

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CIENCIAS FORESTALES
UNACIFOR**

ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES



TESIS DE GRADO

**ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y DE
TRABAJABILIDAD DE LA MADERA DE LA ESPECIE *Terminalia
superba* Engl. &Diels, EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO EN
LA MASICA, ATLANTIDA, HONDURAS.**

NOMBRE DEL TESISISTA:

OSCAR DARIO PADILLA CARDONA

ASESOR DE TESIS

ING. JOAQUÍN SÁNCHEZ HERNÁNDEZ

TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN CIENCIAS FORESTALES

**SIGUATEPEQUE, COMAYAGUA, HONDURAS C.A
NOVIEMBRE, 2025**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CIENCIAS FORESTALES
UNACIFOR

ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES



TESIS DE GRADO

ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y DE
TRABAJABILIDAD DE LA MADERA DE LA ESPECIE *Terminalia
superba* Engl. & Diels, EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO EN
LA MASICA, ATLANTIDA, HONDURAS.

NOMBRE DEL TESISISTA:

OSCAR DARIO PADILLA CARDONA

TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN CIENCIAS FORESTALES

APROBADO POR

ING. JOAQUÍN SÁNCHEZ HERNÁNDEZ

ASESOR DE TESIS

Dr. JOSE FIDEL ALVARADO SANCHEZ
Vice-Rectoría Académica



SIGUATEPEQUE, COMAYAGUA, HONDURAS C.A
NOVIEMBRE, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CIENCIAS FORESTALES

UNACIFOR


**TESIS DE GRADO
ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y DE
TRABAJABILIDAD DE LA MADERA DE LA ESPECIE *Terminalia
superba* Engl. &Diels, EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO EN
LA MASICA, ATLANTIDA, HONDURAS**

NOMBRE DEL TESISISTA:

OSCAR DARIO PADILLA CARDONA

APROBADO POR

MIEMBROS INTEGRANTES DE LA TERNA EVALUADORA:



ING. JOAQUÍN SÁNCHEZ HERNÁNDEZ
ASESOR DE TESIS

ING. WALTER DANIEL BARAHONA GALEAS
REPRESENTANTE DE LA ESCUELA



ING. ANDREA LETICIA AGUILAR MARTINEZ
REPRESENTANTE DE LA COMISIÓN DE TESIS

SIGUATEPEQUE, COMAYAGUA, HONDURAS C.A
NOVIEMBRE, 2025

AUTORIZACIÓN

El autor, OSCAR DARIO PADILLA CARDONA cede a la UNACIFOR los derechos patrimoniales sobre esta obra en la medida necesaria para sus actividades habituales en la época de creación, incluyendo su potencial publicación del artículo científico en la Revista TATASCAN, lo que implica, igualmente, la autorización para su divulgación con fines académicos. Es entendido que la publicación o copiado de esta tesis para ganancia económica no es permitido sin mi permiso por escrito.

Nombre y firma del estudiante: Oscar Darío Padilla Cardona



Lugar y fecha: Siguatepeque, Comayagua ,11 de noviembre 2025

DEDICATORIA

Con inmenso amor y gratitud, dedico este trabajo de tesis a las personas que han sido la base de mi vida, el motor que me impulso en cada paso y la fortaleza que me sostuvo en los momentos difíciles.

En primer lugar, a dios que me dio la fortaleza de seguir en cada momento de mi etapa de formación, a mi familia principalmente a mis padres, **Rubén Dario Padilla y Mary Elizabeth Cardona** quienes con esfuerzo y dedicación me enseñaron el valor de la honestidad, la perseverancia y el trabajo duro. Este logro no solo me pertenece, también es de ustedes, porque sin su apoyo incondicional este sueño no hubiera si posible.

A mis hermanos, **Carlos Armando Padilla Cardona y Luis Mario Padilla Cardona** por ser compañeros de vida, confidentes y amigos. Su compañía, sus palabras de ánimo y su ejemplo de superación han sido una inspiración constante para mí. Cada uno, a su manera, ha contribuido en mi formación, y por ello les estaré eternamente agradecido.

De manera especial, dedico este logro a mi compañero y amigo **Maynor David Sánchez**, quien fue más que un colega, un verdadero hermano de vida. Aunque hoy no nos acompaña físicamente, su recuerdo, su alegría y su amistad permanecerán siempre en mi corazón, vuela alto campeón.

Este triunfo es para ustedes, con todo cariño y gratitud

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios, por brindarme la vida, la salud y la fortaleza necesaria para culminar esta etapa tan importante de mi formación profesional.

A mi familia, por ser mi pilar fundamental, por su amor incondicional, su apoyo constante y por creer en mi aun en los momentos más difíciles. Sin su motivación y confianza, este logro no habría sido posible.

Agradezco profundamente a la universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR) por brindarme los conocimientos, herramientas y valores que hoy me permiten alcanzar este objetivo. A mis docentes, por compartir su experiencia y su guía durante todo mi proceso académico.

Mi especial gratitud al Ing. Joaquín Sánchez Hernández, asesor de esta tesis, por su acompañamiento, paciencia, orientación técnica y compromiso a lo largo del desarrollo de este trabajo. Su apoyo fue clave para mantener el enfoque y calidad del estudio.

A la fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), por facilitar el acceso a las plantaciones y brindar el respaldo necesario para la realización de las pruebas. También agradezco al personal técnica que colaboro en el proceso de campo y laboratorio.

Finalmente, a mis amigos y compañeros de carrera, quienes con su amistad, consejos y colaboración hicieron de este camino una experiencia enriquecedora y memorable.

A todos ustedes, ¡gracias infinitas!

RESUMEN

La presente tesis tiene como finalidad evaluar las propiedades físicas-mecánicas y de trabajabilidad de la madera de *terminalia superba* (limba). Una especie de crecimiento rápido cultivada en sistemas agroforestales con cacao en el municipio de la Masica, Atlántida, Honduras. El estudio surge ante la necesidad de diversificar las especies forestales aprovechables del país, promoviendo alternativas sostenibles que contribuyen a la conservación ambiental y al fortalecimiento económico de los productos locales.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y experimental. Aplicando métodos normalizados para la determinación de propiedades físicas (contenido de humedad, densidad básica y contracciones), mecánicas (módulo de ruptura y módulo de elasticidad), y tecnológicas (ensayo de trabajabilidad). Las pruebas de trabajabilidad incluyendo perforación, clavado, escopleado, torneado, y moldurado, con el fin de analizar el comportamiento de la madera frente a distintos procesos de mecanizado industrial.

Los resultados físicos y mecánicos ubican a la *terminalia superba* dentro del grupo de maderas semipesados y medianamente resistentes, con una densidad promedio de 0.63 g/cm^3 , un módulo de ruptura de 683.21 gr/cm^2 y un módulo de elasticidad de 47987.84 gr/cm^2 . Estos valores indican una madera estable, de textura media y con resistencia suficiente para aplicaciones estructurales livianas y carpintería general.

En cuanto a trabajabilidad, la especie presentó un comportamiento moderado, con diferencias entre los tipos de mecanizado. Las pruebas de torneado y moldurado mostraron los mejores resultados, con acabados lisos y buena respuesta al corte rotativo, mientras que, en cepillado, escopleado y perforado se observaron defectos como levantamientos de fibras, rugosidad y astillado, debido a la disposición irregular del grano. En el clavado, la madera mostró una respuesta aceptable con clavos pequeños, pero una tendencia a fisurarse con diámetros mayores.

El análisis integral permite concluir que la *Terminalia superba* posee buen potencial tecnológico e industrial, especialmente para la fabricación de mobiliario, molduras y elementos decorativos. Su trabajabilidad mejora significativamente cuando se emplean herramientas afiladas y se mantiene un control adecuado de la humedad durante el mecanizado. Asimismo, sus propiedades coinciden con las reportadas en investigaciones internacionales, lo que respalda su adaptación y calidad maderable bajo condiciones tropicales hondureñas.

Finalmente, el estudio confirma que esta especie representa una alternativa viable para el desarrollo forestal sostenible, ya que combina características técnicas y favorables con beneficios ecológicos y socioeconómicos. Se recomienda continuar con investigaciones complementarias sobre su comportamiento en procesos de encolado, acabado y secado, con el fin de fortalecer su incorporación en la industria maderera nacional y promover su aprovechamiento responsable en sistemas agroforestales diversificados.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to evaluate the physical, mechanical, and workability properties of *Terminalia superba* (Limba) wood, a fast-growing species cultivated in agroforestry systems with cacao in the municipality of La Masica, Atlántida, Honduras. The study arose from the need to diversify the country's harvestable forest species, promoting sustainable alternatives that contribute to environmental conservation and the economic strengthening of local products.

The research was conducted using a quantitative and experimental approach, applying standardized methods to determine physical (moisture content, basic density, and shrinkage), mechanical (modulus of rupture and modulus of elasticity), and technological (workability testing) properties. Workability tests included drilling, nailing, mortising, turning, and molding, to analyze the wood's behavior under various industrial machining processes.

The physical and mechanical results place *Terminalia superba* within the group of medium-heavy and medium-strength woods, with an average density of 0.63 g/cm³, a modulus of rupture of 683.21 g/cm³, and a modulus of elasticity of 47987.84 g/cm³. These values indicate a stable, medium-textured wood with sufficient strength for light structural applications and general carpentry.

Regarding workability, the species exhibited moderate performance, with differences between machining types. Turning and molding tests showed the best results, with smooth finishes and good response to rotary cutting. Defects such as fiber lifting, roughness, and splintering were observed in planing, mortising, and drilling due to the irregular grain arrangement. When nailing, the wood showed acceptable performance with small nails, but a tendency to crack with larger diameters.

The comprehensive analysis concludes that *Terminalia superba* has significant technological and industrial potential, especially for the manufacture of furniture, moldings, and decorative elements. Its workability improves significantly when sharp tools are used and moisture is adequately controlled during machining. Furthermore, its properties are consistent with those reported in international research, supporting its adaptation and timber quality under Honduran tropical conditions.

Finally, the study confirms that this species represents a viable alternative for sustainable forestry development, as it combines favorable technical characteristics with ecological and socioeconomic benefits. Further research on its performance in gluing, finishing, and drying processes is recommended, in order to strengthen its incorporation into the national timber industry and promote its responsible use in diversified agroforestry systems.

ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN	i
DEDICATORIA	ii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
CAPÍTULO III: REVISIÓN DE LA LITERATURA	4
3.1. Antecedentes	4
3.2. Bases teóricas.....	9
3.3. Conceptos claves	10
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA	14
4.1. Enfoque de la investigación.....	14
4.2. Alcance de la investigación	14
4.3. Hipótesis	14
4.4. Diseño de la investigación.....	14
4.5. Descripción del área de estudio	15
4.6. Población, muestreo y muestra	18
4.7. Trabajo en campo.....	19
4.7.1. Recolección de madera.....	19
4.7.2. Secado de la madera	19
4.7.3. Elaboración de las probetas	19
4.8. Procedimiento de oficina y laboratorio.....	19
4.8.1. Pruebas físicas.....	19
4.8.1.1. Preparación de las probetas.....	19
4.8.1.2. Obtención de las densidad normal o secado al aire libre.....	20

4.8.1.3.	Determinación de la densidad anhidra.	20
4.8.1.4.	Determinación de contenido de humedad	21
4.8.1.5.	Obtención de densidad específica comercial.	21
4.8.1.6.	Obtención del volumen.....	22
4.8.1.7.	Determinación de la contracción	22
4.8.1.7.1.	Determinación de la contracción radial.....	22
4.8.1.7.2.	Determinación de la contracción tangencial.	22
4.8.1.7.3.	Determinación de la contracción longitudinal.....	23
4.8.1.7.4.	Determinación de la contracción volumétrica total.....	23
4.8.1.7.5.	Determinación de la contracción volumétrica para 12% de contenido de humedad.....	24
4.8.1.8.	Punto de saturación de las fibras	24
4.8.2.	Pruebas mecánicas.....	24
4.8.2.1.	Flexión estática	25
4.8.2.2.	Compresión paralela a las fibras y compresión perpendicular	26
4.8.3.	Pruebas de trabajabilidad.....	27
4.8.3.1.	Prueba de perforado	27
4.8.3.2.	Prueba de lijado	27
4.8.3.3.	Prueba de clavado	27
4.8.3.4.	Prueba de escopleado	28
4.8.3.5.	Prueba de cepillado.....	28
4.8.3.6.	Prueba de torneado.....	28
4.8.3.7.	Prueba de moldura.....	28
4.9.	Operacionalización / categorización de variables	29
4.10.	Procedimientos por objetivo	32
CAPÍTULO V: RESULTADOS		39
5.1.1.	Contracción de la <i>Terminalia Superba</i>	40
5.1.2.	Contenido de humedad de la <i>Terminalia Superba</i>	43
5.1.3.	Peso específico de la <i>Terminalia superba</i>	44
5.1.4.	Volumen de la especie de <i>Terminalia superba</i>	44
5.2	Propiedades mecánicas de la madera	45

5.2.1. Flexión estática de la <i>Terminalia Superba</i>	45
5.2.3. Compresión perpendicular.....	48
5.3 Pruebas de trabajabilidad de la madera	49
5.3.1 Prueba de Perforado	49
5.3.2. Pruebe de Clavado.....	50
5.3.3. Prueba de escopleado.....	52
5.3.4. Prueba de cepillado.....	53
5.3.5. Prueba de torneado.....	53
5.3.6. Pruebe de moldurado	54
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN	55
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
7.2. Recomendaciones.....	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXOS	66
DECLARACIÓN	84

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Sistema agroforestal de Terminalia superba y cacao	66
Anexo 2. Probetas dimensionadas para pruebas físicas	67
Anexo 3. Pesado de probetas para pruebas físicas.....	68
Anexo 4. Pesado en bascula de plato	68
Anexo 5. Prueba de flexión estática en maquina Hoyton.....	69
Anexo 6. Probetas identificadas con las iniciales de la especie y numero de probeta	69
Anexo 7. Captura de formato de flexión estática	70
Anexo 8. Prueba de compresión perpendicular	71
Anexo 9. Dimensionado de piezas de madera para pruebas de trabajabilidad	71
Anexo 10. Cepillado de madera para pruebas de trabajabilidad.....	72
Anexo 11. Madera cepillada, dimensionada para la ejecución de probeta	72
Anexo 12. Colocación de madera en sitio de secado al aire libre	73
Anexo 13. Traslado de madera de la FHIA.....	73
Anexo 14. Formato de evaluación de la prueba perforación.....	74
Anexo 15. Formato de evaluación de la prueba de clavado	75
Anexo 16. Formato de evaluación de prueba de escopleado	76
Anexo 17. Formato de evaluación de prueba de cepillado	77
Anexo 18. Formato de evaluación de prueba de torneado	78
Anexo 19. Formato de evaluación de prueba de moldurado	79
Anexo 20. Datos de flexión estática	80
Anexo 21. Formato utilizado en la toma de datos de compresión paralela. ...	80
Anexo 22. Formado de datos de la prueba de compresión perpendicular	80
Anexo 23. Formatos que se emplearon en la toma de datos en pruebas físicas	81
Anexo 24. Cuadro de resultados de las pruebas de PSF	82
Anexo 25. Formato de clasificación de la madera según los resultados de las pruebas físicas.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Centro experimental y Demostrativo de Cacao-Jesús Alfonso Sánchez	16
Figura 2	descripción de los lotes establecidos.....	17
Figura 3	Ubicación del sistema agroforestal de <i>terminalia superba</i>	18
Figura 4	Dimensiones de la probeta para pruebas físicas	20
Figura 5	Dimensiones de la probeta de flexión estática.....	25
Figura 6	Dimensiones de las probetas de compresión paralelas y compresión perpendicular a las fibras.....	26
Figura 7	Densidad de Terminalia superba	40
Figura 8	Contracción de la terminalia superba.....	42
Figura 9	Contenido de humedad terminalia superba	43
Figura 10	Peso específico de la terminalia superba	44
Figura 11	Volumen de terminalia superba.	45
Figura 12	Broca $\frac{1}{2}$	49
Figura 13	Broca $\frac{3}{4}$	50
Figura 14	Broca $\frac{7}{8}$	50
Figura 15	Clavo de una pulgada	51
Figura 16	Clavo de dos pulgadas.....	51
Figura 17	Clavo de tres pulgadas.....	52
Figura 18	Resultado de escopleado.....	52
Figura 19	Resultado de cepillo.....	53
Figura 20	Resultados de torneado	54
Figura 21	Resultado moldurado	54

ÍNDICE DE TABLAS

<i>tabla.1</i>	<i>: Propiedades físicas, mecánicas y trabajabilidad de la madera de Terminalia superba Engl. &Diels.</i>	8
tabla.2	Operacionalización de variables	29
tabla.3	Clasificación de la madera.....	39
tabla.4	Clasificación de la madera en relación a la contracción T/R	41
tabla.5	Clasificación de la madera por su contracción	41
tabla.6	Coefficiente de contracción de volumétrica	42
tabla.7	Estadísticas de flexión estática.....	45
tabla.8	Parámetros de compresión perpendicular	48

INDICE DE FORMULAS

formula 1. Densidad normal o seca al aire libre	20
formula 2. Cálculo de la densidad anhidra	21
formula 3. Cálculo de contenido de humedad.	21
formula 4. Cálculo de la densidad específica comercial	21
formula 5. Cálculo de la contracción radial.....	22
formula 6. Cálculo de la contracción tangencial	22
formula 7. Cálculo de la contracción longitudinal	23
formula 8. Cálculo de la contracción volumétrica total.....	23
formula 9. Cálculo de la contracción volumétrica al 12 % de CH.....	¡Error!
Marcador no definido.	
formula 10. Cálculo del punto de saturación de las fibras	¡Error! Marcador no
definido.	
formula 11. Cálculo de coeficiente de contracción volumétrica total	24
formula 12. Determinación de esfuerzo al límite proporcional de la fibra para flexión estática.	25
formula 13. Determinación del esfuerzo de las fibras al límite proporcional de la compresión paralela y compresión perpendicular.....	26

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En los sistemas agroforestales, la integración de especies arbóreas con cultivos agrícolas (Sánchez, Manuel D., 2018) ofrece múltiples beneficios tanto ecológicos como económicos (CIFOR-ICRAF, 2023). En este contexto, el estudio de las propiedades físico-mecánicas de las especies arbóreas resulta fundamental para optimizar su uso y manejo. La *Terminalia superba*, conocida comúnmente como “blanco o Limba” (Rene F. Benitez Ramos, J.L. Montesinos Lagos, 1988) así mismo la especie forestal de notable interés debido a sus diversas aplicaciones en la construcción y ebanistería, así como por su rol en la protección y mejora del suelo en sistemas agroforestales.

En Honduras, los sistemas agroforestales con cacao en la región de La Másica, Atlántida, representan un ejemplo de cómo la combinación de especies arbóreas con cultivos de alto valor puede contribuir a la sostenibilidad y productividad agrícola (FHIA, 2022) Sin embargo, la falta de estudios detallados sobre las propiedades de la madera de *Terminalia superba* en estos sistemas limita su manejo adecuado.

Las propiedades físicas de la madera son aquellas que determinan su comportamiento frente a los distintos factores que intervienen en el medio natural, sin producir ninguna modificación mecánica o química. Estas propiedades engloban a las que determinan su comportamiento: a la iluminación (color, brillo y textura), la posibilidad de emitir partículas gaseosas (olor), con el agua (contenido de humedad, sorción, hinchazón, merma), a la gravedad (peso específico, densidad, porosidad), al calor (conductividad térmica, gradiente de temperatura, dilatación térmica) (Jesús Rodríguez, 2012)

La propiedad mecánica de la madera, siendo que es un material heterogéneo, que se ve reflejado por la variabilidad que es posible encontrar en piezas extraídas de una misma especie maderera y de diferentes árboles, o aún más de piezas provenientes de un mismo árbol, lo que muestra una marca diferente en su densidad y resistencia. Esta variabilidad responde a diferencias

genéticas, ambientes y/o ambas. Es por poseer valores de resistencia variables. Incluso pueden resultar más variables debido a que algunas de sus características no son controladas o controlables. Entre las más importantes cabe señalar: contenido de humedad, densidad, Angulo de fibra, temperatura (Paola Mendez, 2005)

Esta tesis tiene como objetivo principal el análisis de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la madera de *Terminalia superba* en sistemas agroforestales con cacao en La Másica, Atlántida, Honduras. A través de este estudio, La FHIA, se busca generar información valiosa que permita mejorar las prácticas de manejo forestal y agroforestal, así como fomentar el uso sostenible de esta especie en la región.

