

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CIENCIAS FORESTALES
UNACIFOR**

ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES



TESIS DE GRADO

**DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y
DE TRABAJABILIDAD DE LA MADERA DE LA ESPECIE *Guarea grandifolia*
DC. EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO EN LA MASICA,
ATLÁNTIDA, HONDURAS.**

NOMBRE DEL TESISISTA:

DUNIA SOFIA COLINDRES GODOY

ASESOR DE TESIS

ING. JOAQUÍN SÁNCHEZ

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

**DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y
DE TRABAJABILIDAD DE LA MADERA DE LA ESPECIE *Guarea grandifolia*
DC. EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO EN LA MASICA,
ATLÁNTIDA, HONDURAS.**

NOMBRE DEL TESISISTA:

DUNIA SOFIA COLINDRES GODOY

TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN CIENCIAS FORESTALES

APROBADO POR

**ING. JOAQUÍN SÁNCHEZ
ASESOR DE TESIS**

**PH.D. JOSÉ FIDEL ALVARADO SÁNCHEZ
VICERRECTOR ACADÉMICO**



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

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CIENCIAS FORESTALES

UNACIFOR

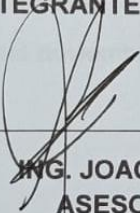
TESIS DE GRADO

DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y DE TRABAJABILIDAD DE LA MADERA DE LA ESPECIE *Guarea grandifolia* DC. EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO EN LA MASICA, ATLÁNTIDA, HONDURAS.

**NOMBRE DEL TESISISTA:
DUNIA SOFIA COLINDRES GODOY**

APROBADO POR

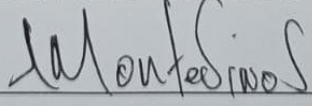
MIEMBROS INTEGRANTES DE LA TERNA EVALUADORA:



**ING. JOAQUIN SANCHEZ
ASESOR DE TESIS**



**LIC. CESAR BERNARDO VÁSQUEZ CALIX
REPRESENTANTE DE LA ESCUELA**



**ING. JOSÉ LUIS MONTESINOS LAGOS
REPRESENTANTE DE LA COMISIÓN DE TESIS**

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

AUTORIZACIÓN

El autor, **Dunia Sofia Colindres Godoy** 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 el permiso por escrito del tesista y del investigador que proporcionó la idea original del tema **Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA)**.

Nombre y firma del estudiante:

Dunia Sofia Colindres Godoy

Lugar y fecha:

Siguetepeque, Comayagua noviembre de 2025

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía constante, por darme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia que han iluminado cada etapa de este largo camino.

A mi mami Consuelo Godoy, a mis bisabuelos Sofia Godoy y Donato Díaz, cuyo legado y amor han sido faros de inspiración en mi vida.

A mi familia por su apoyo incondicional y constante motivación cuya dedicación y amor han sido mi mayor inspiración. Su confianza en mi han sido un pilar fundamental en esta travesía.

AGRADECIMIENTO

A lo largo de este arduo pero gratificante proceso, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a quienes hicieron posible la culminación de esta tesis.

A la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), donde gracias al apoyo del Ing. Oscar Ramírez y su valioso respaldo, a la apertura de la institución para brindar la materia prima necesarias para realizar este tipo de investigación.

A la Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR), por ser el pilar de mi formación académica y por proporcionarme el espacio para desarrollar mis conocimientos con excelencia, de igual forma agradezco al Ing. Joaquín Sánchez por ser mi asesor quien me brindo su apoyo y conocimientos para el desarrollo de esta investigación, así como a la terna evaluadora.

Y un reconocimiento especial a Edwin Flores, Eli Oliva, Elmer Díaz, Milton Discua, Melissa Gudiel, Daniela Hernández, al Ing. Alexis Gálvez y al Ing. Rene Isaí Alberto Salgado, cuya guía, apoyo incondicional y confianza en mí fueron fundamentales en cada etapa de este trabajo. Su motivación y compromiso fueron una fuente constante de inspiración.

A todos, gracias por ser parte de este logro.

RESUMEN

La Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), ha establecido en el municipio de La Masica, departamento de Atlántida, un sistema agroforestal replicado en varias parcelas que están integradas por una especie forestal que es diferente en cada parcela junto con cacao. Siendo la *Guarea grandifolia* DC. “marapolán”, una de las especies establecidas, y con la que se realizó esta investigación.

El objetivo de la investigación fue realizar diferentes pruebas como ser físicas, mecánicas y de trabajabilidad en la especie de *Guarea grandifolia*, para definir cuáles pueden ser los usos potenciales a los que se puede someter.

Como resultado se obtuvo que la madera de la especie *Guarea grandifolia*, procedente de un sistema agroforestal con cacao, posee propiedades físicas que definen a la madera como más densa y robusta, que la reportada de los bosques naturales; lo que puede atribuirse a las condiciones de manejo, edad de los árboles (28 años), fertilización al cultivo de cacao y características del sitio.

En pruebas mecánicas la especie demostró una buena capacidad de carga transversal (732.5 kg/cm² en flexión), excelente resistencia longitudinal (530.26 kg/cm² como resistencia máxima en compresión paralela) y un esfuerzo al límite proporcional (48.09 kg/cm² en compresión perpendicular), lo que la hace apta para ser usada en vigas, columnas, marcos, peldaños y elementos sometidos a impactos o presión localizada.

Con las pruebas de trabajabilidad se encontró que esta madera presenta excelente comportamiento en operaciones de cepillado, moldurado y torneado, con más del 80 % de las probetas clasificadas como “Excelente” en moldurado y torneado. También se obtuvo una buena respuesta en perforado, escopleado y lijado calificados como “Excelente” y “Bueno”.

La madera de la especie *Guarea grandifolia* proveniente de una plantación agroforestal con cacao presentó mejores propiedades físicas, mecánicas y de trabajabilidad que los resultados reportados de madera proveniente de bosques naturales. Su mayor densidad, menor contracción volumétrica y superior resistencia indican una calidad óptima, atribuible al manejo silvicultural dado en la plantación.

Palabras claves: Sistema agroforestal, usos potenciales, límite proporcional, densidad, contracción.

ABSTRACT

The Honduran Agricultural Research Foundation (FHIA) has established an agroforestry system in the municipality of La Masica, department of Atlántida, which has been replicated on several plots. Each plot is composed of a different forest species together with cocoa. *Guarea grandifolia* DC. “marapolán” is one of the established species and was used in this research.

The objective of the research was to carry out different tests, such as physical, mechanical, and workability tests on the *Guarea grandifolia* species, to define its potential uses.

The results showed that the wood of the *Guarea grandifolia* species, originating from an agroforestry system with cacao, has physical properties that define it as denser and more robust than that reported from natural forests, which can be attributed to management conditions, tree age (28 years), fertilization of the cacao crop, and site characteristics.

In mechanical tests, the species demonstrated good transverse load-bearing capacity (732.5 kg/cm² in bending), excellent longitudinal strength (530.26 kg/cm² as maximum strength in parallel compression), and proportional ultimate stress (48.09 kg/cm² in perpendicular compression), making it suitable for use in beams, columns, frames, steps, and elements subjected to impact or localized pressure.

Workability tests showed that this wood performs excellently in planing, molding, and turning operations, with more than 80% of the test pieces classified as “Excellent” in molding and turning. Good results were also obtained in drilling, chiseling, and sanding, which were rated ‘Excellent’ and “Good.”

The wood of the *Guarea grandifolia* species from an agroforestry plantation with cocoa had better physical, mechanical, and workability properties than the results reported for wood from natural forests. Its higher density, lower volumetric

shrinkage, and superior strength indicate optimal quality, attributable to the silvicultural management of the plantation.

Keywords: Agroforestry system, potential uses, proportional limit, density, shrinkage.

ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
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	8
3.3. Conceptos claves	10
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA	13
4.1. Enfoque de la investigación	13
4.2. Alcance de la investigación	13
4.3. Diseño de la investigación	13
4.4. Descripción del área de estudio	13
4.5. Población, muestreo y muestra	17
4.6. Operacionalización / categorización de variables	18
4.7. Procedimientos por objetivo	22
4.7.1. Actividades a desarrollar por objetivo	22
4.7.1.1. Objetivo 1	22
4.7.1.2. Objetivo 2	30
4.7.1.2.1. Ejecución de pruebas mecánicas	30
4.7.1.3. Objetivo 3	33
4.7.1.3.1. Pruebas de trabajabilidad	33
4.7.1.4. Objetivo 4	35

4.7.2. Técnica o instrumentos a usar para recolectar datos	35
4.7.2.1. Objetivo 1	35
4.7.2.2. Objetivo 2	36
4.7.2.3. Objetivo 3	37
4.7.2.4. Objetivo 4	37
4.7.3. Programa a usar para el procesamiento de la información	37
4.7.3.1. Análisis o modelo de interpretación de la información se empleó.....	38
CAPÍTULO V: RESULTADOS	39
5.1. Pruebas físicas	39
5.1.1. Densidad.....	39
5.1.2. Contenido de humedad.....	40
5.1.3. Peso en la madera de la especie <i>Guarea grandifolia</i>	41
5.1.7. Volumen.....	41
5.1.8. Contracción en la madera de la especie <i>Guarea grandifolia</i>	42
5.2. Uso de la madera de la especie <i>Guarea grandifolia</i> de acuerdo con sus propiedades físicas	43
5.3. Pruebas mecánicas	45
5.3.1. Flexión estática	45
5.4. Uso de la madera de la especie <i>Guarea grandifolia</i> de acuerdo con sus propiedades mecánicas	47
5.5. Pruebas de trabajabilidad.....	48
5.5.1. Cepillado.....	48
5.5.2. Lijado	49
5.5.3. Clavado.....	51
5.5.4. Torneado.....	52
5.5.5. Moldurado.....	53
5.5.6. Perforado	53
5.5.7. Escopleado	55
5.6. Uso de la madera de la especie <i>Guarea grandifolia</i> de acuerdo a la trabajabilidad.....	55

5.7. Comparación de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la especie <i>Guarea grandifolia</i> entre investigaciones de bosque natural e información recopilada con madera procedente de una plantación agroforestal	56
5.7.1. Propiedades físicas.....	56
5.7.2. Propiedades mecánicas.....	57
5.7.3. Trabajabilidad	58
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN	60
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
7.1. Conclusiones.....	64
7.2. Recomendaciones.....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXOS.....	71
DECLARACIÓN	82

