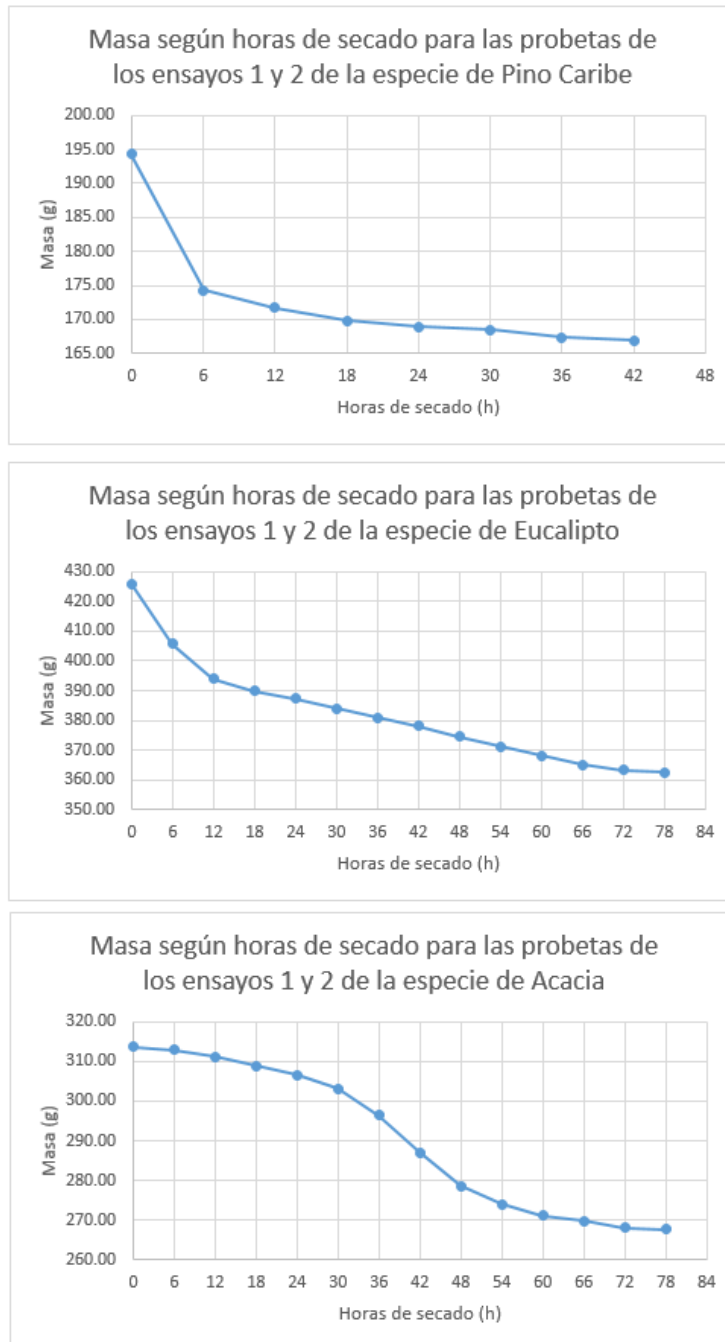


Figura 13.2. Gráficas de la variación de la masa de las probetas para los ensayos 1 y 2 en las especies acacia, eucalipto y pino caribe según las horas de secado

Fuente: Autores

De forma homóloga, la misma variación de la masa de las probetas corresponde al contenido de humedad, por lo que se puede percibir la tendencia a cambiar durante el tiempo, con lo que se registra las siguientes cantidades de horas para obtener un contenido de humedad no superior al 0,5 %, entre el penúltimo y último registro de masa:

Tabla 13.7. Horas de secado para cada uno de los ensayos en cada tipo de madera

ESPECIE	No. ENSAYO	MASA PROBETA (g)	HORAS DE SECADO
ACACIA	1 Y 2	270.00	84
EUCALIPTO	1 Y 2	363.75	84
ACACIA	4	184.50	66
EUCALIPTO	4	248.56	66
ACACIA	5	117.00	48
EUCALIPTO	5	157.63	48
EUCALIPTO	6	93.12	42
PINO CARIBE	1 Y 2	168.75	42
ACACIA	6	69.12	36
PINO CARIBE	4	115.31	36
ACACIA	3	45.00	30
EUCALIPTO	3	60.63	30
PINO CARIBE	3	28.13	30
PINO CARIBE	5	73.13	30
PINO CARIBE	6	43.20	30

Fuente: Autores

Para los tipos de madera que son objeto de estudio, se obtuvo un contenido de humedad promedio de la madera de las 120 probetas en estado seco fue de 18 %, siendo la Acacia la que presentó mayor contenido con un 21,47 %, seguido por el eucalipto con un 17,24 % y, por último, el Pino caribe con un 16,38 %.

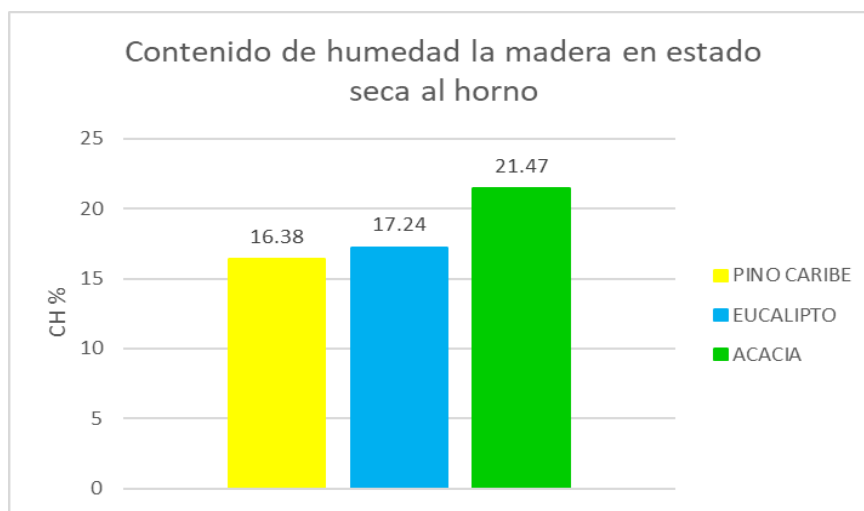


Figura 13.3 Contenido de humedad en estado seco de las especies estudiadas.

Fuente: Autores

13.1.3 CONTRACCIONES

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos de contracciones se observó mayor cambio en el plano tangencial de los tres tipos de maderas en comparación al plano radial, a excepción del Pino caribe.

La contracción volumétrica se obtuvo sumando la contracción radial y tangencial para cada una de las especies de madera, así pues, según los valores para un proceso de transformación y de secado, el Pino caribe presenta una contracción pequeña, siendo para radial un 2,97 y tangencial 0,47; la Acacia presenta una contracción moderada con radial equivalente a 3,4 y tangencial un 8,5, mientras que el Eucalipto es la madera que presenta mayor contracción debido a sus valores de 6,7 y 14,2 para radial y tangencial respectivamente, tal y como se muestra en la tabla 13.8.

Tabla 13.8 Clasificación de la contracción volumétrica para las tres especies

CATEGORÍA	RANGO	VALOR	NOMBRE
Pequeña	<10	3.44	Pino caribe
Moderada	10-15	11.9	Acacia
Alta	15-25	20.9	Eucalipto

Fuente: Autores

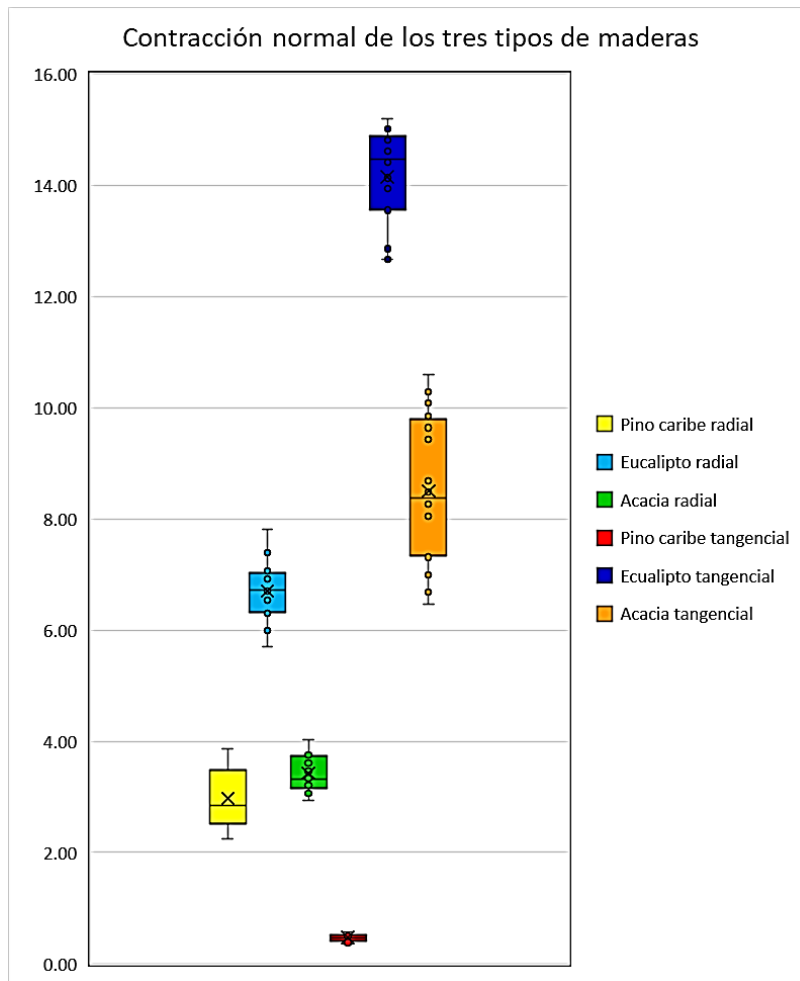


Figura 13.4 Contracción radial y tangencial para los tres tipos de maderas
Fuente: Autores

Adicional a lo anterior, según la NTC 2500, teniendo en cuenta la relación de contracciones tangencial/radial se determina el tipo de madera, teniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 13.9 Relación de las contracciones Tangencial/Radial

Relación (%/%)	Valor	Nombre	Tipo de madera
Menos de 1,5	0.16	Pino caribe	Muy estable dimensionalmente
Más de 1,8	2.11	Eucalipto	Poco estable dimensionalmente
	2.5	Acacia	

Fuente: Autores

13.2. RESULTADO DE PROPIEDADES MECÁNICAS

A continuación, se muestra la tabla general de los resultados de las propiedades mecánicas obtenidas para cada tipo de especie, de lo cual se explicará detalladamente en los siguientes apartados:

Tabla 13.10 Resultados de las propiedades mecánicas

PROPIEDAD MECÁNICA	VARIABLE	PINO CARIBE		EUCALIPTO		ACACIA	
		Media	C.V.	Media	C.V.	Media	C.V.
Dureza	Tangencial (kg)	227.6	35,76	139.5	39,01	112.9	36,41
	Radial (kg)	145.3	84,32	101.6	79,42	84.9	81,43
	Extremos (kg)	158.9	24,78	139.8	21,5	121.3	26,74
Compresión perpendicular	RLP (kg/cm ²)	77.14	6,184	48.92	6,94	66,33	5,35
Compresión paralela	RLP (kg/cm ²)	160	42,15	128	39,13	96	43,2
	RM (kg/cm ²)	400	5,81	320	8,43	160	7,43
	MOE (kg/cm ²)	102400	2,43	65536	3,45	36264	2,87
Flexión estática radial	RLP (kg/cm ²)	431.676	7.5	715,01	7.51	604.8	7.51
	RM (kg/cm ²)	792.4	5.71	990,86	7.51	995,3	7.51
	MOE (kg/cm ²)	106438.913	14.94	283443	14.95	151868.46	14.94
Cizallamiento radial	RM (kg/cm ²)	81.39	1.06	76.18	2.11	69.29	3.65

Fuente: Autores

13.2.1 DUREZA

En la figura 13.5 se observa que para los tres tipos de madera la dureza tangencial fue mayor en comparación a los otros lados, predominando el Pino caribe como la que presenta mayor valor en esta característica, seguido por el Eucalipto y la Acacia.

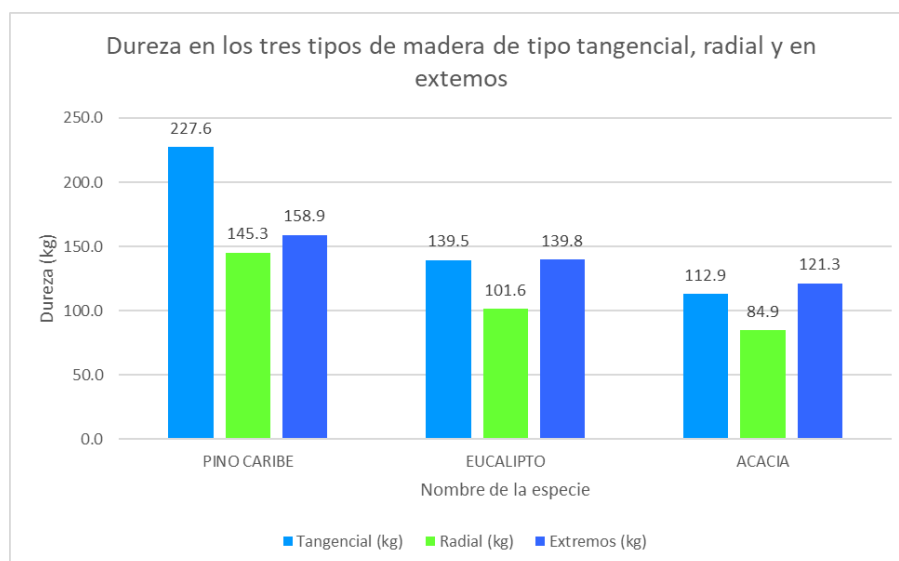


Figura 13.5 Tipos de dureza para las tres especies forestales
Fuente: Autores

13.2.2 COMPRESIÓN PERPENDICULAR

Para la compresión perpendicular se hizo la toma de cargas que iba soportando la probeta, en las deformaciones pertinentes, sacando así un promedio con los resultados obtenidos de cada probeta, como lo muestra las siguientes tablas:

Tabla 13.11 Promedio de los datos obtenidos del pino caribe

PINO CARIBE				
Deformación (mm)	Carga (Kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Deformación Unitaria
0	0	25	0	0
0,25	732		29,26	0,05
0,5	1253		50,10	0,1
0,75	1719		68,74	0,15
1	1929		77,14	0,2
1,25	2094		83,74	0,25
1,5	2186		87,42	0,3
1,75	2296		91,82	0,35
2	2388		95,50	0,4
2,25	2446		97,82	0,45
2,5	2513		100,50	0,5

Fuente: Autores

Tabla 13.12 Promedio de los datos obtenidos de la Acacia

ACACIA				
Deformación (mm)	Carga (Kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Deformación Unitaria
0	0	25	0	0
0,25	462		18,50	0,05
0,5	887		35,50	0,1
0,75	1277		51,10	0,15
1	1658		66,34	0,2
1,25	1882		75,30	0,25
1,5	2065		82,62	0,3
1,75	2185		87,42	0,35
2	2257		90,30	0,4
2,25	2355		94,22	0,45
2,5	2412		96,50	0,5

Fuente: Autores

Tabla 13.13 Promedio de los datos obtenidos del Eucalipto

EUCALIPTO				
Deformación (mm)	Carga (Kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (Kg/ cm ²)	Deformación Unitaria
0	0	25	0	0
0,25	492		19,69	0,05
0,5	923		36,92	0,1
0,75	1223		48,92	0,15
1	1628		65,12	0,2
1,25	1842		73,68	0,25
1,5	2023		80,92	0,3
1,75	2136		85,44	0,35
2	2223		88,92	0,4
2,25	2318		92,72	0,45
2,5	2323		92,92	0,5

Fuente: Autores

Con los cuales se pudo realizar la relación esfuerzo vs deformación con el fin de hallar la carga media para así poder obtener el RLP (resistencia al límite proporcional) como se presenta en las siguientes graficas:

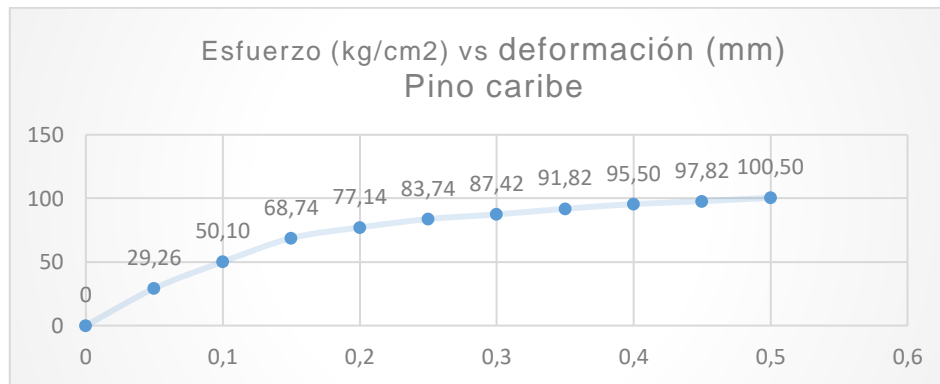


Figura 13.6 Curva de esfuerzo vs deformación del pino caribe
Fuente: Autores

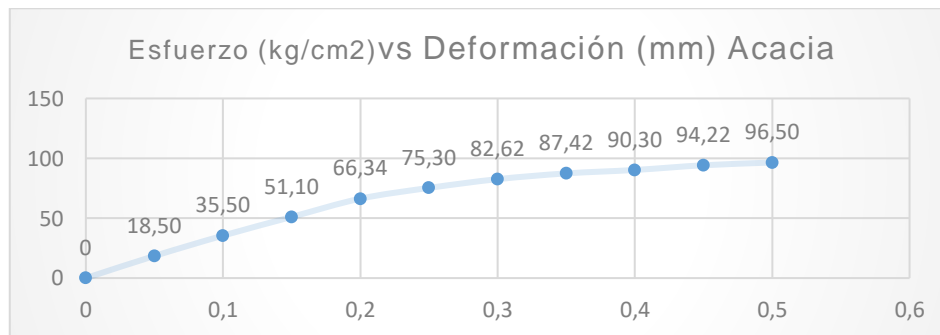


Figura 13.7 Curva de esfuerzo vs deformación de la Acacia
Fuente: Autores

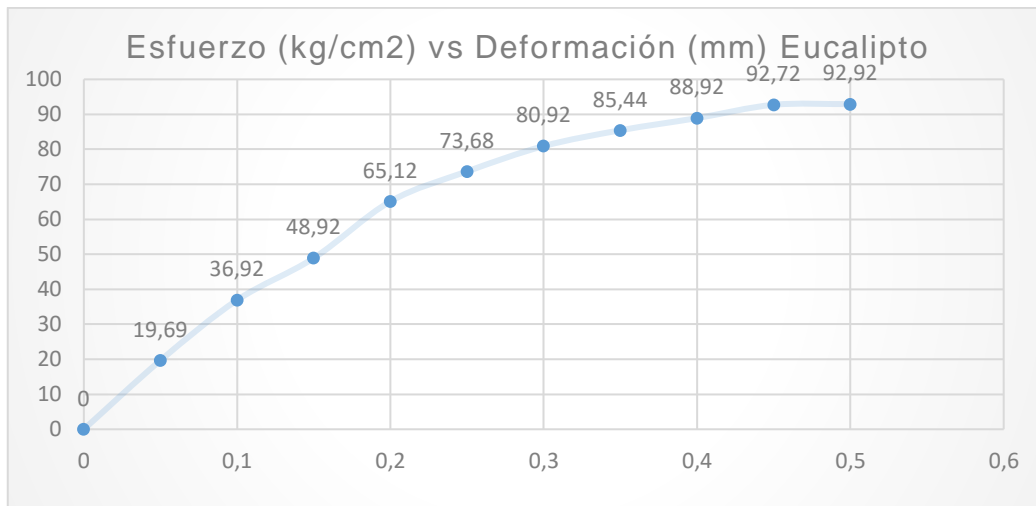


Figura 13.8 Curva de esfuerzo vs deformación del Eucalipto
Fuente: Autores

Por ende, los valores de RLP obtenidos mediante la prueba de compresión perpendicular se puede observar en figura 13.9. La especie que mayor RLP presentó para esta prueba es el Pino caribe con un valor de 77,14 kg/cm², seguido por la Acacia con un valor de 66,34 kg/cm² y por último el Eucalipto con un valor de 48,93 kg/cm². Este tipo de esfuerzo es característico en las zonas de apoyo de las vigas, donde se concentra toda la carga en pequeñas superficies que deben ser capaces de transmitir la reacción sin sufrir deformaciones importantes o aplastamiento. Por ende, se determina que el pino caribe tiene una alta capacidad de soportar carga en las vigas.



Figura 13.9 Compresión perpendicular en las tres especies maderables
Fuente: Autores

13.2.3 COMPRESIÓN PARALELA

En el ensayo de compresión paralela la carga fue siempre constante y la variable fue la deformación, contrario a lo realizado en el ensayo de compresión. Esto es debido a que la madera es un material anisotrópico, es decir que sus propiedades cambian según su dirección, por ende. la capacidad está limitada por el pandeo de las fibras más que por su propia resistencia al aplastamiento.