¿De qué manera el desarrollo de la especie *terminalia superba* en sistemas agroforestales con cacao influye en las propiedades físico-mecánicas y la trabajabilidad de su madera?

CAPÍTULO II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Determinar las propiedades físico-mecánicas de la madera de la especie *Terminalia superba* Engl. &Diels, en sistemas agroforestales con cacao en La Masica, Atlántida, Honduras.

2.2. Objetivos específicos

2.2.1. Identificar las propiedades físicas en la madera de la madera *Terminalia superba* Engl. &Diels procedente de una plantación agroforestal.

2.2.2. Determinar las propiedades mecánicas en la madera de la especie *Terminalia superba* Engl. &Diels procedente de una plantación agroforestal.

2.2.3. Definir la trabajabilidad de madera de *Terminalia superba* Engl. &Diels.

CAPÍTULO III: REVISIÓN DE LA LITERATURA

3.1. Antecedentes

Algunas de las investigaciones que se han realizado sobre este tema y para la especie *Terminalia*. Son las siguientes:

La organización internacional de las maderas tropicales (OIMT), estudiaron la descripción general, propiedades físico-mecánicas y usos de la madera de las especies Limba (*Terminalia superba* Engl. &Diels) donde se registró la siguiente información. (ramon carrillo, 2015)

El programa de ecuador forestal estableció una serie de investigaciones entre una de las más notables la descripción de una ficha técnica de las propiedades de madera de la *terminalia*, donde se encuentra información de mucho valor para esta investigación (Marcos vinuesa, 2013)

El programa de CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres) Analiza anatómicamente las propiedades de la madera: Esta investigación anatómica han examinado la estructura celular de la madera de *terminalia*, incluyendo la disposición de los vasos, fibras y parénquima. Este estudio busca comprender como la anatomía influye en propiedades como la densidad, textura, y la trabajabilidad de esta dicha especie.(Richter, H.G., Gembruch, K., and Koch, G., 2014)

3.1.1. Descripción general de la madera

Color

El duramen es de color blanco amarillento, o con vetas de color marrón negruzco o marrón grisáceo, no está claramente delimitado. La veta plateada es fina (apenas visible).

Índice de Color (1= Negro, violeta; 7= Amarillo claro, blanco 4)

Grano

Recto o ligeramente entrelazado, a veces con influencia en operaciones de procesamiento posteriores.

La textura

varía de fina a media.

Brillo

Esta especie tiene poco brillo.

Durabilidad Natural

No es durable, presenta riesgos importantes de ataques de pudrición en cualquier etapa de procesamiento, desde los troncos hasta los productos finales. Debe recibir tratamiento de conservación. Sensible al ataque de termitas. El duramen es sensible a los ataques de Lyctus.

Índice de Durabilidad Natural (1=Muy alta, 7=Muy baja)

5

Tensiones de crecimiento interno

Se reportan situaciones de estrés en el crecimiento de esta especie.

Contenido de sílice: Se informa que esta madera tiene un contenido de sílice insignificante. Un contenido de sílice superior al 0,05 % puede afectar el procesamiento de la madera. Valor de sílice: 0,01

Dificultad para impregnar

Moderadamente fácil de tratar con una penetración parcial de los productos conservantes.

(PROECEN, UNACIFOR, 2002)

La Propiedades físicas

3.1.2. Propiedades Físicas

Propiedades físicas	
Densidad Básica (Peso anhidro/Vol. saturado) (g/cm ³)	0.5
Densidad seca al aire (Peso y volumen CH12%) (g/cm ³)	0.54
Contracción Tangencial Total (Saturado hasta anhidro) (%)	6.1
Contracción Radial Total (Saturado hasta anhidro) (%)	4.3

Defectos por secado

Facilidad de secado: El secado es moderadamente fácil; se requiere cierto cuidado particular.

Calendario de Secado

FR-3

El termino FR-3 es un calendario de secado de *terminalia superba* (blanco o limba), se refiere a una clasificación de secado en horno basada en el sistema frances de secado de madera.

FR: indica que el programa de secado sigue los estándares franceses.

3: Representa el grado de severidad del secado. En la clasificación francesa, los niveles van de FR-0(muy suave) al FR-6 (Muy agresivo).

Para la *terminalia superba* el FR-3 es un programa de secado moderado adecuado para maderas de dureza media como la limba.(RUBEN ALEJANDRO MARROQUIN, 2000)

Estabilidad Dimensional (Contracción Total Tangencial %/Contracción Total Radial %)

1.4

Propiedades mecánicas

3.1.3 Propiedades Mecánicas

Propiedades Mecánicas	
Resistencia a flexión (Módulo de ruptura) CH12% (kgf/cm ²)	811
Rigidez (Módulo de elasticidad) CH12% (kgf/cm ²)	119731
Resistencia a la compresión paralela a la fibra CH12% (kgf/cm ²)	475
Resistencia a la compresión perpendicular a la fibra CH12% (kgf/cm ²)	58
Cizallamiento radial CH12% (kgf/cm ²)	57
Dureza Janka (lados) CH12% (kgf)	363
Dureza Janka (extremos) CH12% (kgf)	467

Fuente: (ramon carrillo, 2015)

Ecuador Forestal, (ADMIN, 2015) Realizaron una ficha técnica No. 11 en donde establecen mediante algunas pruebas y recopilación de literatura las propiedades de la madera de la especie *Terminalia*. &Diels. Se registró la siguiente información: (La tabla 1)

PROPIEDADES DE LA MADERA

Organolépticas.

Las características organolépticas de la madera son aquellas que pueden ser percibidas por los órganos sensoriales. Entre éstas se incluyen: color, sabor, olor, grano, textura, brillo y vetado. (Eduardo V. Gonzales Maguiña, 2008)

Color duramen café amarillento a blanco-grisáceo; albura similar al color del duramen

Veteado poco diferenciado

Textura mediana, dura y pesada

Grano recto a entrecruzado

Olor no distintivo

Sabor no distintivo

Brillo mediano

Durabilidad

Es una madera de baja durabilidad natural, muy susceptible al ataque de hongos de mancha azul y de pudrición, así como también al ataque de termitas.

Trabajabilidad

Fácilmente trabajable, aunque tiene tendencia a rajaduras durante el clavado o atornillado

Propiedades físicas y mecánicas

Densidad 0,4–0,52–0,69 g/cm³.

tabla.1 : Propiedades físicas, mecánicas y trabajabilidad de la madera de *Terminalia superba* Engl. &Diels.

propiedades físicas, mecánicas y trabajabilidad de la madera		
Densidad	0.41g/cm ³	Liviano
Movimiento	4.28%	Medio
Relación de contracción	1.52	Bajo
Punto saturación de fibra	26.74%	
Módulo de elasticidad	65904 kg/cm ²	Muy bajo
Cizalle	75.27 kg/cm ²	Medio
Dureza	351.9 kg	Media
Compresión perpendicular	86.04 kg/cm ²	Media

Fuente: (ADMIN, 2015)

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Descripción de la especie *Terminalia superba* Engl. &Diels.

3.2.1.1. Nomenclatura

Familia: Combretaceae

Nombre Científico: *Terminalia superba* Engl. &Diels

Nombre Común: Limba.

3.2.1.2. Descripción botánica

La *terminalia superba* es un árbol de los bosques deciduos. Es característico de bosques secundarios en áreas con estación seca de alrededor de 4 meses, pero no responde bien a largos periodos de sequía sobre suelos arenosos.

Tronco árbol grande, de hasta 50 m de altura y 5 m de grosor, cilíndrico, largo y recto

Copa abierta, generalmente plana, que consiste en unas pocas ramas verticiladas

Raíces tabulares grandes

Corteza bastante lisa, gris, descaman en pequeños parches

Hojas de 5 cm de largo y 5 de ancho son deciduas en la estación seca

Flores se producen al final de la estación seca. (ADMIN, 2015)

3.2.1.3. Distribución geográfica

Es nativa del África tropical central y oeste donde tiene una amplia distribución. Crece en los bosques deciduos y bosques lluviosos siempre verdes, colonizando tierras agrícolas abandonadas. Actualmente es cultivada en América Central y del Sur. (ADMIN, 2015)

Desde el año 1996, la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), ha plantado esta especie en los centros experimentales: Centro

Experimental Demostrativo del Cacao (CEDEC) y Centro Agroforestal Demostrativo del Trópico Húmedo (CADETH), ubicados en La Masica, Atlántida, donde ha desarrollado sistemas agroforestales en asocio con cacao y plantaciones forestales en linderos. (PROECEN, UNACIFOR, 2002)

3.2.1.4. Características edafoclimáticas

Edafoclimático: se refiere a Suelo y Clima, por esto en el modelo se investiga para definir el grado de aptitud de los suelos para la agricultura. Variables tales como la altitud, las pendientes, las texturas del suelo, la ubicación geográfica, las características físicas, químicas y biológicas del suelo, etc., las cuales permiten hacer agricultura, pero también determinar las áreas que se deben destinar a conservación y protección. (Vargas-Batis et al., 2015)

Requerimientos climáticos Prefiere climas con una precipitación anual entre 1.400-2.000mm; requiere de una estación seca con temperaturas entre 20 y 28°C; altitud entre 150 a 1.000 msnm. **Requerimientos edáficos** Le favorece suelos fértiles o de origen aluvial bien drenados, pero puede crecer en arenas lateríticas, arcilla, suelos basálticos, aunque no favorablemente. **Factores limitantes de crecimiento** La sobre explotación es la principal amenaza reportada (en sus sitios de origen) para la declinación de la población. (ADMIN, 2015)

3.3. Conceptos claves

3.3.1. Sistema agroforestal

Los sistemas agroforestales se pueden definir como un sistema antiguo y ampliamente practicado de la tierra en donde se combinan los árboles de manera espacial y/o temporalmente ya sea con animales y/o cultivos agrícolas. Aquí se combinan en una misma unidad de tierra elementos tanto de agricultura como de forestería.

Los sistemas agroforestales se componen de árboles y cultivos (A. & P., 2023) Los cuales incrementan el rendimiento de los cultivos al tiempo que mantiene sus servicios ecosistémicos de regulación y conservación del medio

3.3.2. Madera

Se considera madera a todo material que forma parte del tronco, rama y las raíces de un árbol (Jorge Aguilar Pozzer, Estela Guzowski, 2011). También es un organismo heterogéneo que está formado por un grupo de células que poseen un conjunto de propiedades específicas, las cuales desempeñan funciones de vital importancia (Julio Vargas, 1987)

3.3.3. Propiedades físicas de la madera

Para (Winandy Jerrold, 1994) “las propiedades físicas de la madera son características cuantitativas que proporcionan información sobre el comportamiento de la madera contra las influencias ambientales (incluyendo las fuerzas externas aplicadas). Estas propiedades son de suma importancia, pues afectan el rendimiento y la resistencia de la madera que es utilizada para aplicaciones estructurales” (1994, pág. 551). Las propiedades físicas de la madera es el conjunto de propiedades que caracteriza el comportamiento físico de la madera (Bravo Cámara, 2018).

Para determinar las propiedades físicas de una especie se realizan diferentes pruebas entre las que podemos mencionar; contenido de humedad de equilibrio, punto de saturación de las fibras (PSF), máximo contenido de humedad (MCH), contracción, coeficiente de contracción volumétrica, hinchazón, densidad o peso específico, densidad al aire libre o peso específico normal, densidad de la madera anhidra y porosidad.

3.3.4. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas son los comportamientos y las resistencias que ofrece al ser sometida por fuerzas exteriores (Teresa María Suirezs y Gilson Berger , 2009). También se definen como las aptitudes que posee la madera, para soportar cargas externas, en donde no se toman en cuenta los esfuerzos que se producen internamente debido a los cambios de humedad (CHRISTIAN ALBERTO CAMPOS WELLMANN, 2015).

Para determinar las propiedades mecánicas de una especie se realizan diferentes pruebas entre las que podemos mencionar; compresión paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra, dureza, flexión estática, módulo de elasticidad, módulo de ruptura (MOR) y cizalle.

3.3.5. Trabajabilidad

Conjunto de características y propiedades que presenta una madera determinada, al ser expuesta al trabajo manual o a la acción de herramientas eléctricas o manuales. Cuando una madera responde de manera positiva al cepillado, moldurado, lijado, torneado, taladrado entre otros, se dice que tiene una buena trabajabilidad (Rene F. Benitez Ramos, J.L. Montesinos Lagos, 1988)

3.3.6. Normas ASTM

Las normas ASTM International se utilizan para la realización de investigaciones, sistemas de calidad, proyectos de desarrollo, comprobación y aceptación de productos entre otros usos («Normas ASTM | Normas ASTM en español», 2020)

3.3.7. FHIA (Fundación Hondureña de investigación Agrícola),

La FHIA (Fundación Hondureña de investigación Agrícola), a través del programa de cacao y agroforestales orienta sus actividades a la generación, validación y transferencia de tecnología en el cultivo de cacao y sistemas agroforestales, con potencial para pequeñas y medianas productores establecidos en zonas de ladera de alta precipitación, que sean alternativas a la agricultura migratoria y contribuyen a la protección de los recursos naturales y ambientales (Héctor Aguilar, 2016)

3.3.8. Aserrado

Tras llevar a cabo las principales pruebas industriales, se observará que había dificultades para medir la relación entre las tensiones en la madera en pie y las deformaciones que presentaba la madera aserrada. Entre otros factores, el grado de desarrollo de las grietas dependía del tipo de corte y de la manipulación que los tablonos recibían durante el proceso de aserrado.(Vázquez & C, 201d. C.)

3.3.9. Maquina hoytom

Hoytom se fundó en 1961 y es una empresa española situada en la localidad vizcaína de Leioa, junto a Bilbao, con una plantilla formada por expertos en el campo de los ensayos destructivos estáticos, que se dedica, en términos coloquiales, a estirar y comprimir artículos hasta romperlos. La actual dirección de la empresa es la tercera generación de una familia que, ya en la década de los 60, comprendió que la calidad, la vocación y los mejores equipos son factores clave para ser competitivos en los mercados nacionales e internacionales, dentro del complejo mundo de los ensayos; un mundo tan complejo como sorprendente. (Germany HBK, 2022)

Ensayos de flexión o módulo de ruptura

- **ASTM D143** – (también incluye ensayo de flexión estática para madera).
- **ASTM D790** – *Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics.*
- **ASTM D7264/D7264M** – *Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials.*

Ensayo de Compresión

- **ASTM D143** – *Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber*
Ensayo de **compresión paralela y perpendicular a las fibras** en madera.
- **ASTM D695** – *Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics*
Para materiales plásticos o compuestos rígidos.
- **ASTM E9** – *Standard Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature*
Para **metales y aleaciones**.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

4.1. Enfoque de la investigación

La investigación a realizar tuvo un enfoque mixto, ya que se basó en la recolección y análisis de datos mediante la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la especie *Terminalia*, y con esto poder determinar si las propiedades de la madera de una especie difieren según el entorno o ambiente de su crecimiento.

4.2. Alcance de la investigación

El estudio se hizo descriptivo, porque el objetivo principal era observar y detallar las características de la madera de *terminalia*. sin intervenir ni modificar directamente las variables de estudio, se menciona que el estudio se centró en observar el comportamiento de la madera, lo que implica que se quiere entender cómo reacciona o se comporta la madera en diferentes situaciones o bajo ciertas condiciones, sin intentar cambiar o manipular esos comportamientos.

El estudio tiene la intención de conocer las propiedades específicas de la madera, como sus características físicas (densidad, porosidad, etc...) y mecánicas (resistencia, elasticidad, etc..). este tipo de estudio descriptivo se enfoca en recolectar datos detallados sobre las propiedades de un objetivo o material para posterior análisis.

4.3. Hipótesis

Por tratarse de una investigación de carácter descriptivo/exploratorio, no se formula una hipótesis ya que el objetivo principal es comprender y caracterizar los fenómenos estudiados más que comprobar relaciones causales entre ellos.

4.4. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es de tipo experimental, ya que se realizaron diversas pruebas con la madera de *terminalia* con el propósito de determinar sus propiedades físicas, mecánicas y de trabajabilidad, mediante la manipulación contralada de las variables involucradas.

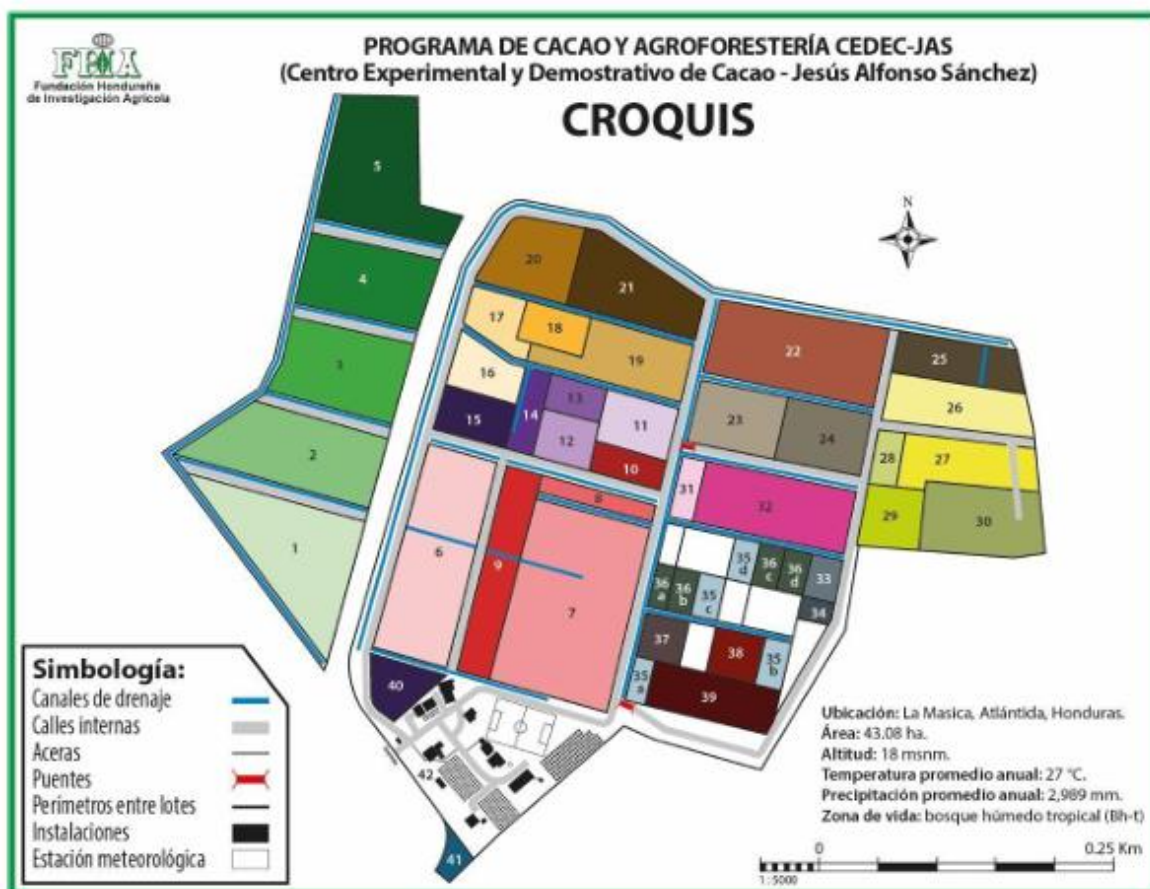
4.5. Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en plantaciones agroforestales de la FHIA, las cuales se encuentran establecidas en el municipio de La Masica, departamento de Atlántida, Honduras.

Haciendo uso de los datos proporcionados por MAMUCA, (2013) el municipio de La Masica, cuenta con cuatro climas diferentes: clima muy lluvioso con distribución regular de lluvia, clima poco lluvioso de transición, clima muy lluvioso con invierno lluvioso, y el clima predominante es el muy lluvioso tropical. La temperatura general oscila entre 18 y 32 °C, la humedad relativa del municipio se encuentra entre 83 y 88 %. En cuanto a la precipitación promedio anual se estima un dato de 2300 a 3500 mm, obteniendo mayor cantidad de lluvias en los meses de octubre y noviembre.

A continuación, se muestra un croquis sobre la distribución que tiene el sistema agroforestal de la FHIA, con cada una de las divisiones que lo conforman.