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Árbol de <i>Guarea grandifolia</i> (Marapolán).....	71
Anexo 2: Sistema agroforestal de cacao con Marapolán (<i>Guarea grandifolia</i>) en La Masica, Atlántida, Honduras	71
Anexo 3: Toma de datos dasométricos a los árboles a aprovechar	72
Anexo 4: Marcación de probetas y sumergidas en agua	72
Anexo 5: Medición y marcación de probetas para pruebas de contracción	73
Anexo 6: Probetas secadas al aire libre.....	73
Anexo 7: Probetas en horno y peso.....	74
Anexo 8: Calculo de volumen mediante principio de Arquímedes	74
Anexo 9: Realizando pruebas mecánicas en la maquina Hoytom	75
Anexo 10: Prueba de flexión en la madera de la especie <i>Guarea grandifolia</i> (Marapolán).....	75
Anexo 11: Gráfica de la prueba mecánica de flexión estática.....	76
Anexo 12: Fallas en flexión estática: 1. Tención astilladas; 2. Tensión horizontal; 3. Tensión por grado cruzado.....	76
Anexo 13: Prueba de compresión perpendicular	77
Anexo 14: Gráfica de prueba mecánica de compresión perpendicular.....	77
Anexo 15: Gráfica de la prueba mecánica de compresión paralela	78
Anexo 16: Prueba de trabajabilidad de escopleado.....	78
Anexo 17: Pruebas de trabajabilidad de torneado	78
Anexo 18: Prueba de trabajabilidad moldurado	79
Anexo 19: Prueba de trabajabilidad perforado.....	79
Anexo 20: Prueba de trabajabilidad clavado y su respuesta a diferentes distancias de clavado.....	79
Anexo 21: Cronograma de actividades	80
Anexo 22: Presupuesto.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación del laboratorio de madera y de la carpintería de la UNACIFOR.....	14
Figura 2: Croquis del Centro Experimental y Demostrativo de Cacao - Jesús Alfonso Sánchez.....	16
Figura 3: Descripción de los lotes establecidos	16
Figura 4: Ubicación del sistema agroforestal de cacao y marapolán	17
Figura 5: Aserrado de la madera de la especie <i>Guarea grandifolia</i>	22
Figura 6: Dimensiones de probetas para pruebas físicas	23
Figura 7: Dimensiones de las probetas de las pruebas de flexión estática.....	30
Figura 8: Tipos de fallas de flexión estática	30
Figura 9: Dimensiones de probetas para pruebas de compresión	32
Figura 10: Dimensiones de probetas para pruebas de lijado	33
Figura 11: Dimensiones de probetas para pruebas de perforado.....	34
Figura 12: Dimensiones de probetas para pruebas de moldurado.....	34
Figura 13: Gráfica de la densidad de la madera de la especie <i>Guarea grandifolia</i>	39
Figura 14: Gráfica del contenido de humedad de la madera de la especie <i>Guarea grandifolia</i>	40
Figura 15: Gráfica de peso en la madera de la especie <i>Guarea grandifolia</i>	41
Figura 16: Gráfica de volumen en la madera de la especie <i>Guarea grandifolia</i>	42
Figura 17: Gráfica de la contracción de la madera de la especie <i>Guarea grandifolia</i>	43
Figura 18: Posibles fallas que se pueden registrar en la prueba de flexión estática.....	45
Figura 19: Fallas en pruebas de flexión estática en la madera de la especie <i>Guarea grandifolia</i>	46
Figura 20: Cepillado en la madera de la especie <i>Guarea grandifolia</i>	48

Figura 21: Hilo encontrado en el cepillado.....	49
Figura 22: Lijado con lija 80.....	50
Figura 23: Lijado con lija 100	50
Figura 24: Lijado con lija 120	50
Figura 25: Clavado con clavos de 1/2"	51
Figura 26: Clavado con clavos de 1"	51
Figura 27: Clavado con clavos de 1 y 1/2".....	52
Figura 28: Torneado en la madera de la especie <i>Guarea grandifolia</i>	52
Figura 29: Moldurado en la madera de la especie <i>Guarea grandifolia</i>	53
Figura 30: Gráfica de perforado con broca de 1/4 pulg.	54
Figura 31: Gráfica de perforado con broca de 3/8 pulg.	54
Figura 32: Gráfica de perforado con broca de 1/8 pulg.	54
Figura 33: Escopleado en la madera de la especie <i>Guarea grandifolia</i>	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades físicas y mecánicas de la madera de marapolán.....	4
Tabla 2: Propiedades mecánicas en condiciones verdes (112 % de contenido de humedad) de la madera de marapolán.	5
Tabla 3: Densidad, trabajabilidad y usos de la madera de marapolán	5
Tabla 4: Propiedades físicas, mecánicas y trabajabilidad de la madera de marapolán.....	6
Tabla 5: Propiedades físicas, mecánicas, trabajabilidad y usos de la madera de marapolán.....	6
Tabla 6: Operacionalización de variables	18
Tabla 7: Uso de la madera <i>Guarea grandifolia</i> de acuerdo con sus propiedades físicas	43
Tabla 8: Datos promedios de flexión estática en la madera de la especie <i>Guarea grandifolia</i>	45
Tabla 9: Promedios de los parámetros evaluados en la prueba de compresión paralela en la madera de la especie <i>Guarea grandifolia</i> (Marapolán).....	46
Tabla 10: Promedios de los parámetros evaluados en la prueba de compresión perpendicular en la madera de la especie <i>Guarea grandifolia</i> (marapolán).....	47
Tabla 11: Cuadro comparativo de las pruebas físicas entre datos de bosque y datos de sistema agroforestal con cacao	58
Tabla 12: Cuadro comparativo de las pruebas mecánicas entre datos de bosque y datos de sistema agroforestal con cacao.....	59
Tabla 13: Cuadro comparativo de las pruebas de trabajabilidad entre datos de bosque y datos de sistema agroforestal con cacao.....	59

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Se estima que la cobertura forestal de Honduras es de alrededor de 6,314,814.59 hectáreas, las cuales se distribuyen de la siguiente manera: en bosque latifoliado con un total de 4,312,771.59 hectáreas, lo que equivale al 68.39 % del bosque total; en bosque de conífera con 1,951,977.87 hectáreas, que equivalen al 30.91 % del bosque total y en bosque de mangle con 50,065.14 hectáreas, que equivalen al 0.59 % del bosque total del país (ICF, 2020).

Sin embargo, Durón (1993), menciona que la creciente tasa de deforestación, causada por la agricultura migratoria, ganadería extensiva y aprovechamientos forestales no controlados, están amenazando el futuro de los bosques. El ICF (2020), calculó que al año se pierde un total de 18,455.80 hectáreas.

Consciente de esta situación el Instituto Nacional de Conservación Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF) implementa acciones y estrategias tendientes a manejar y administrar sustentablemente los bosques. Por lo que se están ejecutando programas y estrategias con las que se busca disminuir la tasa de deforestación.

Entre estas acciones se encuentra la restauración forestal, protección y defensa forestal, manejo comunitario de cuencas y los sistemas agroforestales para el desarrollo comunitario (ICF, 2023).

La FAO, (2011), describe a los sistemas agroforestales como sistemas de producción sostenible que combinan el manejo de suelo, agua y árboles en forma dispersa en el terreno, con diferentes tipos de podas. Los cultivos se manejan mediante prácticas agronómicas, su implementación constituye un factor de reducción del riesgo y de la vulnerabilidad de las familias rurales.

El papel que desempeñan los árboles dentro de los sistemas agroforestales es fundamental, ya que generan bienes y servicios útiles y rentables, lo que representa beneficios para el agricultor. Philip, (2022), menciona que entre estos bienes y servicios que generan los árboles dentro de los sistemas

agroforestales están la mejora en la fertilidad del suelo, la regulación del agua, sirven como fuente de alimentos, también está la generación de leña y madera siendo este último el que representa mayor interés ya que es una fuente de ingresos económicos muy importante.

Por lo mencionado anteriormente, que la madera es de mucho interés ya que es la materia prima para muchas industrias y es usada por toda la población, es por este motivo que Nutsch, (2000), menciona que se deben realizar estudios de las propiedades físicas y mecánicas en la madera para determinar ciertas características y uso de la misma.

Para Telles *et al*, (2017), la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera sirve como parámetros para así asignar los usos más adecuados a cada especie, también estas propiedades son usadas como índices para evaluar si las características o calidad de una madera son adecuadas para un uso particular.

La Fundación Hondureña de Investigación Agrícola en adelante FHIA, ha establecido en el municipio de La Masica, departamento de Atlántida, un sistema agroforestal replicado en varias parcelas las que están integradas por una especie forestal que es diferente en cada parcela junto con cacao. Siendo la *Guarea grandifolia* DC. “marapolán”, una de las especies establecidas, y con la que se trabajó en esta investigación.

El objetivo del trabajo realizado en la especie de *Guarea grandifolia* fue conocer la calidad de la madera ejecutando diferentes pruebas para determinar las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad que posee esta especie y de esta manera definir cuáles pueden ser los usos potenciales a los que se puede someter esta madera.

También con este estudio se comprobó si existen diferencias entre los registros de otras investigaciones realizadas tiempo atrás, en comparación con la madera procedente de un sistema agroforestal con cacao. Por lo tanto, conocer las propiedades físico-mecánicas de la madera de la especie *Guarea grandifolia*, permitirá tomar decisiones basadas en los estudios realizados en esta madera.

CAPÍTULO II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

2.1.1. Determinar y analizar las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la madera de la especie *Guarea grandifolia* en sistemas agroforestales con cacao en La Masica, Atlántida, Honduras.

2.2. Objetivos específicos

2.2.1 Determinar las propiedades físicas en la madera de la especie *Guarea grandifolia* procedente de una plantación agroforestal.

2.2.2 Evaluar las propiedades mecánicas en la madera de la especie *Guarea grandifolia* procedente de una plantación agroforestal.

2.2.3 Realizar pruebas de trabajabilidad de la madera *Guarea grandifolia* para identificar los usos potenciales de esta madera.

2.2.4 Comparar las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la especie *Guarea grandifolia* entre investigaciones de bosque natural e información recopilada con madera procedente de una plantación agroforestal.

CAPÍTULO III: REVISIÓN DE LA LITERATURA

3.1. Antecedentes

Algunas de las investigaciones que se han realizado sobre este tema y para la especie *Guarea grandifolia* son las siguientes.

El Centro de Utilización y Promoción de Productos Forestales (CUPROFOR), realizó diversos informes técnicos de especies forestales donde se estudiaron las propiedades y usos que se le pueden dar a la madera de las especies de interés económico para el país, siendo en el informe técnico No. 5 donde se tratan las propiedades y usos de la madera de *Guarea grandifolia* donde se registró la siguiente información (ver tabla 1).