A continuación, se evidencia en las tablas los resultados de deformación obtenidos en diferentes cargas aplicadas, con su respectivo esfuerzo y deformación unitaria:

Tabla 13.14 Datos obtenidos del pino caribe

Deformación (mm)	Carga (Kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Deformación Unitaria
0,00	0	6,25	0	0
0,05	250		40,00	0,0196
0,12	500		80,00	0,0478
0,19	750		120,00	0,0758
0,26	1000		160,00	0,104
0,32	1250		200,00	0,128
0,39	1500		240,00	0,1562
0,45	1750		280,00	0,1804
0,53	2000		320,00	0,2122
0,60	2250		360,00	0,2402
0,68	2500		400,00	0,2724
0,75	2750		440,00	0,3018
0,91	3000		480,00	0,3642

Fuente: Autores

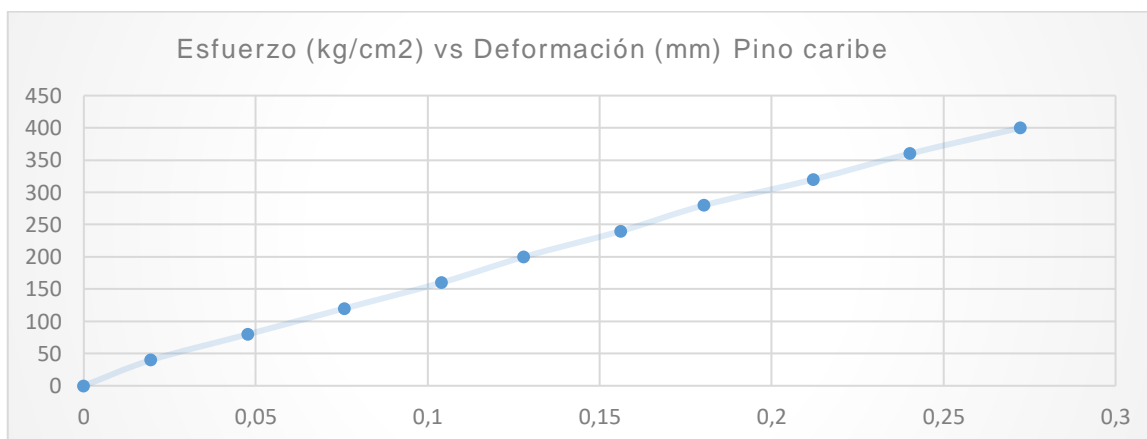


Figura 13.10 Esfuerzo (kg/cm²) vs Deformación (mm) Pino caribe

Fuente: Autores

Tabla 13.15 Datos obtenidos de la especie Acacia

Deformación (mm)	Carga (Kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (Kg/ cm ²)	Deformación Unitaria
0,00	0	6,25	0	0
0,05	150		24,00	0,0196
0,12	300		48,00	0,0478
0,19	450		72,00	0,0758
0,26	600		96,00	0,104
0,32	750		120,00	0,128
0,39	900		144,00	0,1562
0,45	1050		168,00	0,1804
0,53	1200		192,00	0,2122
0,60	1350		216,00	0,2402
0,68	1500		240,00	0,2724
0,75	1650		264,00	0,3018
0,91	1800		288,00	0,3642

Fuente: Autores

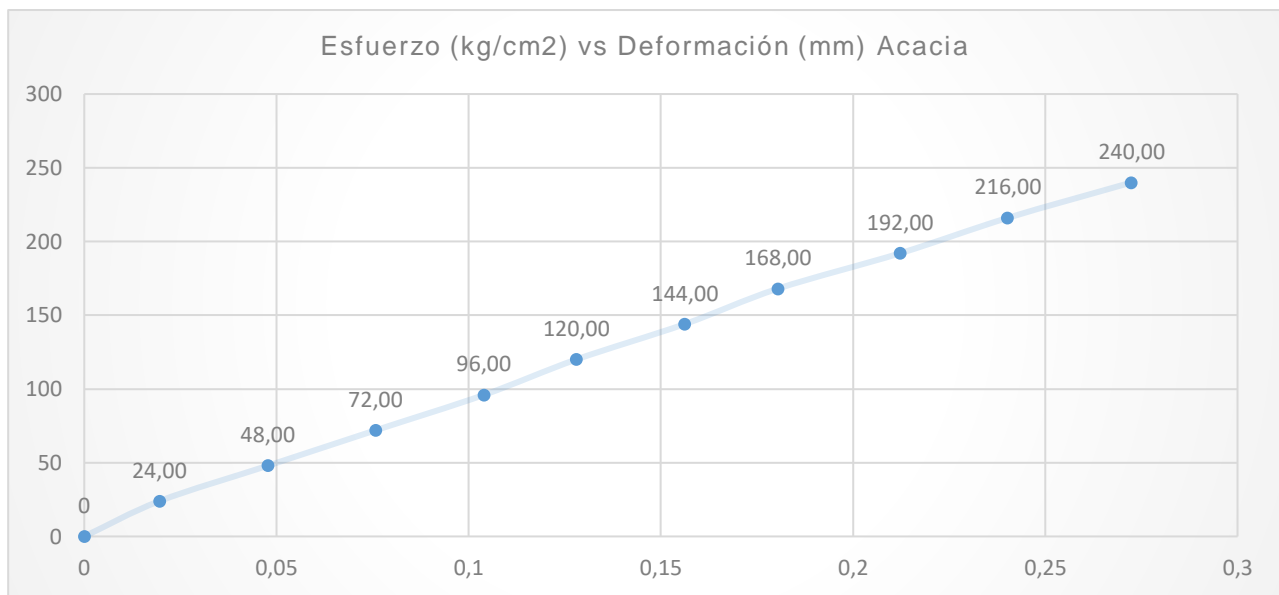


Figura 13.11 Esfuerzo (kg/cm²) vs Deformación (mm) Acacia

Fuente: Autores

Tabla 13.16 Datos obtenidos de la especie Eucalipto

Deformación (mm)	Carga (Kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (Kg/ cm ²)	Deformación Unitaria
0,00	0	6,25	0	0
0,05	200		32,00	0,0196
0,12	400		64,00	0,0478
0,19	600		96,00	0,0758
0,26	800		128,00	0,104
0,32	1000		160,00	0,128
0,39	1200		192,00	0,1562
0,45	1400		224,00	0,1804
0,53	1600		256,00	0,2122
0,60	1800		288,00	0,2402
0,68	2000		320,00	0,2724
0,75	2200		352,00	0,3018
0,91	2400		384,00	0,3642

Fuente: Autores

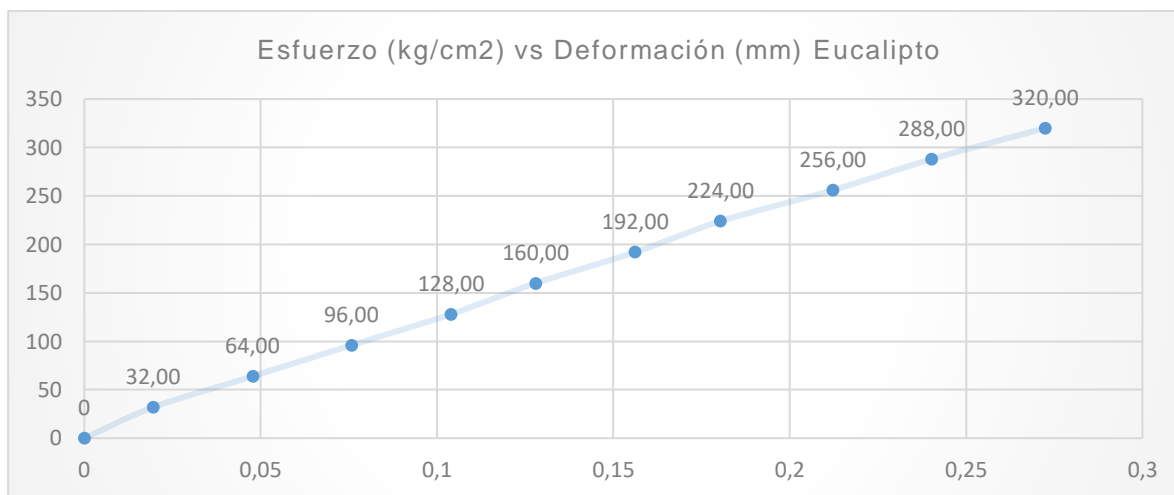


Figura 13.12 Esfuerzo (kg/cm²) vs Deformación (mm) Eucalipto

Fuente: Autores

Como resultado de la prueba de compresión paralela se determinó que la mayor resistencia máxima de los tres tipos de maderas, se presenta en el Pino caribe con un valor de 400 kg/cm², seguido por el Eucalipto con un valor de 320 kg/cm² y por último la Acacia con un valor de 240 kg/cm². En el caso de la resistencia en el límite de proporcionalidad, prevalece el Pino caribe con 160 kg/cm², seguido por el Eucalipto con un 128 kg/cm² finalizando con la Acacia con un valor de 96 kg/cm². La madera presenta una gran resistencia a los esfuerzos de compresión paralela debido a que las fibras están orientadas con su eje longitudinal en esta dirección y que a su vez coincide, o está muy cerca de la orientación de las microfibras que constituye la capa media de la pared celular.

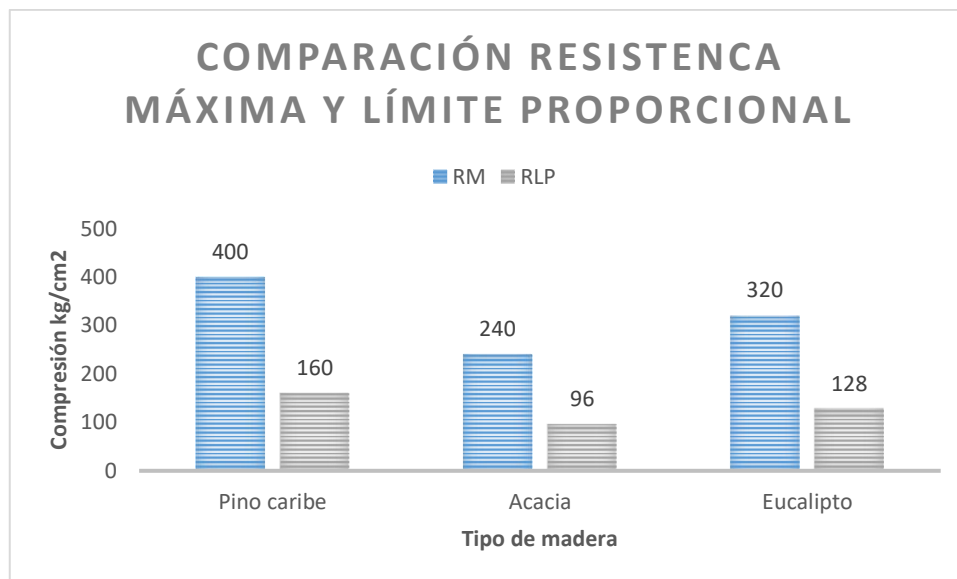


Figura 13.13 Comparación de variables RM y RLP de compresión paralela
Fuente: Autores

El MOE, como tercera variable para la compresión paralela, se tiene que para el Pino caribe se presenta el mayor valor en comparación a las otras dos especies, correspondiéndole 102400 Kgf/cm², luego la especie Eucalipto con 65536 Kgf/cm² y por último el Acacia con un valor de 36864 Kgf/cm²

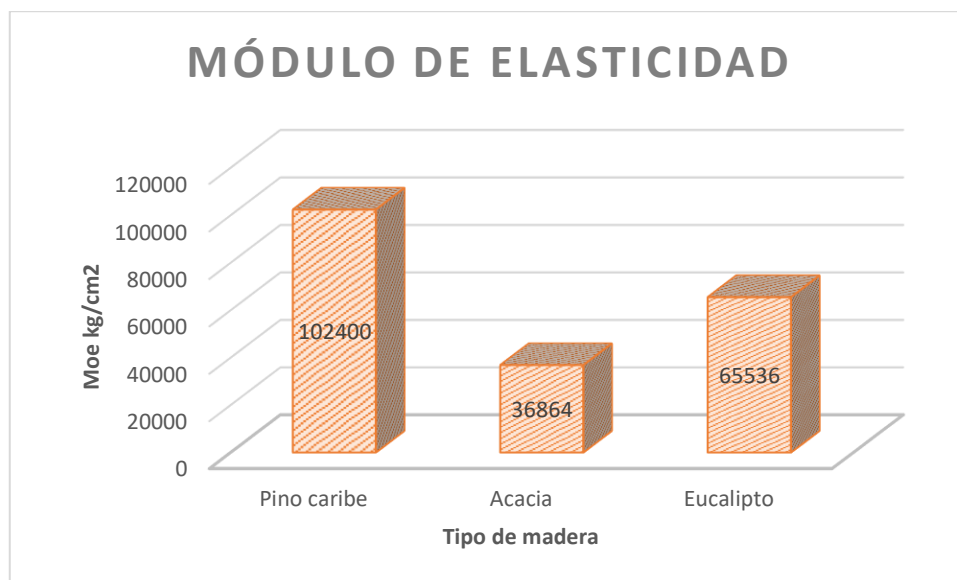


Figura 13.14 Valor del MOE resultado de compresión paralela
Fuente: Autores

13.2.4 FLEXIÓN ESTÁTICA

En las tablas siguientes se establecen los valores obtenidos en los ensayos para determinar la flexión estática que presenta las tres especies de estudio, con las cuales se determinó la curva carga vs deformación que nos permitió hallar las variables las cuales son resistencia en límite proporcional, (RLP); resistencia máxima (RM) y el módulo de elasticidad (MOE).

Tabla 13.17 valores obtenidos del pino caribe

	Carga media kg	Carga máx. kg.	Deformación media mm	Deformación máx. mm
4P01	136	243	30,89	54,73
4P02	116	216	26,24	46,48
4P03	113	215	25,56	45,27
4P04	138	250	31,38	55,59
4P05	138	216	31,24	55,34
4P06	117	207	26,58	47,09
4P07	112	218	25,41	45,02
4P08	122	231	27,69	49,05
4P09	132	223	29,87	52,92
4P10	126	211	28,68	50,81
4P11	111	245	25,19	44,62
4P12	139	233	31,60	55,99
4P13	114	226	25,90	45,88
4P14	130	220	29,53	52,32
4P15	120	247	27,26	48,29
4P16	135	240	30,55	54,13
4P17	119	243	26,92	47,69
4P18	133	236	30,21	53,52
4P19	124	225	28,11	49,80
4P20	126	241	28,68	50,81

Fuente: Autores

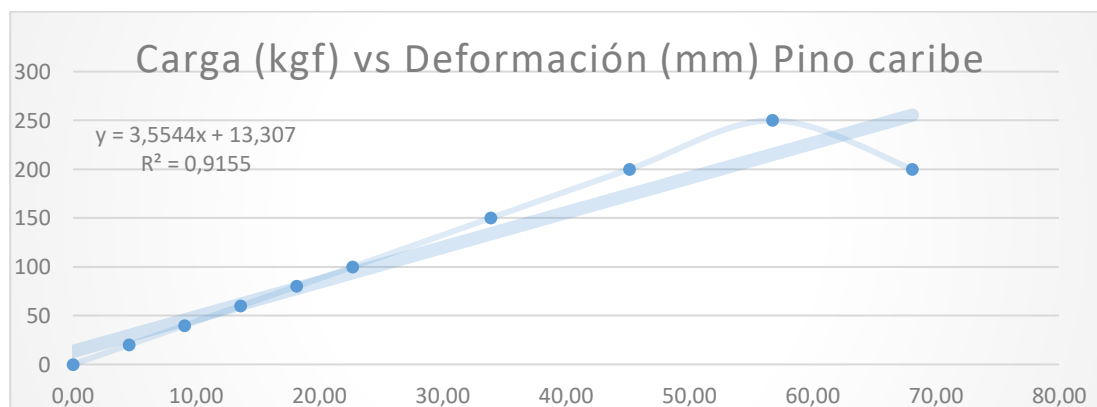


Figura 13.15 Carga (kgf) vs Deformación (mm) Pino caribe

Fuente: Autores

Tabla 13.18 RM, RLP y MOE del pino caribe

	RM	RLP	MOE
4P01	840,997	470,016	125479,743
4P02	746,883	399,168	90502,332
4P03	743,731	388,800	85861,970
4P04	864,829	477,360	129431,620
4P05	745,805	475,200	128262,943
4P06	713,899	404,352	92868,307
4P07	752,579	386,640	84910,598
4P08	797,645	421,200	100768,562
4P09	770,605	454,464	117313,316
4P10	728,801	436,320	108133,081
4P11	848,296	383,184	83399,427
4P12	803,672	480,816	131312,527
4P13	779,867	393,984	88166,887
4P14	758,661	449,280	114652,230
4P15	855,291	414,720	97691,841
4P16	829,053	464,832	122727,072
4P17	839,891	409,536	95264,810
4P18	817,109	459,648	120004,929
4P19	778,015	427,680	103892,984
4P20	832,481	436,320	108133,081

MEDIA	792,406	431,676	106438,913
DE	45,299	32,377	15900,788
CV	5,717	7,500	14,939

Fuente: Autores

Tabla 13.19. Valores obtenidos de la Acacia

	Carga media	Carga máx.	Deformación media	Deformación máx.
4A01	176	290	29,19	48,04
4A02	173	285	28,61	47,09
4A03	179	295	29,62	51,56
4A04	171	280	28,17	46,37
4A05	182	299	30,06	51,56
4A06	168	276	27,74	45,66
4A07	184	302	30,40	51,56
4A08	166	273	27,39	45,08
4A09	186	306	30,75	51,56
4A10	164	269	27,05	44,52
4A11	188	309	31,09	51,56
4A12	162	266	26,70	43,94
4A13	190	313	31,44	51,56
4A14	160	262	26,35	43,37
4A15	192	316	31,79	51,56
4A16	157	259	26,01	42,80
4A17	193	318	31,93	51,56
4A18	156	257	25,86	42,56
4A19	194	320	32,16	51,56
4A20	155	255	25,63	42,18

Fuente: Autores

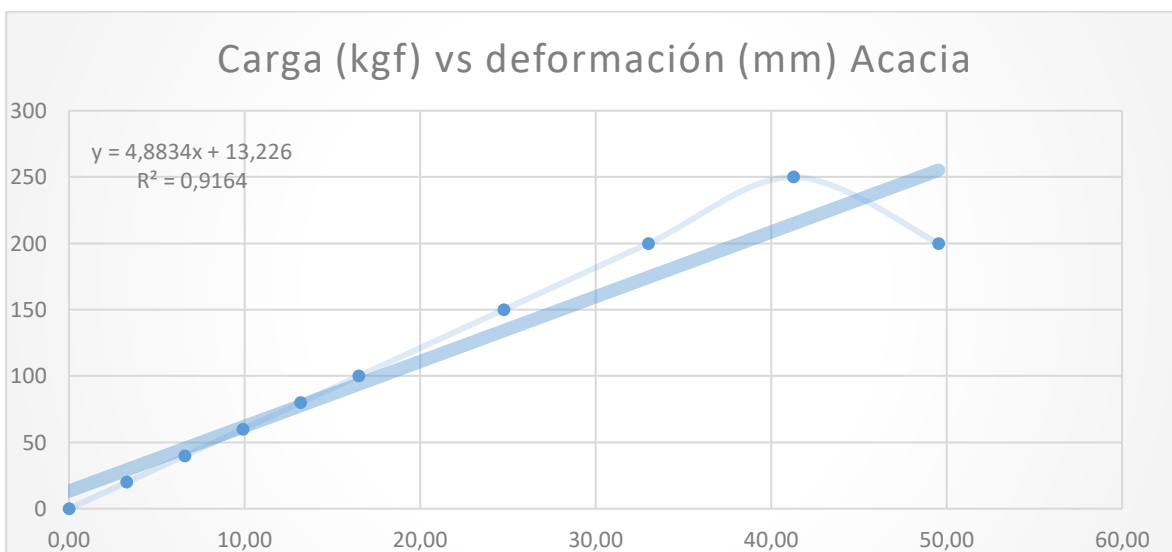


Figura 13.16 Carga (kgf) vs deformación (mm) Acacia

Fuente: Autores

Tabla 13.20 RM, RLP y MOE de la Acacia

No. PROBETA	RM	RLP	MOE
4A01	1005,281	610,848	154051,565
4A02	985,375	598,752	148010,920
4A03	1020,211	619,920	158661,333
4A04	970,445	589,680	143559,719
4A05	1035,141	628,992	163339,058
4A06	955,515	580,608	139176,475
4A07	1047,085	636,250	167130,167
4A08	943,571	573,350	135718,810
4A09	1059,029	643,507	170964,769
4A10	931,627	566,093	132304,637
4A11	1070,973	650,765	174842,863
4A12	919,683	558,835	128933,957
4A13	1082,917	658,022	178764,451
4A14	907,739	551,578	125606,769
4A15	1094,861	665,280	182729,530
4A16	895,795	544,320	122323,074
4A17	1099,837	668,304	184394,483
4A18	890,819	541,296	120967,704
4A19	1107,800	673,142	187074,114
4A20	882,856	536,458	118814,818
MEDIA	995,328	604,800	151868,461
D.E.	74,775	45,436	22699,813
C.V.	7,513	7,513	14,947

Fuente: Autores

Tabla 13.21 Datos obtenidos de la especie Eucalipto

	Carga media	Carga máx.	Deformación media	Deformación máx.
1E01	209,07	289,87	46,056	63,85542029
1E02	204,93	284,13	45,144	62,59095652
1E03	212,175	294,175	46,74	51,56775
1E04	201,825	279,825	44,46	61,64
1E05	215,28	298,48	47,42	51,56775
1E06	198,72	275,52	43,78	60,69
1E07	217,764	301,924	47,97	51,56775
1E08	196,236	272,076	43,23	59,94
1E09	220,248	305,368	48,52	51,56775
1E10	193,752	268,632	42,68	59,18
1E11	222,732	308,812	49,07	51,56775
1E12	191,268	265,188	42,13	58,42
1E13	225,216	312,256	49,61	51,56775
1E14	188,784	261,744	41,59	57,66
1E15	227,7	315,7	50,16	51,56775
1E16	186,3	258,3	41,04	56,90
1E17	228,735	317,135	50,39	51,56775
1E18	185,265	256,865	40,81	56,58
1E19	230,391	319,431	50,75	51,56775
1E20	183,609	254,569	40,45	56,08