Figura 1 Centro experimental y Demostrativo de Cacao-Jesús Alfonso Sánchez



Fuente: Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA, 2022)

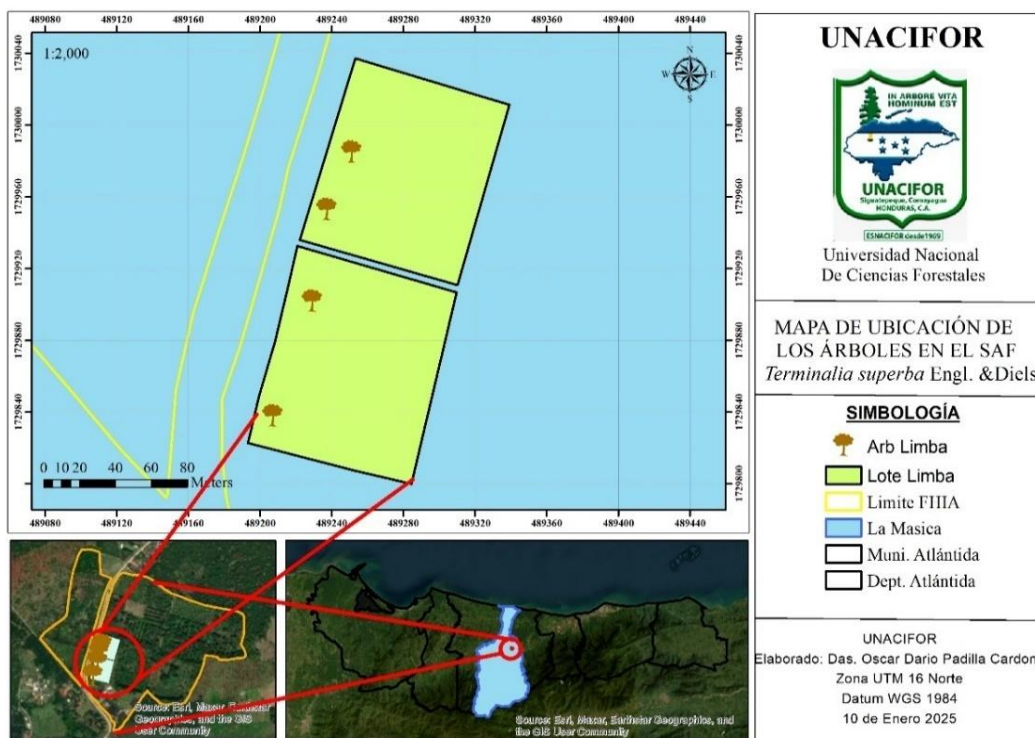
Figura 2 descripción de los lotes establecidos

A continuación, se muestran la descripción de los lotes que la FHIA (Fundación hondureña de Investigación Agrícola), contiene en su actualidad en las instalaciones de la institución donde se puede identificar diferentes sitios.

Descripción de lotes establecidos			
No.	Descripción	No.	Descripción
1	Banco de yemas/renovación de copas 1 A/asociado con macuelizo y guayapeño	25	Colección clones CEDEC, lote 12B/asociado con rosita
2	Banco de yemas/renovación de copas 1 B/asociado con barba de jolote	26	Banco de cultivares internacionales. Lote 12 A/cumbillo, aceituno y nazareno
3	Banco de yemas/renovación de copas 1 C/asociado con zorra y cedrillo	27	Colección criollos e introducciones internacionales/cedro de la India
4	Banco de yemas/asociado con frutales 1 D	28	Colección clones FHIA/asociado con caobina
5	Lote comercial caoba y laurel negro 1 E	29	Banco de yemas/renovación de copas/asociado con cincho
6	Lote comercial/asociado con limba	30	Banco de yemas/renovación de copas/asociado con jigua
7	Jardín clonal - recién renovado sistema Turrialba/sombra caoba africana	31	Colección de frutales exóticos
8	Lote criollo moderno - Carmelo/asociado con jagua	32	Lote validación de cacao suaves/asociado con marapolán
9	Introducciones nuevos materiales/asociado con sangre blanco y aceituno	33	Lote de evaluación de 6 cruza promisorias con paletó
10	Lote monoclonal ICS-1 A.C./renovación de copas/asociado con hormigo	34	Lote criollos de La Mosquitia con paletó
11	Germoplasma EET s asociado con hormigo	35 a	Repetición A/ensayo 18 cultivares/asociado con granadillo rojo
12	Ensayo policlones CATIE/asociado con arenillo y maria	35 b	Repetición B/ensayo 18 cultivares/asociado con granadillo rojo
13	Progenies colombianas de FEDECACAO/arenillo y maria	35 c	Repetición C/ensayo 18 cultivares/asociado con granadillo rojo
14	Lote clones/semillas/patrón/renovación de copas/asociado con maria	35 d	Repetición D/ensayo 18 cultivares/asociado con granadillo rojo
15	Lote comercial CCN-51/asociado con narra	36 a	Repetición A/ensayo 12 cultivares asociado con guama y caoba
16	Clones EET s /renovación Turrialba/asociado con guapinol	36 b	Repetición B/ensayo 12 cultivares asociado con guama y caoba
17	Lote comercial/asociado con almendro de río	36 c	Repetición C/ensayo 12 cultivares asociado con guama y caoba
18	Colección variedades de rambután	36 d	Repetición D/ensayo 12 cultivares asociado con guama y caoba
19	Evaluación de progenies interclonales/asociado con sombra de ternero	37	Evaluación de cruza inter-compatibles/asociado con guama y caoba
20	Lote cacao comercial/asociado con rambután	38	SAF: plátano-madreado-caoba y cultivares de cacao Auto compatibles
21	Lote 14 ex - ensayo de progenies CATIE/asociado con rambután	39	Lote de validación y ensayo de nutrición en clones trinitarios I.C./pito y caoba
22	Lote comercial filipino/asociado con granadillo rojo	40	Rodal de terminallas
23	Ensayo concluido: prueba multilocal/asociada con zapelle, huesito, ciruelillo	41	Lote cacao/borjón
24	Banco madre policlones CATIE/asociado con ciruelillo, cañamito y tempisque	42	Plante: oficinas, laboratorios, bodega, beneficio, aserradero, viveros, cancha, etc.

Fuente: Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA)

Figura 3 Ubicación del sistema agroforestal de *terminalia superba*



Fuente: Elaboración propia

4.6. Población, muestreo y muestra

La cantidad de árboles a seleccionar dependió del grado de precisión que se desee lograr en los diferentes ensayos. Se recomienda trabajar con una probabilidad estadística del 95%. La precisión puede variar de la siguiente forma:

- Precisión del 15% del valor medio: 5-6 árboles
- Precisión del 10%: 10-12 árboles
- Precisión del 5%: 20-30 árboles

(Suirezs & Berger, 2009a)

Cabe mencionar que en esta investigación la cantidad de árboles a utilizar será de cuatro árboles (una presión del 18%) esto porque es la cantidad que nos brindará la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA).

La cantidad de probetas se realizarán con las especificaciones establecidas por las normas ASTM, donde se elaborarán 30 probetas por cada una de las pruebas.

4.7. Trabajo en campo

4.7.1. Recolección de madera

Para llevar a cabo esta recolección, se ingresó al lugar donde están las plantaciones agroforestales; para talar los árboles de *Terminalia superba*, limba, de donde fueron obtenidas las piezas con las especificaciones siguientes

Se corto 14 piezas de las cuales todas tenían un grosor de dos pulgadas y seis de ancho, ocho pies de largo (2"X6"X8'), las dimensiones de los cuadrantes de madera se obtuvieron del duramen de los árboles de *terminalia superba*, las 14 piezas de terminalia superba fueron calculadas para obtener lo que es la cantidad de probetas que se necesitan para las pruebas que se ejecutaron en la practicas, se recolectaron las muestras de 4 o 5 árboles para los tablonos de diferentes de la especie, utilizando un promedio de 3 o 4 tablonos por cada árbol, los mismos que la FHIA entrego. Para escoger los árboles, se consideraron ciertos rasgos cualitativos, como el tronco recto y la calidad. Distribución de las ramas con ausencia de bifurcaciones u otros fallos perceptibles. Los árboles mencionados tienen, según registros de la FHIA, 30 años de edad, lo hace ser considerados árboles de jóvenes a adultos.

4.7.2. Secado de la madera

Las tablas aserradas se secaron en interiores, empleando separadores para la distancia entre cada fila de la madera, así como el grosor de los separadores tenía cerca de una pulgada. Cada una de las piezas se codifico como en función del árbol al que pertenecen

4.7.3. Elaboración de las probetas

Las probetas para cada una de las pruebas se elaboraron siguiendo las normas ASTM, obteniendo para cada una de las pruebas 30 probetas.

4.8. Procedimiento de oficina y laboratorio

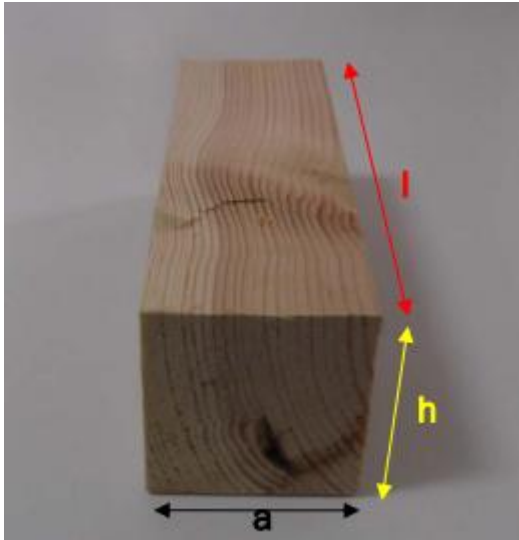
4.8.1. Pruebas físicas

4.8.1.1. Preparación de las probetas

Las probetas fueron producidas en una carpintería ubicada en Siguatepeque, Comayagua con las dimensiones definidas en las normativas ASTM D 2395-03 y D 4442-02, las dimensiones de cada probeta son 1 pulgada

de grosor en cada lado y una longitud de 4 pulgadas. Se garantiza que los cortes de las caras sean tangenciales en dos puntos y dos radiales.

Figura 4 Dimensiones de la probeta para pruebas físicas



(Ortega, 2014)

4.8.1.2. Obtención de las densidad normal o secado al aire libre.

formula 1. Densidad normal o seca al aire libre

$$P_n = \frac{P_{CH}}{V_{CH}}$$

Donde:

P_n = Peso específico normal = (1.033%)

P_{CH} = Peso a un % de contenido de humedad (69.46 %)

V_{CH} = Volumen a un % de contenido de humedad (67.23)

4.8.1.3. Determinación de la densidad anhidra.

Para medir esta propiedad, se requiere el volumen seco al horno.

y la masa seca al horno (gr).

formula 2. Cálculo de la densidad anhidra

$$S = \frac{KF}{V}$$

Donde:

S= densidad anhidra (gr/cm³) (0.47 gr/cm³)

F= peso de la probeta en condición anhidra (gr) (30.15 gr)

V= Volumen de la probeta en condición anhidra (cm³) (63.06cm³)

K= Constante cuyo valor es determinado por las unidades usadas en la medición de peso y volumen (para g/cm³, k= 1.00)

4.8.1.4. Determinación de contenido de humedad

Se utilizo los datos del peso saturado y peso anhidro.

formula 3. Cálculo de contenido de humedad.

$$CH\% = \frac{(A-B)}{B} \times 100$$

Donde:

CH%= contenido de humedad (%) (69.46%)

A= Peso saturado (gr) (50.71)

B= Peso anhidro(gr) (30.15)

4.8.1.5. Obtención de densidad especifica comercia.

formula 4. Cálculo de la densidad especifica comercial

$$S_c = \frac{KFSA}{VSA}$$

Donde:

S_c= Peso específico comercial (gr/cm³) (0.63 gr/cm³)

KF_{SA}= Peso de la probeta en condición secado al aire (cm³) (39.90)

V_{sa}=Volumen de la probeta en condición secado al aire (cm³) (63.18)

4.8.1.6. Obtención del volumen.

Se emplearon las normas ASTM, así como en las otras pruebas, utilizando el método B que calcula el volumen mediante la inmersión en agua. En esta situación se van a se llevaron a cabo tres mediciones, incluyendo la primera en estado saturado, la segunda será en condiciones secas al aire libre y la tercera medición en estado de anhidro.

4.8.1.7. Determinación de la contracción

Se utilizó el método de inmersión para establecer estas propiedades en estado anhidro y saturado, con el propósito de determinar la capacidad que posee la especie para deshidratarse. Las probetas empleadas fueron las siguientes. dimensiones: 1" x 1" x 4" pulgadas. (Normas ASTM D14394)

4.8.1.7.1. Determinación de la contracción radial

Se ocuparon las dimensiones radiales de las probetas en estado anhidro y saturado.

formula 5. Cálculo de la contracción radial

$$CR = \left(\frac{(drs-dra)}{drs} \right) \times 100$$

Donde:

CR = contracción en el sentido radial (%) (3.08)

Drs = Dimensión radial de la probeta saturada (mm) (25.80)

Dra = Dimensión radial de la probeta anhidra (mm) (25.00)

4.8.1.7.2. Determinación de la contracción tangencial.

Se realizo uso de los datos de las dimensiones tangenciales de la probeta en estado anhidro y saturado de las probetas.

formula 6. Cálculo de la contracción tangencial

$$CT = \left(\frac{(dts-dta)}{dts} \right) \times 100$$

CT= contracción en el sentido tangencial (%) (4.28)

Dts = Dimensión tangencial de la probeta saturada (mm) (26.10)

D_{ta} = Dimensión tangencial de la probeta anhidra (mm) (24.95)

4.8.1.7.3. Determinación de la contracción longitudinal

Se realizó uso de las dimensiones de las probetas en estado anhidro y en estado saturado.

formula 7. Cálculo de la contracción longitudinal

$$CR = \left(\frac{d_{ls} - d_{la}}{d_{ls}} \right) \times 100$$

Donde:

CR = contracción en el sentido longitudinal (%) (0.36)

D_{ls} = Dimensión longitudinal de la probeta saturada (mm) (100.78)

D_{la} = Dimensión longitudinal de la probeta anhidra (mm) (100.41)

4.8.1.7.4. Determinación de la contracción volumétrica total.

La contracción volumétrica se calculó mediante la diferencia de volumen saturado y volumen anhidro.

formula 8. Cálculo de la contracción volumétrica total.

$$CVT = \left(\frac{V_s - V_a}{V_s} \right) \times 100$$

Donde:

CV_T = contracción volumétrica (%) (61.95)

V_s = volumen saturado de la probeta (cm^3) (53.07)

V_a = volumen anhidro de la probeta (cm^3) (32.77)

4.8.1.7.5. Determinación de la contracción volumétrica para 12% de contenido de humedad.

4.8.1.8. Punto de saturación de las fibras

Los datos de la humedad seca se emplearon para calcular el PSF de las probetas. secar al aire, la contracción total de la madera y el contenido de humedad de la madera expuesta al aire.

formula 9. Cálculo de coeficiente de contracción volumétrica total

$$C_{cv} = \left(\frac{CV}{PSF} \right)$$

Donde:

C_{cv}= coeficiente de contracción volumétrica total (%) (1.76)

CV= contracción volumétrica total (%) (61.95)

PSF= punto de saturación de la fibra. (35.00)

Fuente: (Aldo Cisternas P., 2012)

4.8.2. Pruebas mecánicas

Se emplearon 30 probetas (Normas ASTM D143-94) para establecer cada uno de los ensayos mecánicos, para determinar cada propiedad, la norma ASTM D 143-94 se empleó para fabricar las probetas que aborda los métodos estándar de prueba para muestras de madera pequeñas. A causa de algunos problemas con la máquina para procesar la realización de las pruebas mecánicas en las probetas, que garantizaba que todas las especificaciones técnicas ASTM se cumplan; esto incluye 30 probetas. Se eligieron 15 que fueron representativas para poder llevar a cabo las evaluaciones del modo adecuado.

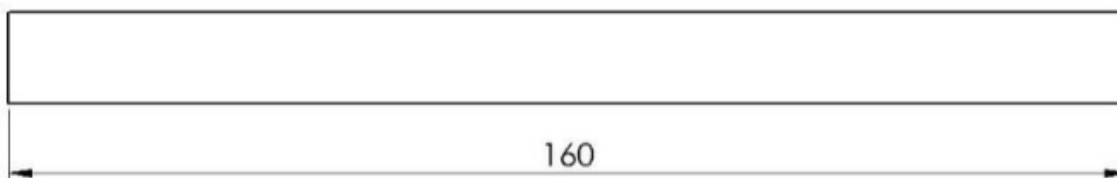
Las tres pruebas mecánicas ejecutadas, compresión paralela, compresión perpendicular y flexión estática se realizaron en una máquina de la marca Hoyton, originaria de Europa; esta máquina tiene sus propias indicaciones para las unidades y las dimensiones de las probetas.

Con fin de lograr los resultados deseados, se empleó un breve manual preliminar que fue ejecutado por un conjunto de estudiantes bajo la dirección y asistencia del MSc. Tomas Mendoza. En el documento se presenta las fórmulas y le proceso requerido para ser capaz de calcular las pruebas con los datos de las gráficas que la maquina Hoyton ha suministrado.

4.8.2.1. Flexión estática

Se emplearán probetas con las dimensiones siguientes: 1 pulgada de altura, de 16 pulgadas de largo y un ancho de 1 pulgada, utilizando el método secundario (probetas pequeñas), que han sido definidas por las normativas ASTM.

Figura 5 Dimensiones de la probeta de flexión estática



Fuente : (Jorge Guamanquispe, 2018)

formula 10. Determinación de esfuerzo al límite proporcional de la fibra para flexión estática

$$ELPF = \frac{(3P'L)}{(2bh^2)}$$

Donde:

ELPF= Esfuerzo al límite proporcional de la fibra

P'= carga aplicada al límite proporcional (kg)

B= ancho de la probeta (mm)

H= altura de la probeta (mm)

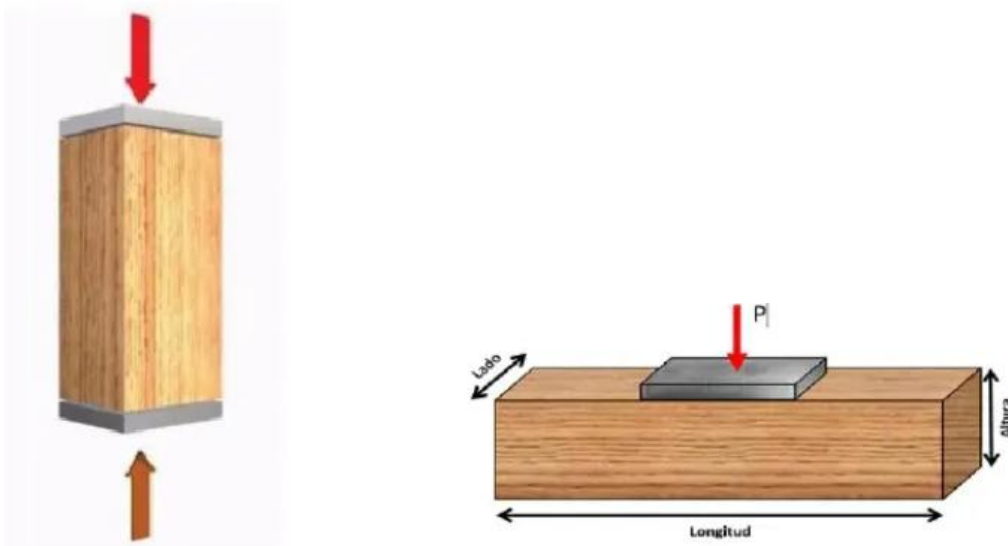
L= luz del ensayo (mm)

(Juan José Ramos Barrial, 2019)

4.8.2.2. Compresión paralela a las fibras y compresión perpendicular

Se realizo probetas que tengan las siguientes dimensiones: utilizando las normas ASTM muestra de método secundario, tendrán 2.5 de pulgadas de ancho y por 2.5 pulgadas de largo y 7.5 pulgadas de largo

Figura 6 Dimensiones de las probetas de compresión paralelas y compresión perpendicular a las fibras



Fuente: (Juan Marcelo inca, 2019)

(Luisa Fernanda Padra, 2019)

formula 11. Determinación del esfuerzo de las fibras al límite proporcional de la compresión paralela y compresión perpendicular.