Tabla 1: Propiedades físicas y mecánicas de la madera de marapolán

Propiedades físicas de la madera de <i>Guarea grandifolia</i>			
Propiedad	Promedio	Margen de error	Clasificación
Densidad verde C.H.= 112 %	1.17 g/cm ³	0.01	
Densidad seca al aire C.H.= 15.98 %	0.68 g/cm ³	0.08	
Densidad al 12 %	0.67 g/cm ³	0.02	
Densidad anhidra	0.64 g/cm ³	0.07	
Densidad básica	0.56 g/cm ³	0.05	Pesada
Contracción volumétrica total	12.10%	1.67	Alta
CTg. Seca al aire C.H= 15.98 %	3.79%	0.94	
Cr. Seca al aire C.H= 15.98 %	1.52%	0.23	
Contracción tangencial al 12 %	5.61%	0.87	
Contracción radial al 12 %	2.60%	0.44	
Contracción tangencial anhidra (Ctg.)	8.77%	1.36	Muy alta
Contracción radial anhidra (Ctg.)	4.06%	0.69	Alta
Relación de contracción (Ctg. / Cr.)	2.18%	0.18	Alta
Punto de saturación de fibras	28.30%		
Coef. de contracción tangencial	0.32	0.05	Bajo
Coef. de contracción radial	0.15	0.02	Bajo
Movimiento tangencial	1.26%		
Movimiento radial	0.69%		
Movimiento	1.95%	0.24	Bajo

Fuente: (CUPROFOR, 1999)

Tabla 2: *Propiedades mecánicas en condiciones verdes (112 % de contenido de humedad) de la madera de marapolán.*

Propiedades mecánicas en condiciones verdes (112 % de contenido de humedad) de la madera de marapolán				
Propiedad	Medición	Promedio	Desviación estándar	Margen de error
Flexión estática	Módulo de rotura	639.79 kg/cm ²	128.88	50.99
	Módulo de elasticidad	93025 kg/cm ²	22505.96	8905
Compresión paralela	Resistencia máxima	348.4 kg/cm ²	63.56	25.15
Compresión perpendicular	Esfuerzo límite proporcional	46.13 kg/cm ²	6.07	3.66
Dureza janka	Resistencia lateral	500 kg	91.7	25.53
	Resistencia extremos	511 kg	60.1	24.81
Extracción de clavos	Resistencia lateral	118.16 kg	32	9.4
	Resistencia extremos	74.37 kg	15	7.23
Cizalle	Resistencia máxima	62.23 kg/cm ²	14.62	7.27
Tensión perpendicular	Resistencia máxima	38.68 kg/cm ²	8.06	4.43
Clivaje	Resistencia máxima	58.92 kg/cm	10.26	4.25

Fuente: (CUPROFOR, 1999)

En el proyecto PROECEN se realizó el estudio sobre el crecimiento de especies nativas de interés comercial en Honduras en donde se estudió la especie *Guarea grandifolia* donde se registraron los siguientes datos (ver tabla 3).

Tabla 3: *Densidad, trabajabilidad y usos de la madera de marapolán*

Densidad	0.56 g/cm ³ (pesada)
Trabajabilidad	Fácil de aserrar y trabajar.
Usos	Muebles, carpintería fina, trabajos de gabinetes, decoración de interiores, chapas y contrachapados, tornería, instrumentos musicales, puertas y ventanas, armería.

Fuente: (PROECEN, 1999)

Montecinos y Benítez, (1998), realizaron un catálogo de cien especies forestales de Honduras, en donde establecen mediante pruebas y recopilación de literatura las propiedades físico-mecánicas de estas 100 especies, siendo una

de ellas la especie *Guarea grandifolia*. En el siguiente cuadro se encuentran los datos encontrados en este catálogo (ver tabla 4).

Tabla 4: Propiedades físicas, mecánicas y trabajabilidad de la madera de marapolán

Propiedades físicas	
Gravedad específica	0.46 gr/cm ³
Contracción Tangencial	7.00%
Contracción radial total	3.40%
Relación contracción tangencial/radial	2.1
Contracción volumétrica	11.20%
Propiedades Mecánicas	
Flexión estática (verde y al 12% de humedad)	
Esfuerzo máximo	288 y 44 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	84.51 x 10 ³ x 98.59 x 10 ³ y 98.59 x 10 ³ kg/cm ²
Dureza Janka	Lateral 423 y 364 kg.
Trabajabilidad: Es fácil de aserrar, tiende a rasgarse y desmenuzarse cuando se trabaja con taladro. Para chapa se necesitan cuchillas de buena calidad y bien afilada.	

Fuente: (Montecinos y Benítez, 1998)

Así mismo, Santiago Vignote Peña de la Universidad Politécnica de Madrid realizó un catálogo de 45 especie siendo las principales maderas tropicales utilizadas en España, donde se identificaron las características, tecnología y aplicaciones de cada especie. Entre estas especies se encuentra la especie *Guarea grandifolia*, también conocida como marapolán, cabe mencionar que esta especie es conocida como chinchon en España. En su descripción se han identificado las propiedades físico-mecánicas de *Guarea grandifolia* (ver tabla 5).

Tabla 5: Propiedades físicas, mecánicas, trabajabilidad y usos de la madera de marapolán

Características tecnológicas		
Físicas		
Relación contracción tangencial/radial	Favorable	1.5
Contracción volumétrica	Moderadas	11.20%
Peso específico normal		0.51
Densidad anhidra		0.57 gr/cm ³
Mecánicas		
Dureza Janka (al 12 % de humedad) (kg):		

Extremos	Algo mediana	558
Lateral	Algo mediana	376
Trabajabilidad	Usos	
Aserrado fácil, seca al aire con velocidad moderada, con defectos moderados principalmente grietas y abarquillamiento, y presenta buenos acabados.	Puede utilizarse en elementos de construcción que soporten cargas medianas a pesadas, ebanistería, marcos para puertas, ventanas y molduras; chapas decorativas. Muebles finos. Cajas de empaque, aserrío, artículos torneados, decoración de interiores, construcción de barcos, ensambles, carpintería en general.	

Fuente: (Peña, 2014)

3.2. Bases teóricas

3.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

3.2.2. Descripción taxonómica de la especie *Guarea grandifolia* DC.

3.2.3. Nomenclatura

Nombre científico: *Guarea grandifolia* DC.

Nombres comunes: Marapolán, totocoy, carbón, chincho, bejuco, pronto alivio.

Familia: MELIACEAE

Género: *Guarea*

Especie: *grandifolia*

3.2.4. Descripción botánica

Árbol que alcanza los 20 m de altura, ocasionalmente mayor, de 50 a 60 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP). Troza recta, cilíndricas, base cónica, con gambas ligeramente alargadas. Corteza color blancuzco-gris, áspera, fisurada longitudinalmente. Hojas compuestas, alternas, paripinnadas, hojuelas oblongas y coriáceas. Inflorescencia en panículas axilares de color amarillento y pequeñas, y frutos en capsulas subglobulosas a obovoides (CUPROFOR, 1999).

3.2.5. Distribución geográfica

Se distribuye desde el sur de México, Belice, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Costa Rica, en Sur América en Brasil y Argentina, también en las Antillas. En Honduras crece en elevaciones bajas a medias, hasta los 700 msnm, tanto en bosques húmedos como muy húmedos, y se le reporta en los departamentos de Olancho, Comayagua, Colón, Atlántida, Cortés y Yoro

3.2.6. Características de la madera

Ligera diferencia entre albura y duramen; el duramen es color castaño rojizo, muy similar al cedro y la caoba, pero con una cubierta rosada más

pronunciada, la albura es amarillenta y no siempre demarcada del duramen. En condiciones secas no presenta olor ni sabor característico, recién cortada es aromática; hilo recto a inclinado, textura de fina a mediana, brillo mediano y vetado liso (Montecinos & Benítez, 1998).

3.2.7. Bases teóricas de la investigación sobre las propiedades físicas, mecánicas y de trabajabilidad en la madera de la especie *Guarea grandifolia*

Según la Norma IRAM No 9502, define a la madera como un material de estructura compleja y de carácter anisótropo que forma el tejido leñoso (Suirezs & Berger, 2009).

De acuerdo a Umlandt. et al., (2022), la madera al ser un material heterogéneo y anisotrópico sus propiedades varían de acuerdo con la sección o plano analizado. Porque para realizar estudios para determinar el comportamiento y los usos que se le pueden brindar a la madera se consideran tres planos de corte los que son el corte transversal, corte radial y corte tangencial.

Según lo planteado por CUPROFOR (1999), al analizar las propiedades físicas de la madera, es posible comprender cual es el comportamiento de la madera ante los factores que intervienen en el medio ambiente, sin que este actúe química ni mecánicamente en su estructura interna.

Determinar parámetros como el peso específico permitirá clasificar la madera, siendo la *Guarea grandifolia*, considerada una madera pesada, tipo de madera clasificada como las más resistentes, elásticas y duras (Suirezs & Berger, 2009).

En los estudios realizados por PROECEN, (1999), se definió que la densidad y la contracción permite determinar que usos se le pueden dar a la madera, en el caso de la madera de la especie *Guarea grandifolia*, la densidad varía en esta especie de acuerdo con el contenido de humedad, lo que influye

directamente en su peso y resistencia. Por otro lado, la contracción volumétrica y tangencial indican como se comportará la madera en el proceso de secado.

Según CUPROFOR (1999), las propiedades mecánicas indican cual es el comportamiento y la resistencia que ofrece la madera al ser sometida por fuerzas exteriores. Como la flexión estática, la compresión y la dureza son cruciales estudiar ya que permiten evaluar la capacidad de la madera para soportar cargas y resistir deformaciones. El módulo de elasticidad y el módulo de rotura son parámetros importantes que indican la rigidez y la resistencia de la madera bajo esfuerzos de flexión.

De acuerdo con los estudios realizados por PROECEN, (1999), la especie *Guarea grandifolia*, presenta una madera que es fácil de trabajar, y tiene una densidad alta y una buena resistencia mecánica lo que la hace ideal para ser usada en aplicaciones estructurales y decorativas.

3.3. Conceptos claves

3.3.1. Madera

Aguilar & Guzowski, (2011), consideran como madera a todo material que forma parte del tronco, rama y las raíces de un árbol. Por otro lado, Vargas, (1987), define a la madera como 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.

3.3.2. Propiedades físicas de la madera

Para Winandy, (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”.

Cámara, (2017), define a las propiedades físicas de la madera como el conjunto de propiedades que caracteriza el comportamiento físico de la madera.

Para Suirezs & Berger, (2009), proponen que para determinar las propiedades físicas de una especie se deben realizar diferentes pruebas entre las que se pueden 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.

3.3.3. Propiedades mecánicas de la madera

Campos, (2015), define a las propiedades mecánicas 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.