Fuente: Autores

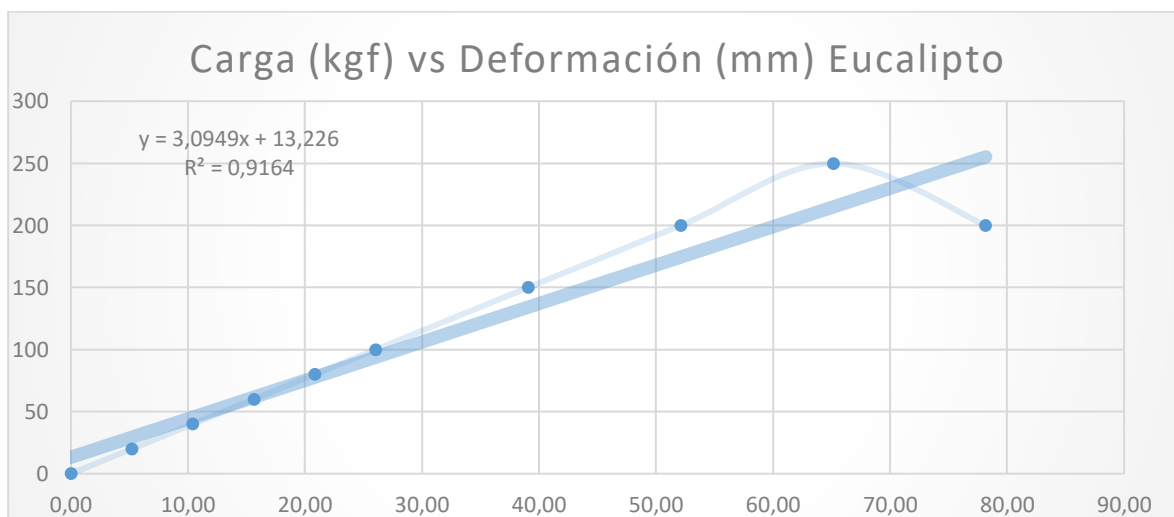


Figura 13.17 Carga (kgf) vs Deformación (mm) Eucalipto

Fuente: Autores

Tabla 13.22 Resistencia máxima, límite proporcional y módulo elasticidad del eucalipto

No. PROBETA	RM	RLP	MOE
1P01	1001,791	722,546	287518,247
1P02	981,953	708,238	276244,127
1P03	1016,669	733,277	296121,810
1P04	967,075	697,507	267936,510
1P05	1031,547	744,008	304852,207
1P06	952,197	686,776	259755,726
1P07	1043,449	752,592	311927,844
1P08	940,295	678,192	253302,420
1P09	1055,352	761,177	319084,656
1P10	928,392	669,607	246930,287
1P11	1067,254	769,762	326322,641
1P12	916,490	661,022	240639,328
1P13	1079,157	778,346	333641,800
1P14	904,587	652,438	234429,543
1P15	1091,059	786,931	341042,132
1P16	892,685	643,853	228300,931
1P17	1096,019	790,508	344149,561
1P18	887,725	640,276	225771,301
1P19	1103,954	796,231	349150,761
1P20	879,790	634,553	221753,204
MEDIA	991,872	715,392	283443,752
D.E.	74,515	53,744	42366,401
C.V.	7,513	7,513	14,947

Fuente: Autores

En la figura 13.18 se realiza un gráfico en el cual se denotan los valores obtenidos de cada especie de madera, en el cual podemos observar, que en cuanto a la resistencia en limite proporcional el que más soporta es el eucalipto con un valor de $715,39 \text{ kg/cm}^2$, lo mismo pasa con los valores de resistencia máxima y el módulo de elasticidad, lo cual permite deducir que de las tres especie es la que mejor soporta una carga puntual.

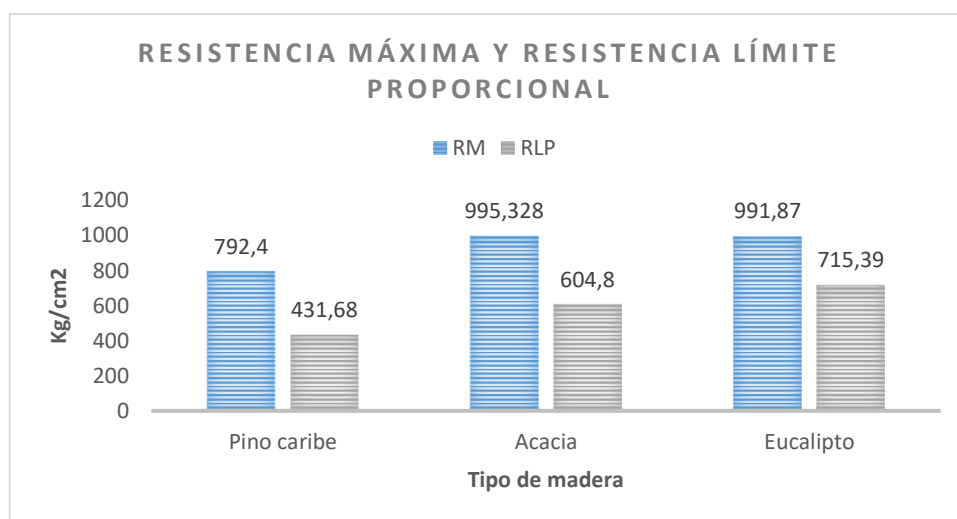


Figura 13.18 Comparación de los valores de la flexión estática radial

Fuente: Autores

13.2.5 CIZALLAMIENTO RADIAL

En cuanto al cizallamiento radial se obtuvieron las cargas soportadas por las probetas las deformaciones.

Tabla 13.23 Datos obtenidos de la maquina universal

Pino Caribe		Acacia		Eucalipto	
No. Probeta	Carga máx. kg	No. Probeta	Carga máx. kg	No. Probeta	Carga máx. kg
5P01	2035	4P01	1625	4P01	1874
5P02	2030	4P02	1838	4P02	1881
5P03	2039	4P03	1637	4P03	1885
5P04	2030	4P04	1826	4P04	1898
5P05	2043	4P05	1649	4P05	1850
5P06	2026	4P06	1814	4P06	1923
5P07	2047	4P07	1660	4P07	1947
5P08	2022	4P08	1803	4P08	1910
5P09	2051	4P09	1672	4P09	1861
5P10	2018	4P10	1791	4P10	1934
5P11	1998	4P11	1732	4P11	1836
5P12	2071	4P12	1737	4P12	1959
5P13	2002	4P13	1743	4P13	1921
5P14	2067	4P14	1720	4P14	1872
5P15	2063	4P15	1755	4P15	1946
4P16	2006	4P16	1708	4P16	1847
4P17	2010	4P17	1767	4P17	1971
4P18	2059	4P18	1696	4P18	1933
4P19	2014	4P19	1779	4P19	1883
4P20	2055	4P20	1684	4P20	1958

Fuente: Autores

Tabla 13.24 Resistencia máxima de cada especie

Pino Caribe		Acacia		Eucalipto	
No. PROBETA	RM	No. PROBETA	RM	No. PROBETA	RM
4P01	81,400	4P01	65,012	4P01	74,960
4P02	81,200	4P02	73,548	4P02	75,253
4P03	81,562	4P03	65,486	4P03	75,410
4P04	81,238	4P04	73,074	4P04	75,934
4P05	81,724	4P05	65,960	4P05	73,986
4P06	81,076	4P06	72,600	4P06	76,909
4P07	81,887	4P07	66,435	4P07	77,883
4P08	80,913	4P08	72,125	4P08	76,390
4P09	82,049	4P09	66,909	4P09	74,429
4P10	80,751	4P10	71,651	4P10	77,370
4P11	79,940	4P11	69,280	4P11	73,449
4P12	82,860	4P12	69,499	4P12	78,351
4P13	80,102	4P13	69,754	4P13	76,848
4P14	82,698	4P14	68,806	4P14	74,876
4P15	82,536	4P15	70,228	4P15	77,835
4P16	80,264	4P16	68,332	4P16	73,890
4P17	80,427	4P17	70,703	4P17	78,821
4P18	82,373	4P18	67,857	4P18	77,310
4P19	80,589	4P19	71,177	4P19	75,325
4P20	82,211	4P20	67,383	4P20	78,302
MEDIA	81,390		69,291		76,177
D.E.	0,867		2,532		1,606
C.V.	1,066		3,654		2,108

La prueba de cizallamiento se desarrolló en el plano radial tipos de madera en estudio, se agrupan en la figura 14-10 en la presentación de sus valores, teniendo que para el Pino caribe cuenta con 81,39 Kg/cm², para el Eucalipto se obtuvo un valor de 76,17 Kg/cm² y por último, para la Acacia se obtuvo 69,29 Kg/cm².

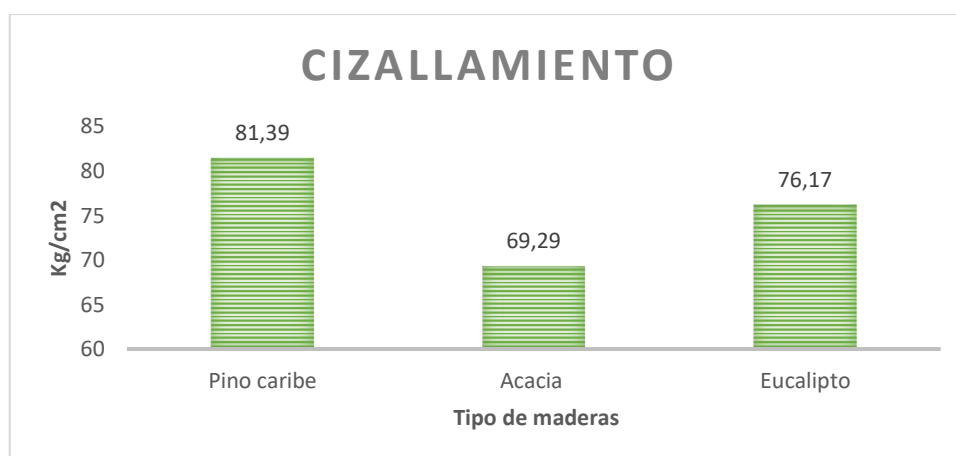


Figura 13.19 Valor de resistencia máxima por cizallamiento radial y tangencial
Fuente: Autores

13.2.6 TENACIDAD

Con la realización del ensayo de tenacidad se pudo categorizar las tres especies de estudio por nivel de resistencia, teniendo en cuenta que este ensayo consiste en determinar la capacidad que tiene la madera para disipar la energía obtenida de un impacto, como observamos en la siguiente tabla, podemos establecer que las especies Pino Caribe y Eucalipto se encuentran en un nivel medio, pero por el contrario la especie Acacia si se encuentra en un nivel bajo.

Tabla 13.25 Clasificación de la tenacidad según ASTM

NIVEL	VALOR (kg.m/cm ²)	ESPECIE
MEDIO	0,884	Eucalipto
	0,751	Pino Caribe
BAJO	0,432	Acacia

Fuente: Autores

13.3. CARACTERIZACIÓN DE LA MADERA

Para realizar la caracterización de cada especie, y basados en la NSR-10, la cual nos dice que para establecer el grupo en el cual pertenece la madera, a partir de las propiedades físicas y mecánicas se define mediante la densidad que tiene el material, dando unos rangos establecidos en el ítem 12, obtuvimos este resultado:

Tabla 13 9 Caracterización de la madera según la NSR-10

ESPECIE	DENSIDAD (g/cm ³)	GRUPO
PINO CARIBE	0,43	C
EUCALIPTO	0,97	A
ACACIA	0,72	A

Fuente: Autores

14. RESULTADOS E IMPACTOS

Tabla 14.1 Resultados

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
Identificación y recolección de la información	Análisis de proyectos similares para una mejor claridad del tema	Objetivo específico 1
Ejecución de los ensayos	Análisis e informe de los resultados que se obtienen	Objetivo específico 2
Caracterización de la calidad de la madera	Análisis de los resultados obtenidos en los ensayos para su respectiva identificación	Objetivo específico 3
Reconocimiento de las propiedades físicas de las maderas estudiadas	Informe detallado de las características de las especies de estudio.	Objetivo específico 4

Fuente: Autores

Tabla 14.2 Impactos

Aspecto	Impacto	Supuesto	Plazo
Social	Nuevas oportunidades de trabajo y proyectos de interés social a partir del uso de estas maderas	Dar un enfoque más integral a la implementación de nuevos recursos estructurales, para generar una vida digna a las sociedades.	Largo
Económico	Nuevas herramientas y materiales de alta calidad para el uso estructural. Basados con la NSR10	Implementación de leyes que reglamenten la construcción.	Mediano
Ambiental	Reducir el cambio climático a través de formas alternativas de construcción,	Implementación de leyes que reglamenten la construcción con la madera ya que es un recurso natural que ofrece grandes ventajas ambientales	Largo
Académico	Informe con los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados	Implementación en nuevos proyectos y actualización de las normas Colombianas, para dar uso a nuevos materiales	Mediano
Técnico o científico	Artículo o ponencia donde se evidencia el proceso y resultados que da la investigación.	Divulgación de los resultados para soporte en nuevos conocimientos.	Mediano

Fuente: Autores

15. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

15.1. CONCLUSIONES

Según las pruebas físicas, el Pino Caribe es el tipo de madera que presenta las mejores condiciones dado que sus valores de contracción volumétrica total, son bajos a comparación del Eucalipto y la Acacia, de igual forma presenta un contenido de humedad bajo, con lo que se concluye que de las tres especies es la especie más estable en cuanto a la conservación de sus dimensiones y se facilita su proceso de secado.

En las pruebas mecánicas, para la flexión estática, se observó que el Eucalipto y la Acacia presentaron mejor condición en cuanto a su elasticidad, mientras que el Pino caribe presentó los valores más bajos en esta cualidad. Para el Eucalipto y la Acacia presentaron una mayor resistencia máxima y soporta una mayor carga en la zona plástica. En las pruebas de compresión paralela, el Pino caribe demostró un mejor comportamiento en cuanto al módulo de elasticidad y resistencia RLP. Para la prueba de compresión perpendicular, la madera de Eucalipto es la que mayor resistencia presenta en su límite RLP y el Pino Caribe es la que presenta mayor resistencia máxima. En la prueba de cizallamiento, tanto radial como tangencial, no se encontró gran diferencia entre ambas variables, siendo así el Pino caribe la que presenta mejores condiciones, seguido por el Eucalipto y la Acacia.

Con el análisis estadístico que se llevó a cabo a partir de los resultados en los ensayos de laboratorio, se determina que el Pino caribe se encuentra en un solo grupo de usos, mientras que el Eucalipto y Acacia, estando en un rango más bajo se encuentran en el mismo grupo para los mismos usos.

El Pino caribe fue la especie que presentó los más bajos coeficientes de variación tanto en las propiedades físicas como mecánicas, mientras que el Eucalipto y Acacia, presentaron un alto rango de dispersión en cuanto a la obtención de los datos.

Así pues, la clasificación que se le da a las especies de Eucalipto y Acacia según su grupo A, se determinan como valores bajos a medianos en sus propiedades mecánicas pero alta densidad. Los usos potenciales para estas dos especies se destacan entre, balsas, embalajes, estibas, ebanistería, muebles y tableros enlistonados.

Para el grupo C, en donde se encuentra el Pino caribe, se determina que sus usos potenciales son los estructurales y de construcción en los que se incluyen vigas, escaleras y techos; muebles, pilones y entarimados.

15.2. TRABAJOS FUTUROS

Para trabajos futuros relacionados es importante tener en cuenta el cepillado de las mismas probetas, ya que esto influyó a la hora de realizar los ensayos de las propiedades

mecánicas. Al igual que lo anterior es muy importante realizar un buen control del secado de la madera de formar artificial con el fin de obtener unas muestras estables y de calidad.

Teniendo en cuenta que la madera seleccionada para las pruebas en laboratorio fue resultado de una selección, hay que tener en cuenta los criterios dados para una clasificación visual ya que estas condiciones cambian y determinan drásticamente el uso y eficiencia que pueda dar el tipo de madera que se esté manejando.

Hay que tener en cuenta la procedencia y los años con los que cuenta la madera con la que se planea realizar los ensayos de laboratorio, ya que estas condiciones son muy determinantes, por ejemplo, para la Acacia, se tuvo que volver a realizar el proceso de selección de las trozas ya que se habían acopiado trozas muy jóvenes y su manejabilidad era muy baja.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. Morgado, J. P. White, H. Cruz y P. Pontífice, «Projeto e construção de casas de madeira em Portugal,» Divisão de Divulgação Científica e Técnica - LNEC, Lisboa, 2012.
- [2] R. Dávalos Sotelo, «Diseño probabilístico de estructuras de madera en Norteamérica,» *Madera y Bosques*, vol. 2, nº 1, pp. 9-31, 1996.
- [3] C. P. K. Boyd, H. McKean, S. P. C.R. Morschauser y F. Wangaard, «Wood for structural and architectural purposes,» *Wood and Fiber*, vol. 8, nº 1, pp. 3-72, 1976.
- [4] S. V. Murillo, «Construir con madera: alternativa para resolver necesidades habitacionales,» *Revista M&M: el mueble y la madera*, vol. 42, nº 5, p. 4, 2009.
- [5] Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC, «Tecnologías de la información para la consolidación ambiental y productiva del territorio,» *Análisis Geográficos*, vol. 1, nº 53, p. 148, 2017.
- [6] UPRA, Unidad de Planificación Rural Agropecuaria, «Zonificación para plantaciones forestales con fines comerciales - Colombia,» Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR, Bogotá, 2015.
- [7] Gobierno de Colombia; PROFOR - Banco Mundial, «Situación actual y potenciales de fomento de plantaciones forestales con fines comerciales en Colombia,» UNIQUE forestry and land use GmbH, Bogotá; Feriburg, 2017.
- [8] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Resolución número 000080 de 2013 - "Por la cual se fija el listado de especies forestales a ser beneficiadas con el Certificado de Incentivo Forestal - CIF", 11 marzo 2013.
- [9] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; ONF Andina, «Uso y legalidad de la madera en Colombia: análisis parcial,» Fernán Macía Sanabria, Bogotá, 2015.
- [10] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; ONF Andina, «Estudio de estimación y caracterización del consumo de madera en los sectores de vivienda y grandes obras de infraestructura,» Fernán Macía Sanabria, Bogotá, 2016.
- [11] P. P. Díaz Méndez, «Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de madera de *Nothofagus glauca* (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes,» Facultad de Ciencias Forestales - Escuela de Ingeniería en Industrias de la Madera, Talca, 2005.
- [12] F. C. L. Mejía, «Análisis de Vulnerabilidad territorial por inundación en el municipio de Chia, Cundinamarca,» Universidad Católica, Bogotá, 2014.
- [13] S. R. S. Maria Victoria Alava, «ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MADERAS, GUAYACÁN TRÉBOL, QUIEBRA FILO, CHANUL, PINO PATULA, SANDE, Y SU RELACIÓN CON LA DENSIDAD BÁSICA.,» Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, 2014.
- [14] WWF-Colombia - Programa Subregional Amazonas Norte & Chocó Darién, «Maderas de Colombia,» pp. 3-4, 2013.

- [15] G. M. B. Pazos, «Caracterización tecnológica de veinte especies maderables de la Selva Lacandona,» Mexico, 1995.
- [16] R. L. G. Keil, M. Refort, A. Iaconis y W. Abedini, «Propiedades tecnológicas de la madera de *Citharexylum montevidense* (Spreng.) Mol. “Espina de bañado”».
- [17] Reforestadora Cacerí S.A, «ACACIA MANGIUM,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.caceri.com/assets/Uploads/acacia.compressed.pdf>. [Último acceso: diciembre 2018].
- [18] Sistema Nacional de información forestal, «*Pinus caribaea*,» Caribbean Forester, 1962.
- [19] R. J. H. C. A. R. J. B. U. Carlos Mario Ospina, «El eucalipto,» BLANECOLOR , 2006.
- [20] S. S. Maria Victoria Alava, «ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MADERAS GUAYACÁN TRÉBOL, QUIEBRA FILO, CHANUL, PINO PATULA, SANDE, Y SU RELACIÓN CON LA DENSIDAD BÁSICA.,» Universidad de Nariño, 2014.
- [21] W. & Y. T. Klinger, « Propuesta metodológica para la determinación de usos potenciales de la madera a partir de parámetros físico-mecánicos cuantitativos.,» *Universidad*, pp. 7-24, 2001.
- [22] Proexport, «Sector forestal en Colombia,» Marzo 2012. [En línea]. Available: https://www.inviertaencolombia.com.co/Adjuntos/Perfil_Forestal_2012.pdf. [Último acceso: 27 febrero 2019].
- [23] S. S. S. M. Juan Solorzano, «Potencialidad de uso de la madera de 15 especies forestales procedentes de la UPF YARÍ-CAGUÁN, departamento de Caquetá,» Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Bogotá, 2016.
- [24] G. K. M. R. Roussy, Propiedades tecnológicas de la madera de *Citharexylum montevidense* (Spreng.) Mol. “Espina de bañado”, vol. 2.1, Buenos Aires: Quebracho , 2013.
- [25] D. Fajardo Montaña y F. Urbina, «Colombia Orinoco,» FEN Colombia, Bogotá, 1998.
- [26] CONPES, Consejo Nacional de Política Económica y Social, «Política para el desarrollo integral de la Orinoquia: la altillanura - Fase I,» Departamento Nacional de Planeación, Bogotá, 2014.
- [27] J. A. Zárate Ramírez y Ó. J. Gutiérrez Junco, «Caracterización de maderas usadas en Boyacá de acuerdo con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente,» Revista Facultad de Ingeniería, UPTC, Bogotá, 2012.
- [28] S. G. Juan Felipe, S. D. Sebastián y M. A. Sergio Andrés, «Potencialidad de uso de la madera de 15 especies forestales, procedentes de la UOF Yarí-Caguán, Departamento de Caquetá,» Facultad de Medio Ambiente Y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2016.
- [29] M. A. Triana Gomez, G. González Roso y S. D. Paspur Posso, «Estudio de las propiedades mecánicas de la madera de palosangre (*brosimum rubescenstaub.*), procedencia: Leticia, Amazonas,» *Revista Colombia Forestal*, vol. 11, pp. 149-164, 2008.