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

Donde:

ELP= Esfuerzo al límite proporcional

P'= carga aplicada al límite proporcional

A= área de la sección cruzada (cm²)

(Juan Jose Ramos Barrial, 2019)

El grafico evidencia un comportamiento típico de materiales semirrígidos como la madera, con una fase elástica bien definida seguida de un flujo plástico y falla gradual. El punto marcado con una flecha indica el inicio de la plasticidad, donde el material deja de comportarse de forma lineal. A partir de este punto, el aumento del esfuerzo genera deformaciones permanentes, hasta alcanzar el esfuerzo máximo de compresión, donde ocurre la rotura o aplastamiento (Anexo 26)

4.8.3. Pruebas de trabajabilidad.

4.8.3.1. Prueba de perforado

Se emplearon 30 probetas con dimensiones en la prueba de perforación o taladrado de ¾"x3"x12" (Norma ASTM 1666-87), con contenido de humedad del 16.25, la maquina empleada para esta prueba fue un taladro de perforación de piso de la marca TRUPER a una velocidad de unos 2500 r/min. Se empleo una broca de paleta de ¾, 7/8, 1/2.

4.8.3.2. Prueba de lijado

Las probetas medirán 5/16"X4"X12" (Norma ASTM 1666-87) se empleó una lijadora de banda a una velocidad totalmente moderada para la ejecución de este ensayo, se lijo primero la madera con una lija N°80, después de examinar los resultados, se pulió la superficie de la probeta con una lija 120 y así mismo examinando otra vez el resultado

4.8.3.3. Prueba de clavado

Las 30 probetas que se usaron para el lijado también se emplearon en esta prueba. Se realizo de forma manual, utilizando un martillo común y con 1", 2" 3" pulgadas de longitud, separados entre sí por una distancia de 7/8 de pulgada y 1 pulgada desde el borde de la pieza hacia el interior.

Las probetas se categorizaron de acuerdo con el porcentaje de rajaduras que mostraron, la primera categoría es la rajadura completa, cuando se introducen los clavos en las probetas.

4.8.3.4. Prueba de escopleado

Se emplearon las mismas 30 probetas que se usaron en la prueba de perforación; aquí, se utilizó un trompo con un diámetro de ½ pulgada. Las piezas fueron clasificadas de conforme a los resultados alcanzados del grano en una escala que va del 1 al 5, donde el 1 representa pieza sin defectos y el 5 con defectos significativos. De las treinta se seleccionaron 10 probetas para la prueba.

4.8.3.5. Prueba de cepillado

Se prepararán probetas de madera con dimensiones de 2"x2"x4" (Normas ASTM 1666-87), se pasa cada probeta por una cepilladora con cuchillas afiladas, ajustando la profundidad de corte y velocidad estándar, luego de cepillado se evalúa la superficie en función de rugosidad, levantamiento de fibras, aplastado de fibras o defectos en general, posteriormente se clasificará la calidad superficial en una escala de excelente a regular

4.8.3.6. Prueba de torneado

Como objetivo es determinar la facilidad con la que la madera se puede tornear en un torno , se utilizan probetas de 3/4"x3"x12"(Normas ASTM 1666-87), se montan en un torno estándar y se les da forma con herramientas de corte afiladas , en este momento se observa la respuesta de la madera durante el proceso , evaluando varios factores como fibras sueltas , astillado , rugosidad o marcas de herramientas , Quemaduras por fricción , así mismo obteniendo una clasificación de la madera que puede ir de muy buena a regular.

4.8.3.7. Prueba de moldura

Evaluar la capacidad de la madera para formar perfiles o molduras sin defectos, para esto se prepararán piezas rectangulares de madera de 3/4"X3/4"X5" (Normas ASTM 1666-87), se pasan por una máquina de moldura equipada con cuchillas para dar un perfil específico, se examina la pieza resultada en cuanto astillado en bordes o zonas curva, rebabas o restos de fibras sueltas, marcas de fresa, irregularidades o quemaduras.

La madera se clasificará según que tan bien acepta molduras detallados, una escala estándar puede ser excelente, bueno, regular.

4.9. Operacionalización / categorización de variables

Las pruebas que se detallan a continuación son las que se consideran posibles para realización de la investigación que está en curso. Estas pruebas han sido seleccionadas cuidadosamente con el objetivo de obtener datos precisos y relevantes que permitan una comprensión más profunda del tema en estudio. Cada prueba ha sido diseñada para abordar diferentes aspectos de la problemática investigada, y su implemento se llevará a cabo bajo un protocolo controlado para asegurar la validez y confiabilidad de los resultados.

tabla.2 Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Subdimensión	Indicadores	Escala de medición
Propiedades físicas	Son propiedades numéricas que brindan datos sobre cómo reacciona la madera ante las condiciones ambientales (incluyendo las fuerzas externas aplicadas)(Suirezs & Berger, 2009b)	Es una medición numérica precisa que se empleará para evaluar y detallar como responde la madera a diferentes condiciones ambientales.	Contenido de humedad	-Humedad anhidra	Peso de la probeta en estado anhidro (gr)	Porcentaje, gramos
				-Humedad saturada		
			Densidad	-Densidad básica	Peso de la muestra con humedad.	Porcentaje, centímetros cúbicos
				-Densidad aparente		
			Contracción (volumétrica y radial)	Contracción volumétrica -contracción radial	Peso con un porcentaje de húmeda.	Porcentaje

Propiedades mecánicas	Son las reacciones y las capacidades de resistencias que la madera presenta cuando se ve afectada por fuerzas externas (Suirezs & Berger, 2009b)	Es la medición y análisis de las reacciones de la madera a pruebas externas aplicada a sobre ella.	Peso básico	Peso seco básico	Volumen a un porcentaje de contenido de humedad.	Porcentaje
			Peso específico	Peso específico -Peso específico con humedad -Capacidad de absorción de agua	Peso de la probeta al 0%de húmeda (cm ³). Volumen en condición seca (cm ³). Centímetros cúbicos	Centímetros cúbicos
			Flexión bajo carga estática	Tensión límite proporcional de las fibras	Carga en el límite proporcional (kg). Ancho de la muestra (mm). Altura de la muestra (mm). Espacio del ensayo (mm). Carga en el punto proporcional (kg).	Flexómetro o deflectómetro, Maquina hoytom, formatos de registro de datos.
			Compresión (transversal y longitudinal)	Módulo de resistencia	Área de la sección transversal y longitudinal (cm ²).	Compresómetro, Maquina Hoytom, formatos de registro de datos

Trabajabilidad	Es el conjunto de atributos y cualidades particulares que una madera presenta cuando se ve expuesta al trabajo manual o uso de herramientas, ya sea eléctricas o manuales.(PRO ECEN, UNACIFOR, 2002)	Análisis numérico de la reacción de la madera especifica cuando se somete a proceso de trabajo manuales o uso de herramientas, ya sea eléctricas o manuales	Dureza	esfuerzo en compresión paralela al límite proporcional	Carga total máxima a (kg). Área de la semiesfera de acero (cm ²). Carga máxima que soportada a la muestra (kg). Área de cizallamiento (cm ²).	Semiesfera de acero de 11.28 mm de diámetro
			Cizalladura a lo largo del grano.	Tensión máxima por cizallamiento	Fuerza aplicada por medio de un Pistón, formatos de registro de datos.	
			Cepillado	Esfuerzo máximo proporcional de las fibras	Formato de registro de datos.	
			Lijado	Facilidad de lijado -Calidad del acabado	Superficie de prueba de 8 a 9 pies. Grano raspado y quebrado Velocidad ajustable.	Lijadora de mesa Banda 100-120, formatos de registro de datos.
			Perforación	-Facilidad de penetración	Velocidad controlada	Taladro de banco Broca tipo Paleta.
			Modelado	-Definición de perfil -Regulación de corte	Grano quebrado y astillado	Perfiladora Radio de media pulgada Taladro Mecánico
			Tallado	-Respuesta de corte	Grano molido.	Broca de Escoplear
			Modelado en torno	-Facilidad de torneado -Uniformidad del acabado	Condición superficial.	Torno

Ensamblaje Clavado	-Rajadura -Retención del clavo	Grano quebrado o y astillado Tasa de rajadura.	Martillo y clavos de 2 pulgadas.
-----------------------	--------------------------------------	---	--

4.10. Procedimientos por objetivo

4.8.1 Actividades a desarrollar por objetivo

4.8.1.1 Objetivo 1

- Búsqueda de información relacionada a investigaciones anteriormente realizadas sobre las propiedades físicas en la especie *terminalia*.
- Extracción de la madera: Es el primer paso en el proceso de obtención de madera para diversas aplicaciones en este caso para el beneficio de estudio de las propiedades físicas de la madera. En este proceso se tala la cantidad de 4 árboles en el área de beneficio y posteriormente, cortar los troncos en piezas más pequeñas y manejables.
- Secado de la madera: Se procedió al secado de las piezas de madera utilizando el método de secado al aire libre, aprovechando las condiciones y facilidades disponibles en las instalaciones. Las muestras se colocan en un área ventilada y protegida de la lluvia, dispuesta de forma ordenada para permitir una adecuada circunstancia de aire. Este proceso se mantuvo hasta alcanzar un contenido de humedad promedio de equilibrio.
- Creación de las probetas: A partir de las piezas de madera previamente seleccionadas y secadas, se elaboraron las probetas con dimensiones uniforme según lo requerimientos de las pruebas físicas. Estas

probetas se destinaron a la determinación del peso, contenido de humedad, densidad y comportamiento dimensiones del material.

- Recolección de muestras: se seleccionaron y recolectaron muestras representativas de *terminalia superba* provenientes de una plantación agroforestal (FHIA9). La selección se realizó considerando la uniformidad del del diámetro, la ausencia de defectos visibles y el estado sanitario de los árboles.

- Determinación de humedad: medición de contenido de humedad en las muestras de madera utilizando un secado en horno o un medidor de humedad.

- Determinación de densidad: cálculo de la densidad de la madera a través de mediciones de masa y volumen.

- Medición de contracción y expansión: evaluación de la variación dimensional de la madera bajo diferentes condiciones de humedad.

4.8.1.2 Objetivo 2

- Búsqueda bibliográfica: Se realizó una revisión de investigación previas relacionadas con las propiedades mecánicas de la especie *terminalia superba*, con el fin de establecer parámetros comparativos y orientar la interpretación de los resultados experimentales.

- Extracción de la madera: Se ejecuto la tala de los árboles seleccionados en el área de estudio y se cortaron los troncos en secciones manejables para su traslado al área de procesamiento. Las piezas fueron dimensionadas según los requerimientos de las normas ASTM D143-94

- Secado de la madera: Las piezas obtenidas se sometieron al proceso de secado al aire hasta alcanzar un contenido de humedad estable, adecuado para los ensayos de resistencia. Se mantuvo un control constante de temperatura y ventilación durante el proceso.

- Creación de las probetas: se elaboraron las probetas de acuerdo con las dimensiones especificadas por las normas ASTM D143-94 correspondiendo a cada ensayo mecánico. Las probetas se identificaron y almacenaron bajo condiciones controladas hasta el momento de las pruebas.

- Pruebas de compresión: Realizar pruebas de compresión paralela y perpendicular a las fibras para obtener la resistencia de la madera bajo carga
- Pruebas de flexión: medir la resistencia a la flexión y el módulo de ruptura mediante un ensayo de flexión estática.
- Pruebas de cizallamiento: evaluación de la resistencia a la cizalla tanto paralela como perpendicular al grano de la madera.
- Pruebas de dureza: realizar ensayo de dureza para evaluar la resistencia a la penetración.

4.8.1.3 Objetivo 3

- Revisión de información previa: se recopiló información bibliográfica de estudios anteriores sobre la trabajabilidad de terminalia superba, con el fin de comparar los resultados experimentales y contextualizar las observaciones obtenidas.
- Extracción de la madera: Se realizó la extracción de la madera en el área designada, cortando los troncos en secciones manejables para el procesamiento posterior. El material se destinó específicamente a los ensayos de trabajabilidad.
- Secado de la madera: las piezas se secaron al aire hasta alcanzar un contenido de humedad adecuado para las pruebas de maquinado, evitando deformaciones o agrietamientos que pudieran afectar los resultados.
- Creación de las probetas: Se elaboraron probetas de dimensiones apropiadas para los distintos ensayos de trabajabilidad, garantizando superficies lisas y cortes precisos que permitieran evaluar de manera uniforme el desempeño del material.
- Evaluación de corte: determinar la facilidad de corte de la madera mediante sierra y otras herramientas.
- Pruebas de torneado: evaluar la respuesta de la madera al torneado y la calidad de acabado de la superficie.
- Pruebas de lijado y pulido: evaluar la capacidad de la madera para ser lijada y pulida sin problema o defectos.

- Evaluación de la perforación: medir la facilidad de perforación de la madera y observar la calidad de los agujeros perforados.

4.8.2 Técnica o instrumentos a usar para recolectar datos

4.8.2.1 Objetivo 1

- Para la obtención de la madera, se llevará a cabo el procedimiento necesario para obtener los permisos correspondientes para la tala de los árboles, gestionados ante el instituto de conservación y desarrollo forestal, áreas protegidas y vida silvestre (ICF), en la zona norte del país. Después de obtener los permisos, la extracción se realizará con motosierra, casco, sierra y personal de la FHIA.

- El secado de la madera: Las piezas extraídas fueron dispuestas en áreas cubiertas y ventiladas para su secado (almacenes techados) con el fin de alcanzar un contenido de humedad de equilibrio antes de ser procesada.

- Las probetas se elaboran de acuerdo con los parámetros establecidos en las normas ASTM D143-94.

- Selección y preparación de muestras: se realizó una selección aleatoria y representativa de la madera de los arboles obtenidos, para este proceso se utilizaron sierras para los cortes de la madera, así como reglas y cintas métricas para medir las dimensiones de cada muestra

- Determinación de humedad: método de secado en horno (ASTM) horno de secado para el método gravimétrico, balanza de precisión para pesar las muestras antes y después del sacado(instrumentos).

- Determinación de densidad: método de desplazamiento de agua (normas ASTM D143-94) (técnica), balanza de precisión para medir la masa de las muestras., medidor de volumen (medición directa de las dimensiones o desplazamiento de agua), calibrador o vernier para medir las dimensiones(instrumentos).

4.8.2.2 Objetivo 2

- El proceso de obtención del material se llevó a cabo con las mismas condiciones de manejo y control de gestionadas ante el instituto de conservación y desarrollo forestal, áreas protegidas y vida silvestre (ICF), en la zona norte del país. Después de obtener los permisos, la extracción se realizará con motosierra, casco, sierra y personal de la FHIA.

- El secado de la madera: Las piezas fueron secadas al aire en un ambiente cubierto, garantizando que alcanzaran un contenido de humedad uniforme antes de ser sometidas a los ensayos mecánicos.

- Las probetas se elaboran de acuerdo con los parámetros establecidos en las normas ASTM D143-94

- Pruebas de compresión: ensayo de compresión paralela y perpendicular a las fibras (según normas ASTM) (Técnica), máquina de ensayo universal (maquina hoytom), calibrador para medir las dimensiones iniciales de las muestras(instrumentos).

- Pruebas de flexión: ensayo de flexión en viga carga central para determinar el módulo de ruptura (según normas ASTM) (técnica), máquina de ensayo de flexión (maquina hoytom), medidor de deflexión (medición de la flexión bajo carga) (instrumento)

- Pruebas de cizallamiento: Ensayo de cizallamiento a corte paralelo y perpendicular a las fibras(técnica), máquina de corte o cizallado, medidor de fuerza (dinamómetro), calibrador para medir la sección transversal de la muestra (instrumento).

4.8.2.3 Objetivo 3

- Para la obtención de la madera, se llevará a cabo el procedimiento necesario para obtener los permisos correspondientes para la tala de los árboles, gestionados ante el instituto de conservación y desarrollo forestal, áreas protegidas y vida silvestre (ICF), en la zona norte del país. Después de obtener

los permisos, la extracción se realizará con motosierra, casco, sierra y personal de la FHIA.

- El secado de la madera: El secado de la madera se realizó en su sitio techado donde la ventilación del aire se fluida para poder obtener el contenido de humedad deseado antes de llegar a realizar las probetas.

- Las probetas se elaboran de acuerdo con los parámetros establecidos en las normas ASTM 1666-87.

- Evaluación de corte: observación y medición de la facilidad para cortar la madera con sierra y otras herramientas(técnica), sierra manual o eléctrica, calibrador de precisión para medir la calidad del corte, cronometro para medir el tiempo de corte(instrumentos).

- Pruebas de torneado: Ensayo de torneado y análisis de la calidad del acabado superficial(técnica), torno mecánico, calibrador para medir la forma y el acabado de la pieza torneada.

- Evaluación de perforación: análisis de la facilidad para perforar la madera con brocas(técnica), taladro eléctrico o manual, brocas de diferentes tamaño y tipos, medidor de profundidad de perforación (instrumentos).

- Pruebas de clavado: medición de la facilidad de inserción de clavos o tornillos en la madera(técnica), martillo para clavar, regla o calibrador para medir la penetración(instrumentos).

4.8.3 Programa a usar para el procesamiento de la información

4.8.3.1 Objetivo 1

- Word
- Excel

4.8.3.2 Objetivo 2

- Word
- Excel

4.8.3.3 Objetivo 3

- Excel
- Word

4.8.4 Análisis o modelo de interpretación de la información se empleará

4.8.4.1 Objetivo 1

- Análisis descriptivo: se utilizarán estadísticas descriptivas como medias, desviaciones estándar y rangos para caracterizar las propiedades físicas de la madera (densidad, humedad, contracción, expansión).
- Análisis comparativo: comparar los valores obtenidos con los estándares, con investigaciones previas de la misma especie.

4.8.4.2 Objetivo 2

- Se realizarán ensayos de compresión, flexión, tensión y cizalladura de acuerdo con normas internacionales (ASTM). Los resultados serán analizados con métodos estadísticos para identificación tendencias y determinar la resistencia de la madera.
- Para el análisis de los resultados de las diferentes pruebas mecánicas se hará un análisis descriptivo ya que se harán gráficos de barras para de forma sea más fácil observar las diferencias existentes en cada prueba.
-

4.8.4.3 Objetivo 3

- Análisis cualitativo: observación directa y descripción de la facilidad de trabajo de la madera en diferentes procesos, como el aserrado, la perforación y el clavado. Este se puede comprender con las diferentes pruebas que se llevaran a cabo durante el proceso.
- Para el análisis de los resultados de las diferentes pruebas de trabajabilidad se hará un análisis descriptivo ya que se harán gráficos de barras para de forma sea más fácil observar las diferencias existentes en cada prueba.
- En la búsqueda bibliográfica para resumir y analizar la información encontrada se hará uso de la revisión sistemática.

CAPÍTULO V: RESULTADOS

5.1 Propiedades físicas de la madera

tabla.3 Clasificación de la madera

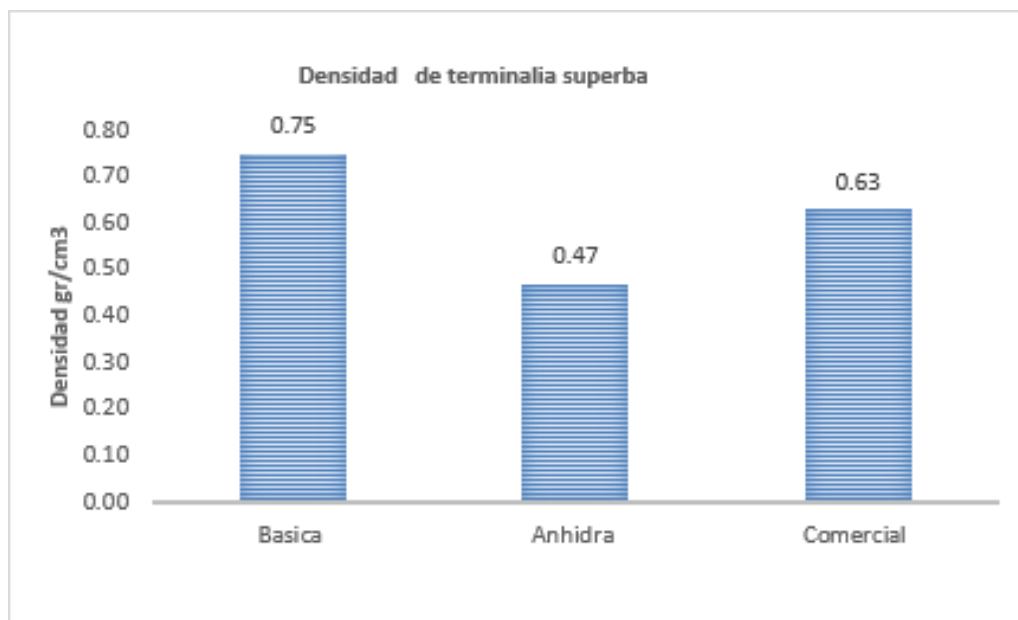
CLASIFICACION DE LA MADARA EN BASE A LAS PROPIEDADES FISICAS SEGÚN SANTIAGO VIGNOTE PEÑA Y ISAAC MARTINEZ ROJAS 2006		
Clasificación de madera por su densidad		
Tipo de densidad	Densidad Kg/m³	
Ligeras	< 500	menor que
Semiligeras	500 - 599	
Semipesados	600 - 649	
Pesadas	650 - 799	
Muy pesadas	> 800	mayor que

Fuente: (Santiago vignote Peña, 2006)

La densidad de la madera de *terminalia superba* se determinó a diferentes estados de contenido de humedad con el fin de caracterizar su comportamiento físico. A un contenido de humedad promedio de 16.25%, correspondiente a condiciones de equilibrio al aire libre, la densidad obtenida fue de 0.75 g/cm³, lo que indica que se trata de una madera de densidad media-alta, característica de especies con buena resistencia y estabilidad dimensional.