Para Suirezs y Berger, (2009), las propiedades mecánicas en la madera son los comportamientos y las resistencias que ofrecen al ser sometidas por fuerzas exteriores.

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

3.3.4. 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 (Benitez y Montesinos, 1998).

Las normas ASTM brindan una escala de clasificación de las pruebas de trabajabilidad la escala va en orden numérico el que va de 1 a 5, siendo el número 1 que clasifica la trabajabilidad como excelente; el 2 le da el valor de Muy bueno;

el 3 con un valor de Bueno; el numero 4 el valor es Regular y el 5 el valor es como Malo (FHIA, 2023).

3.3.5. Sistema agroforestal

Philip, (2022), menciona que 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.

La FAO, (2022) sugiere que estos sistemas incrementan el rendimiento de los cultivos al tiempo que mantiene sus servicios ecosistémicos de regulación y conservación del medio.

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 entro otros usos (ASTM, 2016).

3.3.7. FHIA

Fundación Hondureña de Investigación Agrícola es una organización privada, sin fines de lucro, que se dedica a la generación, validación y a la transferencia de tecnologías para cultivos tradicionales y no tradicionales para mercado tanto interno como externa (FHIA, 2022).

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

4.1. Enfoque de la investigación

Según Hernández Sampieri y Fernández-Collado, (2014), el enfoque de la investigación fue mixto debido a que combinó elementos de los enfoques cuantitativo y cualitativo. Esto porque el enfoque busca aprovechar las fortalezas de ambos métodos para obtener una comprensión más completa de los fenómenos estudiados. Por un lado, el enfoque cuantitativo se centró en la medición y el análisis estadístico, mientras que el cualitativo explora las experiencias y perspectivas subjetivas.

4.2. Alcance de la investigación

El estudio fue de tipo descriptivo, pues se observó el comportamiento que tomó la madera de *Guarea grandifolia*, para conocer sus propiedades físicas, mecánicas y de trabajabilidad, no se empleó la manipulación de las variables.

4.3. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación fue no experimental, pues se ejecutaron distintas pruebas con la madera de *Guarea grandifolia*, para conocer sus propiedades físicas, mecánicas y trabajabilidad, no se empleó la manipulación de las variables.

4.4. Descripción del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de maderas de la Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR), ubicado en el municipio de Siguatepeque, departamento de Comayagua. Este laboratorio estaba equipado con la maquinaria necesaria para realizar la mayoría de las pruebas físicas y mecánicas de la madera de *Guarea grandifolia*.

No obstante, es importante señalar que debido al uso continuo y los años de servicios algunos de los equipos y maquinas del laboratorio de madera presenta deficiencias que pudieron afectar su desempeño. Por esta razón, las pruebas se limitaron a aquellas para las cuales la maquinaria pudo garantizar resultados confiables, y asegurar la validez y precisión de los datos que se obtuvieron.

Las pruebas de trabajabilidad se realizaron en la carpintería de la UNACIFOR, donde tienen todas las máquinas y herramientas necesarias para hacer estas pruebas.

Figura 1: Mapa de ubicación del Laboratorio de Madera y de la Carpintería de la UNACIFOR



Fuente: elaboración propia

El material de estudio provino de plantaciones agroforestales de la FHIA, las cuales se encuentran establecidas en el municipio de La Masica,

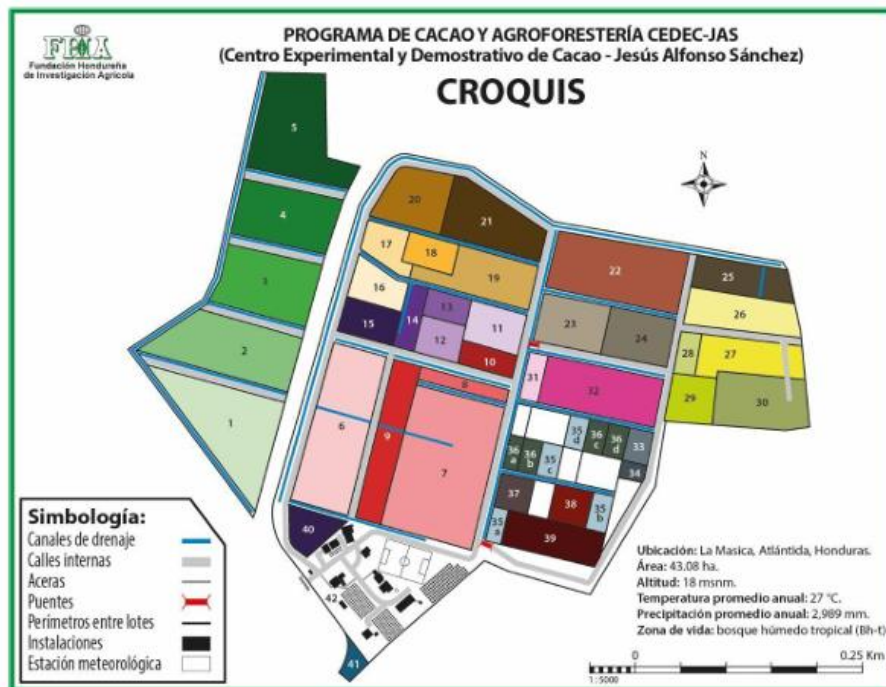
departamento de Atlántida, Honduras. La parcela de cacao junto con el marapolán, fueron establecidas en 1997 con el fin de comparar el desarrollo de la especie forestal asociado con cacao en suelos de ladera, esto para poder dar recomendaciones a los productores de la zona. En el año 2022 se realizaron algunas actividades para mejorar las condiciones de crecimiento del cacao y también del marapolán (FHIA, 2022).

En el Informe Técnico de la FHIA (2022), se registraron las actividades que se realizaron en la parcela de marapolán y cacao, entre las actividades realizadas fueron: control de maleza, podas de saneamiento, la cosecha y extracción del cacao, podas de mantenimiento en el cacao, fertilización química, así como la aplicación de cal dolomita y se hizo el inventario del marapolán. Con la aplicación de fertilizantes y de cal dolomita se vieron beneficiados los árboles maderables ya que están dentro de la misma parcela. El inventario levantado en el año 2022 de los árboles de marapolán se encontró la siguiente información: edad 28 años, un diámetro a la altura del pecho (DAP en cm) de 34 cm, una altura promedio de 23 m.

También cabe mencionar las condiciones atmosféricas que se registraron en el Centro Experimental y Demostrativo de Cacao – Jesús Alfonzo Sanches (CEDEC - JAS FHIA), ubicado en La Masica, Atlántida. Donde se tiene una altitud de 200 msnm, una temperatura promedio de 27.4 °C, la precipitación promedio anual es de 3118.7 mm; y su ecosistema es de bosque húmedo tropical (FHIA, 2023).

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 2: Croquis del Centro Experimental y Demostrativo de Cacao - Jesús Alfonso Sánchez



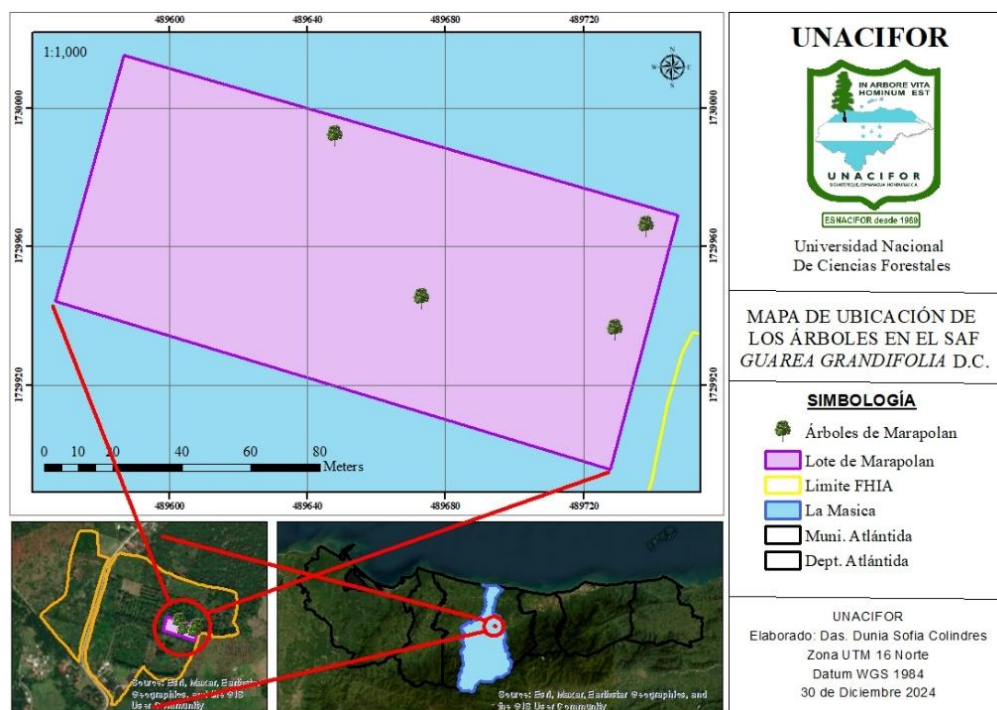
Fuente: Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA, 2022).

Figura 3: Descripción de los lotes establecidos

Descripción de lotes establecidos			
No.	Descripción	No.	Descripción
1	Banco de yemas/renovación de copas 1 A/asociado con macuelzo 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 cultivos internacionales. Lote 12 A/cumbillo, acetuno 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 acetuno	33	Lote de evaluación de 6 cruza promisorias con paleta
10	Lote monoclinal ICS-1 A.C./renovación de copas/asociado con hormigo	34	Lote criollos de La Mosquitia con paleta
11	Germoplasma EET's asociado con hormigo	35 a	Repetición A/ensayo 18 cultivos/asociado con granadillo rojo
12	Ensayo policlones CATIE/asociado con arenillo y maria	35 b	Repetición B/ensayo 18 cultivos/asociado con granadillo rojo
13	Progenies colombianas de FEDECACAO/arenillo y maria	35 c	Repetición C/ensayo 18 cultivos/asociado con granadillo rojo
14	Lote clones/semillas/patrón/renovación de copas/asociado con maria	35 d	Repetición D/ensayo 18 cultivos/asociado con granadillo rojo
15	Lote comercial CCN-51/asociado con narra	36 a	Repetición A/ensayo 12 cultivos asociado con guama y caoba
16	Clones EET's /renovación Turrialba/asociado con guapinol	36 b	Repetición B/ensayo 12 cultivos asociado con guama y caoba
17	Lote comercial/asociado con almendro de río	36 c	Repetición C/ensayo 12 cultivos asociado con guama y caoba
18	Colección variedades de rambután	36 d	Repetición D/ensayo 12 cultivos asociado con guama y caoba
19	Evaluación de progenies interclonales/asociado con sombra de temero	37	Evaluación de cruza inter-compatibles/asociado con guama y caoba
20	Lote cacao comercial/asociado con rambután	38	SAF: plátano-madreado-caoba y cultivos 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/borojo
24	Banco madre policlones CATIE/asociado con ciruelillo, cañamito y tempisque	42	Plantel: oficinas, laboratorios, bodega, beneficio, aserradero, viveros, cancha, etc.