- [30] J. Lastra, «Aspectos generales sobre la estructura anatómica, propiedades fisicomecánicas y secado de la madera,» Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 1984.
- [31] W. Klinger y Y. Talero, «Propuesta metodológica para la determinación de usos potenciales de la madera a partir de parámetros físico-mecánicos cuantitativos,» Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2001.
- [32] F. Silvester, «It's Mechanical Properties and Factors Affecting its structural use,» Pergamos Press LTD, 1967.
- [33] E. Cáceres Hidalgo, «Caracterización físico-mecánica de la madera de Paulownia elongata,» Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de la Universidad de Valladolid, Valladolid, 2016.
- [34] A. Vega Cuerto, «Caracterización mecánica de la madera estructural de Castanea sativa Mill. clasificación visual y evaluación mediante métodos no destructivo,» Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, 2013.
- [35] E. P. Wigner, «Theory of traveling wave optical laser,» *Phys. Rev.*, vol. 134, pp. A635-A646, 2005.
- [36] A. C. Sole, Instrumentación Industrial, Mexico: Alfaomega, 2006.
- [37] L. L. a. H. Miao, «A specification based approach to testing polymorphic attributes,» de *Formal Methods and Software Engineering: Proceedings of the 6th International Conference on Formal Engineering Methods, ICFEM 2004*, Seattle, WA, USA,, November 8-12.
- [38] A. Rezi and M. Allam,, «Techniques in array processing by means of transformations,» de *Control and Dynamic Systems Vol. 69*, San Diego, Academic Press, 1995, pp. 133-180.
- [39] «TenSTEP,» [En línea]. Available: Cuando ha terminado de crear los objetivos y alcance, regrese y asegúrese de que todos están alineados. No debe tener objetivos que hagan referencia a entregables no definidos en los postulados del alcance. Si no está construyendo lo suficiente para satis. [Último acceso: 14 12 2015].

ANEXOS

ANEXO 1

CONTENIDO DE HUMEDAD

5.1 EQUIPO

5.1.1 Horno

Se debe usar un horno de convección forzada que se pueda mantener a una temperatura de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en toda la cámara de secado, durante el tiempo requerido para secar el espécimen hasta el punto final. Los hornos se deben ventilar para permitir que escape la humedad evaporada.

NOTA 1 La relación de la masa de la muestra al volumen de la cámara y la velocidad del aire dentro del horno no son críticas, en tanto la temperatura y la humedad relativa dentro del horno sean constantes. La humedad relativa del recinto o del cuarto debería ser inferior a una humedad relativa del 70 %, en cuya condición el horno está al 1,7 % de humedad relativa. Para una mayor precisión, el secado se debería llevar a cabo en un recinto o cuarto con una humedad relativa constante, con la menor humedad relativa posible.

5.1.2 Balanza

Con base en una probeta de 10 g (secada en horno), la legibilidad mínima de la balanza se debe determinar mediante el nivel de precisión del reporte deseado.

Nivel de precisión de reporte, CH %	Legibilidad mínima de la balanza, mg
0,01	1
0,05	5
0,1	10
0,5	50
1,0	100

Para otros niveles de masa secada en horno, el requisito de sensibilidad se debe ajustar apropiadamente.

5.2 MATERIAL DE ENSAYO

Se puede usar cualquier material de madera, o, a base de madera, de la dimensión conveniente, consistente con el uso de frascos de pesaje cerrados (véase el numeral 5.4.6) y la legibilidad de la balanza (véase el numeral 5.1.2).

NOTA 2 Si las probetas contienen cualquier grado de material volatilizable diferente del agua, puede ser necesario usar el Método C o realizar simultáneamente los Métodos A y C.

5.3 CALIBRACIÓN Y NORMALIZACIÓN

La determinación de la variabilidad de la probeta requiere de una medición separada de la contribución de la variabilidad dentro del horno.

5.3.1 Determinación de la variabilidad del horno

Esta sección permite una evaluación separada de la variabilidad del horno con relación a la de las probetas distribuidas en el horno.

Figura 0.1 Anexo 1 CH
Fuente: NTC 460

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 206-2 (Primera actualización)

5.3.1.1 Selección y preparación de probetas

Se debe moler, hasta convertirla en aserrín, una muestra de madera tropical de características de densidad básica y grupo estructural similar al abeto Douglas, y se debe usar la fracción contenida en una malla 40/60. El origen de la muestra o la historia del secado no son críticos. El aserrín se debe agitar en un recipiente cerrado hasta que esté muy bien mezclado. Todas las réplicas se deben preparar al mismo tiempo del mismo lote de material. Todo el material se debe transferir y almacenar en botellas de pesaje herméticas al aire.

5.3.1.2 Equilibrio

El contenido de humedad de la probeta no es importante si se usan las técnicas de preparación descritas en el numeral 5.3.1.1. No se requiere equilibrio, aunque es preferible que el material sea tan uniforme como sea posible, en cuanto a contenido de humedad.

5.3.1.3 Número y ubicación de probetas

Cada ensayo debe constar de un grupo de ocho réplicas de probetas. Se deben ubicar en los puntos correspondientes a los tercios con respecto a la altura, ancho y profundidad de la cavidad del horno. Con este esquema, se colocarán cuatro muestras sobre cada uno de los dos estantes, en los tercios primero y segundo de la altura de la cavidad.

5.3.2 Determinación de la variabilidad combinada de la probeta y el horno

Los procedimientos son los mismos que los de los numerales 5.3.1.1 al 5.3.1.3, excepto que se pueden usar probetas de cualquier origen y tamaño o forma. Calcule la variabilidad usando la ecuación 5.5.2.

5.3.3 Procedimiento

Use el procedimiento primario de secado en horno (véase el numeral 5.4).

5.4 PROCEDIMIENTO

5.4.1 Las probetas que se van a llevar a equilibrio se deben procesar como se indica en la norma ASTM D4933.

5.4.2 Si pueden ocurrir retrasos entre el muestreo y el pesaje, almacene las probetas en recipientes individuales herméticos al vapor.

5.4.3 Pese las probetas usando una balanza compatible con la precisión deseada (véase el numeral 5.1.2).

5.4.4 Precaliente a una temperatura promedio de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5.4.5 Coloque las probetas en el horno dentro del volumen ensayado para precisión del horno.

5.4.6 Punto final. Suponga que el punto final se ha alcanzado cuando la pérdida de masa en un intervalo de 3 horas es igual o inferior al doble de la sensibilidad de la balanza seleccionada.

exclusivo - UNIVERSIDAD SANTO TOMAS - 860.012.355-76

Figura 0.2 Anexo 1 CH
Fuente: NTC 460

ANEXO 2

PESO ESPECIFICO

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 290 (Primera actualización)

6.3 PESO ESPECÍFICO APARENTE

6.3.1 Aparatos

6.3.1.1 Balanzas automática similar a la indicada en la Figura 1.

6.3.1.2 Balanza de precisión, con la aproximación requerida de acuerdo con la finalidad del ensayo.

6.3.1.3 Volumenómetro de Amsler (opcional).

6.3.1.4. Micrométero

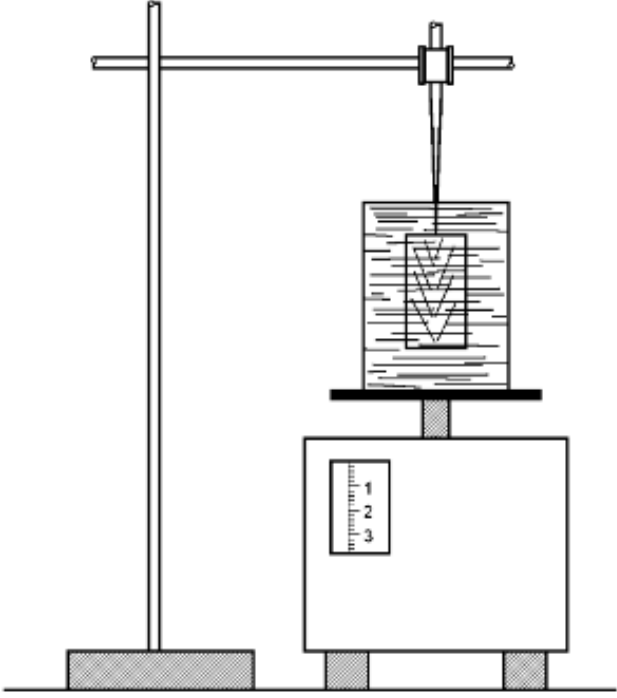


Figura 1. Balanza automática para determinar el volumen por inmersión

6.3.1.5 Estufa de circulación de aire que permita operar a $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (para el ensayo de maderas en estado anhidro) .

6.3.1.6 Desecador con sustancia higroscópica adecuada (para el ensayo de maderas en estado anhidro) .

Figura 0.3 Anexo 2 peso especifico
Fuente: NTC 461

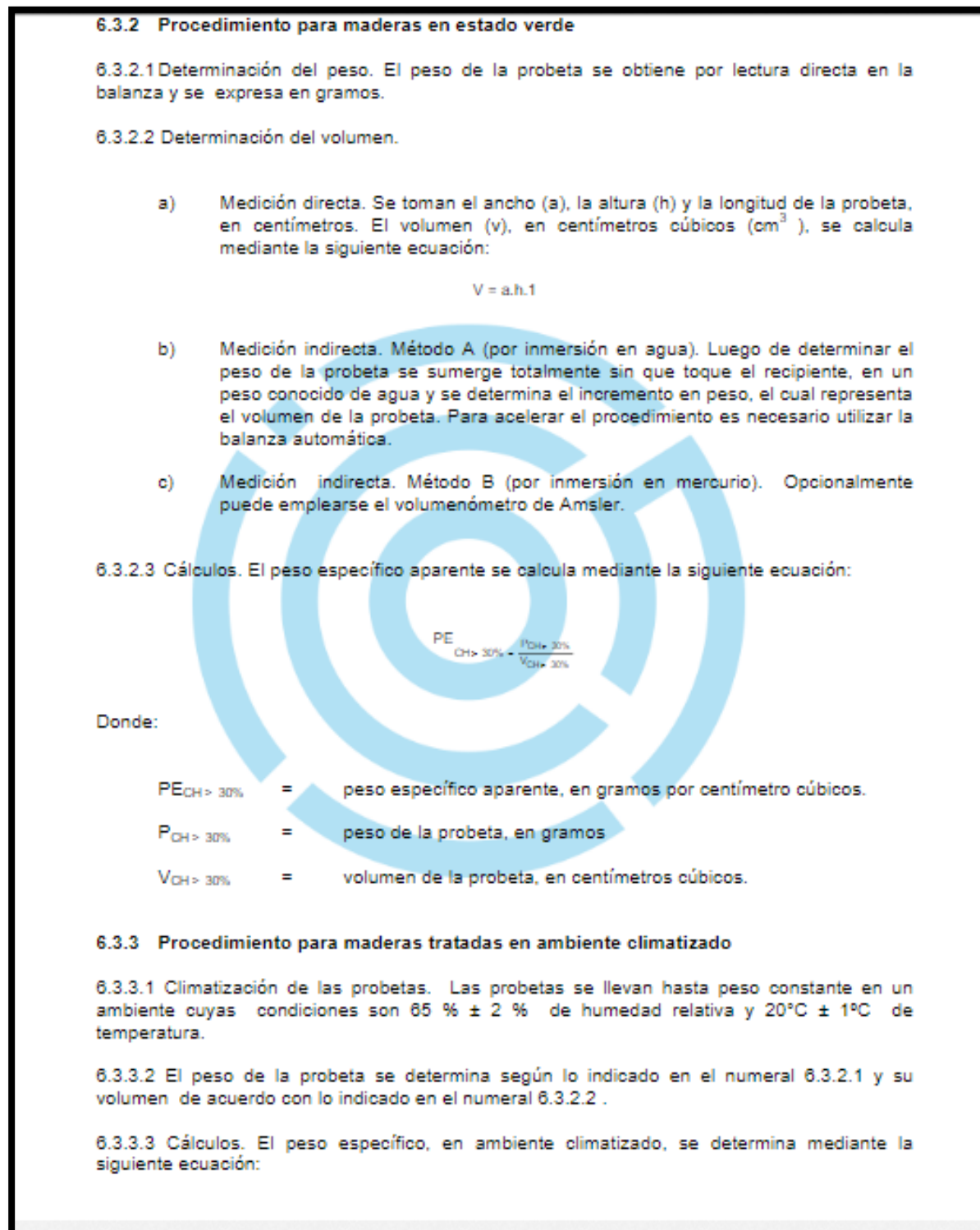


Figura 0.4 Anexo 2 peso específico
Fuente: NTC 461

ANEXO 3

DUREZA

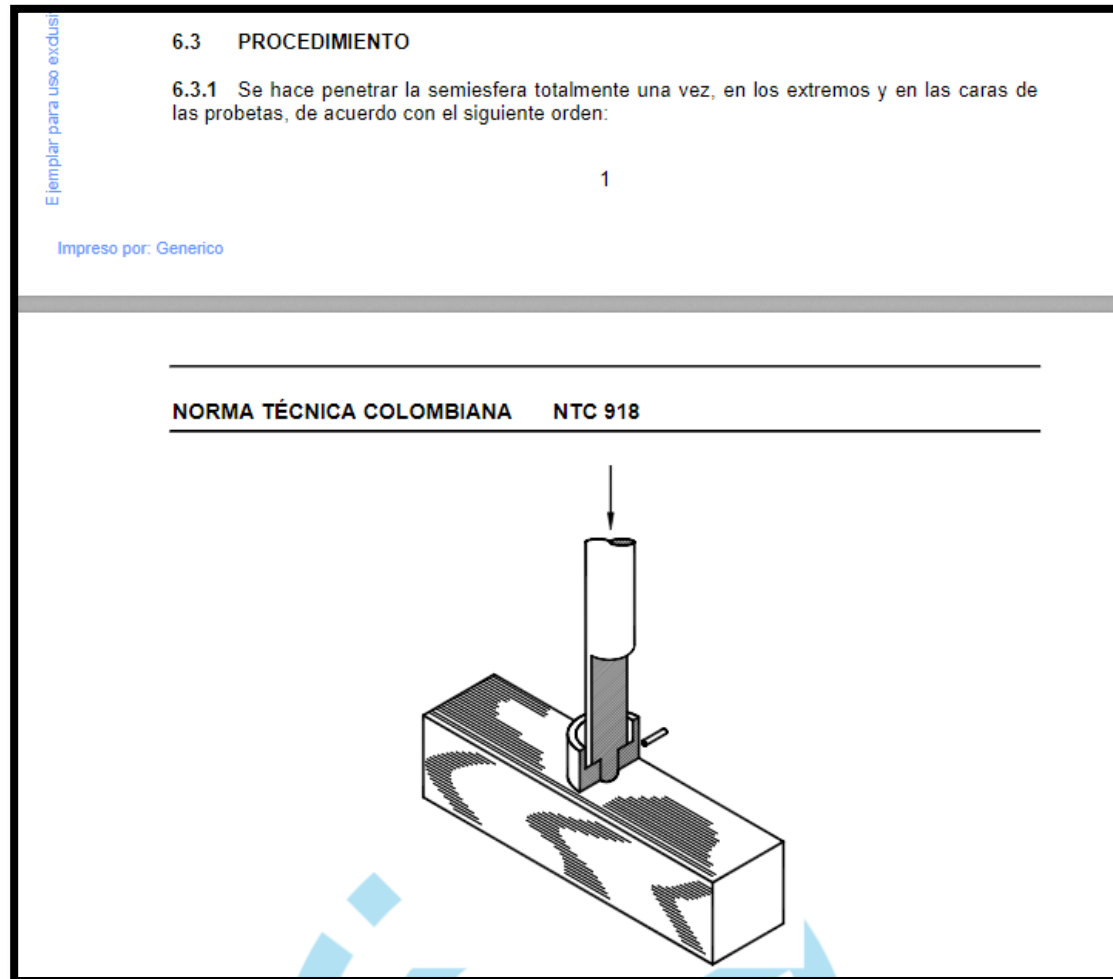


Figura 0.5 Anexo 3 Dureza
Fuente: NTC 465

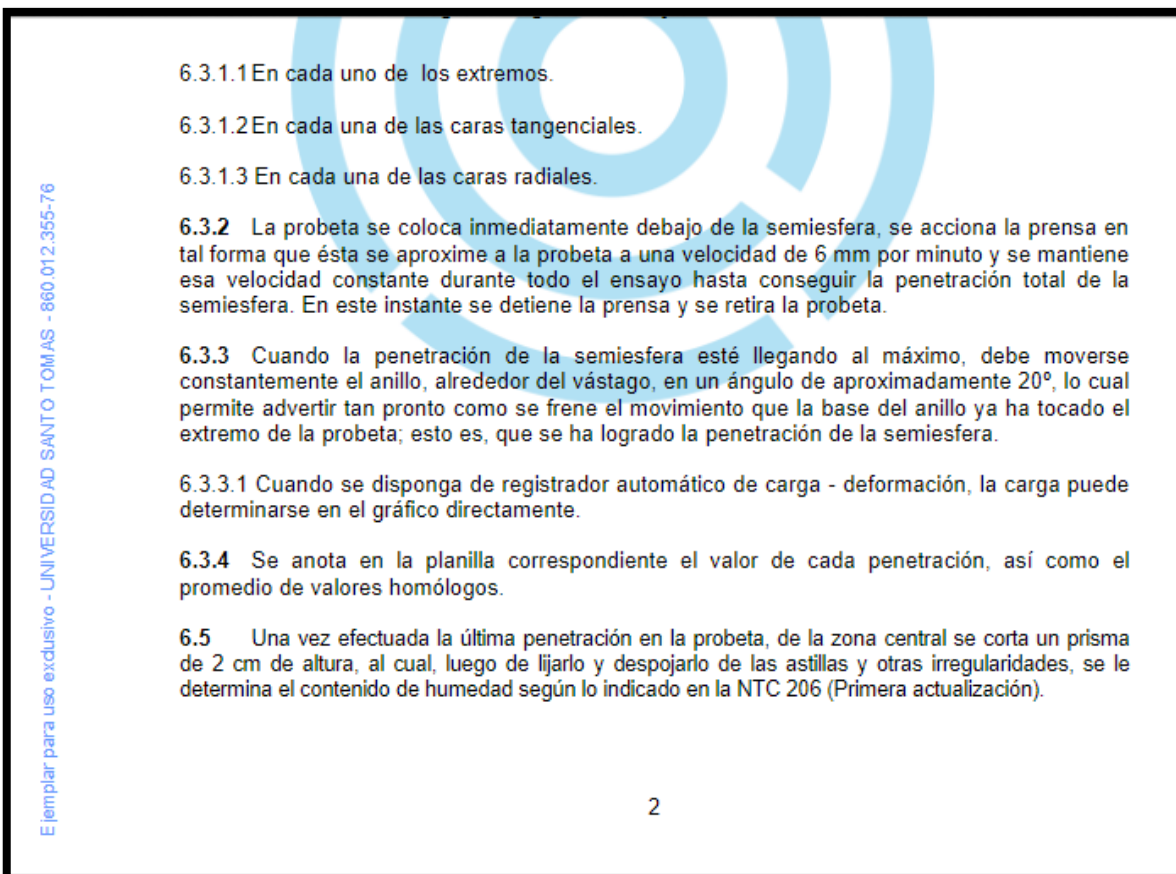


Figura 0.6 Anexo 3 Dureza
Fuente: NTC 465

ANEXO 4

COMPRESIÓN PERPENDICULAR

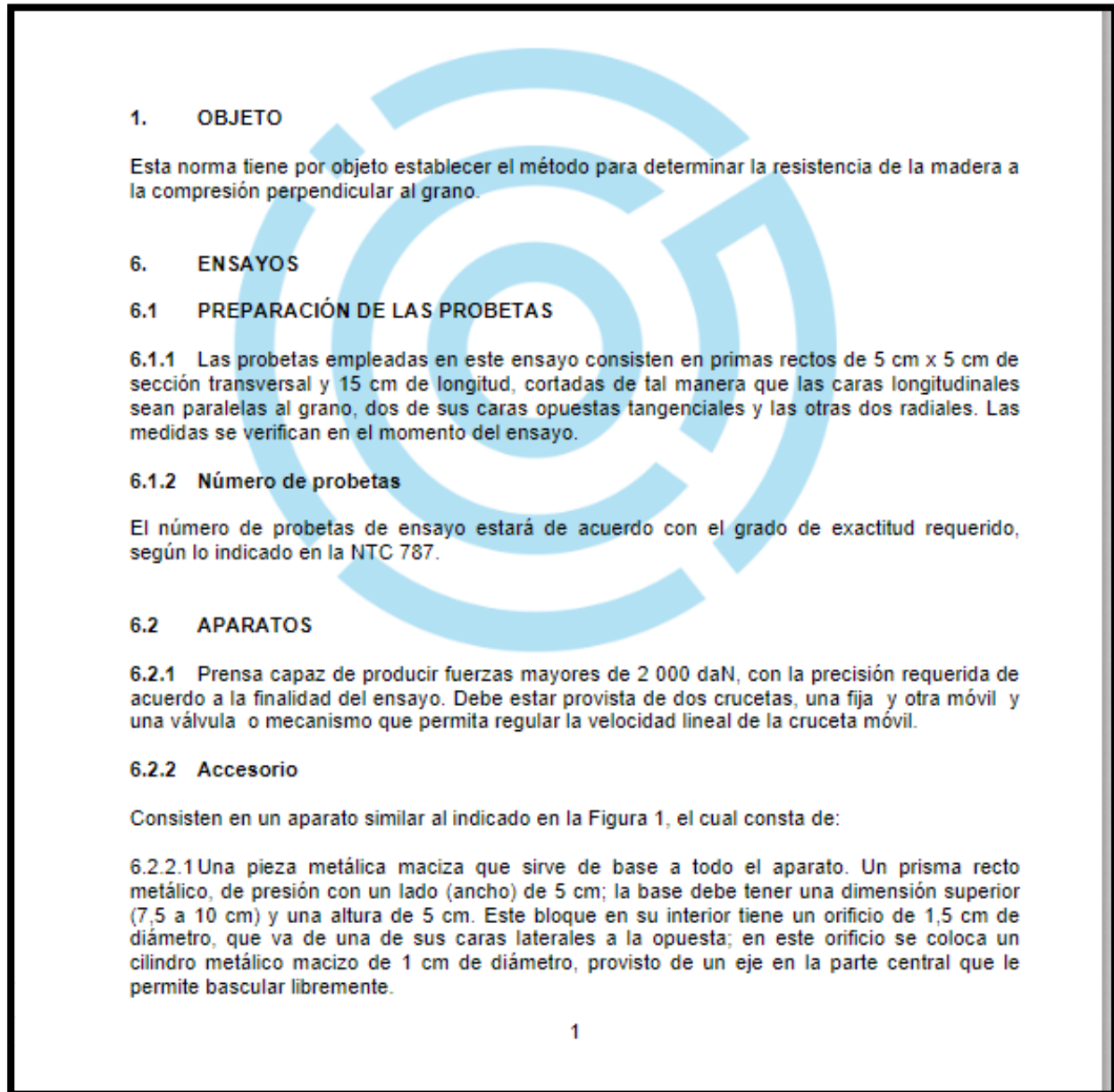


Figura 0.7 Anexo 4 Compresión perpendicular
Fuente: NTC 466

6.2.2.2 Dos partes metálicas aseguradas a la base, en cuyo extremo libre va un eje que se mueve solidariamente con los brazos, los cuales se apoyan por uno de sus extremos, en los extremos del cilindro metálico que se encuentra dentro del prisma de presión, para lo cual este presenta un pequeño rebaje recto. Uno de los brazos debe apoyarse por su otro extremo en la perilla de un deflectómetro.