Por otro lado, la densidad básica registrada fue de 0.47 g/cm³, valor que representa la relación entre la masa seca y el volumen verde de la madera, y que permite estimar su peso específico real sin la influencia del contenido de humedad. Finalmente, la densidad anhidra o absolutamente seca alcanzo un valor de 0.63 g/cm³, lo que evidencia una reducción esperada de masa debido a la pérdida total de agua contenido en las paredes celulares.

Según la clasificación de la madera en base a las propiedades físicas Santiago Vignote Peña e Issac Martínez rojas 2006 la especie de *Terminalia* se clasifica como una madera semipesado por que anda en el rango de 600- 649 kg/m³ con un peso de 630 kg/m³.

Figura 7 Densidad de Terminalia superba

Fuente: propia

5.1.1. Contracción de la *Terminalia Superba*.

La contracción tangencial total de las probetas en estado anhidro fue de 4.07 % la contracción radial total fue de 8.48 %.

La relación de contracción total tangencial/radial tiene un valor de 1.013.

En cuanto a la contracción volumétrica o anhidra fue de 5.39 %, el coeficiente de contracción volumétrico obtenido 1.23 esto define o determina que por cada 1% de contenido de humedad que se reduce en la madera bajo el punto de saturación de la fibra, esta se contrae 1.23 unidades, es una madera sensible a los cambios de la humedad que puede sufrir la madera en servicio.

tabla.4 Clasificación de la madera en relación a la contracción T/R

Clasificación de la madera por el valor de las relaciones entre contracciones T/R		
SEGÚN SANTIAGO VIGNOTE PEÑA e ISAAC MARTINEZ ROJAS 2007		
clase de relación	Valor de R	Interpretación
Muy pequeña	< 1.5	Muy estable
Pequeña	1.5 - 1.8	Estable
Mediana	1.8 - 2.0	Mediana tendencia a atear
Alta	2.0 - 2.2	Alta tendencia a atear
Muy alta	> 2.2	Muy alta tendencia a atear

Fuente: (Santiago vignote Peña & Issac Martínez Rojas,2007)

La clasificación de la madera en relación a la contracción T/R, la clase se ubicaría en el rango de muy pequeño menor a 1.5 ya que la contracción de la terminalia superba se encuentra con una cifra de 1.013 con este podemos interpretar que es muy estable.

tabla.5 Clasificación de la madera por su contracción

clasificación de la madera por su contracción volumétrica según Norma UNE 56.540		
Clase de contracción v.	C.V. %	Interpretación
Pequeña	5 a 10	Fendas pequeñas (puede secarse antes del despiece)
Media	10 a 15	Fendas medias (Construcción)
Gran	15 a 20	Grandes fendas

Fuente: Normas UNE 56.540

De acuerdo a la clasificación de la madera por su contracción volumétrica según UNE 56.540, la madera de Terminalia superba se tendría de clasificar como clase pequeña según su rango de interpretación (Fendas pequeñas).

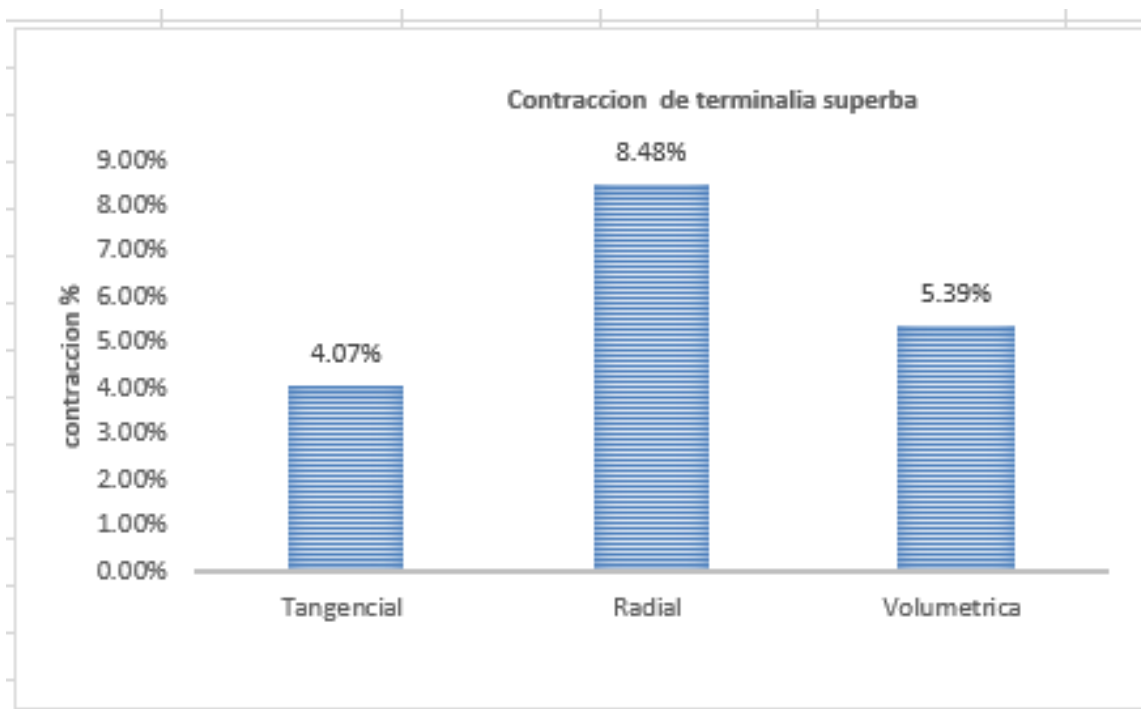
tabla.6 Coeficiente de contracción de volumétrica

Clasificación de la madera por su coeficiente de contracción volumétrico
 SEGÚN SANTIAGO VIGNOTE PEÑA e ISAAC MARTINEZ ROJAS 2007

clases de maderas	Ccv	Interpretación
Muy estables	< 0.35	Ebanisteria
Estables	0.35 - 0.45	Carpinteria y muebles
Medianamente nerviosas	0.45 - 0.50	construccion
Nerviosas	0.50 - 0.60	Construccion de despiece radial
Muy Nerviosas	> 0.60	Para medios de humedad constante

Fuente: (Santiago Vignote Peña & Issac Martínez Rojas, 2007)

La clasificación de la madera por su coeficiente de contracción volumétrica es de la clase muy nerviosa por su rango que se encuentra de 0.60, ya que el coeficiente de contracción volumétrica es de 1.23.

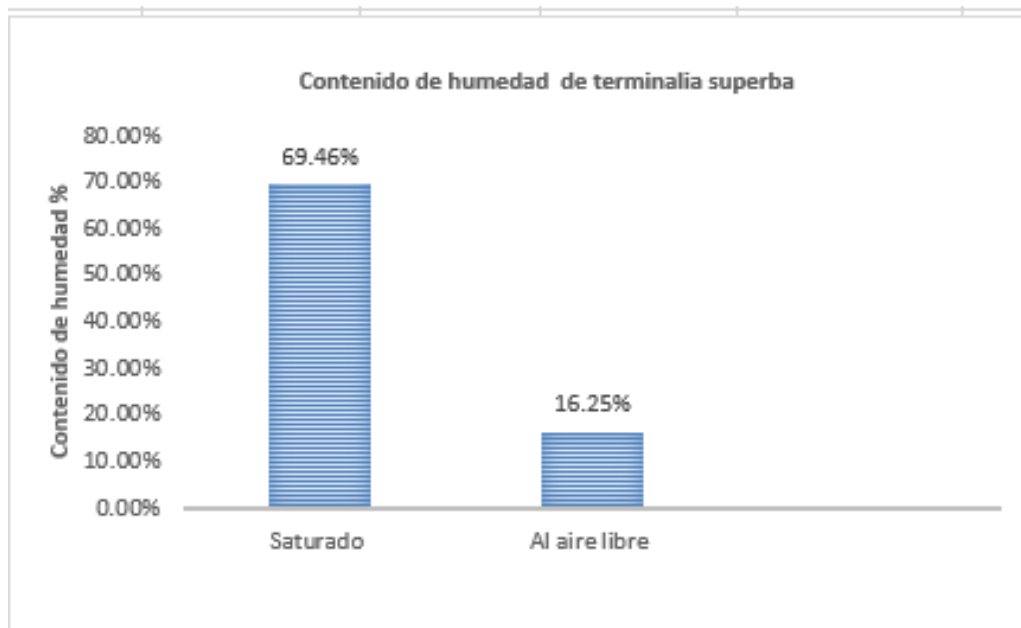
Figura 8 Contracción de la terminalia superba

Fuente: Propia

5.1.2. Contenido de humedad de la *Terminalia Superba*.

El contenido de humedad que logro la madera de terminalia superba en el contenido de humedad estado saturada fue de 69.46 %, la madera mostro un 16.25% al aire libre lo que permite inferir que, de acuerdo con la información registrada, es una madera que pierde humedad de rápidamente y en múltiples aplicaciones, un 16.25% de contenido de humedad puede ser considerado apropiado.

Figura 9 Contenido de humedad *terminalia superba*

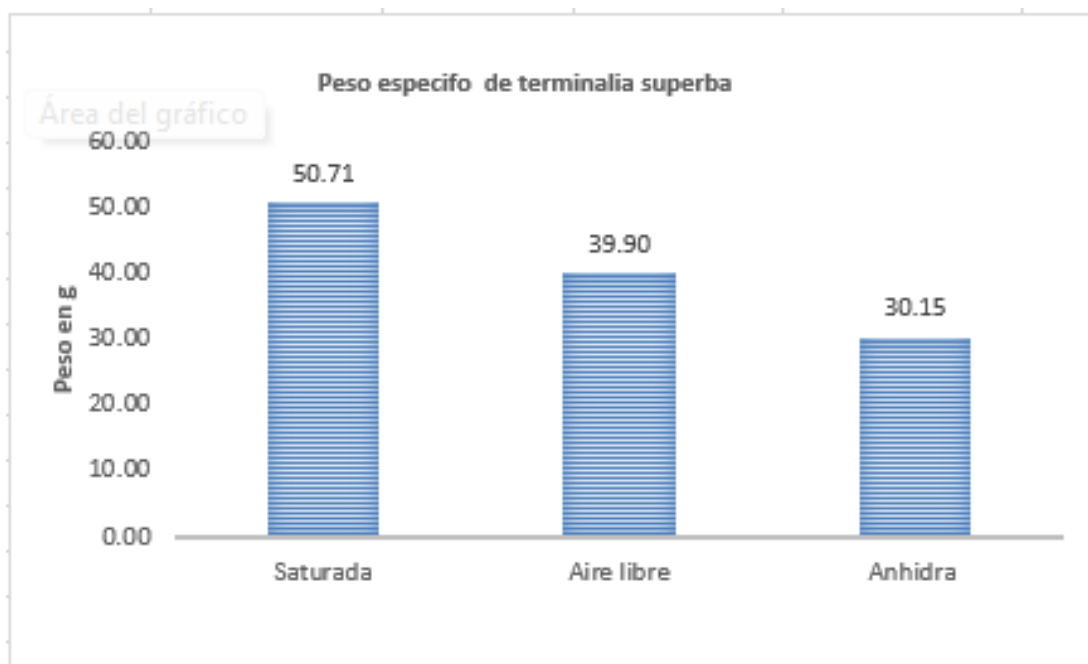


Fuente: Propia

5.1.3. Peso específico de la *Terminalia superba*.

El peso específico que se obtuvo en las probetas en estado saturado fue 50.71 g, luego cuando la madera se encontraba secado al aire libre su volumen fue de 39.90, ya en estado anhidro su volumen se estableció en 30.15.

Figura 10 Peso específico de la terminalia superba

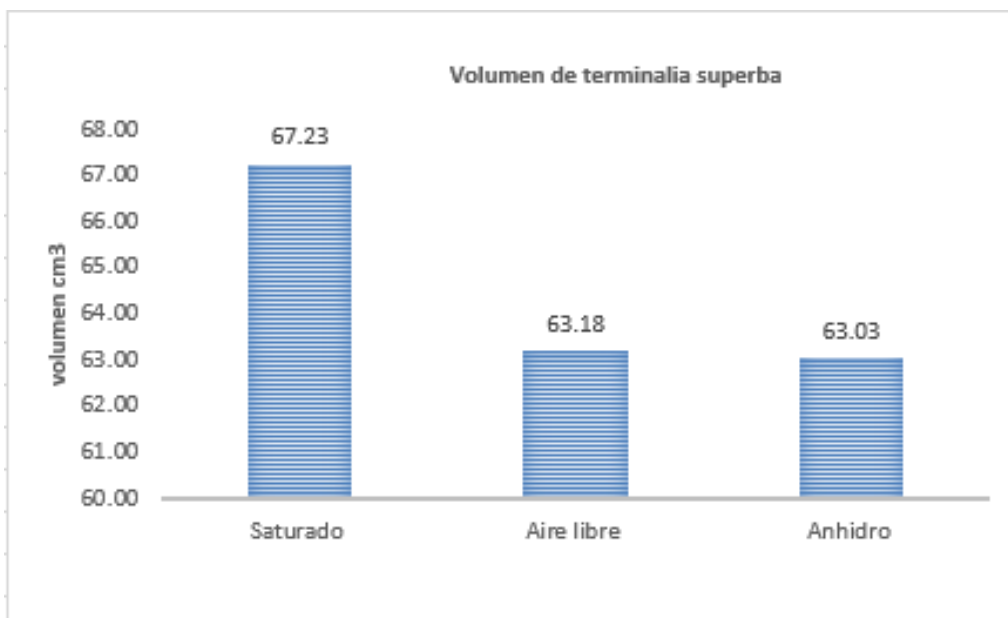


Fuente: Propia

5.1.4. Volumen de la especie de *Terminalia superba*.

El volumen que se logró de las probetas cuando estaban saturadas fue de 67.23 cm³, después cuando la madera se encontraba secado al aire libre su volumen fue de 63.18 cm³, ya en estado anhidro su volumen fue 63.06 cm³.

Figura 11 · Volumen de terminalia superba.



Fuente: Propia

5.2 Propiedades mecánicas de la madera

5.2.1. Flexión estática de la *Terminalia Superba*

tabla.7 Estadísticas de flexión estática

Resumen estadístico			
MOR (kg/cm ²)	σ_{LP} (kg/cm ²)	MOE máquina (kg/cm ²)	
Promedio	683.10	454.89	47988.86
Mínimo	408.57	321.00	36968.79
Máximo	999.39	638.13	65525.94

Fuente: Propia

En la tabla de resumen generada a partir de los datos experimentales, se reportan los parámetros más relevantes: el módulo de ruptura (MOR), el esfuerzo en el límite proporcional (σ_{LP}) y el módulo de elasticidad (MOE).

En cuanto al módulo de ruptura, se obtuvo un valor promedio de 69.99 MPa, con un mínimo de 408.60 gr/cm², y un máximo de 999.42 gr/cm². Estos resultados evidencian una variabilidad importante en la resistencia de las probetas, lo cual puede atribuirse a diferencias naturales en la estructura

anatómica de la madera, el contenido de humedad y la homogeneidad del lote. No obstante, el promedio obtenido se encuentra dentro del rango esperado para maderas de densidad media a alta, lo que confirma la capacidad del material para soportar esfuerzos de flexión considerables.

Por su parte, el esfuerzo en el límite proporcional alcanzó un promedio de 454.898 gr/cm², con un rango que varió entre 321.10 gr/cm² y 638.13 gr/cm². Este parámetro es fundamental, ya que refleja la resistencia máxima que puede soportar la madera en su rango elástico antes de presentar deformaciones plásticas permanentes. La amplitud del rango registrado evidencia diferencias en la respuesta elástica de las probetas, lo que nuevamente se relaciona con factores propios de la heterogeneidad del material.

En cuanto al módulo de elasticidad, se reportó un valor promedio de 47988.96 gr/cm², con un mínimo de 36968.79 gr/cm² y un máximo de 65525.94 gr/cm². Estos valores indican que la madera evaluada presenta una rigidez estructural adecuada, permitiendo soportar cargas de manera eficiente antes de llegar a la ruptura. La dispersión de los datos refleja variabilidad en la densidad y propiedades mecánicas intrínsecas de las probetas ensayadas.

En términos generales, los resultados muestran que la madera analizada posee un buen desempeño en resistencia a la flexión, con valores que la ubican en un rango aceptable para aplicaciones estructurales medianas. Variabilidad detectada es consistente con las características naturales de este material, lo cual sugiere la necesidad de controles de calidad y de clasificación adecuada antes de su uso en proyectos de ingeniería

5.2.2. Compresión paralela.

El ensayo de compresión paralela a la fibra se realizó sobre un total de 15 probetas, los resultados obtenidos permiten determinar las principales propiedades mecánicas de la madera, tales como la resistencia máxima a compresión (σ_{max}), la resistencia en límite proporcional (σ_{LP}), la carga máxima aplicada (P_{max}), el área de sección transversal, y la deformación unitaria (ϵ).

En términos generales, las probetas mostraron una buena consistencia dimensional, ya que el área promedio fue de 2,508.95 mm² con un coeficiente de

variancia de 1.18%, lo que indica una preparación adecuada y homogénea de las secciones. La longitud inicial también se mantuvo dentro de rangos similares entre probetas.

En cuanto al comportamiento mecánico, la resistencia última promedio fue de 183.24 gr/cm², con una desviación estándar de 28.34 gr/cm² y un coeficiente de variación de 15.48%. El valor máximo alcanzado fue de 195.68 gr/cm², mientras que el mínimo correspondió a 91.06 gr/cm². Este último se registró en la probeta #1, la cual presenta valores anormales en la mayoría de las variables mecánicas y fue identificada como un error estadístico. Es probable que esta diferencia se debe a defectos en piezas (presentes en nudos, fisura interna o error de alineación durante el ensayo).

Al excluir esta probeta atípica, los resultados muestran una mejora significativa en la consistencia de los datos, aumentando la resistencia promedio a 189.87 gr/cm² y reduciendo la dispersión (desviación estándar de 12.84 gr/cm², CV 6.79%). Esto confirma que el material posee un comportamiento homogéneo bajo de compresión paralela, siempre que se elimine probetas defectuosas.

Por otro lado, la resistencia en el límite proporcional presentó un valor medio de 144.79 gr/cm² con un coeficiente de variancia de 18.36%, lo cual refleja una variación natural en el punto de transición elástico-plástico del material. La carga máxima promedio fue de 45,136 N, con un rango entre 21,840 N y 49,060 N, evidenciando una relación directa entre el área efectiva y la capacidad de carga.

La deformación unitaria promedio fue de 0.0117 mm/mm, con una desviación relativamente alta de CV= 54.9%, lo que puede atribuirse a diferencias en la humedad, densidad o precisión de medición durante los ensayos. No obstante, el comportamiento global sugiere que la madera analizada posee una buena resistencia a la compresión paralela, característica propia de la madera con fibra rectas y compactas.

En síntesis, los resultados indican que el material ensayado presenta propiedades mecánicas adecuadas en compresión paralela a la fibra, con un

comportamiento estable y una dispersión moderada, típicas de madera de buena calidad estructural. La exclusión de probetas defectuosas mejora la representatividad del conjunto y permite obtener valores más confiables para fines de diseño y caracterización mecánica.

5.2.3. Compresión perpendicular.

tabla.8 Parámetros de compresión perpendicular

Parámetro	Promedio (kg/cm ²)	Mínimo (kg/cm ²)	Máximo (kg/cm ²)
σ_{LP} (kg/cm ²)	31.14	19.78	41.09
σ_{max} (kg/cm ²)	49.04	145.71	51.29
MOE (kg/cm ²)	1117.60	535.35	2109.79

Fuente: Propia

Las pruebas de compresión perpendicular a la fibra permitieron determinar los parámetros de resistencia y rigidez de la madera bajo condiciones de carga transversal, relevantes en uniones y puntos de apoyo estructural.