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

Figura 4: Ubicación del sistema agroforestal de cacao y marapolán (*Guarea grandifolia*)



Fuente: elaboración propia

4.5. Población, muestreo y muestra

En esta investigación la cantidad de árboles que se utilizaron fue de cuatro árboles, esto porque fue la cantidad que brindó la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA).

La cantidad de probetas que se elaboraron fue de 30 probetas por cada prueba, siendo las pruebas físicas, mecánicas y de trabajabilidad en la madera de la especie *Guarea grandifolia* el total de pruebas que se realizaron fueron 2 pruebas mecánicas, 5 pruebas físicas y 2 pruebas mecánicas, este número de pruebas se dio teniendo como base investigaciones anteriores que se realizaron en conjunto la UNACIFOR y la FHIA donde se desarrollaron las pruebas en el laboratorio de madera. Estas probetas se realizaron siguiendo las especificaciones establecidas por las normas ASTM.

4.6. Operacionalización / categorización de variables

Tabla 6: Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Subdimensión	Indicadores	Escala de medición
Propiedades físicas	Son características cuantitativas que proporcionan información sobre el comportamiento de la madera contra las influencias ambientales (incluyendo las fuerzas externas aplicadas).	Medición cuantitativa específica que se utilizará para evaluar y describir como la madera reacciona a diversas condiciones ambientales y fuerzas externas.	Densidad		Peso y volumen	g/cm ³
			Contenido de humedad		Peso saturado (gr); Peso anhidro (gr). Peso a un % de contenido de humedad	Peso saturado (gr), Peso anhidro (gr) Peso a un % de cont. de humedad (gr o kg)
			Peso específico normal		Volumen a un % de contenido de humedad.	Volumen a un % de cont. de humedad (cm ³)
			Peso Básico		Peso a 0% del contenido de humedad Volumen saturado al PSF	Peso a 0% del cont. de humedad (gr) Volumen saturado de la probeta al PSF (cm ³)
			Peso específico comercial		Peso de la probeta en condición seca al aire Volumen de la probeta en condición seca al aire	gr/cm ³
			Volumen		Determinación de volumen por inmersión	Volumen a 0 cm ³

Propiedades mecánicas	Son los comportamientos y las resistencias que ofrece la madera al ser sometida por fuerzas exteriores.	Medición y evaluación de las respuestas de la madera a diferentes pruebas externas	Porosidad		Densidad anhidra.	Peso (gr) Volumen (cm ³)
			Contracción radial		Dimensión radial de la probeta saturada Dimensión radial de la probeta anhidra	Diámetro de la probeta saturada, Diámetro de la muestra en estado anhidro
			Contracción tangencial		Dimensión tangencial de la probeta saturada Dimensión tangencial de la probeta anhidra	Longitud de la probeta saturada y anhidra
			Contracción volumétrica total		Volumen saturado de la probeta Volumen anhidro de la probeta	Volumen satura de la probeta Volumen anhidro de la probeta
			Punto de saturación de las fibras		CVT, CHSA, CvSA	%
			Flexión estática	Esfuerzo de la fibra al límite proporcional	Carga aplicada al límite proporcional Ancho de la probeta Altura de la probeta Luz del ensayo	La carga aplicada (N); Ancho y altura de probeta (mm)

		aplicadas sobre ella.							
					Módulo de ruptura	Carga máxima sostenida por la viga al momento de la falla Ancho de la probeta Altura de la probeta Luz del ensayo		La Carga máx. en Newtons (N) Dimensiones de la probeta (mm)	
					Esfuerzo de las fibras al límite proporcional de la compresión paralela.	Carga aplicada al límite proporcional Área de la sección cruzada			
				Compresión paralela a las fibras	Módulo de ruptura	Incremento de la aplicación de la carga bajo el límite proporcional Carga aplicada al límite proporcional		Carga aplicada (N); Área de sección (mm)	
					Módulo de elasticidad	Área de la sección cruzada			
Trabajabilidad	Conjunto de características y propiedades que presenta una madera determinada, al ser expuesta al trabajo	Evaluación cualitativa de la respuesta de la madera determinada cuando es sometida a	Cepillado					Excelente (sin grano triturado o levantado); Bueno (Ligero grano levantado); Deficiente (Grano triturado y rajado)	

manual o a la acción de herramientas eléctricas o manuales.	procesos de trabajo manual o herramientas eléctricas o manuales	Lijado	Condición de la superficie longitud.	Grano levantado, triturado y rajado Sin defectos por clavado
		Clavado	Porcentaje de rajadura.	Fisura más del 50 % Rajadura abierta
		Torneado	Condición de la superficie. Grano levantado, triturado y rajado	Excelente (sin defectos visibles); Bueno (mínimas imperfecciones); Deficiente (imperfecciones marcadas)
		Moldurado	Grano levantado, triturado, rasgado y astillado	Excelente (sin defectos visibles); Bueno (perfil aceptable); Deficiente (perfil irregular)
		Perforado	Velocidad variable	Excelente (sin astillado o rajado); Bueno (Mínimo grano levantado); Deficiente (Rasgado y astillado)
		Escopleado	Grano triturado.	Excelente, Bueno, Deficiente

Fuente: elaboración propia

4.7. Procedimientos por objetivo

4.7.1. Actividades a desarrollar por objetivo

4.7.1.1. Objetivo 1

4.7.1.1.1. Extracción y aserrado de la madera

Para hacer la extracción de la madera se accedió al sitio en donde se encuentra la plantación agroforestal, y con ayuda de una motosierra se cortaron los cuatro árboles que se usaron para sacar la madera a ocupar en la investigación. Una vez que se cortaron los árboles estos se llevaron al aserradero que se encuentra ubicado en las instalaciones la FHIA en La Masica, Atlántida, donde se aserró la madera en tablas con las siguientes especificaciones:

La fibra alineada al eje longitudinal y lo más paralelo posible a los lados de las tablas, debe tener dos pulgadas de grosor con sobremedida, seis pulgadas de ancho y ocho pies de largo.

Figura 5: *Aserrado de la madera de la especie Guarea grandifolia*



Fuente: elaboración propia

4.7.1.1.2. Transporte y secado de la madera

La madera se trasladó desde la FHIA ubicada en La Masica, Atlántida, hasta las instalaciones del aserradero de la Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR) ubicado en Siguatepeque, Comayagua, siendo en este último lugar donde la madera se colocó para que se secase bajo techo.

Las tablas se colocaron con reglas de separación entre capas y las tablas de una capa tenía una pulgada de separación entre ellas. Cada estiba de madera

fue hecha por grosores, anchos y largos iguales, además todas las tablas fueron etiquetadas haciendo uso de un marcador, con claves donde tenía las iniciales de la especie y del nombre del tesista, así como las dimensiones de cada tabla las cuales no tuvieron contacto directo con el suelo.

4.7.1.1.3. Elaboración de probetas

Las probetas para las pruebas físicas y mecánicas se hicieron en estado verde, las cuales se elaboraron siguiendo las especificaciones establecidas por las normas ASTM, las cuales indican que se deben realizar 30 probetas por cada una de las pruebas a realizar.

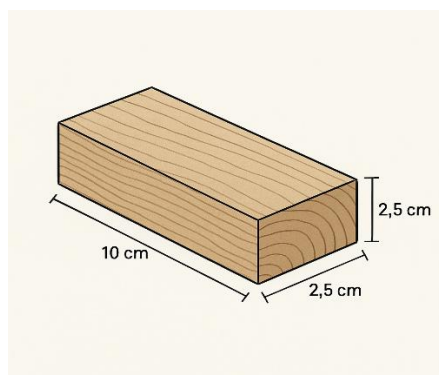
4.7.1.1.4. Ejecución de pruebas físicas

Nota: Las fórmulas usadas para calcular cada prueba fueron tomadas de Perdomo, (2023), quien realizó su proyecto de tesis en esta misma línea de investigación.

4.7.1.1.4.1. Preparación de probetas

Las probetas fueron elaboradas en una carpintería, donde los cortes fueron dos en las caras tangenciales paralela a los anillos y los otros en la cara radial. Con las dimensiones especificadas en las normas ASTM, las cuales fueron de 2.5. cm de espesor de cada lado y una longitud de 10 cm.

Figura 6: Dimensiones de probetas para pruebas físicas



Fuente: elaboración propia

4.7.1.1.4.2. Densidad

4.7.1.1.4.2.1. Obtención de la densidad saturada

Fórmula 1. Densidad Saturada

$$D_s = \frac{P_s}{V_s}$$

Donde:

D_s = densidad saturada (gr/cm³)

P_s = peso de la muestra saturada (gr)

V_s = volumen de la muestra saturada (cm³)

4.7.1.1.4.2.2. Obtención de densidad normal o peso específico al aire libre

Formula 2. Densidad normal o peso específico seco al aire libre

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

Donde:

P_n = densidad normal

P_{CH} = peso a un % de contenido de humedad

V_{CH} = volumen a un % de contenido de humedad

Nota: Cuando la humedad es del 12% se llama densidad normal.

4.7.1.1.4.2.3. Obtención de densidad básica

Formula 3. Densidad básica

$$W_e(o,s) = \frac{P_o}{V_s}$$

Donde:

$W_e(o,s)$ = peso básico

P_o = peso a 0% del contenido de humedad

V_s = volumen saturado al PSF

4.7.1.1.4.2.4. Obtención de la densidad comercial

Formula 4. Densidad comercial

$$S_c = \frac{KF sa}{V sa}$$

Donde:

Sc= densidad comercial (gr/cm3)

Fsa = peso de la probeta en condición seca al aire (gr)

Vsa = volumen de la probeta en condición seca al aire (cm3)

4.7.1.1.4.2.5. Determinación de la densidad anhidra

Para realizar la medición de esta propiedad se necesitó; volumen seco al horno (cm3) y el peso seco al horno (gr).