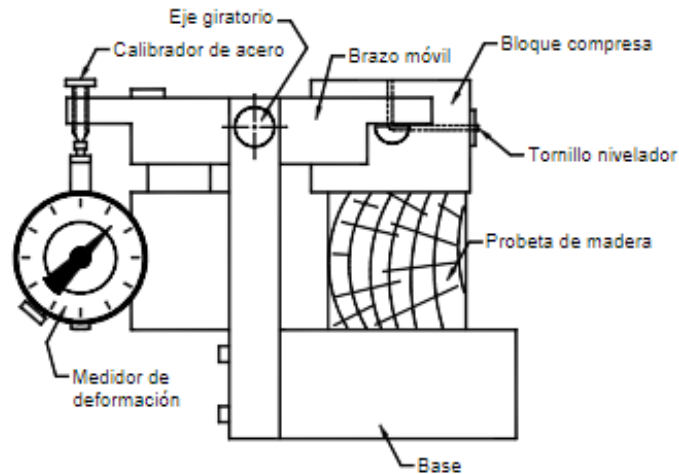


Figura 1. Aparato para medir la resistencia de la madera a la compresión perpendicular al grano

6.2.3 Deflectómetro

6.3 ACONDICIONAMIENTO

Las probetas se acondicionan de acuerdo con lo indicado en la NTC 790.

6.4 PROCEDIMIENTO

6.4.1 Se coloca la probeta centrada sobre la base del aparato en forma tal que la fuerza se aplique sobre la cara tangencial o radial. La pieza de presión se coloca sobre la probeta, perfectamente centrada con ésta y se hacen descansar sobre su cilindro basculante los extremos de los brazos, uno de los cuales acciona el deflectómetro.

6.4.2 Se acciona la prensa de tal forma que una de la crucetas toque ligeramente la pieza de presión. En este instante se ajusta el deflectómetro de modo que todas las manecillas indiquen cero. Luego se acciona nuevamente la prensa a una velocidad de ensayo de 0,3 mm por minuto. Esta velocidad debe mantenerse constante hasta alcanzar una deformación del 5 % del espesor de la probeta.

Figura 0.8 Anexo 4 Compresión perpendicular
Fuente: NTC 466

ANEXO 5

COMPRESIÓN PARALELA

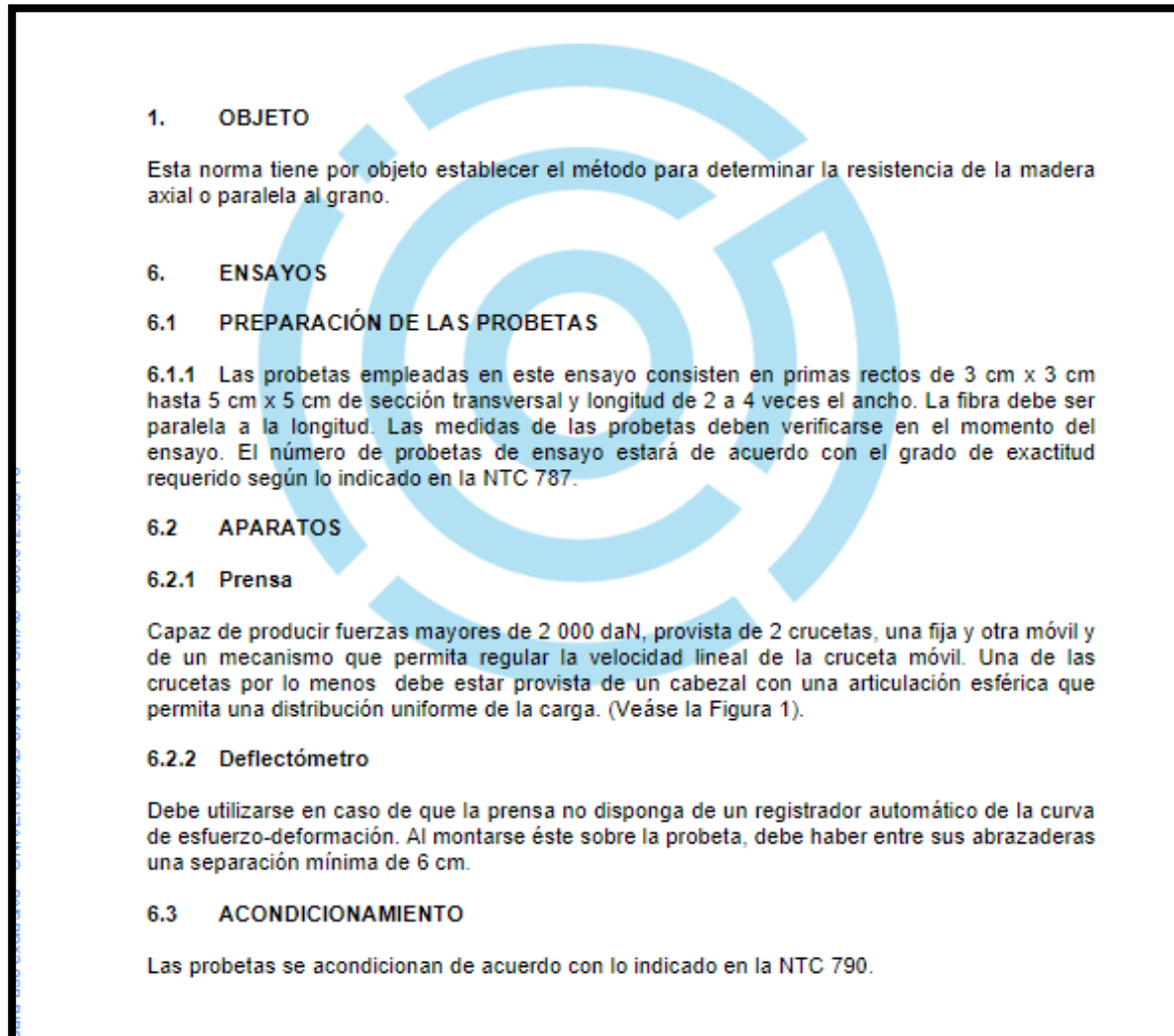


Figura 0.9 Anexo 5 compresión paralela
Fuente: NTC 464

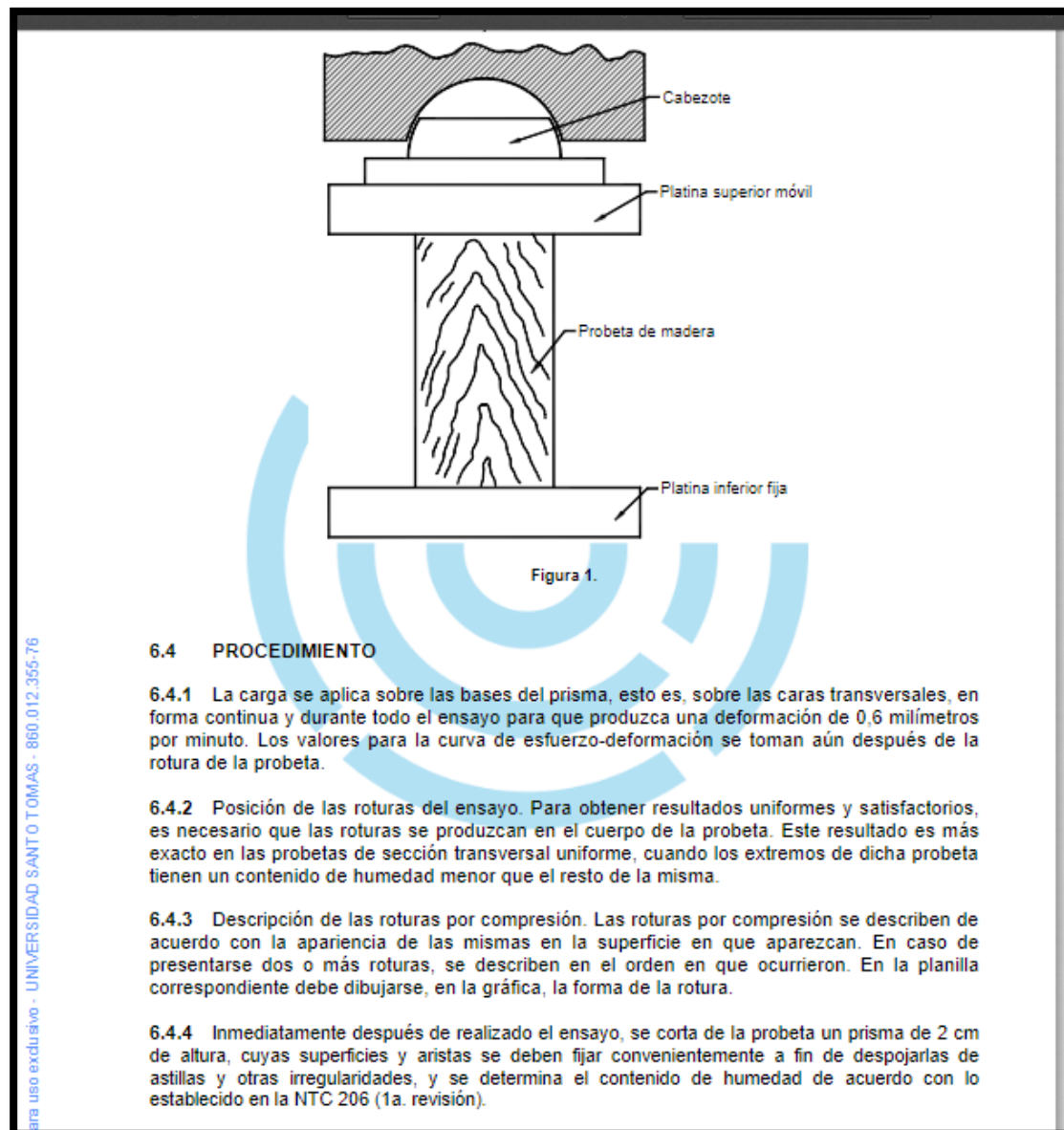


Figura 0.10 Anexo 5 compresión paralela
Fuente: NTC 464

ANEXO 6 FLEXIÓN ESTÁTICA

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 663

6. ENSAYOS

6.1 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

6.1.1 Para determinar la resistencia de la madera a la flexión, los ensayos deben realizarse con probetas que cumplan con lo indicado en la NTC 301.

6.1.2 Para este ensayo las probetas deben elaborarse de sección cuadrada con un espesor (e) igual al ancho (a) entre 20 mm y 50 mm, con una longitud de 18a como mínimo.

6.1.3 El grano de la madera debe correr paralelamente al eje longitudinal de la probeta.

6.2 Disposición de los elementos de ensayo

6.2.1 La probeta se coloca sobre dos soportes y se aplica la carga en el centro de la luz en la forma indicada (véase la Figura 1).

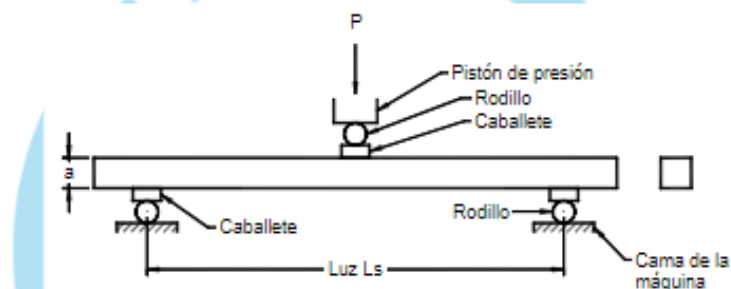


Figura 1. Disposición de la probeta en la máquina de flexión

6.2.2 Entre la pieza de presión de la máquina y la probeta, y entre los soportes y la probeta, deben colocarse caballetes de madera dura o de metal con aristas redondeadas, para evitar la penetración de los soportes de la madera (véase la Figura 2).

6.2.3 La luz entre los soportes debe ser como mínimo de 18 e.

6.2.4 Las probetas deben colocarse de tal manera que la carga se aplique tangencialmente a los anillos de crecimiento (véase la Figura 3).