El esfuerzo en el límite proporcional presentó un valor promedio de 30.99 gr/cm², con registros que oscilaron entre 19.78 gr/cm² y 41.19 gr/cm². Estos valores reflejan la capacidad de la madera para resistir deformaciones en el rango elástico antes de llegar a un comportamiento plástico. La variabilidad detectada está asociada a las diferencias anatómicas de las probetas, a su densidad y al contenido de humedad.

En cuanto al esfuerzo máximo, se obtuvo un promedio de 49.04 gr/cm², con un mínimo de 43.74 gr/cm² y un máximo de 51.29 gr/cm². Estos valores muestran que la resistencia última de la madera en compresión perpendicular se mantiene en un rango relativamente estrecho, lo cual indica una buena consistencia en el comportamiento mecánico de las probetas.

Respecto al módulo de elasticidad, se alcanzó un valor promedio de 109.6 MPa, con valores extremos de 535.35 gr/cm² y 2109.79 gr/cm². Este parámetro evidencia la rigidez del material, es decir, su capacidad para deformarse de manera controlada antes de la ruptura. La amplia dispersión registrada confirma

la heterogeneidad natural de la madera, donde variaciones estructurales internas afectan su comportamiento.

Los resultados demuestran que la madera analizada presenta una resistencia aceptable en compresión perpendicular, lo que la hace apta para aplicaciones donde se requiera soportar cargas de apoyo moderadas. Sin embargo, la variabilidad observada resalta la necesidad de un proceso de clasificación y control de calidad antes de su utilización en elementos estructurales, a fin de garantizar un desempeño seguro y confiable.

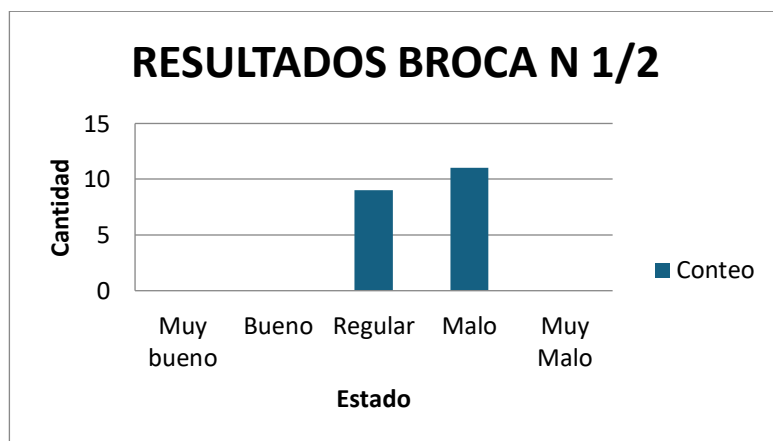
5.3 Pruebas de trabajabilidad de la madera

5.3.1 Prueba de Perforado

Esta prueba se llevó a cabo con la realización de 30 probetas, en esta práctica se realizó la perforación tres tipos de broca de diferente medida una de $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{7}{8}$. De las 30 probetas, se evaluaron 10 y 8 de ellas mostrando un grano rasgado como con fibras demasiado sueltas, lo que hace que cuando se ejecuta el perforado cueste mucho.

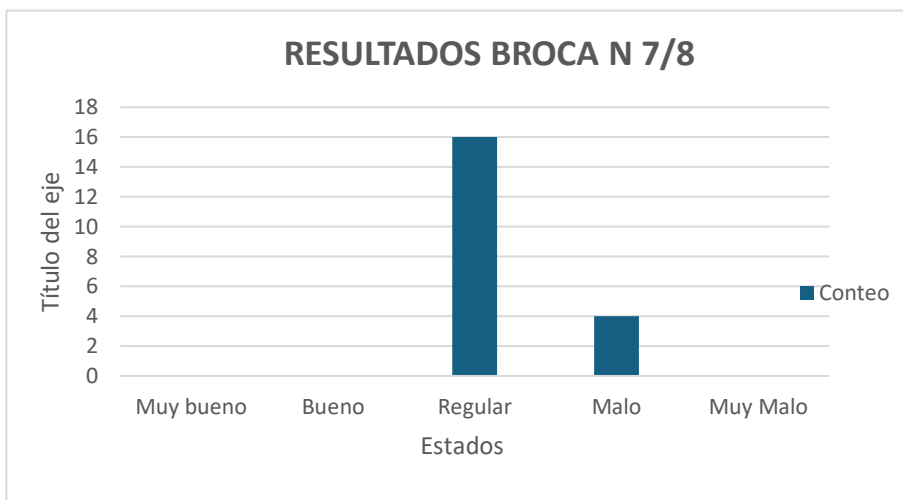
Obteniendo un resultado con la broca de $\frac{1}{2}$, un 45 % que es regular y un 55 % malo, con la broca de $\frac{3}{4}$, un 80 % regular y un 20 % malo y con la broca de $\frac{7}{8}$, un 70% regular y un 30% malo, por lo tanto, la trabajabilidad de perforación de clasifica como regular.

Figura 12 Broca $\frac{1}{2}$



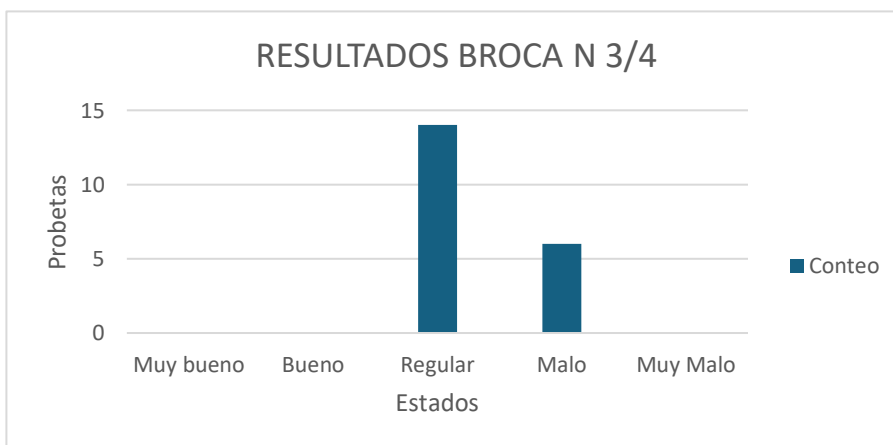
Fuente: Propia

Figura 13 Broca $\frac{3}{4}$



Fuente: Propia

Figura 14 Broca $\frac{7}{8}$



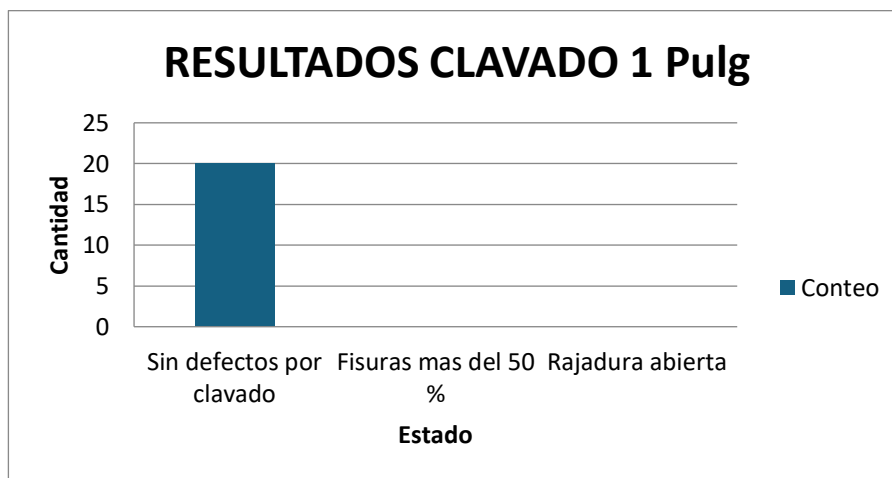
Fuente: Propia

5.3.2. Prueba de Clavado

La prueba de trabajabilidad de clavado de la Terminalia superba se realizó con un martillo común, donde se realizó el clavado con tres tipos de clavos uno de 1", 2" y de 3", ya teniendo claro las dimensiones de los clavos se formula una escala de trabajabilidad que iba de sin defectos por clavado hasta rajaduras abiertas.

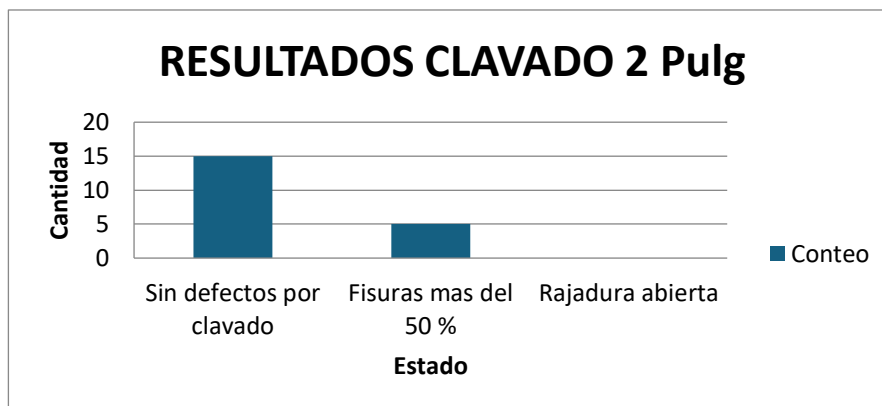
La prueba se realizó a una pulgada de la orilla de la probeta , donde se demostró que con el clavo de una pulgada no se producía ninguna fisura en la probeta obteniendo un 100 % de aceptación , con el clavo de 2 pulgadas se llevó a cabo la misma practica obtenido un resultado 75% de sin ninguna fisura y un 25% con fisura más del 50%, con los clavos de 3 pulgadas se obtuvo un resultado de 80% de rajaduras abiertas y un 20% de fisuras más del 50% , con esta prueba se demuestra que la trabajabilidad es regular.

Figura 15 Clavo de una pulgada



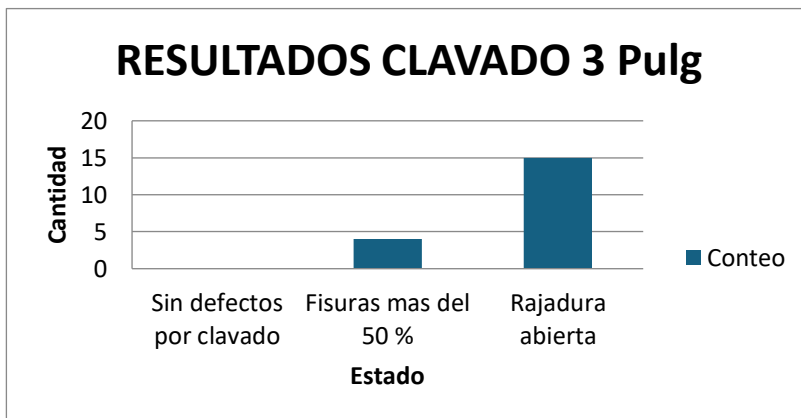
Fuente: Propia

Figura 16 Clavo de dos pulgadas



Fuente: Propia

Figura 17 Clavo de tres pulgadas

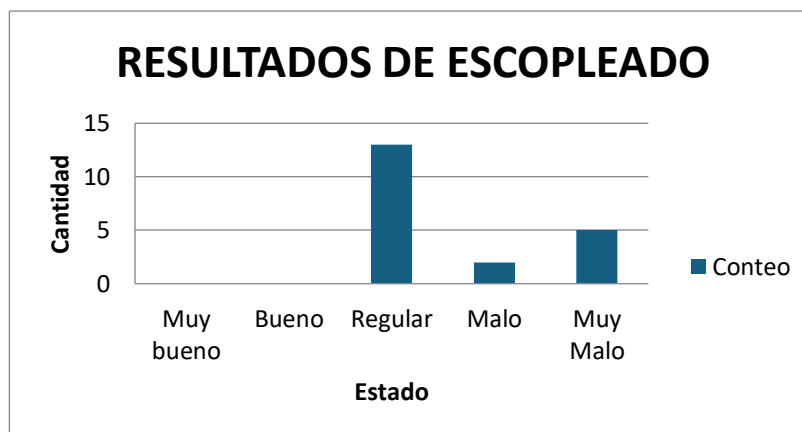


Fuente: Propia

5.3.3. Prueba de escopleado

Esta prueba se realizó con la creación de 30 probetas, el escopleado no es muy uniforme debido a la pelusa de la broca no se trabaja de una manera muy satisfactoria, esta práctica se ejecutó con unas categorías (muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo), de acuerdo a los datos recolectados en la prueba de trabajabilidad de la terminalia superba, dando un resulta de un 65% con la categoría de regular, un 10% como malo y un 25% como muy malo. La trabajabilidad de la madera es muy mala.

Figura 18 Resultado de escopleado

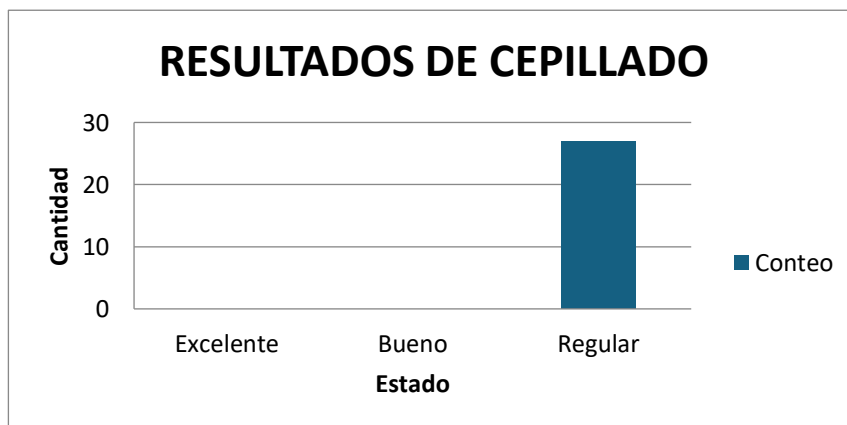


Fuente: Propia

5.3.4. Prueba de cepillado

Se realizó la prueba con la ejecución de 30 probetas donde se hizo una escala (excelente, bueno, regular), midiendo la facilidad y la trabajabilidad de terminalia superba, donde se descubrió que la madera tenía levantamiento de fibras, rugosidad o marcas en la madera por la fricción de la hoja del cepillo, se calculó el estado de la madera donde resultó un 100% de regular, así manifestando u obteniendo el puntaje más bajo de esta escala, concluyendo que la trabajabilidad de este madera con cepillo es muy mala o regular.

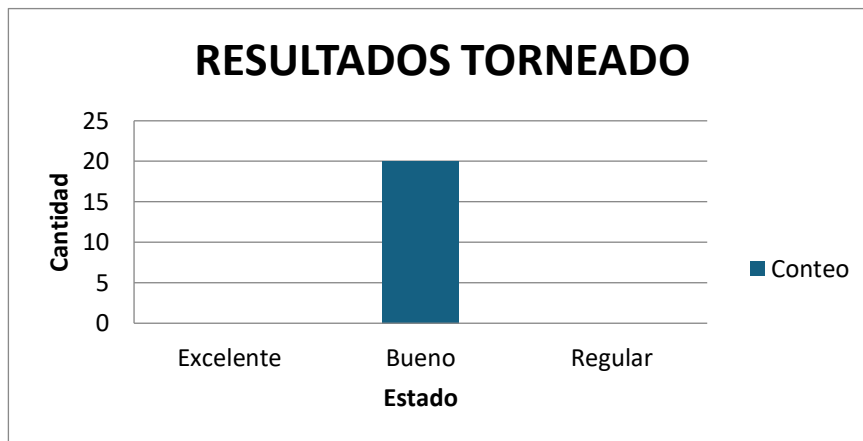
Figura 19 Resultado de cepillo



Fuente: Propia

5.3.5. Prueba de torneado

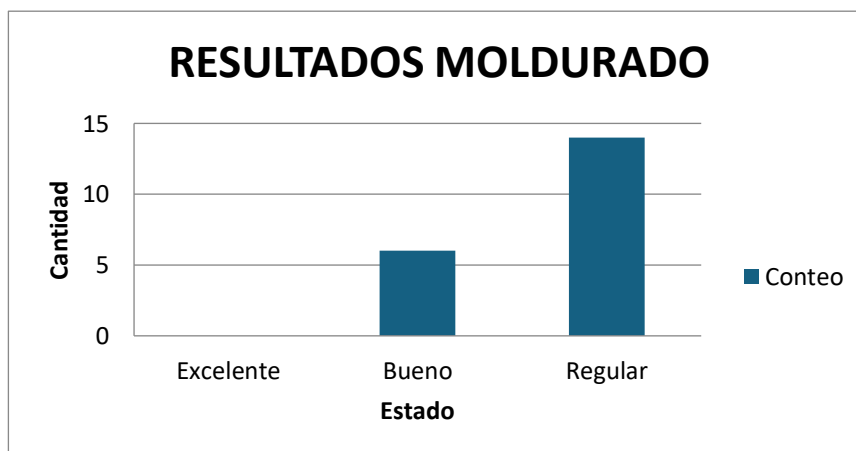
Evaluar la trabajabilidad de la madera durante el proceso de torneado, determinando su comportamiento frente a la herramienta de corte, la calidad de la superficie obtenida y la presentación, la madera de terminalia superba con el tratado del torno se pueden hacer diseños, pero se debe de tener cuidado para no deformar la fibra de la madera. La categoría que se utilizó fue excelente, bueno, regular. Donde nos ofreció un resultado de 100% bueno, pero con observaciones de fibras sueltas que sobresalen de la madera.

Figura 20 Resultados de torneado

Fuente: Propia

5.3.6. Prueba de moldurado

Determinar la calidad de la trabajabilidad de la madera al ser sometida a moldurado con fresa, analizando la limpieza del perfil, la presencia de astillas o quemaduras y la facilidad de mecanizado. Los resultados obtenidos de esta muestra arrojan un 30% bueno, colocándolo en la categoría 2, y un 70% en regular, así obtenido una categoría 3, demostrado que la trabajabilidad de la madera en bueno.

Figura 21 Resultado moldurado

Fuente: Propia

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran que la madera de *terminalia superba* presenta un comportamiento intermedio (50%) en cuanto a trabajabilidad, mostrando diferencias notables entre los distintos procesos analizados. En general, las pruebas reflejan que la especie puede considerarse moderadamente trabajable, aunque ciertas características anatómicas, como la presencia de fibras sueltas y el grano entrecruzado, influyen de manera directa en la calidad del acabado superficial.

En las pruebas de perforación, la madera mostro dificultades durante la ejecución con predominio de resultados regulares (70-80%) y una tendencia al desgarramiento del grano, especialmente con brocas de mayor diámetro. Este comportamiento coincide con lo reportado por Benítez y Montesinos (1988), quienes señalan que el limba tiende a presentar grano abierto y desprendimiento de fibras en perforaciones profundas.

En la prueba de clavado, los resultados fueron aceptables (100%) con clavos pequeños (1”), pero e medida que aumento la longitud, se incrementó las fisuras y rajaduras. Esto sugiere que la resistencia transversal de la madera es moderada lo cual limita su uso en ensamblajes que requieren clavos intensos. Este comportamiento concuerda con lo descrito en la ficha técnica de terminalia superba (Ecuador Forestal, 2015), que advierte sobre la tendencia al agrietamiento durante el clavado.

En el escopleado, la madera presento baja uniformidad y desprendimiento de fibras, con predominio de resultados “ regulares” a “mala”. Esto refleja que el material no responde bien a cortes abruptos ni a herramientas de alta fricción posiblemente por la disposición irregular de la fibra y su densidad media (0.63 g/cm³).

Las pruebas de cepillado también evidenciaron deficiencias notables: el 100% de las muestras fue calificado como regular con presencia de rugosidad y levantamiento de fibras. Este resultado es coherente con lo esperado en maderas de poro abiertos y grano cruzado, que tienden a mostrar resistencia desigual ante el filo de las cuchillas.

Por otro lado, el torneado ofreció mejores resultados, con una calificación general de "bueno", aunque se observaron pequeñas fibras sueltas. La facilidad para obtener formas regulares y acabados limpios indica que la *terminalia superba* tiene un buen desempeño en procesos rotativos, siempre que se usen herramientas afiladas y velocidades moderadas.

Finalmente, el moldurado obtuvo un 70% de resultado "regulares" y 30% "buenos", demostrando una calidad de corte aceptable, aunque con tendencia a generar rebabas y quemaduras leves en los bordes. Esto confirma que el material es adecuado para trabajos de carpintería decorativa, pero requiere control de velocidad y afilado de fresas.