Fórmula 5. Cálculo de la densidad anhidra

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

Donde:

S = densidad anhidra (gr/cm3)

V = volumen de la probeta en condición anhidra (cm3)

F = peso de la probeta en condición anhidra (cm3)

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

4.7.1.1.4.3. Contenido de humedad

Se utilizaron los datos de la densidad saturada y densidad anhidra

Formula 6. Contenido de humedad

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

Donde:

CH% = contenido de humedad (%)

A = peso saturado (gr)

B = peso anhidro (gr)

4.7.1.1.4.4. **Peso específico normal**

Formula 7. Peso específico normal

$$Pn = \frac{PCH}{VCH}$$

Donde:

Pn = peso específico normal

PCH = peso a un % de contenido de humedad

VCH = volumen a un % de contenido de humedad

Nota: cuando la humedad es del 12% se llama peso específico normal.

4.7.1.1.4.5. **Peso específico saturado**

Formula 8. Peso específico saturado

$$Ds = \frac{Ps}{Vs}$$

Donde:

Ds: peso específico saturado (gr/cm³)

Ps = peso de la muestra saturada (gr)

Vs = volumen de la muestra saturada (cm³)

4.7.1.1.4.6. **Peso Básico**

Formula 9. Peso básico

$$We(o,s) = \frac{Po}{Vs}$$

Donde:

We - (o,s) = peso básico

Po = peso a 0% del contenido de humedad

V_s = volumen saturado al PSF

4.7.1.1.4.7. Peso específico comercial

Formula 10. Peso específico comercial

$$S_c = \frac{KF_{SA}}{V_{SA}}$$

Donde:

S_c = peso específico comercial (gr/cm³)

F_{sa} = peso de la probeta en condición seca al aire (gr)

V_{sa} = volumen de la probeta en condición seca al aire (cm³)

4.7.1.1.4.8. Volumen

Se utilizaron las normas ASTM, haciendo uso del método B que determina el volumen por inmersión de agua. En este caso se realizaron tres mediciones, en las cuales se encuentran: la primera en estado saturado, la segunda fue en estado seco al aire libre, y la tercera medición en estado anhidro.

El procedimiento se llevó a cabo utilizando un vaso graduado (beaker), en el que se introdujo la muestra, sostenida por una aguja metálica fijada a un soporte. El aumento en el nivel del agua dentro del recipiente representó el volumen desplazado por la probeta, lo cual permitió determinar el volumen real de la madera en cada uno de sus estados.

4.7.1.1.4.9. Porosidad

Para determinar esta propiedad se usó de la densidad anhidra

Formula 11. Volumen poroso

$$V_p = (1 - 0.667 \times S) \times 100$$

Donde:

V_p = volumen poroso (%)

0.667 = constante obtenida del inverso de la densidad real de la madera (1/1.54 gr/cm³).

4.7.1.1.4.10. Contracción radial**Formula 12.** Contracción radial

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

Donde:

CR = contracción en el sentido radial (%)

drs = dimensión radial de la probeta saturada (mm)

dra = dimensión radial de la probeta anhidra (mm)

4.7.1.1.4.11. Contracción tangencial

Se hizo uso de los datos de las dimensiones tangenciales de las probetas en estado anhidro y saturado de las probetas.

Formula 13. Contracción tangencial

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

Donde:

CT = contracción en el sentido tangencial (%)

dts = dimensión tangencial de la probeta saturada (mm)

dta = dimensión tangencial de la probeta anhidra (mm)

4.7.1.1.4.12. Contracción longitudinal

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

Formula 14. Contracción longitudinal

$$CR = \left(\frac{(dls - dla)}{dls} \right) \times 100$$

Donde:

CT = contracción en el sentido longitudinal (%)

d_{ls} = dimensión longitudinal de la probeta saturada (mm)

d_{la} = dimensión longitudinal de la probeta anhidra (mm)

4.7.1.1.4.13. Contracción volumétrica total

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

Formula 15. Contracción volumétrica total

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

Donde:

CVT = contracción volumétrica total (%)

V_s = volumen saturado de la probeta (cm³)

V_a = volumen anhidro de la probeta (cm³)

4.7.1.1.4.14. Punto de saturación de las fibras

Para determinar el PSF de las probetas se usaron los datos de la humedad seca al aire, contracción seca al aire, contracción total de la madera y coeficiente de contracción volumétrica.

Formula 16. Punto de saturación de las fibras

$$PSF = \left(\frac{(CV_T \times CH_{SA})}{(CV_T - CV_{SA})} \right) \times 100$$

Donde:

PSF = punto de saturación de la fibra (%)

CVT = contracción volumétrica total (de saturado a anhidro) (%)

CHSA = contenido de humedad seco al aire (%)

Cv_{SA} = contracción volumétrica seca al aire (saturado a seco al aire) (%)

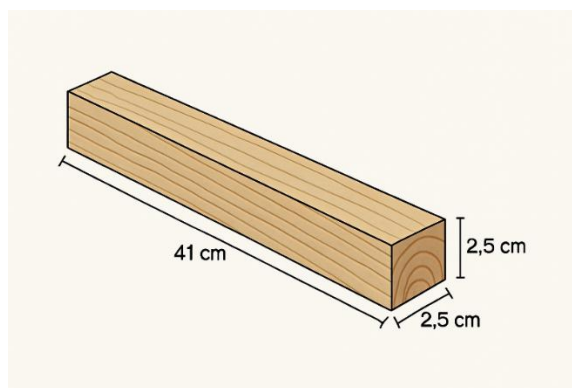
4.7.1.2. Objetivo 2

4.7.1.2.1. Ejecución de pruebas mecánicas

4.7.1.2.2. Preparación de probetas para la prueba flexión estática

Las probetas fueron elaboradas en la carpintería, donde los cortes fueron dos en las caras tangenciales paralela a los anillos y los otros en la cara radial. Con las dimensiones especificadas en las normas ASTM, los cuales fueron 25 mm (2.5 cm) de alto y 25 mm (2.5 cm) de ancho, y una longitud de 410 mm (41 cm), haciendo uso del método secundario (probetas pequeñas), que está establecido por las normas ASTM.

Figura 7: Dimensiones de las probetas de las pruebas de flexión estática



Fuente: Elaboración propia

Figura 8: Tipos de fallas de flexión estática



Tensión simple. Vista lateral.



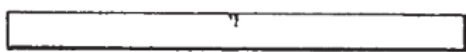
Tensión por grano cruzado. Vista lateral



Tensión astillada. Vista en planta



Tensión abrupta. Vista en planta



Compresión. Vista lateral



Corte horizontal. Vista lateral

Fuente: Normas ASTM D143-9

4.7.1.2.3. Flexión estática

4.7.1.2.3.1. Determinación de esfuerzo de la fibra al límite proporcional

Formula 17. Determinación de esfuerzo de la fibra al límite proporcional

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

Donde:

ELPF = esfuerzo al límite proporcional de la fibra (kg/cm²)

P' = carga aplicada al límite proporcional (kg)

b = ancho de la probeta (mm)

h = altura de la probeta (mm)

L = luz del ensayo (mm)

4.7.1.2.3.2. Determinación del módulo de ruptura

Formula 17. Módulo de ruptura

$$MOR = \frac{(3P_{max}L)}{(2bh^2)}$$

Donde:

MOR = módulo de ruptura (kg/cm²)

P_{max} = carga máxima sostenida por la viga al momento de la falla (kg)

b = ancho de la probeta (mm)

h = altura de la probeta (mm)

L = luz del ensayo (mm)

4.7.1.2.3.3. Determinación del módulo de elasticidad

Formula 18. Módulo de elasticidad

$$MOE = \frac{(P \times L^3)}{(4bh^3\Delta)}$$

Donde:

MOE = módulo de elasticidad (kg/cm²)

P = incremento de la carga aplicada bajo el límite proporcional (kg)

b = ancho de la probeta (mm)

h = altura de la probeta (mm)

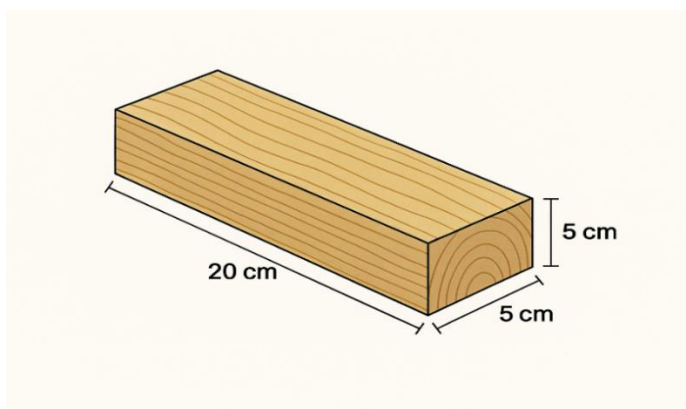
L = luz del ensayo (mm)

Δ = incremento de deflexión del eje neutral de la columna medida a media luz dentro de la distancia L y la carga correspondiente P (mm).

4.7.1.2.4. Compresión

4.7.1.2.4.1. Preparación de probetas para pruebas de compresión

Figura 9: Dimensiones de probetas para pruebas de compresión



Fuente: elaboración propia

4.7.1.2.4.1.1. Determinación del esfuerzo de las fibras al límite proporcional de la compresión paralela.

Formula 19. Determinación del esfuerzo de las fibras al límite proporcional de la compresión paralela.

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

Donde:

ELP = esfuerzo al límite proporcional.

P' = carga aplicada al límite proporcional (kg)

A = área de la sección cruzada (cm²)

4.7.1.2.4.2. Compresión perpendicular a la fibra

4.7.1.2.4.2.1. Determinación del esfuerzo de las fibras al límite proporcional de la compresión perpendicular.

Formula 20. Determinación del esfuerzo de las fibras al límite proporcional de la compresión perpendicular.

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

Donde:

ELP = esfuerzo al límite proporcional (kg/cm²)

P' = carga aplicada al límite proporcional (kg)

A = área de la sección cruzada (cm²)

4.7.1.3. Objetivo 3

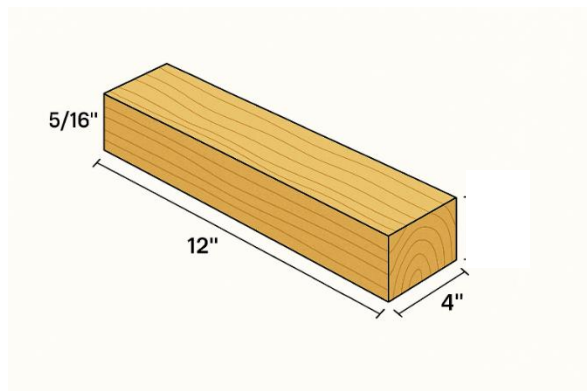
4.7.1.3.1. Pruebas de trabajabilidad

Para realizar las pruebas de trabajabilidad de la especie se tomó como referencia las normas del inciso ASTM D 1666 – 87.