Figura 0.11 Anexo 6 Flexión estática
Fuente:555

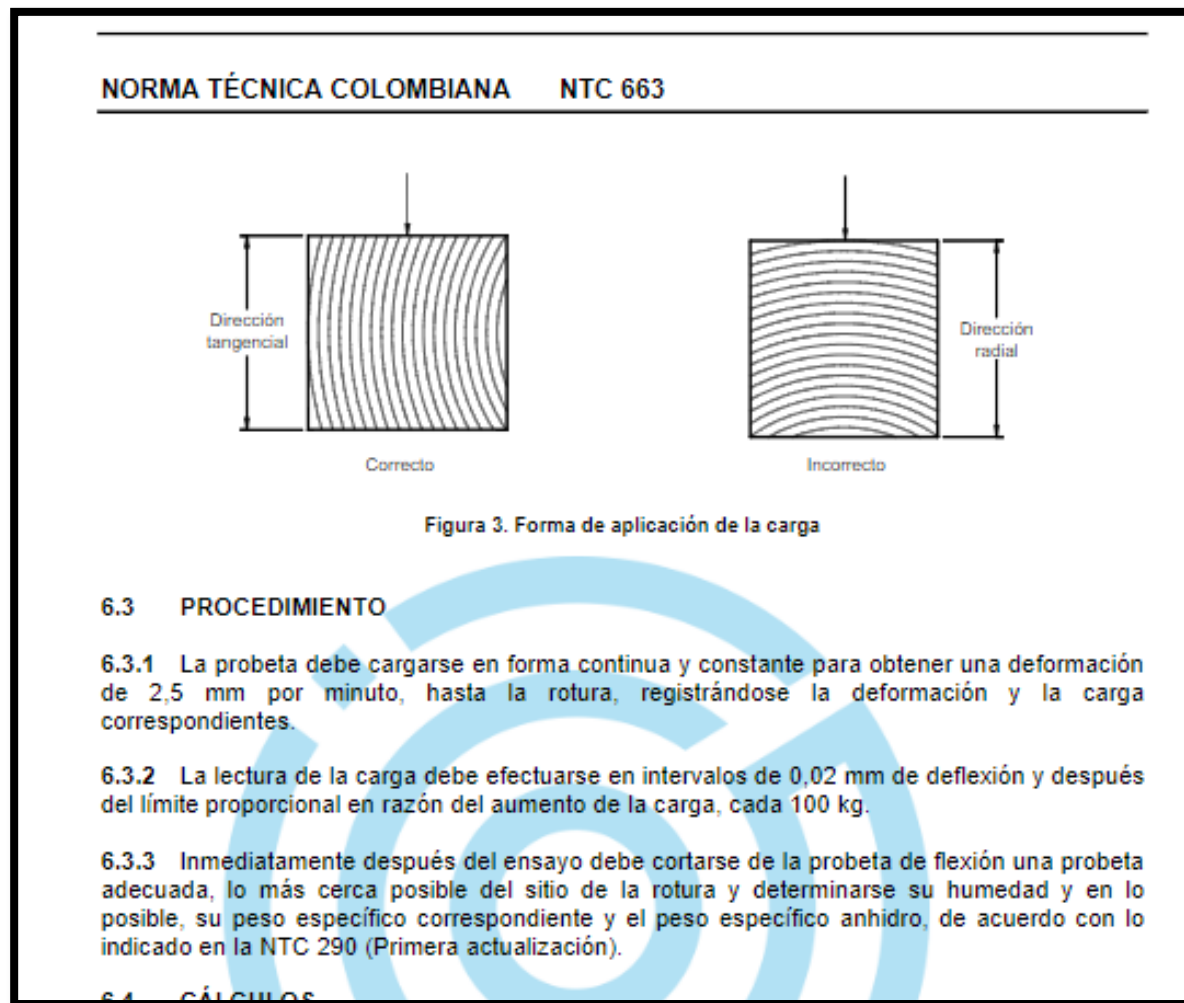


Figura 0.13 Anexo 6 Flexión estática
Fuente: NTC 555

ANEXO 7

CIZALLAMIENTO

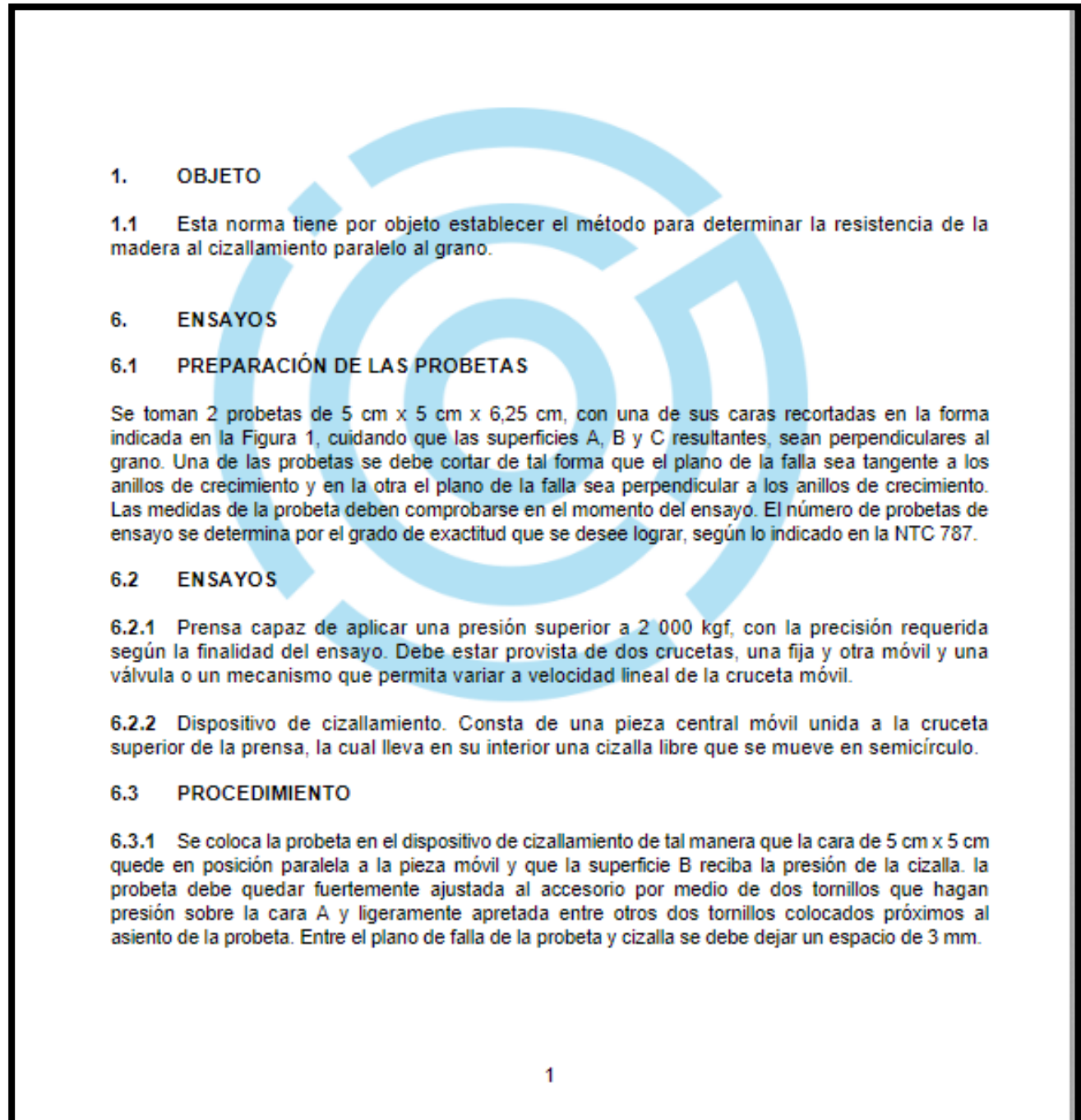


Figura 0.14 Anexo 7 Cizallamiento
Fuente: NTC 463

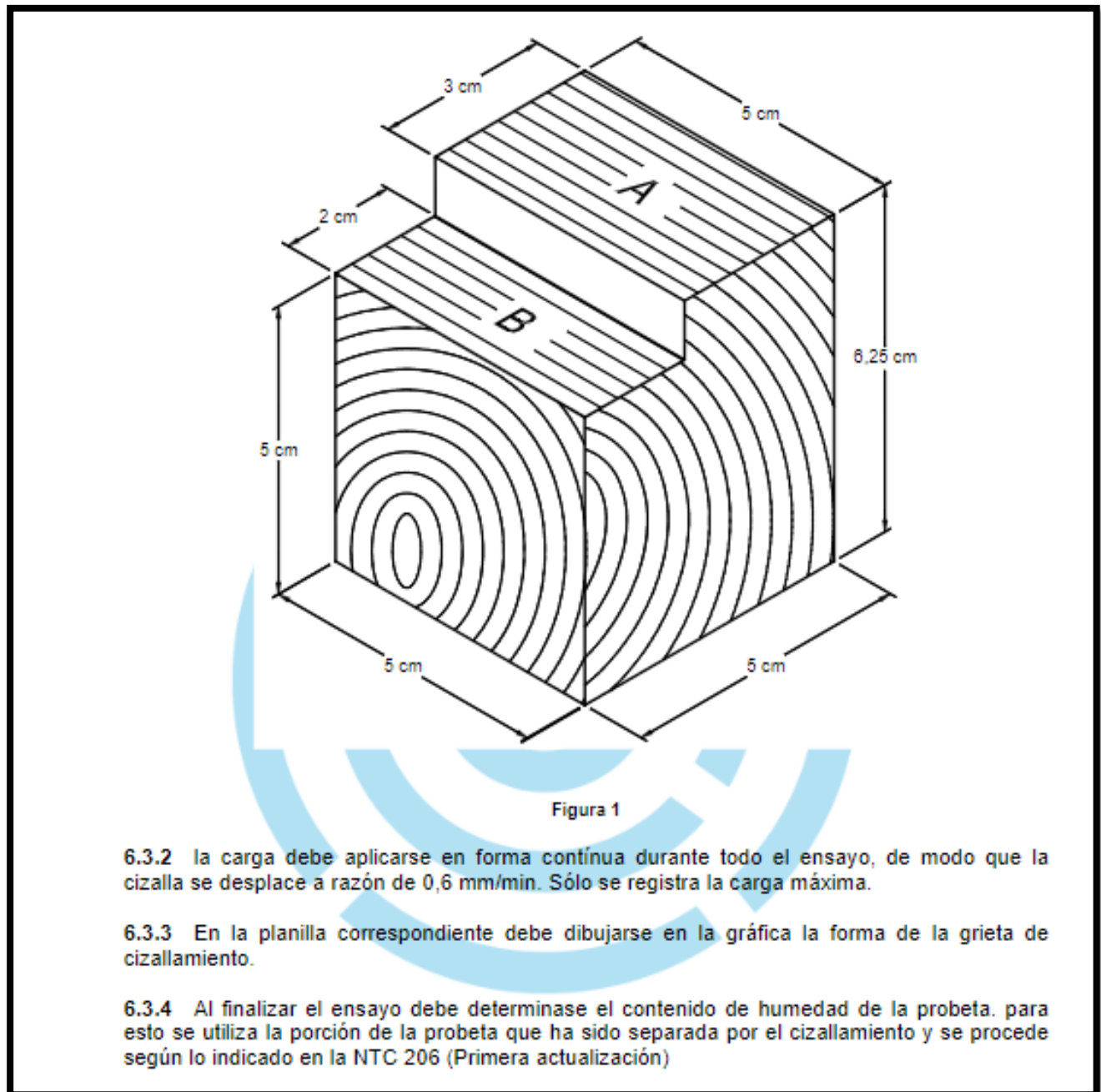


Figura 0.15 Anexo 7 Cizallamiento
Fuente: NTC 463

ANEXO 8

TENACIDAD

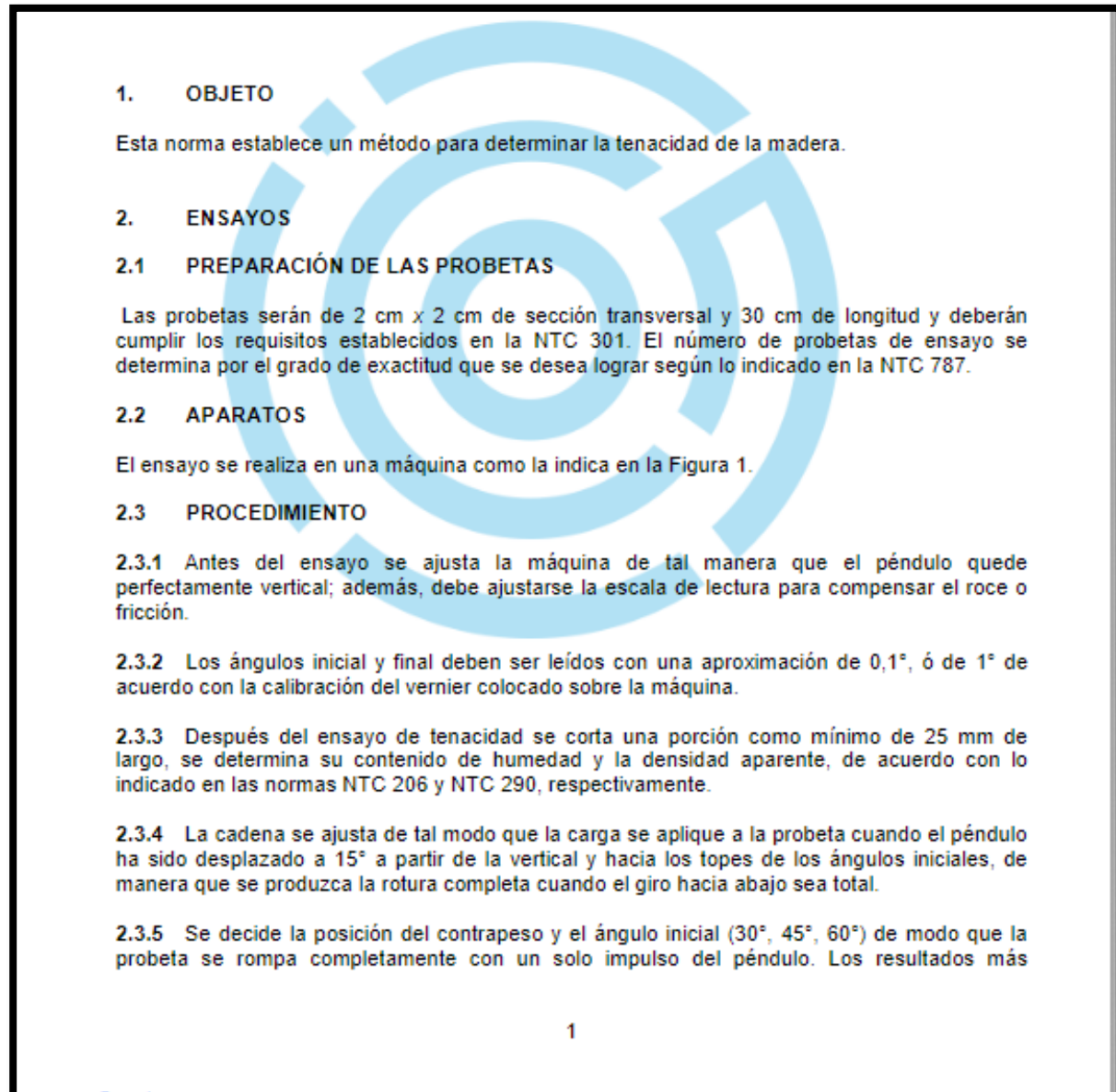


Figura 0.16 Anexo 8 Tenacidad
Fuente: 556

Tabla 0.1 Probetas del ensayo N°4 del eucalipto

No. Probeta	PROBETAS DEL ENSAYO No. 4 DE EUCALIPTO																				C.H. (%)
	Masa de la probeta (g)																				
	Inicial	6 h	% dif.	12 h	% dif.	18 h	% dif.	24 h	% dif.	30 h	% dif.	36 h	% dif.	42 h	% dif.	48 h	% dif.	54 h	% dif.	Final	
4E01	286.46	283.63	2.08%	277.73	1.59%	273.31	1.08%	270.36	6.45%	252.91	0.87%	250.70	0.20%	250.20	0.88%	247.99	0.58%	246.54	0.31%	245.78	16.55%
4E02	290.79	287.61	2.25%	281.13	0.44%	279.89	2.14%	273.91	6.82%	255.24	0.00%	255.24	0.98%	252.75	0.59%	251.25	0.75%	249.36	0.14%	249.01	16.78%
4E03	292.97	288.23	2.25%	281.74	0.44%	280.49	2.22%	274.26	6.46%	256.54	0.58%	255.04	0.29%	254.29	0.98%	251.80	0.76%	249.87	0.13%	249.55	17.40%
4E04	286.71	283.28	2.16%	277.14	1.24%	273.71	1.43%	269.79	6.73%	251.64	0.49%	250.41	0.78%	248.45	0.39%	247.47	0.63%	245.90	0.26%	245.26	16.90%
4E05	290.00	283.78	2.25%	277.40	0.97%	274.69	1.61%	270.27	6.73%	252.09	0.39%	251.11	0.88%	248.89	0.39%	247.91	0.59%	246.44	0.30%	245.70	18.03%
4E06	284.88	284.31	2.25%	277.91	0.18%	277.42	2.48%	270.53	6.64%	252.56	0.39%	251.58	0.68%	249.85	0.59%	248.38	0.79%	246.41	0.10%	246.16	15.73%
4E07	289.44	283.89	2.25%	277.50	1.24%	274.06	1.43%	270.12	6.37%	252.92	0.58%	251.44	1.08%	248.74	0.30%	248.00	0.50%	246.77	0.40%	245.79	17.76%
4E08	288.71	287.93	2.08%	281.95	1.68%	277.21	1.08%	274.21	6.28%	257.00	0.78%	255.00	1.27%	251.76	0.00%	251.76	0.71%	249.96	0.18%	249.51	15.71%
4E09	287.84	284.41	2.08%	278.50	0.80%	276.28	1.96%	270.86	6.64%	252.87	0.19%	252.38	0.59%	250.90	0.98%	248.43	0.71%	246.66	0.08%	246.46	16.79%
4E10	293.02	287.91	2.25%	281.43	0.27%	280.68	2.40%	273.95	6.28%	256.75	0.78%	254.75	0.49%	253.51	0.88%	251.26	0.55%	249.89	0.25%	249.27	17.55%
4E11	289.07	286.83	2.25%	280.38	1.42%	276.40	1.26%	272.93	6.73%	254.55	0.20%	254.05	1.17%	251.07	0.20%	250.58	0.63%	248.99	0.26%	248.34	16.40%
4E12	287.24	284.53	2.08%	278.61	1.59%	274.17	1.08%	271.22	6.45%	253.71	0.87%	251.49	0.98%	249.03	0.20%	248.53	0.50%	247.30	0.30%	246.56	16.50%
4E13	287.16	283.66	2.08%	277.77	0.18%	277.27	2.57%	270.15	6.28%	253.18	0.87%	250.97	0.69%	249.25	0.59%	247.78	0.56%	246.40	0.24%	245.81	16.82%
4E14	291.64	285.37	2.25%	278.94	1.24%	275.48	1.43%	271.53	6.37%	254.24	0.78%	252.26	1.08%	249.54	0.10%	249.29	0.50%	248.06	0.40%	247.07	18.04%
4E15	291.77	287.07	2.08%	281.10	0.88%	278.61	1.79%	273.64	6.82%	254.98	0.49%	253.74	0.39%	252.74	0.79%	250.75	0.62%	249.18	0.17%	248.76	17.29%
4E16	292.43	285.39	2.25%	278.96	1.33%	275.26	1.35%	271.55	6.64%	253.51	0.10%	253.27	0.68%	251.54	0.98%	249.07	0.54%	247.73	0.26%	247.09	18.35%
4E17	290.09	284.50	2.25%	278.10	1.59%	273.66	1.08%	270.71	6.28%	253.71	0.97%	251.25	0.49%	250.01	0.69%	248.29	0.76%	246.39	0.03%	246.32	17.77%
4E18	288.64	286.70	2.08%	280.74	0.80%	278.50	1.96%	273.04	6.73%	254.65	0.00%	254.65	1.07%	251.92	0.59%	250.43	0.45%	249.31	0.35%	248.44	16.18%
4E19	291.13	286.24	2.25%	279.80	0.35%	278.81	2.22%	272.61	6.64%	254.52	0.19%	254.03	0.68%	252.29	0.88%	250.06	0.50%	248.82	0.40%	247.83	17.47%
4E20	284.40	283.84	2.17%	277.69	0.97%	274.98	1.70%	270.31	6.55%	252.60	0.49%	251.37	0.98%	248.91	0.30%	248.17	0.58%	246.72	0.31%	245.96	15.63%
Promedio	289.22	285.46	2.18%	279.23	0.96%	276.54	1.71%	271.80	6.54%	254.01	0.50%	252.74	0.77%	250.78	0.57%	249.36	0.61%	247.84	0.24%	247.23	16.98%

Fuente: Autores

Tabla 0.2 Probetas del ensayo número 4 de la Acacia

No. Probeta	Masa de la probeta (g)																				C.H. (%)
	Inicial	6 h	% dif.	12 h	% dif.	18 h	% dif.	24 h	% dif.	30 h	% dif.	36 h	% dif.	42 h	% dif.	48 h	% dif.	54 h	% dif.	Final	
4A01	219.68	219.36	2.47%	213.94	0.76%	212.31	2.89%	206.17	2.28%	201.47	0.63%	200.20	7.31%	185.57	0.88%	183.94	1.65%	180.91	0.12%	180.69	21.58%
4A02	221.28	221.23	2.22%	216.31	0.84%	214.48	2.46%	209.20	3.22%	202.46	1.08%	200.27	6.64%	186.97	0.88%	185.33	1.40%	182.74	0.28%	182.23	21.43%
4A03	220.20	222.67	2.39%	217.35	0.42%	216.44	2.63%	210.75	1.48%	207.63	3.09%	201.21	6.47%	188.19	0.97%	186.35	1.18%	184.15	0.40%	183.42	20.05%
4A04	224.01	221.51	2.31%	216.40	0.84%	214.57	2.89%	208.37	2.80%	202.53	0.36%	201.80	6.78%	188.12	1.45%	185.38	1.55%	182.51	0.03%	182.46	22.77%
4A05	218.45	219.30	2.72%	213.34	0.25%	212.79	2.80%	206.83	3.06%	200.51	1.17%	198.16	6.47%	185.34	0.58%	184.25	1.62%	181.27	0.35%	180.64	20.93%
4A06	223.43	223.05	2.72%	216.99	0.42%	216.07	2.72%	210.19	1.57%	206.88	1.60%	203.57	7.13%	189.06	1.26%	186.67	1.39%	184.08	0.19%	183.73	21.61%
4A07	222.01	222.14	1.90%	217.92	0.92%	215.91	2.63%	210.23	2.96%	204.01	1.08%	201.81	6.90%	187.89	0.97%	186.06	1.37%	183.51	0.21%	183.13	21.23%
4A08	220.07	221.77	2.72%	215.74	0.00%	215.74	3.39%	208.43	2.19%	203.86	0.54%	202.76	6.85%	188.86	1.65%	185.76	1.37%	183.21	0.21%	182.83	20.37%
4A09	223.25	223.22	2.56%	217.51	0.59%	216.22	2.30%	211.25	1.48%	208.13	2.83%	202.24	6.46%	189.17	1.07%	187.15	1.33%	184.66	0.35%	184.02	21.32%
4A10	226.32	223.41	1.98%	219.00	1.18%	216.42	3.06%	209.79	0.88%	207.95	2.65%	202.43	6.55%	189.18	0.97%	187.34	1.74%	184.09	0.03%	184.03	22.98%
4A11	225.61	223.35	2.72%	217.28	0.08%	217.10	3.39%	209.74	1.67%	206.24	1.34%	203.48	6.87%	189.50	0.97%	187.66	1.95%	184.00	0.01%	183.98	22.63%
4A12	219.12	220.90	2.47%	215.44	0.76%	213.80	2.98%	207.43	1.05%	205.25	2.57%	199.97	6.37%	187.24	0.87%	185.60	1.90%	182.07	0.06%	181.96	20.42%
4A13	221.46	221.75	2.72%	215.72	0.34%	214.98	2.30%	210.05	1.39%	207.12	2.38%	202.19	6.60%	188.84	1.26%	186.47	1.82%	183.07	0.14%	182.81	21.14%
4A14	224.42	223.85	2.14%	219.06	0.93%	217.03	3.48%	209.47	0.70%	207.99	2.48%	202.83	6.55%	189.55	1.07%	187.52	1.29%	185.11	0.39%	184.39	21.71%
4A15	224.29	223.70	2.31%	218.54	0.59%	217.25	2.54%	211.73	2.35%	206.75	2.14%	202.33	6.10%	189.98	1.26%	187.59	1.76%	184.29	0.01%	184.27	21.72%
4A16	224.88	223.99	2.56%	218.27	0.25%	217.71	3.39%	210.33	1.40%	207.37	1.51%	204.23	6.96%	190.02	1.26%	187.61	1.34%	185.10	0.24%	184.66	21.78%
4A17	220.68	222.12	2.39%	216.81	0.34%	216.08	3.73%	208.02	1.41%	205.09	1.25%	202.53	6.42%	189.53	1.74%	186.23	1.43%	183.58	0.25%	183.12	20.51%
4A18	223.05	222.03	2.14%	217.27	1.01%	215.08	2.89%	208.86	2.01%	204.65	1.61%	201.36	6.63%	188.01	1.07%	186.00	1.41%	183.38	0.27%	182.89	21.96%
4A19	221.90	223.80	2.39%	218.45	0.84%	216.61	3.32%	209.42	0.70%	207.95	2.84%	202.05	6.11%	189.70	1.26%	187.30	1.35%	184.77	0.23%	184.35	20.37%
4A20	220.16	222.04	2.47%	216.55	0.76%	214.91	2.38%	209.79	3.05%	203.38	0.72%	201.92	6.97%	187.84	1.07%	185.83	1.41%	183.21	0.17%	182.90	20.37%
Promedio	222.21	222.26	2.41%	216.89	0.61%	215.58	2.91%	209.30	1.88%	205.36	1.69%	201.87	6.66%	188.43	1.13%	186.30	1.51%	183.49	0.20%	183.13	21.34%

Fuente: Autores

Tabla 0.3 Probetas del ensayo N° 5 de Acacia

PROBETAS DEL ENSAYO No. 5 DE ACACIA															
No. Probeta	Masa de la probeta (g)														C.H. (%)
	Inicial	6 h	% dif.	12 h	% dif.	18 h	% dif.	24 h	% dif.	30 h	% dif.	36 h	% dif.	Final	
5A01	141.69	139.82	5.56%	132.04	6.25%	123.78	2.86%	120.25	1.08%	118.95	0.77%	118.03	0.12%	117.89	20.19%
5A02	141.44	139.41	5.80%	131.32	6.25%	123.11	2.95%	119.48	1.08%	118.19	0.52%	117.58	0.28%	117.25	20.63%
5A03	143.44	139.15	5.57%	131.40	6.17%	123.30	2.95%	119.66	1.08%	118.37	0.52%	117.76	0.28%	117.43	22.15%
5A04	144.91	140.19	5.80%	132.06	6.25%	123.81	2.95%	120.15	0.98%	118.97	0.80%	118.02	0.09%	117.91	22.90%
5A05	142.71	139.70	5.65%	131.81	6.34%	123.44	2.77%	120.03	0.98%	118.85	0.76%	117.94	0.13%	117.79	21.16%
5A06	142.10	139.29	5.73%	131.31	6.17%	123.22	2.86%	119.70	1.18%	118.29	0.61%	117.57	0.19%	117.35	21.09%
5A07	143.19	140.07	5.81%	131.93	6.26%	123.68	2.86%	120.14	1.08%	118.84	0.65%	118.07	0.14%	117.90	21.45%
5A08	142.89	139.80	5.89%	131.57	6.26%	123.34	2.86%	119.81	1.08%	118.52	0.44%	118.00	0.36%	117.58	21.53%
5A09	140.70	138.77	5.65%	130.93	6.34%	122.63	2.77%	119.23	1.08%	117.95	0.45%	117.42	0.35%	117.01	20.25%
5A10	142.97	139.09	5.73%	131.12	6.26%	122.92	2.76%	119.52	1.18%	118.12	0.41%	117.64	0.39%	117.18	22.01%
5A11	144.33	139.52	5.64%	131.64	6.43%	123.18	2.77%	119.77	0.98%	118.60	0.84%	117.60	0.05%	117.54	22.79%
5A12	141.74	139.29	5.97%	130.98	6.26%	122.79	2.76%	119.39	1.18%	117.99	0.66%	117.20	0.13%	117.05	21.09%
5A13	141.05	138.92	5.49%	131.30	6.25%	123.09	2.86%	119.57	1.18%	118.17	0.45%	117.64	0.35%	117.23	20.32%
5A14	142.26	139.84	5.88%	131.61	6.25%	123.39	2.86%	119.86	1.18%	118.45	0.41%	117.97	0.39%	117.51	21.06%
5A15	144.66	140.04	5.73%	132.02	6.17%	123.88	2.95%	120.22	0.98%	119.04	0.70%	118.20	0.19%	117.98	22.61%
5A16	141.50	140.07	5.72%	132.05	6.43%	123.56	2.67%	120.26	1.08%	118.96	0.64%	118.19	0.25%	117.90	20.02%
5A17	143.10	139.39	5.89%	131.18	6.17%	123.09	2.95%	119.46	1.08%	118.17	0.67%	117.37	0.12%	117.23	22.07%
5A18	142.46	139.44	5.56%	131.68	6.43%	123.21	2.77%	119.80	1.08%	118.51	0.40%	118.04	0.40%	117.57	21.17%
5A19	142.58	138.81	5.57%	131.08	6.34%	122.76	2.67%	119.48	1.08%	118.19	0.56%	117.54	0.34%	117.14	21.72%
5A20	144.20	139.43	5.56%	131.67	6.43%	123.20	2.77%	119.79	0.98%	118.62	0.59%	117.91	0.30%	117.56	22.66%
Promedio	142.70	139.50	5.71%	131.54	6.28%	123.27	2.83%	119.78	1.08%	118.49	0.59%	117.78	0.24%	117.50	21.44%