En conjunto, los resultados de trabajabilidad complementan las propiedades físicas-mecánicas registradas: una densidad media (0.63 g/cm^3), una resistencia a la flexión moderada ($\text{MOR} = 67 \text{ MPa}$) y un módulo de elasticidad de 41563.63 gr/cm^2 , valores que respaldan su clasificación como una madera semipesado y estable para usos estructurales medios y acabados interiores. Comparada con estudios previos en Ghana y Ecuador, la *terminalia superba* hondureña muestra una consistencia aceptable para aplicación en mobiliario, molduras y elementos constructivos no portantes.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- La madera de *terminalia superba* demostró un comportamiento de trabajabilidad moderadamente favorable. Evidenciando un equilibrio entre facilidad de mecanizado y calidad del acabado superficial. Su densidad básica de 0.63 g/cm^3 y su módulo de ruptura promedio de 683.21 kg/cm^2 la clasifican dentro del grupo de maderas semipesados, con buen estabilidad dimensional y resistencia adecuada para aplicaciones estructurales no portantes.
- Los procesos de mecanizado revelaron diferencias significativas entre las operaciones evaluadas. El torneado y el moldurado registraron los mejores resultados, con predominio de calificación “bueno” y superficies limpias, lo que indica una adecuada respuesta a esfuerzos rotativas y a cortes continuos. En constante, el cepillado, el escopleado, y el perforado mostraron un mayor grado de dificultad atribuido al grano entrecruzado y a la textura abierta de la madera que provocaron levantamientos de fibras, rugosidad y desprendimientos de material.
- La variabilidad en los resultados confirma la influencia directa de las características anatómicas de la especie en su comportamiento mecánico y estético. La disposición irregular de las fibras y la presencia de poros medianos contribuyen tanto a una buena respuesta en proceso de torneado como a un desempeño menos favorables en operaciones de corte transversales y cepillado.
- Los resultados de trabajabilidad, combinados con las propiedades físicas y mecánicas obtenidas, permiten afirmar que la *terminalia superba* es una especie con potencial industrial. Su desempeño la hace idónea para la fabricación de mobiliario, molduras, revestimientos interiores y piezas decorativas, siempre que se aplique técnicas adecuadas de afiliado control de humedad y velocidad de mecanizado.

- Los defectos más comunes fueron levantamiento de fibras, astillado y rugosidad, asociados al grano entrecruzados y a la heterogeneidad del tejido leñoso.
- El proceso de torneado se destacó como el más favorable logrando superficies limpias y bien definidas, lo que evidencia potencial para acabados ornamentales y decorativos.
- Los resultados confirman que la terminalia superba cultivada en sistemas agroforestales con cacao en la Masica posee viabilidad técnica y comercial, aunque requiere optimización en el secado y en el uso de herramientas afiladas para mejorar su desempeño industrial

7.2. Recomendaciones

- Fortalecer los procesos de preparación y afilado de herramientas de corte, priorizando filos de acero de alta velocidad o carburos de tungsteno, en fin, de reducir el levantamiento de fibras y mejorar la uniformidad del acabado superficial.
- Establecer un control riguroso de la humedad de la madera antes del mecanizado, manteniéndola entre 12 % y 17%, para minimizar la aparición de grietas, deformaciones y defectos durante los procesos de cepillado y moldurado.
- Optimizar los parámetros operativos del mecanizado como velocidad de rotación, avance y profundidad de corte, mediante pruebas piloto específicas para la terminalia superba lo cual permitirá definir curvas de trabajo más eficientes y reproducibles a nivel industrial.
- Fomentar investigaciones complementarias orientadas a evaluar la adherencia, el encolado y el acabado superficial, con el propósito de consolidar un perfil completo de trabajabilidad y de las propiedades físicas-mecánicas de la madera de esta especie para determinar su comportamiento frente a diferente recubrimiento y adhesivos.
- Promover el uso sostenible y comercialmente responsable de terminalia superba dentro de sistemas agroforestales, impulsando su valorización como recurso forestal alternativo en la región norte de Honduras y contribuyendo a la diversificación productiva y la restauración ecológica.
- Incorporar programas de capacitación técnica para operarios y productores forestales, enfocados en el manejo de especies tropicales semipesados, promoviendo buena práctica de manejo en zona con sistemas agroforestales.
- Establecer plantaciones puras de *terminalia superba* en diferentes zonas agroecológicas del país, con el fin de evaluar su crecimiento, adaptación y desarrollo anatómico sin la influencia de especies acompañantes propias de los sistemas agroforestales. Esto permitirá comparar su rendimiento volumétrico,

calidad de la madera y uniformidad estructural bajo condiciones controladas, contribuyendo al diseño de programas silviculturales específicos para su manejo productivo y sostenible

- Desarrollar investigaciones futuras orientadas al mejoramiento de la trabajabilidad de la madera, enfocadas en analizar el efecto de variables como la velocidad de corte, el tipo de herramienta, el ángulo de afilado y el contenido de humedad en la superficie final. Asimismo, se recomienda implementar estudios de modificación tecnológica (tratamientos térmicos, químicos o de densificación) que permitan optimizar la respuesta del material en procesos de cepillado, moldurado y escopleado, incrementando su valor agregado y competitividad industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A., G., & P., D. (2023). *Principios de diseño y manejo agroforestal en beneficio de las personas y del medioambiente*. World Agroforestry. <https://doi.org/10.5716/cifor-icraf/BK.33141>
- ADMIN. (2015). *Ficha Técnica No. 11: TERMINALIA (S)*. <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-11-terminalia-s/>
- Aldo Cisternas P. (2012). *CONVERSION DE DENSIDADES DE LA MADERA*. <https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/10864/18562.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bravo Cámara, P. (2018). Análisis comparativo de las propiedades físicas de la madera de *Dialium guianense* (Aubl.) Sandwith (tamarindo), en el sentido longitudinal y transversal de cuatro porciones del árbol y sus probables usos, Las Piedras – Tambopata. *Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios - UNAMAD*. <https://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/267>
- CHRISTIAN ALBERTO CAMPOS WELLMANN. (2015). *DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE *Pinus maximinoi** H. E. Moore; COBÁN, ALTA VERAPAZ. <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2015/06/22/Campos-Christian.pdf>
- CIFOR-ICRAF. (2023). *Principios de diseño y manejo agroforestal en beneficio de las personas y del medioambiente*.

- Eduardo V. Gonzales Maguiña. (2008, noviembre). *IDENTIFICACIÓN ORGANOLÉPTICA Y MACROSCÓPICA DE MADERAS COMERCIALES*. Lima. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/571598/02._Identificacion.pdf
- FHIA. (2022). *inf_Programa_de_Cacao_y_Agroforesteria-2021*. https://fhia.org.hn/wp-content/uploads/inf_Programa_de_Cacao_y_Agroforesteria-2021.pdf
- Germany HBK. (2022, marzo 23). *Hoytom, fabricante de equipos de ensayo*. HBM. <https://www.hbm.com/es/10668/hoytom-fabricante-de-equipos-de-ensayo/>
- Hector Aguilar. (2016). *Manual para la Evaluación de la Calidad del Grano de Cacao*. Centro de Comunicación Agrícola, de la FHIA. https://fhia.org.hn/wp-content/uploads/Manual_para_la_Evaluacion_de_la_Calidad_del_Grano_de_Cacao.pdf
- Jesus Rodriguez. (2012). *PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA DE LAS ESPECIES*.
- Jorge Aguilar Pozzer, Estela Guzowski. (2011). *Materiales y materias primas*. <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL007398.pdf>
- Jorge Guamanquispe. (2018, mayo). *Figura 2. Dimensiones en mm de la probeta para ensayo a flexión según...* ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Dimensiones-en-mm-de-la-probeta-para-ensayo-a-flexion-segun-norma-ASTM-D_fig2_329870088
- Juan Jose Ramos Barrial. (2019). *Ensayo de Flexión en Madera | PDF | Doblar | Madera*. <https://es.scribd.com/document/414681653/Flexion-de-La-Madera-Robert-asd>

- Juan marcelo inca. (2019). *Normas Madera | PDF*. Scribd.
<https://es.scribd.com/document/409599759/Normas-Madera>
- Julio Vargas. (1987). *Anatomía y tecnología de la madera*.
https://www.google.com/search?q=Vargas%2C+J.+1987.+Anatom%C3%ADa+y+tecnolog%C3%ADa+de+la+madera.+Cochabamba%2C+Bolivia.&rlz=1C1GCEU_esHN1162HN1162&oq=Vargas%2C+J.+1987.+Anatom%C3%ADa+y+tecnolog%C3%ADa+de+la+madera.+Cochabamba%2C+Bolivia.&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBCDExNjRqMGo0qAIAAsAIA&sourceid=chrome&ie=UTF-8
- Luisa fernanda Padra. (2019). *Resistencia Compresión Madera: Ensayo y Análisis | PDF | Madera | Mecánica de sólidos*. Scribd.
<https://es.scribd.com/document/426122861/Formato-Laboratorio-03-Maderas>
- Marcos vinueza. (2013). *Ficha Técnica No. 11: TERMINALIA (S)*.
<https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-11-terminalia-s/>
- Normas ASTM | Normas ASTM en español. (2020). *ASTM Latinoamérica*.
<https://la.astm.org/es/standards/>
- Ortega, Á. P. (2014). *Comparación de ensayos a compresión de madera estructural mediante norma UNE y norma ASTM*.
- Paola Mendez. (2005). *Evaluación de la propiedades físicas y mecánicas de la madera. Talca, Chile*. http://dspace.utalca.cl/retrieve/6282/diaz_mendez.pdf

PROECEN, UNACIFOR. (2002). *ECOLOGÍA, MANEJO, PROPIEDADES Y USOS DE SU MADERA.*

[https://www.itto.int/files/user/pdf/publications/PD%2022%2099/pd22-99-p1-4%20rev2\(F\)%20s.pdf](https://www.itto.int/files/user/pdf/publications/PD%2022%2099/pd22-99-p1-4%20rev2(F)%20s.pdf)

ramon carrillo. (2015). *Limba/Fraké (Terminalia superba)*. ITTO.
<http://www.tropicaltimber.info/es/specie/limbafrake-terminalia-superba/>

Rene F. Benitez Ramos, J.L. Montesinos Lagos. (1988). *Catálogo de cien especies forestales de honduras.*

Richter, H.G., Gembruch, K., and Koch, G. (2014). *Terminalia superba (Limba)*. CITES, 01-10.

RUBEN ALEJANDRO MARROQUIN. (2000). *Algunos aspectos sobre la fenología, producción de bellota y propagación de seis especies de encino Quercus L. del estado de Nuevo León, México por Rubén Alejandro Marroquín Flores.*
<http://eprints.uanl.mx/507/1/1020120180.PDF>

Sánchez, Manuel D. (2018). *Sistemas agroforestales.* 10-11.

Suirezs, T. M., & Berger, G. (2009a). *DESCRIPCIONES DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA.*
https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos_digitaes/f5_978-950-579-154-5.pdf

Suirezs, T. M., & Berger, G. (2009b). *DESCRIPCIONES DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA.*

https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos_digitales/f5_978-950-579-154-5.pdf

Vargas-Batis, B., Martinella-Portuondo, A., Rizo-Mustelier, M., Candó-González, L., de Cuba, S., & Ramírez-Bravo, A. (2015). *ALGUNAS VARIABLES QUE INCIDEN EN LAS CONDICIONES EDAFOCLIMÁTICAS DEL HUERTO INTENSIVO EL VIVERO*. <https://www.redalyc.org/pdf/1813/181338814006.pdf>

Vázquez, T., & C, M. (201d. C.). *INFLUENCIA DE LA SILVICULTURA Y ESTRATEGIAS DE ASERRADO*. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2001000100008

Winandy Jerrold. (1994). *Wood-properties-forest-product-lab-usa*. <https://www.eximcorp.co.in/pdf/wood-properties-forest-product-lab-usa.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Sistema agroforestal de *Terminalia superba* y cacao



Anexo 2. Probetas dimensionadas para pruebas físicas

Anexo 3. Pesado de probetas para pruebas físicas



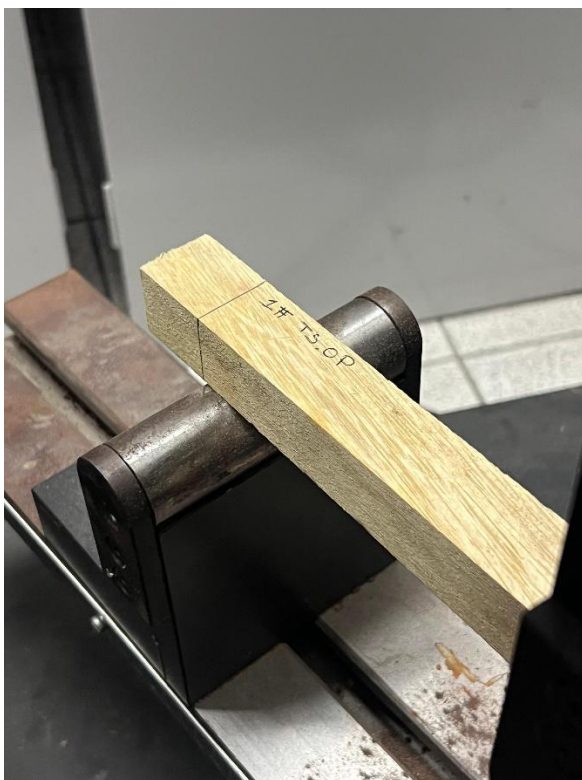
Anexo 4. Pesado en bascula de plato



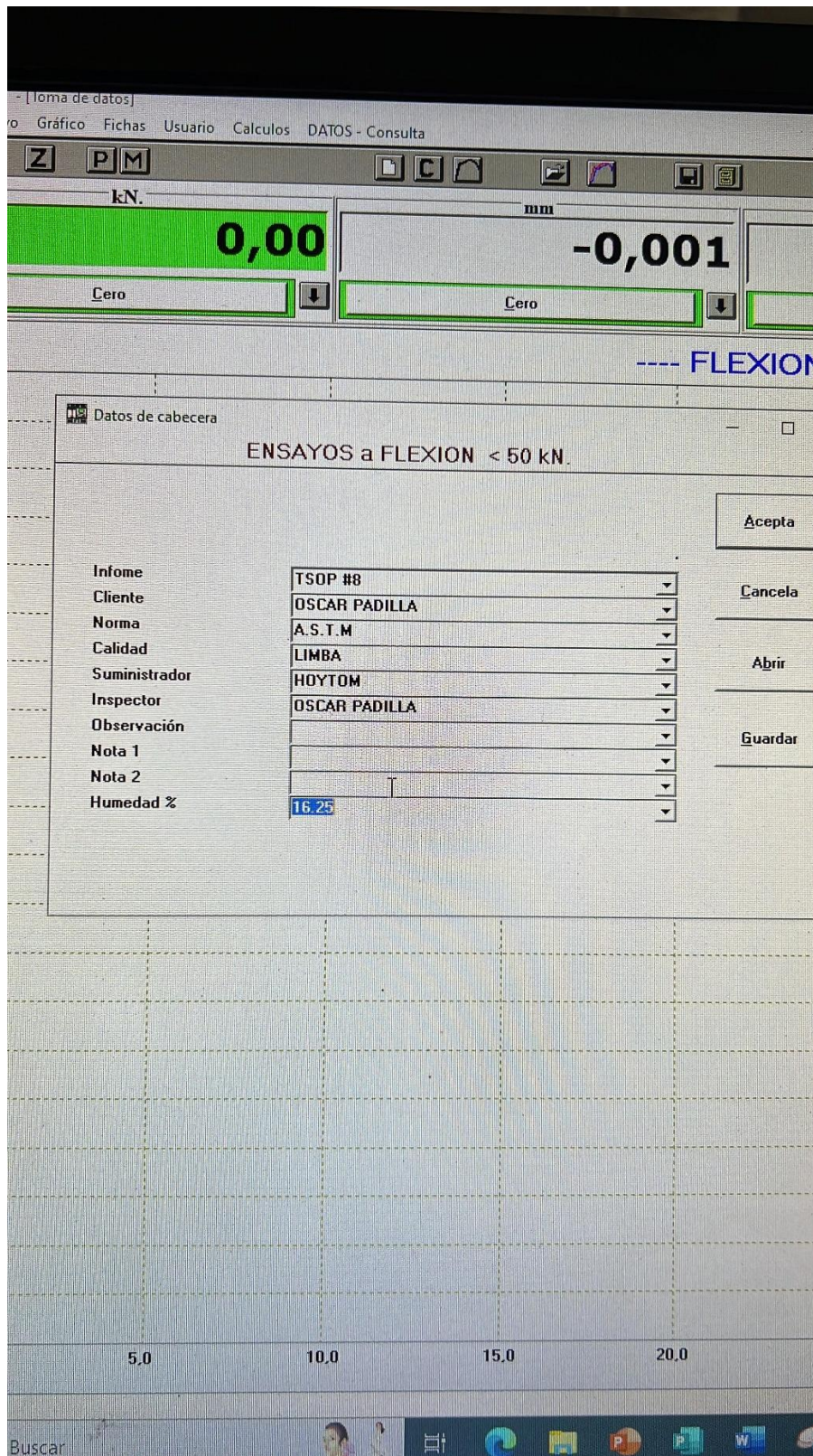
Anexo 5. Prueba de flexión estática en maquina Hoyton



Anexo 6. Probetas identificadas con las iniciales de la especie y numero de probeta



Anexo 7. Captura de formato de flexión estática



Anexo 8. Prueba de compresión perpendicular



Anexo 9. Dimensionado de piezas de madera para pruebas de trabajabilidad



Anexo 10. Cepillado de madera para pruebas de trabajabilidad



Anexo 11. Madera cepillada, dimensionada para la ejecución de probeta



Anexo 12. Colocación de madera en sitio de secado al aire libre**Anexo 13. Traslado de madera de la FHIA**

Anexo 14. Formato de evaluación de la prueba perforación

Perforado LIMBA

Se detecta presencia de fibras, lo que hace que cuando se haga el perforado cueste más trabajo

Probeta	Broca N				
	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo
1	✓		✓		
2	✓		✓		
3	✓		✓		
4	✓		✓		
5	✓		✓		
6	✓		✓		
7	✓		✓		
8	✓		✓		
9	✓		✓		
10			✓		
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

$\frac{1}{2}$ = Regular
 $\frac{3}{4}$ = Regular
 $\frac{7}{8}$ = Regular

Anexo 15. Formato de evaluación de la prueba de clavado

Clavado

Probeta	Sin defectos por clavado	Fisuras más del 50 %	Rajadura abierta
1		✓	
2		○	
3		○	
4		○	
5		○	
6		○	
7		○	
8		○	
9		○	
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			

Pulgada-3 = fisuras más del 50%
 Pulgada-1 = sin defectos
 Pulgada-2 = sin defectos

Anexo 16. Formato de evaluación de prueba de escopleado

1
37.
3.30.4
4.34.72
5.36.1

Rajadura abierta

Levanta pelusa
El escople no es muy uniforme
Debido a la pelusa la boca no
trabaja bien

Prueba de escopleado

Probeta	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo
1			✓		
2			✓		
3			✓		
4			✓		
5			✓		
6			✓		
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

Anexo 17. Formato de evaluación de prueba de cepillado

Cepillado								
Probeta	Estado			Observaciones				
	Excelente	Bueno	Regular	Sin defectos	Levantamiento de fibras (fibras que sobresalen de la superficie)	Astillado	Rugosidad o marcas (ondulaciones, rayas de cuchilla)	Quemaduras (zonas oscurecidas por fricción)
1			✓		✓		✓	
2			✓		✓		✓	
3			✓					
4			✓					
5			✓					
6			✓)'	
7			✓					
8			✓					
9			✓					
10			✓					
11								
12								
13							/'	
14								
15								
16					(
17			'					
18								
19								
20								

Anexo 19. Formato de evaluación de prueba de moldurado

Moldurado

Probeta	Estado			Observaciones		
	Excelente	Bueno	Regular	Astillado en bordes o zonas de curva.	Rebabas o restos de fibras sueltas.	Marcas de la fresa, irregularidades o quemaduras.
1			/		FS	✓
2			/		FS	/
3			/			/
4			/			/
5			/			
6			/			
7			/			
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

Anexo 20. Datos de flexión estática

MOR (kg/cm ²)	σ_{LP} (MPa)	σ_{LP} (kg/cm ²)	MOE máquina (MPa)	MOR_12% (MPa)	σ_{LP} _12% (MPa)	E_12% (MPa)	MOE Kg/cm ²
896.2233034	55.104	561.895488	5115.3	95.3616048	59.78784	5332.70025	52160.7141
408.5782906	62.5824	638.1527328	4614.1	43.4743008	67.901904	4810.19925	47049.9777
806.3200253	47.232	481.624704	4922.6	85.7955504	51.24672	5131.8105	50195.7522
872.1420682	53.136	541.827792	5508	92.7992688	57.65256	5742.09	56165.076
499.6856304	33.456	341.150832	3625.4	53.168472	36.29976	3779.4795	36968.2038
578.7523526	39.36	401.35392	3827.7	61.5814752	42.7056	3990.37725	39031.0569
683.1043718	43.296	441.489312	5396.1	72.6849312	46.97616	5625.43425	55024.0317
578.7523526	41.328	421.421616	3812.8	61.5814752	44.84088	3974.844	38879.1216
624.9080534	38.5728	393.3268416	4108.8	66.4926192	41.851488	4283.424	41897.4336
594.8065094	43.296	441.489312	3654.2	63.2896992	46.97616	3809.5035	37261.8774
642.5676259	41.328	421.421616	4825.1	68.3716656	44.84088	5030.16675	49201.5447
756.5521392	51.168	521.760096	5240.8	80.500056	55.51728	5463.534	53440.4376
775.8171274	55.104	561.895488	5048.1	82.5499248	59.78784	5262.64425	51475.4757
826.7890752	51.168	521.760096	4558.5	87.973536	55.51728	4752.23625	46483.0245
492.8626138	33.456	341.150832	4602.1	52.4424768	36.29976	4797.68925	46927.6137
624.5066995	39.36	401.35392	3947.5	66.4499136	42.7056	4115.26875	40252.6575
575.1401674	31.488	321.083136	4615.1	61.1971248	34.16448	4811.24175	47060.1747
718.4235168	35.424	361.218528	5706.7	76.443024	38.43504	5949.23475	58191.2199
999.3712608	59.04	602.03088	6425.9	106.336944	64.0584	6699.00075	65524.9023
708.3896688	37.392	381.286224	4567.3	75.375384	40.57032	4761.41025	46572.7581
						0	0

Anexo 21. Formato utilizado en la toma de datos de compresión paralela.