4.7.1.3.1.1. Lijado

La prueba se realizó utilizando en 10 probetas, con dimensiones de 5/16" x 4" x 12". Con lija N°80, 100 y 120.

Figura 10: Dimensiones de probetas para pruebas de lijado

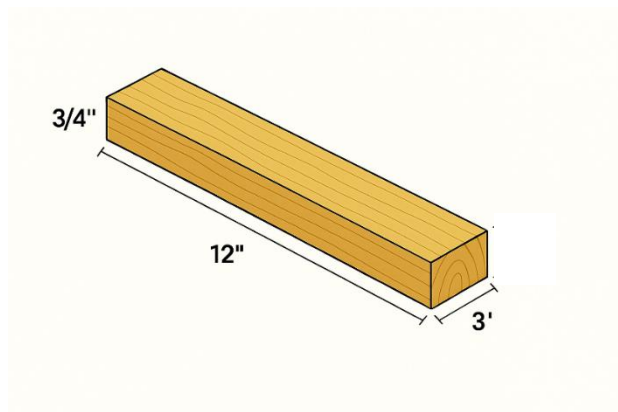


Fuente: elaboración propia

4.7.1.3.1.2. Perforado

En la prueba de perforado o taladrado se usaron 10 probetas con dimensiones de $\frac{3}{4}$ "x3"x12'.

Figura 11: Dimensiones de probetas para pruebas de perforado

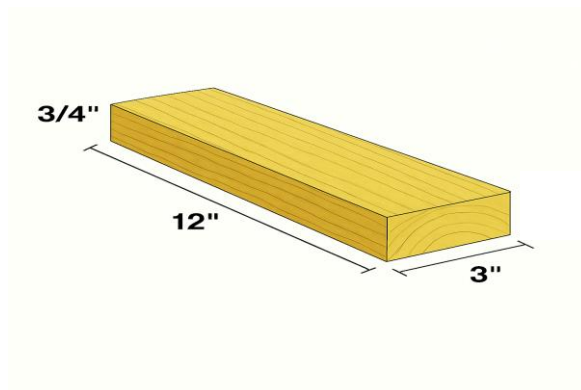


Fuente: elaboración propia

4.7.1.3.1.3. Moldurado

En esta prueba se utilizaron 5 probetas que también fueron utilizadas en el perforado. Las piezas fueron clasificadas en grano levantado, triturado, rasgado y astillado.

Figura 12: Dimensiones de probetas para pruebas de moldurado



Fuente: elaboración propia

4.7.1.3.1.4. Escopleado

Se utilizaron las mismas 5 probetas de perforado y moldurado, y fue necesario el uso de un taladro. Las piezas fueron clasificadas en grano triturado (Excelente, bueno y deficiente).

4.7.1.3.1.5. Clavado

Para la realización de esta prueba, se utilizaron 10 probetas. La prueba se realizó a mano, con un martillo común y con clavos de $\frac{1}{2}$; 1; 1 y $\frac{1}{2}$ pulg., de largo, a una distancia de $\frac{5}{8}$ de pulgada del extremo de la pieza y a $\frac{3}{4}$ de pulgada entre cada clavo. Se introdujeron cuatro clavos en cada uno de los extremos de la probeta.

4.7.1.3.1.6. Cepillado

Para realizar la prueba de cepillado se usaron 5 probetas, las que tenía las siguientes dimensiones: $\frac{3}{4}$ "x3"x12", las cuales se clasificaron con las calificaciones de: Excelente, bueno, deficiente.

4.7.1.3.1.7. Torneado

Para realizar la prueba de torneado se usaron 10 probetas, las que tenían las siguientes dimensiones: $\frac{3}{4}$ "x $\frac{3}{4}$ "x5", las cuales se clasificaron con las calificaciones de: Excelente, bueno, deficiente.

4.7.1.4. Objetivo 4

Para realizar una evaluación integral de la madera de *Guarea grandifolia* proveniente de un sistema agroforestal con cacao, se llevó a cabo una comparación entre los resultados obtenidos de las pruebas físicas, mecánicas y de trabajabilidad, con los datos encontrados en investigaciones previas sobre la misma especie y las mismas pruebas. Este objetivo se desarrolló de manera detallado en el apartado de discusión que forma parte del documento de tesis.

4.7.2. Técnica o instrumentos a usar para recolectar datos

4.7.2.1. Objetivo 1

Para la extracción de la madera se realizó la gestión que corresponde para obtener los permisos legales para realizar la corta de los árboles ante el Instituto de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF) ubicado en la zona norte del país, posterior a esto se llevó a cabo la extracción usando motosierra, casco, sierra y personal técnico de la FHIA.

Cuando se realizó los trámites legales ante el Instituto de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF), se obtuvieron las guías de movilización para trasladar la madera desde La Masica, Atlántida hasta las instalaciones del aserradero de la UNACIFOR ubicado en Siguatepeque, Comayagua.

El secado de la madera se hizo bajo techo, en las instalaciones que ocupa el aserradero de la UNACIFOR.

- Las probetas para las pruebas físicas se elaboraron en la carpintería de la UNACIFOR. Mismas que se realizaron siguiendo los parámetros establecidos en las normas ASTM D 2395-02 y D 4442-02 (ASTM, 2000).

Las pruebas físicas se realizaron siguiendo las normas ASTM, donde se contó con el apoyo de personal especializados en el área y todos los datos se registraron en formatos de acuerdo a cada prueba a realizar. Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de madera ubicado en la UNACIFOR.

4.7.2.2. Objetivo 2

Para la extracción de la madera se realizó la gestión que corresponde para obtener los permisos legales para realizar la corta de los árboles ante el Instituto de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF), posterior a esto se llevó a cabo la extracción usando motosierra, casco, sierra y personal técnico de la FHIA.

Se hizo lo correspondiente ante el Instituto de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF), para obtener las guías de movilización para trasladar la madera desde La Masica, Atlántida hasta las instalaciones del aserradero de la UNACIFOR.

El secado de la madera se hizo bajo techo, en las instalaciones que ocupa el aserradero de la UNACIFOR.

Las probetas de las pruebas mecánicas se realizaron siguiendo los parámetros establecidos en las normas ASTM D 143-94, las que se elaboraron en la carpintería de la UNACIFOR.

Las pruebas mecánicas se realizaron con el apoyo de personal especializados en el área y todos los datos se registraron en formatos de acuerdo a cada prueba. Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de maderas ubicado en la UNACIFOR.

4.7.2.3. Objetivo 3

Se elaboraron las probetas en la carpintería de la UNACIFOR, estas probetas se hicieron siguiendo los parámetros establecidos en las normas ASTM D 1666 – 87.

Al momento de realizar las pruebas de trabajabilidad se hizo uso de formatos que permitieron llevar el registro del comportamiento de la madera en cada prueba.

Con la información que se recopiló en cada prueba se usaron para identificar los usos a los que puede ser sometida la madera de *Guarea grandifolia*.

4.7.2.4. Objetivo 4

Para hacer el cuadro comparativo se usaron los formatos que se llenaron durante la realización de las pruebas físicas, mecánicas y de trabajabilidad en la madera y también los datos que se obtuvieron de la búsqueda bibliográfica que se realizó en los diferentes sitios web y en visitas a la biblioteca de la UNACIFOR.

4.7.3. Programa a usar para el procesamiento de la información

Los programas utilizados para el procesamiento de la información en los cuatro objetivos fueron Word y Excel ya que son herramientas versátiles, de fácil accesibilidad y son capaces de manipular, organizar y analizar los datos de forma más adecuada.

4.7.3.1. Análisis o modelo de interpretación de la información se empleó

4.7.3.1.1. Objetivo 1

Para el análisis de los resultados de las pruebas físicas se hizo un análisis descriptivo. Se usaron gráficos de barras que permitieron visualizar de manera clara y sencilla las diferencias entre las mediciones obtenidas en cada prueba, facilitando de esta manera la interpretación de los resultados.

4.7.3.1.2. Objetivo 2

Para la interpretación de los resultados de las pruebas mecánicas fueron analizadas mediante un enfoque descriptivo. Usando a la vez gráficos de barras para representar las variaciones de los resultados de las pruebas.

4.7.3.1.3. Objetivo 3

Para el análisis de los resultados de las pruebas de trabajabilidad se hizo un análisis descriptivo. Este proceso incluyó la elaboración de gráficos de barras, las que facilitó la visualización de los resultados de forma sencilla y clara.

4.7.3.1.4. Objetivo 4

Para realizar la comparación entre las propiedades físico-mecánicas de la madera de *Guarea grandifolia*, procedente de un sistema agroforestal con cacao contra las investigaciones previas realizadas en bosque natural. Se hizo un análisis comparativo para de esta forma identificar y determinar posibles diferencias entre ambas fuentes de información.

CAPÍTULO V: RESULTADOS

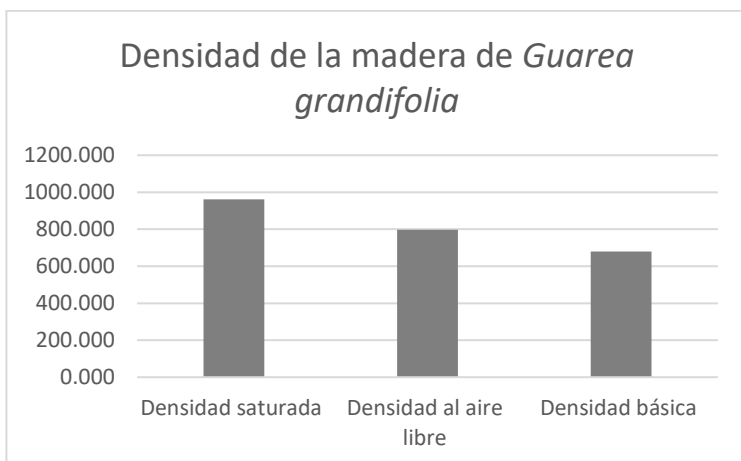
5.1. Pruebas físicas

5.1.1. Densidad

La densidad de la madera de la especie *Guarea grandifolia* se calculó usando como datos los promedios de 30 probetas que se usaron para las pruebas físicas donde se obtuvieron los siguientes resultados: la densidad saturada fue de 961.218 kg/m³ que usando como referencia la clasificación de Vignote Peña & Martínez Rojas (2006), es considerada como una madera muy pesada.

La densidad de la madera al aire libre fue de 796.667 kg/m³; y la densidad básica fue de 679.245 kg/m³ estas densidades están en el rango entre los 600 – 800 kg/m³ (AEIM, 2025) que clasifica a la madera de *Guarea grandifolia* como madera semi pesada y pesada. Estos valores indicaron que la madera de la especie *Guarea grandifolia* presenta una estructura densa y robusta lo que la hace adecuada para aplicaciones que requieren resistencia y durabilidad. (Ver figura 13).