Fuente: Autores

Tabla 0.4 Probetas del ensayo N° 5 del Eucalipto

PROBETAS DEL ENSAYO No. 5 DE EUCALIPTO															
No. Probeta	Masa de la probeta (g)														C.H. (%)
	Inicial	6 h	% dif.	12 h	% dif.	18 h	% dif.	24 h	% dif.	30 h	% dif.	36 h	% dif.	Final	
5E01	183.82	181.60	9.33%	164.65	0.85%	163.25	1.05%	161.54	2.89%	156.88	0.87%	155.51	0.02%	155.48	18.23%
5E02	184.59	184.08	9.41%	166.76	0.94%	165.19	0.95%	163.61	2.89%	158.89	0.56%	157.99	0.33%	157.47	17.22%
5E03	188.18	183.26	9.18%	166.44	1.04%	164.71	0.76%	163.46	3.08%	158.43	0.52%	157.61	0.28%	157.17	19.73%
5E04	184.41	183.36	9.40%	166.12	1.04%	164.40	0.86%	162.99	2.98%	158.13	0.52%	157.32	0.38%	156.72	17.67%
5E05	184.38	181.31	9.41%	164.25	1.04%	162.54	0.86%	161.15	2.89%	156.50	0.75%	155.32	0.14%	155.10	18.88%
5E06	186.16	183.59	9.33%	166.45	0.85%	165.04	1.05%	163.31	2.98%	158.44	0.63%	157.43	0.16%	157.18	18.44%
5E07	186.92	184.90	9.18%	167.94	0.85%	166.51	1.05%	164.76	2.89%	160.01	0.57%	159.09	0.32%	158.58	17.87%
5E08	183.63	181.90	9.25%	165.07	0.85%	163.66	0.95%	162.10	3.08%	157.12	0.52%	156.31	0.28%	155.87	17.81%
5E09	185.65	182.87	9.10%	166.23	0.85%	164.82	1.05%	163.09	2.89%	158.38	0.52%	157.57	0.38%	156.97	18.27%
5E10	186.23	185.47	9.49%	167.87	0.85%	166.45	1.05%	164.70	2.98%	159.79	0.75%	158.58	0.04%	158.52	17.48%
5E11	184.68	181.30	9.32%	164.40	0.94%	162.84	0.95%	161.29	2.98%	156.49	0.58%	155.57	0.31%	155.09	19.08%
5E12	187.57	185.23	9.09%	168.39	1.04%	166.64	0.95%	165.06	2.89%	160.29	0.55%	159.42	0.35%	158.86	18.07%
5E13	186.42	183.52	9.25%	166.54	0.94%	164.97	0.95%	163.39	2.89%	158.68	0.73%	157.51	0.16%	157.26	18.54%
5E14	184.99	181.82	9.10%	165.28	0.94%	163.72	0.86%	162.31	2.98%	157.47	0.61%	156.51	0.28%	156.07	18.53%
5E15	185.60	183.90	9.09%	167.18	1.13%	165.29	0.86%	163.87	2.98%	158.98	0.42%	158.32	0.38%	157.72	17.68%
5E16	187.51	183.85	9.25%	166.85	0.94%	165.28	1.05%	163.55	2.98%	158.67	0.50%	157.88	0.30%	157.41	19.12%
5E17	186.09	183.55	9.17%	166.72	1.04%	164.99	0.95%	163.41	2.98%	158.54	0.40%	157.91	0.40%	157.28	18.32%
5E18	184.23	181.52	9.10%	165.00	1.04%	163.29	0.76%	162.04	2.98%	157.21	0.52%	156.40	0.38%	155.81	18.24%
5E19	187.18	183.67	9.40%	166.40	0.94%	164.83	0.95%	163.26	3.08%	158.24	0.43%	157.56	0.37%	156.98	19.24%
5E20	183.88	182.51	9.40%	165.35	0.94%	163.79	0.95%	162.23	3.08%	157.24	0.41%	156.60	0.39%	155.99	17.88%
Promedio	185.61	183.16	9.26%	166.20	0.95%	164.61	0.94%	163.06	2.97%	158.22	0.57%	157.32	0.28%	156.88	18.32%

Fuente: Autores

Tabla 0.5 Probetas del ensayo N° de Eucalipto

PROBETAS DEL ENSAYO No. 6 DE EUCALIPTO													
No. Probeta	Masa de la probeta (g)												C.H. (%)
	Inicial	6 h	% dif.	12 h	% dif.	18 h	% dif.	24 h	% dif.	30 h	% dif.	Final	
6E01	105.54	96.34	0.47%	95.89	1.89%	94.08	0.10%	93.99	3.55%	90.65	0.21%	90.46	16.67%
6E02	110.28	99.41	0.56%	98.85	1.42%	97.45	0.77%	96.70	3.09%	93.71	0.40%	93.34	18.15%
6E03	109.82	99.52	1.03%	98.50	1.13%	97.38	1.24%	96.17	3.23%	93.07	0.06%	93.01	18.07%
6E04	109.46	98.15	0.75%	97.42	1.04%	96.41	1.05%	95.39	3.46%	92.09	0.11%	91.99	18.99%
6E05	108.82	99.62	0.66%	98.96	1.32%	97.66	1.44%	96.25	2.76%	93.60	0.16%	93.45	16.45%
6E06	107.68	98.77	0.84%	97.94	1.42%	96.55	1.25%	95.35	2.99%	92.50	0.02%	92.48	16.44%
6E07	110.35	100.99	0.47%	100.52	1.04%	99.48	1.33%	98.15	3.34%	94.87	0.04%	94.83	16.37%
6E08	109.51	99.61	0.84%	98.77	1.70%	97.09	0.48%	96.63	3.54%	93.21	0.03%	93.18	17.53%
6E09	109.25	98.83	0.94%	97.90	1.70%	96.24	0.29%	95.96	3.58%	92.52	0.08%	92.45	18.17%
6E10	112.27	102.70	0.93%	101.74	1.89%	99.82	0.19%	99.63	3.49%	96.15	0.18%	95.98	16.97%
6E11	111.26	100.50	0.94%	99.56	1.04%	98.52	1.72%	96.83	2.66%	94.25	0.26%	94.01	18.35%
6E12	108.72	99.77	0.47%	99.30	1.89%	97.43	0.67%	96.77	3.07%	93.80	0.13%	93.68	16.05%
6E13	110.20	101.33	1.03%	100.29	1.23%	99.06	0.96%	98.11	3.36%	94.81	0.12%	94.70	16.37%
6E14	108.95	98.36	0.66%	97.71	0.94%	96.79	1.62%	95.22	2.74%	92.61	0.37%	92.27	18.08%
6E15	111.36	100.28	0.47%	99.81	1.32%	98.49	1.24%	97.27	2.92%	94.42	0.28%	94.16	18.27%
6E16	112.06	101.63	1.03%	100.58	1.32%	99.25	1.05%	98.21	3.03%	95.24	0.27%	94.98	17.98%
6E17	105.25	96.33	0.47%	95.88	1.60%	94.34	0.96%	93.43	2.98%	90.65	0.22%	90.45	16.36%
6E18	106.57	96.27	0.84%	95.46	1.79%	93.75	0.19%	93.57	3.63%	90.18	0.13%	90.06	18.33%
6E19	107.31	97.93	0.75%	97.20	1.32%	95.91	1.24%	94.72	2.73%	92.13	0.38%	91.78	16.92%
6E20	112.75	102.10	0.94%	101.15	0.94%	100.19	1.14%	99.04	3.26%	95.82	0.32%	95.51	18.05%
Promedio	109.37	99.42	0.75%	98.67	1.40%	97.29	0.95%	96.37	3.17%	93.31	0.19%	93.14	17.43%

Fuente: Autores

Tabla 0.6 Probetas de ensayo N° 6 de la Acacia

PROBETAS DEL ENSAYO No. 6 DE ACACIA											
No. Probeta	Masa de la probeta (g)										C.H. (%)
	Inicial	6 h	% dif.	12 h	% dif.	18 h	% dif.	24 h	% dif.	Final	
6A01	81.40	81.11	0.92%	80.36	1.95%	78.79	12.46%	68.21	0.07%	68.16	19.42%
6A02	82.67	81.77	0.76%	81.15	1.78%	79.70	12.77%	68.91	0.21%	68.77	20.21%
6A03	83.34	82.01	0.84%	81.32	2.12%	79.59	11.96%	69.18	0.30%	68.97	20.83%
6A04	82.60	82.35	0.76%	81.73	2.20%	79.93	11.79%	69.45	0.27%	69.26	19.26%
6A05	81.53	81.03	0.84%	80.35	1.78%	78.92	12.69%	68.40	0.37%	68.15	19.64%
6A06	82.63	82.30	0.84%	81.61	1.95%	80.02	11.85%	69.33	0.16%	69.22	19.37%
6A07	83.65	82.23	0.92%	81.47	2.46%	79.47	11.57%	69.20	0.15%	69.10	21.05%
6A08	83.27	81.23	0.84%	80.55	1.95%	78.98	12.46%	68.42	0.14%	68.32	21.88%
6A09	83.18	82.19	0.92%	81.43	2.37%	79.50	11.64%	69.08	0.02%	69.07	20.43%
6A10	83.30	82.46	0.84%	81.76	1.78%	80.31	12.26%	69.53	0.26%	69.35	20.11%
6A11	81.74	81.17	0.84%	80.49	1.70%	79.12	12.42%	68.30	0.05%	68.27	19.73%
6A12	83.70	83.30	0.84%	82.60	2.29%	80.71	11.54%	70.26	0.37%	70.00	19.57%
6A13	81.58	81.40	0.84%	80.71	2.46%	78.73	11.83%	68.63	0.25%	68.46	19.17%
6A14	84.46	82.49	0.76%	81.87	2.37%	79.93	11.63%	69.41	0.05%	69.38	21.74%
6A15	83.44	81.65	0.84%	80.96	2.12%	79.25	12.22%	68.77	0.14%	68.67	21.51%
6A16	84.07	82.60	0.92%	81.83	2.12%	80.10	11.96%	69.57	0.23%	69.41	21.12%
6A17	82.87	81.11	0.84%	80.43	1.78%	79.00	12.77%	68.17	0.01%	68.16	21.58%
6A18	83.48	82.80	0.76%	82.18	2.29%	80.29	12.06%	69.91	0.39%	69.64	19.88%
6A19	81.82	80.99	0.92%	80.24	1.70%	78.88	12.68%	68.24	0.26%	68.06	20.22%
6A20	82.18	81.91	0.92%	81.15	1.87%	79.64	12.01%	68.89	0.09%	68.83	19.40%
Promedio	82.85	81.91	0.85%	81.21	2.05%	79.54	12.13%	68.99	0.19%	68.86	20.31%

Fuente: Autores

Tabla 0.7 Probetas del ensayo N°4 del Pino caribe

PROBETAS DEL ENSAYO No. 4 DE PINO CARIBE											
No. Probeta	Masa de la probeta (g)										C.H. (%)
	Inicial	6 h	% dif.	12 h	% dif.	18 h	% dif.	30 h	% dif.	Final	
4P01	134.65	137.22	0.92%	135.95	1.78%	133.53	12.18%	115.52	0.18%	115.31	16.77%
4P02	134.92	137.04	0.92%	135.77	2.29%	132.66	12.07%	115.33	0.15%	115.16	17.16%
4P03	134.71	137.90	0.84%	136.74	2.03%	133.96	11.76%	115.91	0.03%	115.88	16.25%
4P04	137.45	138.76	0.84%	137.59	1.61%	135.37	12.50%	117.00	0.26%	116.70	17.78%
4P05	134.80	136.18	0.84%	135.04	2.54%	131.61	12.00%	114.55	0.10%	114.44	17.79%
4P06	133.95	136.41	0.84%	135.26	1.69%	132.97	12.84%	114.65	0.02%	114.63	16.85%
4P07	132.59	136.17	0.84%	135.03	2.29%	131.94	12.40%	114.64	0.18%	114.43	15.87%
4P08	132.50	135.61	0.84%	134.46	2.46%	131.16	11.91%	114.11	0.05%	114.05	16.18%
4P09	133.46	136.64	0.92%	135.37	2.04%	132.62	12.55%	114.96	0.12%	114.82	16.23%
4P10	134.25	136.14	0.76%	135.11	2.37%	131.90	12.15%	114.57	0.06%	114.50	17.25%
4P11	135.22	138.08	0.92%	136.80	2.37%	133.55	11.38%	116.38	0.30%	116.03	16.54%
4P12	136.22	137.32	0.76%	136.28	1.86%	133.74	12.35%	115.66	0.15%	115.49	17.95%
4P13	133.83	137.24	0.84%	136.09	1.86%	133.55	12.52%	115.49	0.14%	115.33	16.04%
4P14	135.36	138.65	0.84%	137.48	2.03%	134.69	11.94%	116.85	0.29%	116.51	16.18%
4P15	133.81	136.16	0.92%	134.90	1.61%	132.73	12.16%	114.43	0.01%	114.42	16.95%
4P16	136.55	138.52	0.84%	137.35	2.46%	133.98	11.83%	116.84	0.29%	116.50	17.21%
4P17	134.75	138.03	0.92%	136.75	1.78%	134.32	12.09%	116.26	0.23%	115.99	16.17%
4P18	135.79	138.71	0.84%	137.54	2.37%	134.28	11.63%	116.62	0.05%	116.56	16.50%
4P19	135.47	137.67	0.84%	136.51	2.37%	133.27	11.81%	115.79	0.09%	115.69	17.10%
4P20	133.77	135.81	0.84%	134.67	1.69%	132.39	12.24%	114.19	0.05%	114.13	17.21%
Promedio	134.70	137.21	0.86%	136.04	2.08%	133.21	12.12%	115.49	0.14%	115.33	16.80%

Fuente: Autores

Tabla 0.8 Probetas del ensayo N°3 de Acacia

PROBETAS DEL ENSAYO No. 3 DE ACACIA									
No. Probeta	Masa de la probeta (g)								C.H. (%)
	Inicial	6 h	% dif.	12 h	% dif.	18 h	% dif.	Final	
3A01	54.96	49.95	4.64%	47.64	4.54%	45.47	0.14%	45.41	21.03%
3A02	53.48	48.55	4.64%	46.30	4.61%	44.17	0.06%	44.14	21.16%
3A03	54.06	49.28	4.55%	47.04	4.31%	45.01	0.38%	44.84	20.56%
3A04	54.69	50.22	4.46%	47.99	4.38%	45.88	0.40%	45.70	19.68%
3A05	54.91	50.29	4.64%	47.96	4.40%	45.85	0.28%	45.72	20.10%
3A06	53.53	49.41	4.55%	47.16	4.43%	45.07	0.25%	44.96	19.06%
3A07	54.54	50.38	4.64%	48.04	4.41%	45.92	0.27%	45.80	19.08%
3A08	53.85	49.32	4.55%	47.08	4.32%	45.05	0.37%	44.88	19.98%
3A09	54.44	49.74	4.55%	47.48	4.46%	45.36	0.22%	45.26	20.28%
3A10	55.55	50.37	4.55%	48.08	4.70%	45.82	0.07%	45.79	21.32%
3A11	54.59	50.46	4.64%	48.12	4.63%	45.89	0.04%	45.87	19.01%
3A12	54.91	49.71	4.55%	47.45	4.50%	45.32	0.28%	45.19	21.52%
3A13	53.89	49.36	4.46%	47.16	4.56%	45.00	0.21%	44.91	19.99%
3A14	55.11	49.69	4.46%	47.47	4.39%	45.39	0.39%	45.21	21.90%
3A15	53.15	48.93	4.64%	46.66	4.39%	44.61	0.29%	44.48	19.49%
3A16	55.20	50.41	4.46%	48.16	4.70%	45.90	0.07%	45.87	20.35%
3A17	53.88	49.05	4.46%	46.86	4.63%	44.69	0.14%	44.63	20.73%
3A18	54.75	49.84	4.55%	47.57	4.64%	45.36	0.03%	45.35	20.73%
3A19	53.41	48.49	4.55%	46.28	4.45%	44.22	0.23%	44.12	21.06%
3A20	53.73	49.05	4.64%	46.77	4.58%	44.63	0.10%	44.59	20.49%
Promedio	54.33	49.62	4.56%	47.36	4.50%	45.23	0.21%	45.14	20.38%

Fuente: Autores

Tabla 0.9 Probetas del ensayo N° 3 del eucalipto

PROBETAS DEL ENSAYO No. 3 DE EUCALIPTO									
No. Probeta	Masa de la probeta (g)								C.H. (%)
	Inicial	6 h	% dif.	12 h	% dif.	18 h	% dif.	Final	
3E01	70.57	70.17	9.48%	63.51	4.69%	60.54	0.08%	60.55	16.55%
3E02	70.95	69.73	9.57%	63.06	4.43%	60.26	0.25%	60.27	17.72%
3E03	70.78	70.69	9.49%	63.98	4.39%	61.17	0.29%	60.40	17.19%
3E04	71.53	70.15	9.40%	63.56	4.69%	60.58	0.08%	60.98	17.30%
3E05	71.31	69.96	9.48%	63.33	4.40%	60.54	0.38%	60.65	17.58%
3E06	70.42	70.20	9.48%	63.55	4.46%	60.71	0.32%	60.77	15.87%
3E07	70.41	70.15	9.49%	63.50	4.66%	60.54	0.01%	60.65	16.10%
3E08	72.35	70.66	9.49%	63.96	4.63%	60.99	0.04%	60.55	19.48%
3E09	70.37	70.13	9.40%	63.54	4.42%	60.73	0.36%	60.74	15.86%
3E10	71.08	70.49	9.40%	63.86	4.39%	61.06	0.39%	60.66	17.18%
3E11	70.98	70.44	9.48%	63.76	4.64%	60.80	0.13%	60.89	16.56%
3E12	70.42	69.98	9.40%	63.40	4.74%	60.39	0.02%	60.04	17.29%
3E13	70.83	69.76	9.57%	63.09	4.52%	60.24	0.16%	60.40	17.27%
3E14	71.18	70.10	9.40%	63.50	4.69%	60.53	0.08%	60.19	18.26%
3E15	72.29	70.70	9.48%	64.00	4.51%	61.11	0.26%	60.82	18.86%
3E16	71.29	70.21	9.48%	63.56	4.67%	60.59	0.10%	60.86	17.14%
3E17	71.27	70.21	9.57%	63.50	4.40%	60.70	0.28%	60.16	18.46%
3E18	70.88	70.30	9.57%	63.57	4.49%	60.72	0.19%	60.16	17.82%
3E19	71.71	70.02	9.57%	63.32	4.48%	60.48	0.20%	60.41	18.70%
3E20	71.38	69.69	9.57%	63.02	4.64%	60.10	0.03%	60.50	17.98%
Promedio	71.10	70.19	9.49%	63.53	4.55%	60.64	0.18%	60.53	17.46%

Fuente: Autores

Tabla 0.10 Probetas del ensayo N° 3 del Pino caribe

PROBETAS DEL ENSAYO No. 3 DE PINO CARIBE									
No. Probeta	Masa de la probeta (g)								C.H. (%)
	Inicial	6 h	% dif.	12 h	% dif.	18 h	% dif.	Final	
3P01	32.99	29.94	3.78%	28.81	1.72%	28.31	0.15%	28.27	16.70%
3P02	31.99	29.41	3.68%	28.33	1.93%	27.78	0.03%	27.77	15.21%
3P03	32.25	29.58	3.68%	28.49	1.92%	27.94	0.04%	27.93	15.46%
3P04	32.54	29.25	3.78%	28.14	1.56%	27.71	0.31%	27.62	17.80%
3P05	33.47	30.28	3.68%	29.16	1.89%	28.61	0.07%	28.59	17.06%
3P06	32.19	29.31	3.68%	28.23	1.62%	27.78	0.35%	27.68	16.31%
3P07	33.70	30.38	3.77%	29.23	1.78%	28.71	0.18%	28.66	17.60%
3P08	32.77	29.91	3.68%	28.80	1.86%	28.27	0.10%	28.24	16.05%
3P09	32.36	29.31	3.77%	28.20	1.63%	27.74	0.34%	27.65	17.04%
3P10	32.76	29.76	3.78%	28.63	1.47%	28.21	0.40%	28.10	16.60%
3P11	33.10	29.74	3.77%	28.62	1.90%	28.08	0.06%	28.06	17.96%
3P12	32.95	29.86	3.78%	28.74	1.66%	28.26	0.21%	28.20	16.83%
3P13	33.08	29.84	3.78%	28.72	1.84%	28.19	0.02%	28.18	17.38%
3P14	32.80	29.87	3.68%	28.77	1.60%	28.31	0.37%	28.21	16.27%
3P15	32.84	30.01	3.87%	28.85	1.73%	28.35	0.14%	28.31	16.00%
3P16	32.01	29.47	3.77%	28.36	1.87%	27.83	0.09%	27.80	15.14%
3P17	32.63	29.56	3.68%	28.47	1.67%	27.99	0.30%	27.91	16.92%
3P18	32.72	29.84	3.87%	28.68	1.66%	28.21	0.21%	28.15	16.24%
3P19	33.46	30.11	3.68%	29.00	1.87%	28.46	0.09%	28.43	17.71%
3P20	33.36	30.61	3.68%	29.48	1.66%	28.99	0.31%	28.90	15.42%
Promedio	32.80	29.80	3.74%	28.69	1.74%	28.19	0.19%	28.13	16.59%