σ_{max} (MPa)	σ_{LP} (kgf/cm ²)	σ_{max} (kgf/cm ²)	F1	mm/N	LP Interpolación	Defromacion E (mm/m)	CLP a KG	Area a Cm ²	MOE Kg/cm ²	MOE Mpa
8.93	71.71	91.05	10000	0.000094	5.6415	0.0282853	1753.91	24.46	2535.21	248.62
18.32	121.79	186.84	10000	0.000030	0.83250	0.0041698	3079.54	25.29	29207.73	2864.29
17.40	146.79	177.42	10000	0.000042	4.35	0.02	3650.58	24.87	6729.79	659.96
19.45	160.31	198.38	10000	0.000042	2.36	0.01	4058.47	25.32	13567.62	1330.52
19.33	138.86	197.13	10000	0.000046	3.06	0.02	3538.42	25.48	9067.06	889.17
19.41	159.90	197.95	10000	0.000035	2.12	0.01	4058.47	25.38	15053.68	1476.26
18.18	141.28	185.42	10000	0.000034	1.09	0.01	3538.42	25.05	25875.38	2537.50
17.13	113.97	174.67	10000	0.000031	0.75	0.00	2875.60	25.23	30215.95	2963.16
16.56	146.76	168.90	10000	0.000046	2.53	0.01	3650.58	24.87	11561.34	1133.78
19.58	161.21	199.61	10000	0.000040	2.12	0.01	4058.47	25.17	15167.11	1487.38
19.54	161.11	199.29	10000	0.000035	1.88	0.01	4058.47	25.19	17091.01	1676.05
16.42	159.39	167.40	10000	0.000040	1.98	0.01	4058.47	25.46	16056.09	1574.56
19.65	182.74	200.40	10000	0.000031	2.47	0.01	4578.53	25.05	14722.14	1443.74
19.90	163.97	202.91	10000	0.000033	2.48	0.01	4058.47	24.75	13213.25	1295.77
19.81	142.88	202.00	10000	0.000037	1.46	0.01	3538.42	24.77	19559.87	1918.16
17.97468578	144.8454574	183.2907852	10000	4.1054E-05	2.342199185	0.01173703	3636.987826	25.08946667	15974.88192	1566.59494

Anexo 22. Formado de datos de la prueba de compresión perpendicular

σ_{LP} (kgf/cm ²)	σ_{max} (kgf/cm ²)	F1	mm/N	LP Interpolación	romacion E (mn)	CLP a KG	Area a Cm ²	MOE Kg/cm ²	MOE Mpa
30.51	49.31	10000	0.000025	0.7212	0.0144552	3018.36	98.94	2110.38	206.96
30.52	50.79	10000	0.000041	2.33649	0.0460029	3018.36	98.90	663.45	65.06
38.20	49.94	10000	0.000028	1.37	0.03	3834.13	100.37	1402.82	137.57
30.81	51.25	10000	0.000031	1.64	0.03	3018.36	97.96	940.00	92.18
35.42	50.20	10000	0.000033	1.46	0.03	3538.42	99.91	1198.12	117.50
19.75	50.13	10000	0.000073	1.83	0.04	1978.25	100.17	535.80	52.54
28.43	50.32	10000	0.000043	1.70	0.03	2834.81	99.70	828.06	81.20
34.92	49.48	10000	0.000031	1.38	0.03	3538.42	101.33	1266.32	124.18
34.93	49.57	10000	0.000030	1.74	0.03	3538.42	101.30	1018.87	99.92
28.37	43.76	10000	0.000033	0.80	0.02	2834.81	99.92	1782.85	174.84
28.66	50.15	10000	0.000044	1.52	0.03	2865.40	99.98	926.54	90.86
41.09	50.88	10000	0.000032	2.57	0.05	4058.47	98.77	788.28	77.30
		10000	0.000000	0.00	#DIV/0!	0.00	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!

Anexo 23. Formatos que se emplearon en la toma de datos en pruebas físicas

Saturada fecha:														
Código Probeta	Medidas tang. cm					Medidas rad. cm					Medidas long. cm			Vol. Dimens mm ³
	a	b	c	d	Prom.	1	2	3	4	Prom.	X	Y	Prom.	
TSOP#1	25.93	26.06	26.16	26.23	26.10	26	25.9	26	25.6	25.80	101	100.8	100.78	67840.30
TSOP#2	26.88	26.42	26.42	26.46	26.55	26	26.1	26	25.8	26.00	100	100.3	100.26	69183.14
TSOP#3	26.38	26.55	26.5	26.58	26.50	26	26.3	26	26.5	26.38	99.8	100.3	100.04	69928.30
TSOP#4	25.14	25.01	24.89	24.98	25.01	26	25.9	26	25.8	25.89	99.8	100.4	100.12	64806.14
TSOP#5	26.48	26.5	26.44	26.44	26.47	26	25.8	26	25.8	25.81	100	100.3	100.34	68521.71
TSOP#6	26.29	26.38	26.23	26.1	26.25	26	25.6	26	26.5	25.82	100	100.3	100.36	68021.50
TSOP#7	26.68	26.65	26.58	26.5	26.60	26	26.4	27	26.5	26.44	101	100.6	100.55	70710.49
TSOP#8	26.6	26.64	26.65	26.63	26.63	26	26.3	26	26.1	26.22	101	100.5	100.61	70256.48
TSOP#9	26.06	26.03	25.81	25.8	25.93	26	26.2	26	26.2	26.21	100	100	100.06	67986.80
TSOP#10	26.04	26.13	26.14	26.41	26.18	27	26.5	27	26.4	26.50	100	100	100.06	69408.61
TSOP#11	26.67	26.67	26.62	26.72	26.67	26	26.2	26	26.1	26.12	100	100.1	100.07	69710.80
TSOP#12	26.35	26.36	26.46	26.46	26.41	25.3	25.9	26	26.2	82.67	100	100	100.00	218286.68
TSOP#13	25.83	25.69	25.72	25.85	25.77	26	26.5	27	26.6	26.50	101	100.6	100.54	68668.99
TSOP#14	25.51	25.58	25.66	25.84	25.65	26	25.9	26	26.0	26.01	100	100.4	100.30	66905.94
TSOP#15	26.65	26.67	26.52	26.66	26.63	26	26.2	26	26.2	26.13	101	100.6	100.67	70037.25

Anhidro fecha:														
Código Probeta	Medidas tang. cm					Medidas rad. cm					Medidas long. cm			Dimens mm ³
	a	b	c	d	Prom.	1	2	3	4	Prom.	X	Y	Prom.	
TSOP#1	24.7	24.95	25.05	25.1	24.95	25	25.1	25	25	25.00	100	100.4	100.41	62637.00
TSOP#2	25.51	25.67	25.56	25.69	25.61	25	24.6	25	25	24.60	100	100.1	100.15	63095.35
TSOP#3	25.47	25.46	25.46	25.44	25.46	25	25.4	25	25	25.38	99.3	100.1	99.69	64404.50
TSOP#4	24.05	24.05	24.09	24.09	24.07	25	24.5	25	25	24.58	99.2	99.92	99.56	58894.79
TSOP#5	25.43	25.19	25.16	25.19	25.24	25	25.3	25	25	25.31	100	100.5	100.44	64169.88
TSOP#6	25.58	25.5	25.44	25.4	25.48	25	24.6	25	25	24.61	100	100.3	100.12	62781.53
TSOP#7	26.09	26.09	26.03	25.86	26.02	25	25.5	25	25	25.42	100	100.4	100.32	66348.12
TSOP#8	25.61	25.84	25.74	25.82	25.75	25	25.1	25	25	25.05	100	100.2	100.18	64626.13
TSOP#9	25.07	24.96	24.87	24.81	24.93	25	24.8	25	25	24.82	99.9	99.61	99.76	61721.57
TSOP#10	25.49	25.37	25.51	25.66	25.51	26	25.4	25	25	25.47	99.8	100	99.92	64909.26
TSOP#11	25.25	25.18	25.21	25.18	25.21	25	25.2	25	25	25.16	99.9	99.91	99.89	63333.43
TSOP#12	25.31	25.38	25.44	25.32	25.36	25	24.8	25	25	24.84	99.5	99.73	99.61	62751.60
TSOP#13	24.68	24.61	24.6	24.68	24.64	26	25.7	26	26	25.61	100	99.82	99.95	63074.73
TSOP#14	24.18	24.12	24.08	24.13	24.13	24	25.2	25	25	24.92	100	100.3	100.38	60360.26
TSOP#15	25.02	24.9	24.93	25	24.96	25	24.8	25	25	24.91	99.5	99.89	99.70	61995.04

Seca al aire libre fecha:														
Código Probeta	Medidas tang. cm					Medidas rad. cm					Medidas long. cm			Dimens mm ³
	a	b	c	d	Prom.	1	2	3	4	Prom.	X	Y	Prom.	
TSOP#1	25.43	25.28	25.27	25.19	25.29	26	26	26	27	26.30	101	100.7	100.69	66974.93
TSOP#2	24.79	25.06	24.95	25.31	25.03	26	26.5	27	25	26.02	100	100.3	100.17	65238.53
TSOP#3	24.71	24.91	24.34	24.66	24.66	26	25.8	26	27	26.10	100	99.7	99.93	64298.35
TSOP#4	24.72	24.87	24.48	24.66	24.68	25	25.6	25	25	25.33	100	100.3	100.38	62749.03
TSOP#5	25.57	25.33	25.12	25.76	25.45	26	25.9	26	26	25.85	100	100.4	100.24	65926.81
TSOP#6	24.93	25.06	24.94	25.18	25.03	26	26.3	26	25	26.06	101	100.6	100.64	65623.23
TSOP#7	24.96	25.35	25.48	25.24	25.26	25	25.3	26	26	25.47	101	99.97	100.31	64520.73
TSOP#8	25.41	24.97	25.34	25.35	25.27	25	26.1	26	26	25.85	99.6	99.65	99.61	65045.90
TSOP#9	25.21	24.53	24.5	24.82	24.77	26	26.2	26	25	25.85	100	100.8	100.44	64283.56
TSOP#10	25.54	25.56	24.86	24.49	25.11	26	26.1	26	27	26.14	100	100.4	100.25	65804.90
TSOP#11	25.34	25.38	25.95	25.61	25.57	26	26.2	26	26	25.93	100	100.3	100.23	66461.91
TSOP#12	25.43	25.57	24.73	25.35	25.27	26	26.2	26	26	26.17	99.5	100.1	99.80	65983.41
TSOP#13	25.44	25.32	25.06	24.78	25.15	26	25	26	25	25.41	99	99.25	99.14	63340.90
TSOP#14	25.48	25.33	25.05	25.56	25.36	25	25.9	26	26	25.59	100	101	100.57	65250.04
TSOP#15	23.82	24.39	24.95	24.58	24.44	26	25.7	26	26	25.79	100	100.4	100.21	63137.96

Anexo 24. Cuadro de resultados de las pruebas de PSF

CONTENIDO DE HUMEDAD		PESO ESPECIFICO			Contraccion Total				PUNTO SATURACION FIBRA %	COEFICIENTE CONTRACCION VOLUMETRICO
Cont Hum %	SATURADO	PE g/cm ³			Promedios %					
seco al aire		basico	anhidro	comercial	Tangencial	Radial	Relacion T / R	Volumetrica		
22.368	61.947	0.506	0.519	0.628	4.388	3.082	1.424	61.947	35.009	1.769
17.807	60.539	0.496	0.571	0.587	3.532	5.357	0.659	60.539	25.228	2.400
44.816	74.582	0.399	0.450	0.581	3.943	3.782	1.043	74.582	112.292	0.664
20.353	56.520	0.490	0.546	0.635	3.739	5.060	0.739	56.520	31.808	1.777
26.050	67.445	0.486	0.490	0.641	4.619	1.918	2.408	67.445	42.445	1.589
34.439	69.478	0.419	0.467	0.628	2.933	4.686	0.626	69.478	68.288	1.017
58.526	85.886	0.346	0.370	0.586	2.199	3.840	0.573	85.886	183.725	0.467
43.223	74.322	0.406	0.413	0.651	3.295	4.471	0.737	74.322	103.298	0.719
26.107	65.374	0.481	0.519	0.632	3.848	5.303	0.726	65.374	43.464	1.504
26.809	68.188	0.459	0.481	0.608	2.569	3.887	0.661	68.188	44.179	1.543
29.551	85.556	0.466	0.489	0.756	5.493	3.694	1.487	85.556	45.144	1.895
13.861	23.528	0.548	0.563	0.756	3.957	69.951	0.057	23.528	34.129	0.689
57.143	83.914	0.397	0.406	0.614	4.385	3.368	1.302	83.914	145.244	0.578
38.879	85.125	0.431	0.471	0.582	5.927	4.181	1.417	85.125	81.646	1.043
45.564	79.454	0.407	0.434	0.638	6.244	4.669	1.337	79.454	96.426	0.824
33.700	69.457	0.449	0.479	0.635	4.071	8.483	1.013	69.457	72.822	1.232

Anexo 25. Formato de clasificación de la madera según los resultados de las pruebas físicas

CLASIFICACION DE LA MADAERA EN BASE A LAS PROPIEDADES FISICAS
SEGÚN SANTIAGO VIGNOTE PEÑA Y ISAAC MARTINEZ ROJAS 2006

Clasificación de madera por su densidad

Tipo de densidad	Densidad Kg/m ³	
Ligeras	< 500	menor que
Semiligeras	500 - 599	
Semipesadas	600 - 649	
Pesadas	650 - 799	
Muy pesadas	> 800	mayor que

clasificación de la madera por su contraccion volumetrica según Norma UNE 56.540

Clase de contraccion v.	Cv %	Interpretación
Pequeña	5 a 10	Fendas pequeñas (puede secarse antes del despiece)
Media	10 a 15	Fendas medias (Costruccion)
Gran	15 a 20	Grandes fendas

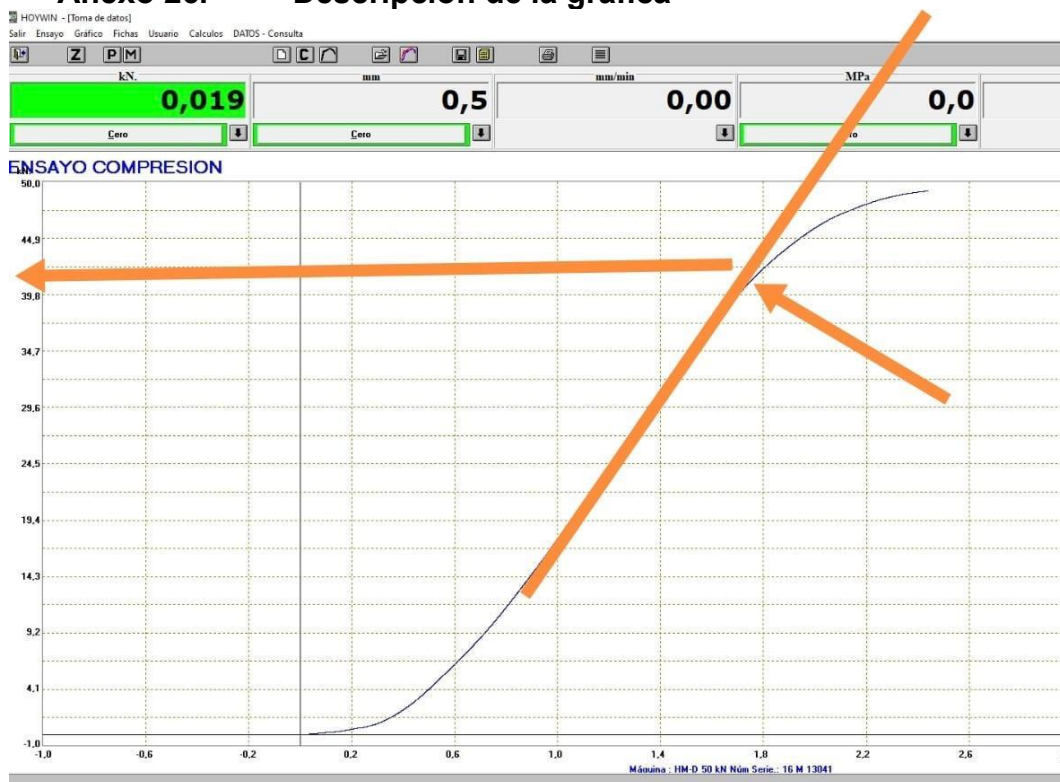
Clasificación de la madera por su coeficiente de contraccion volumetrico
SEGÚN SANTIAGO VIGNOTE PEÑA e ISAAC MARTINEZ ROJAS 2007

clases de maderas	Ccv	Interpretacion
Muy estables	< 0.35	Ebanisteria
Estables	0.35 - 0.45	Carpinteria y muebles
Medianamente nerviosas	0.45 - 0.50	construccion
Nerviosas	0.50 - 0.60	Construccion de despiece radial
Muy Nerviosas	> 0.60	Para medios de humedad constante

Clasificación de la madera por el valor de las relaciones entre contracciones T/R
SEGÚN SANTIAGO VIGNOTE PEÑA e ISAAC MARTINEZ ROJAS 2007

clase de relacion	Valor de R	Interpretacion
Muy pequeña	< 1.5	Muy estable
Pequeña	1.5 - 1.8	Estable
Mediana	1.8 - 2.0	Mediana tendencia a atear
Alta	2.0 - 2.2	Alta tendencia a atear
Muy alta	> 2.2	Muy alta tendencia a atear

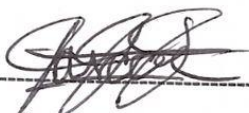
Anexo 26. Descripción de la grafica



DECLARACIÓN

Yo, OSCAR DARIO PADILLA CARDONA, por este medio declaro que este estudio de investigación titulado Determinación de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la madera de la especie *Terminalia superba* Engl. & Diels., en sistemas agroforestales con cacao en La Masica, Atlántida, Honduras ha sido elaborado a través de mi propia iniciativa, y realizando la revisión de literatura de las referencias citadas. Es de mi conocimiento que este estudio de investigación no es un duplicado de ningún trabajo previamente presentado a una universidad, institución o casa de estudios superiores.

Nombre y firma del estudiante: Oscar Darío Padilla Cardona



Lugar y fecha: Siquatepeque, Comayagua 11 de noviembre 2025