Fuente: Autores

Tabla 0.11 Probetas del ensayo N°5 del Pino caribe

PROBETAS DEL ENSAYO No. 5 DE PINO CARIBE									
No. Probeta	Masa de la probeta (g)								C.H. (%)
	Inicial	6 h	% dif.	12 h	% dif.	18 h	% dif.	Final	
5P01	85.31	80.70	5.00%	76.66	4.20%	73.44	0.02%	73.43	16.18%
5P02	86.26	81.55	4.91%	77.54	3.99%	74.44	0.33%	74.20	16.25%
5P03	85.95	81.00	5.00%	76.95	4.19%	73.73	0.12%	73.64	16.71%
5P04	85.79	81.20	5.00%	77.14	4.06%	74.01	0.26%	73.82	16.22%
5P05	85.07	80.52	5.09%	76.42	3.86%	73.47	0.37%	73.20	16.22%
5P06	85.81	80.27	4.91%	76.33	4.25%	73.08	0.06%	73.04	17.49%
5P07	88.20	82.40	5.00%	78.28	4.15%	75.03	0.07%	74.98	17.63%
5P08	86.54	80.96	5.09%	76.84	3.99%	73.77	0.23%	73.60	17.58%
5P09	84.07	79.67	5.00%	75.69	4.17%	72.53	0.14%	72.43	16.07%
5P10	86.46	81.19	5.09%	77.06	4.00%	73.97	0.22%	73.81	17.14%
5P11	83.72	79.60	5.09%	75.54	4.09%	72.45	0.13%	72.36	15.70%
5P12	84.73	80.34	5.09%	76.25	4.14%	73.10	0.08%	73.04	16.01%
5P13	85.69	81.14	4.91%	77.15	4.09%	74.00	0.23%	73.83	16.06%
5P14	85.56	81.77	5.09%	77.61	4.20%	74.35	0.01%	74.34	15.09%
5P15	87.15	81.55	5.09%	77.40	3.94%	74.36	0.29%	74.14	17.55%
5P16	85.20	79.45	5.09%	75.41	3.95%	72.43	0.28%	72.23	17.95%
5P17	84.76	79.67	5.09%	75.62	3.98%	72.60	0.24%	72.43	17.02%
5P18	84.86	79.26	5.00%	75.29	4.13%	72.18	0.09%	72.12	17.67%
5P19	85.92	81.33	5.00%	77.27	4.16%	74.05	0.15%	73.94	16.20%
5P20	85.03	80.29	5.09%	76.20	4.16%	73.03	0.06%	72.99	16.50%
Promedio	85.60	80.69	5.03%	76.63	4.08%	73.50	0.17%	73.38	16.66%

Fuente: Autores

Tabla 0.12 Probetas del ensayo N° 6 del Pino Caribe

PROBETAS DEL ENSAYO No. 6 DE PINO CARIBE									
No. Probeta	Masa de la probeta (g)								C.H. (%)
	Inicial	6 h	% dif.	12 h	% dif.	18 h	% dif.	Final	
6P01	50.87	49.14	6.17%	46.11	4.51%	44.02	0.26%	43.91	15.86%
6P02	49.94	48.60	6.34%	45.52	4.28%	43.57	0.41%	43.39	15.10%
6P03	50.16	48.45	6.34%	45.38	4.31%	43.42	0.38%	43.26	15.94%
6P04	49.43	48.55	6.25%	45.52	4.66%	43.40	0.11%	43.35	14.03%
6P05	50.42	49.03	6.26%	45.97	4.35%	43.97	0.34%	43.82	15.06%
6P06	50.14	48.44	6.34%	45.37	4.63%	43.27	0.04%	43.25	15.92%
6P07	51.04	48.99	6.34%	45.88	4.37%	43.88	0.32%	43.74	16.68%
6P08	50.60	49.15	6.25%	46.07	4.48%	44.01	0.30%	43.88	15.31%
6P09	50.43	49.17	6.17%	46.14	4.55%	44.04	0.22%	43.94	14.78%
6P10	50.02	48.93	6.25%	45.87	4.47%	43.83	0.31%	43.69	14.48%
6P11	49.75	48.56	6.25%	45.53	4.56%	43.45	0.21%	43.36	14.73%
6P12	49.33	48.18	6.25%	45.17	4.59%	43.10	0.18%	43.02	14.66%
6P13	49.24	48.32	6.34%	45.25	4.20%	43.35	0.49%	43.14	14.15%
6P14	50.38	48.56	6.34%	45.48	4.26%	43.55	0.43%	43.36	16.19%
6P15	50.13	48.16	6.17%	45.19	4.56%	43.13	0.21%	43.04	16.48%
6P16	50.87	49.10	6.34%	45.99	4.21%	44.05	0.48%	43.84	16.04%
6P17	49.76	48.53	6.26%	45.50	4.25%	43.56	0.44%	43.37	14.74%
6P18	50.96	48.81	6.17%	45.80	4.52%	43.73	0.25%	43.62	16.82%
6P19	50.13	48.73	6.34%	45.64	4.62%	43.53	0.05%	43.51	15.22%
6P20	50.02	48.75	6.25%	45.71	4.43%	43.68	0.35%	43.53	14.90%
Promedio	50.18	48.71	6.27%	45.65	4.44%	43.63	0.29%	43.50	15.35%

Fuente: Autores

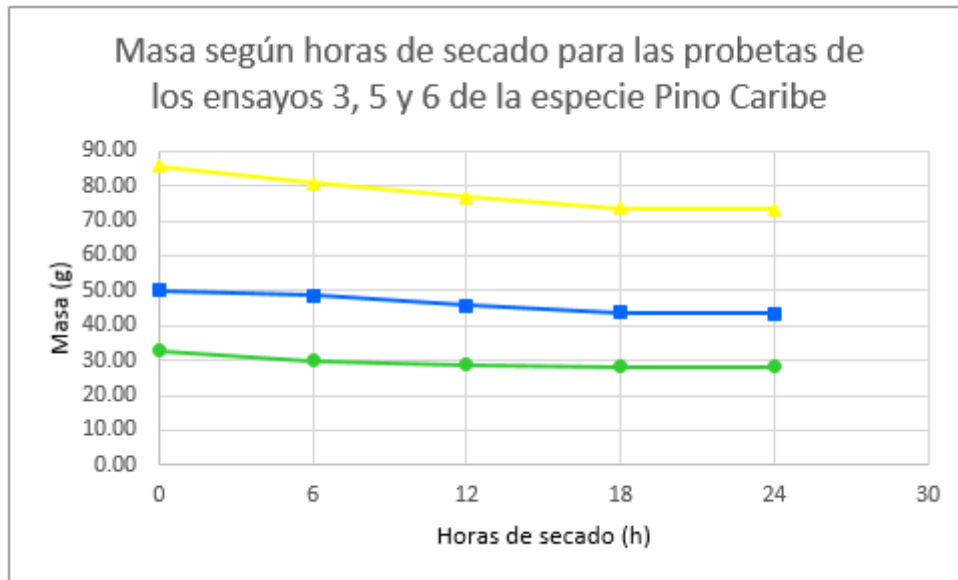


Figura 0.17 Masa según horas de secado para las probetas de los ensayos 3, 5 y 6 de la especie Pino Caribe
Fuente: Autores

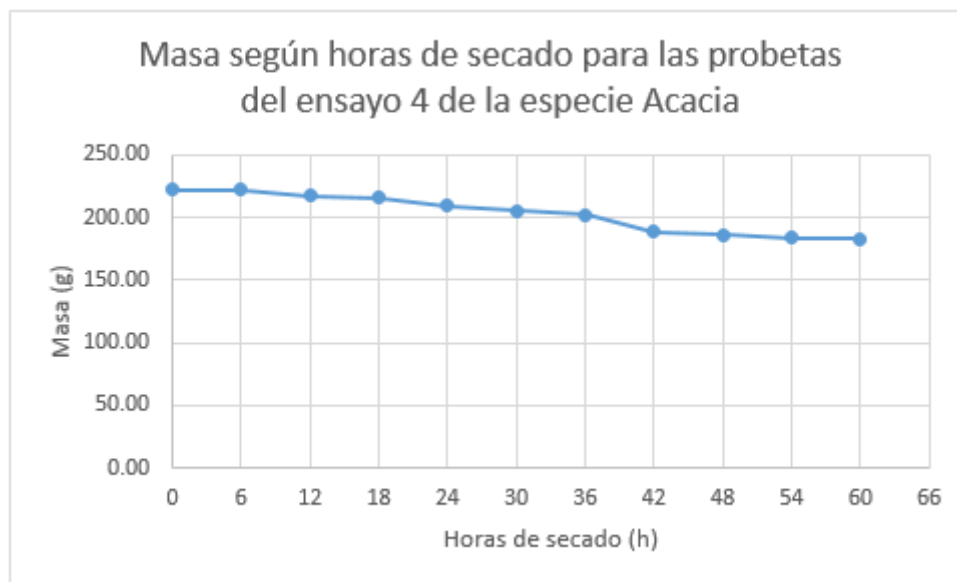


Figura 0.18 Masa según horas de secado para las probetas de los ensayos 4 de la especie acacia
Fuente: Autores

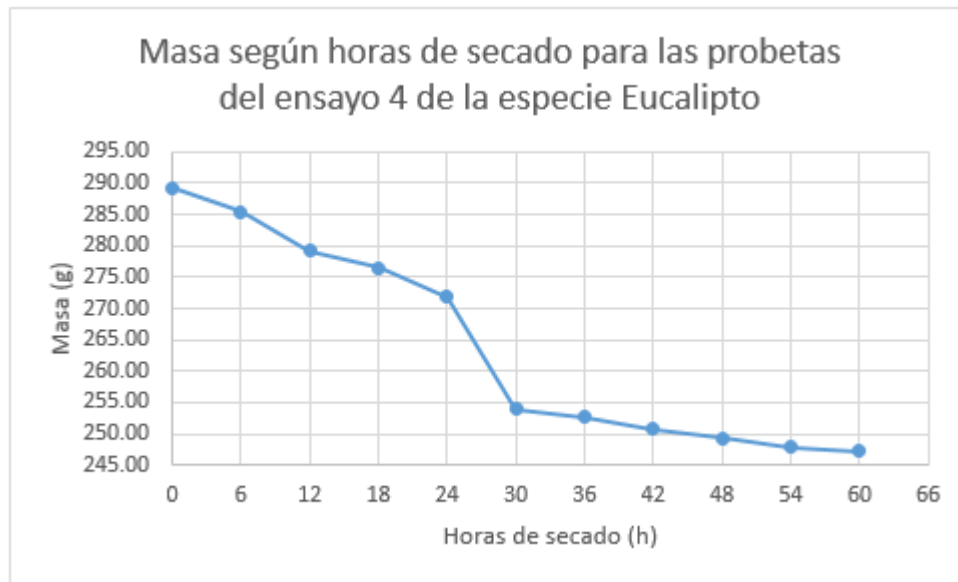


Figura 0.19. Masa según horas de secado para las probetas del ensayo 4 de la especie Eucalipto
Fuente: Autores

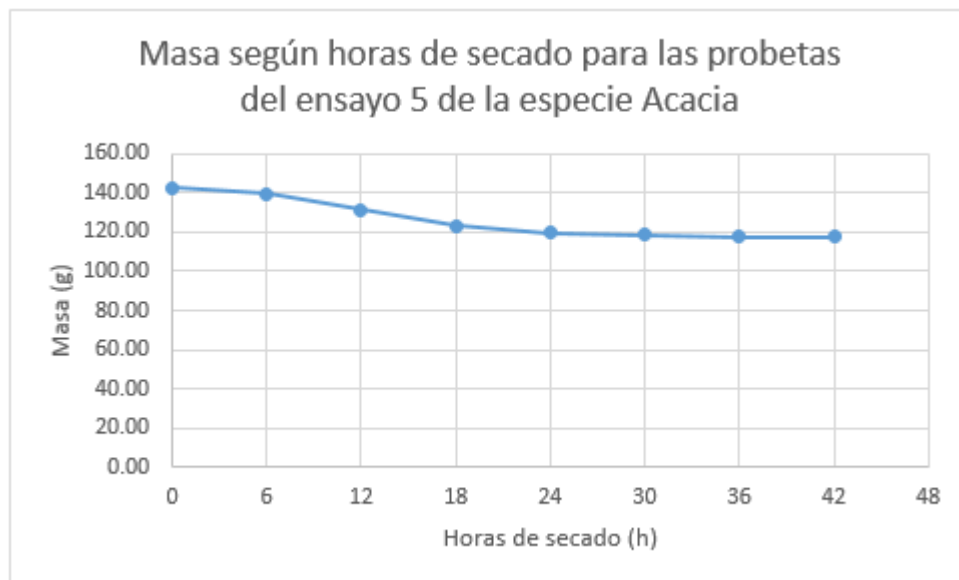


Figura 0.20. Masa según horas de secado para las probetas del ensayo 5 de la especie Acacia
Fuente: Autores

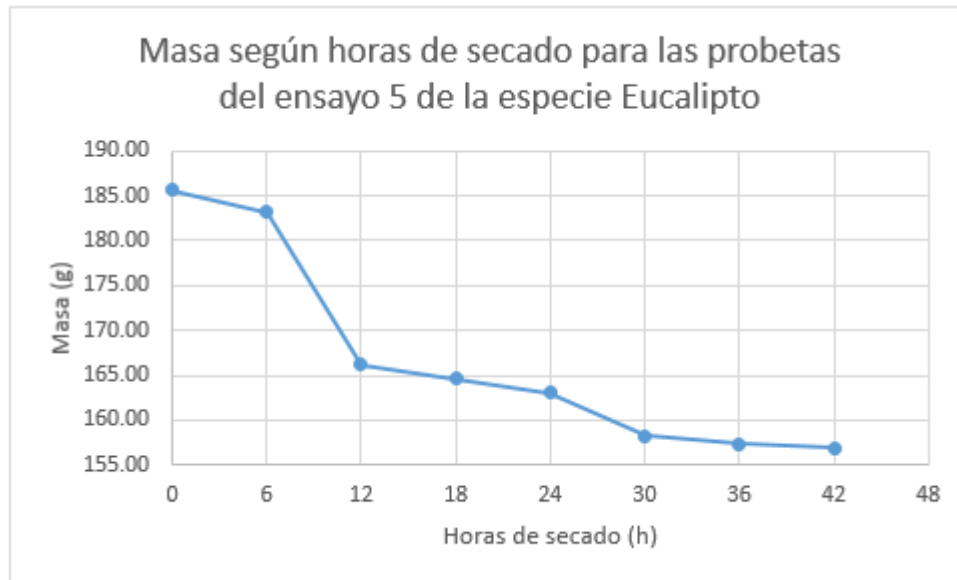


Figura 0.21. Masa según horas de secado para las probetas del ensayo 5 de la especie Eucalipto
Fuente: Autores

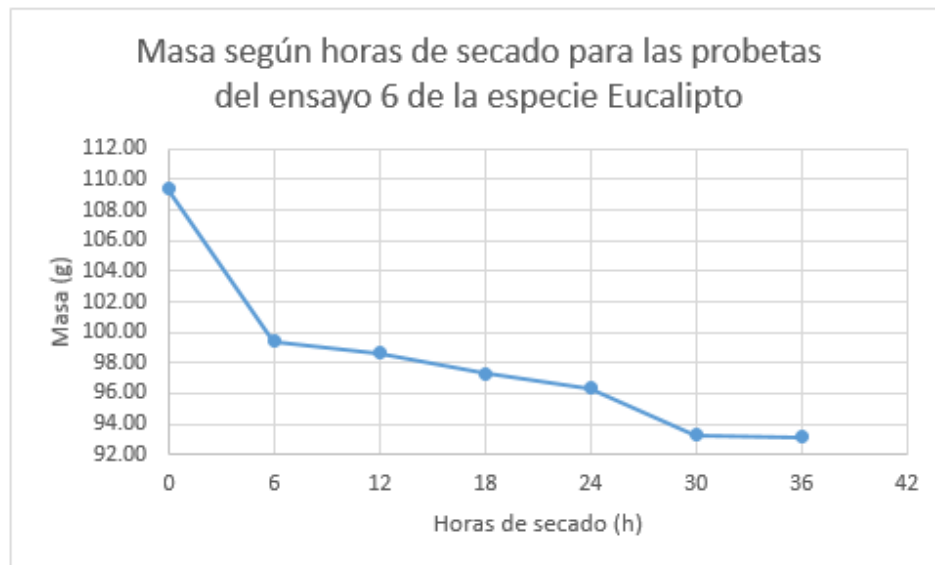


Figura 0.22. Masa según horas de secado para las probetas del ensayo 6 de la especie Eucalipto
Fuente: Autores

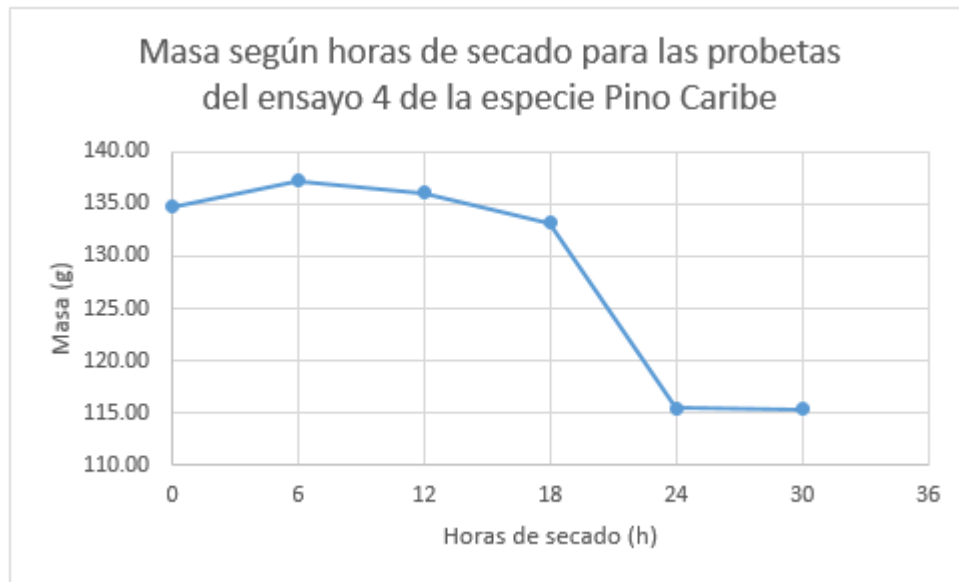


Figura 0.23 Masa según horas de secado para las probetas del ensayo 4 de la especie Pino Caribe
Fuente: Autores

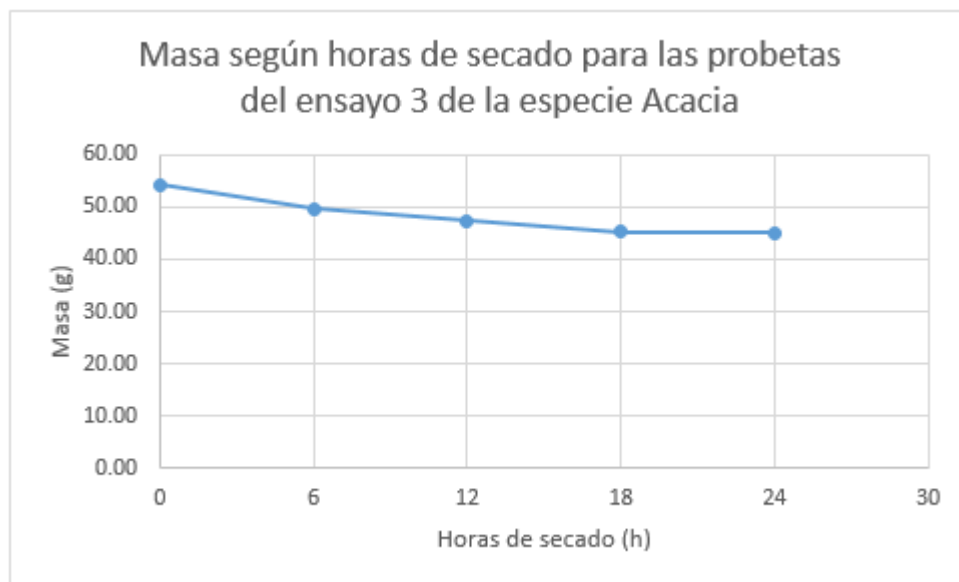


Figura 0.24 Masa según horas de secado para las probetas del ensayo 3 de la especie Acacia
Fuente: Autores

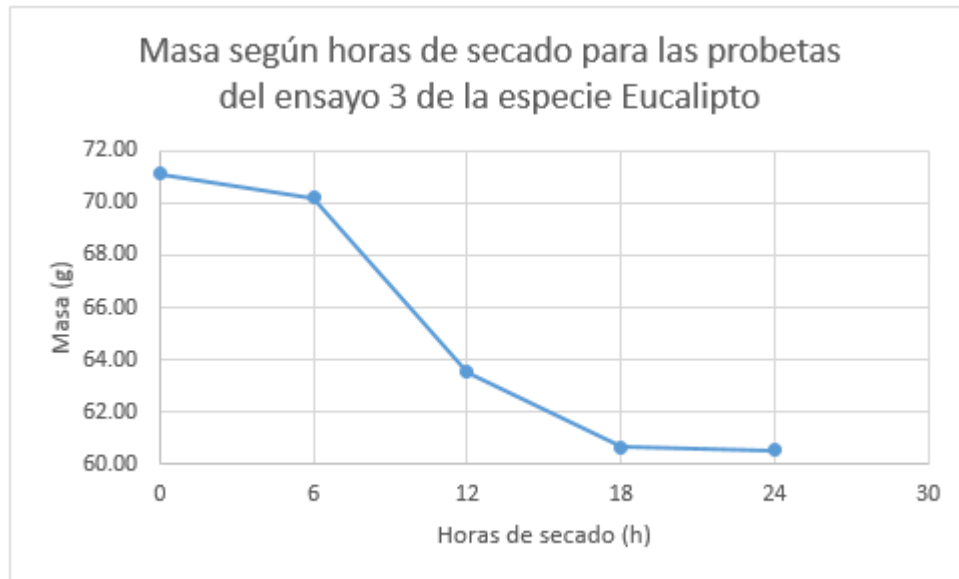


Figura 0.25 Masa según horas de secado para las probetas del ensayo 3 de la especie Eucalipto
Fuente: Autores