Figura 13: Gráfica de la densidad de la madera de la especie *Guarea grandifolia*



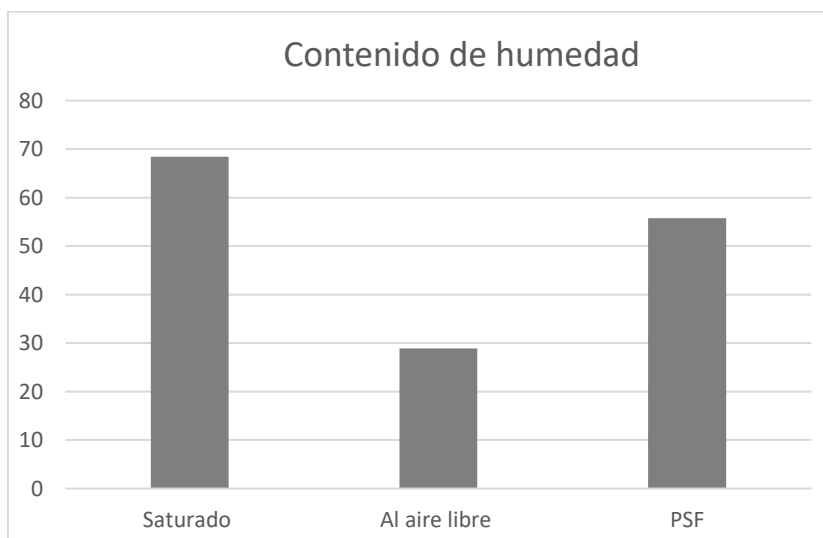
Fuente: elaboración propia

5.1.2. Contenido de humedad

En contenido de humedad saturada en la madera de *Guarea grandifolia* fue de 68.397 % lo cual según clasificación de Rosales Solórzano (2019), para especies tropicales (49 % - 302 %), de acuerdo con esta referencia el porcentaje calculado de contenido de humedad saturado sugiere que tiene una densidad media – alta, lo cual refuerza la clasificación de esta madera como una especie con estructura de buena resistencia. El nivel de porosidad fue de 54.694 % por lo que es una madera de porosidad alta. El contenido de humedad seco al aire libre alcanzó un 28.909 %.

En estudios como el realizado por Rosales Solórzano (2019), propone que el PSF promedio en maderas tropicales varía entre 18 % y 68 % el valor que se obtuvo en la madera de *Guarea grandifolia* fue de 55.75 %, lo que indica que la madera de esta especie tiene una alta capacidad de retención en sus paredes celulares, siendo de suma importancia considerar este dato ya que podría influir en el comportamiento dimensional y estabilidad frente a cambios de humedad (Ver figura 14).

Figura 14: Gráfica del contenido de humedad de la madera de la especie *Guarea grandifolia*



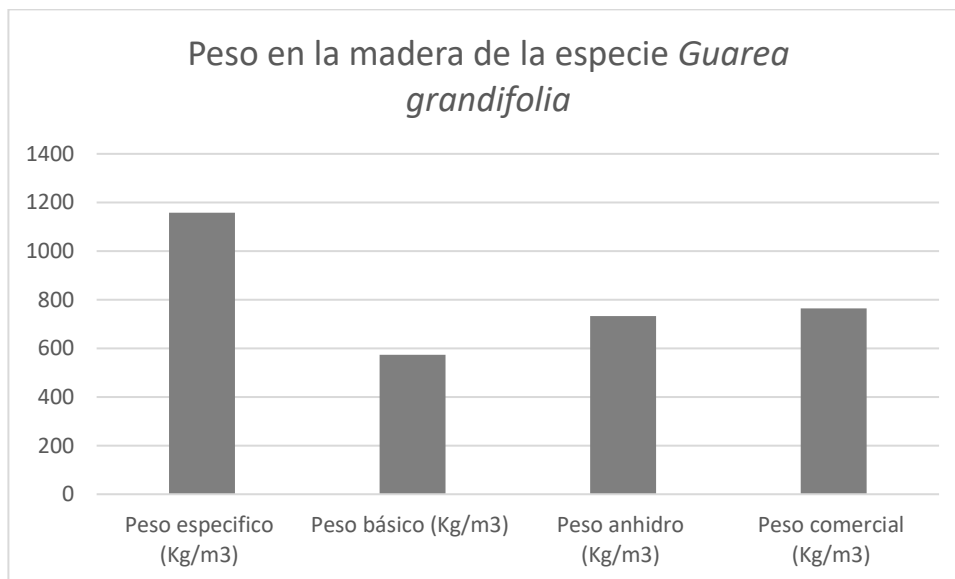
Fuente: elaboración propia

5.1.3. Peso en la madera de la especie *Guarea grandifolia*

En estudios realizados por UAJMS (2025), clasifica a la madera que tiene un peso específico normal mayor de 750 kg/m^3 como maderas muy pesadas; en relación al dato encontrado en la madera de la especie *Guarea grandifolia* se encontró que tiene un peso específico normal de 1157.64 kg/m^3 por lo se considera una madera muy pesada.

El peso básico fue de 573.74 kg/m^3 y según el UAJMS (2025), un peso básico superior a 500 kg/m^3 es una madera con una densidad básica media – alta, lo que la hace adecuada para aplicaciones estructurales y carpintería. Y como peso comercial el resultado fue de 764.47 kg/m^3 , y el peso anhidro fue de 732.42 kg/m^3 ; la cercanía de estos datos con la clasificación que realizó Vignote Peña y Martínez Rojas, (2006), es considerada una madera pesada lo que indica que esta especie conserva su masa incluso en ambiente natural lo que podría influir en el transporte, secado y trabajabilidad. (Ver figura 15).

Figura 15: Gráfica de peso en la madera de la especie *Guarea grandifolia*



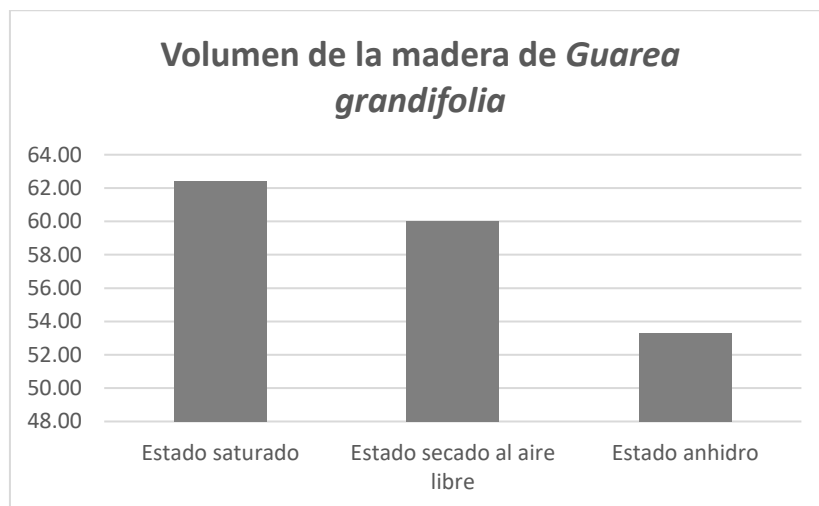
Fuente: elaboración propia

5.1.7. Volumen

El volumen de la madera de *Guarea grandifolia* se calculó en tres estados siendo estos: saturado, al aire libre y anhidro, para obtener los resultados se

usaron un total de 45 probetas siendo 15 probetas respectivamente. Los datos obtenidos fueron en estado saturado el volumen fue de 62.40 cm³, al aire libre el resultado fue de 60 cm³ y anhidro fue de 53.33 cm³. (Ver figura 16).

Figura 16: Gráfica de volumen en la madera de la especie *Guarea grandifolia*

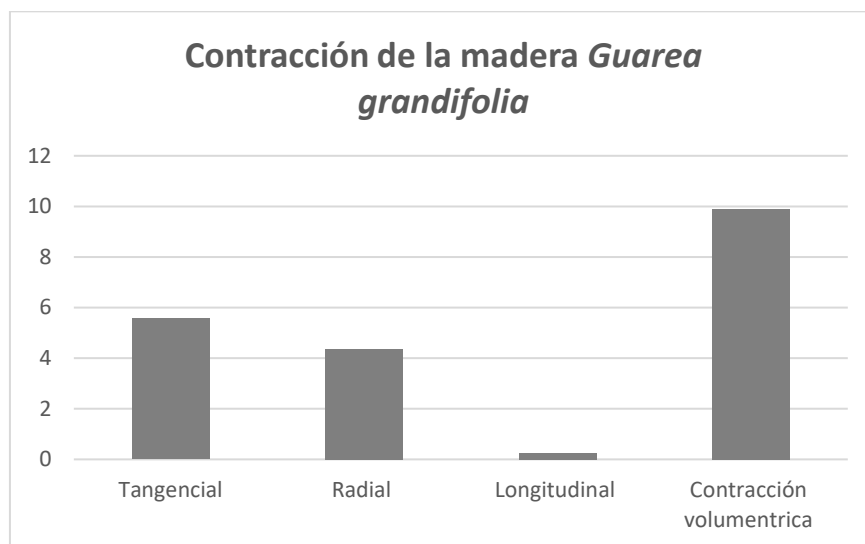


Fuente: elaboración propia

5.1.8. Contracción en la madera de la especie *Guarea grandifolia*

La madera de la especie *Guarea grandifolia* dio como resultado en las pruebas de contracción los siguientes datos: la contracción tangencial fue de 5.56 %; la contracción radial fue de 4.37 %; la contracción longitudinal fue de 0.25 %; y la contracción volumétrica fue de 9.91 % que según clasificación de las normas UNE (1978), las maderas con una contracción volumétrica menor de 10 % presentan fendas pequeñas o superficiales, lo que se puede interpretar que es una madera estable. (Ver figura 18).

Se hizo el cálculo entre la contracción tangencial y contracción radial que arrojó un valor de 1.155 que según la clasificación realizada por Vignote Peña & Martínez Rojas (2006), es una madera muy estable. Por otro lado, se calculó el coeficiente de contracción volumétrico (Ccv), que fue de 1.022, que según propuesta de clasificación de Vignote Peña & Martínez Rojas (2006), indica que esta madera tiene una alta sensibilidad dimensional ante variaciones de humedad. (Ver figura 17).

Figura 17: Gráfica de la contracción de la madera de la especie *Guarea grandifolia*

Fuente: elaboración propia

5.2. Uso de la madera de la especie *Guarea grandifolia* de acuerdo con sus propiedades físicas

Tabla 7: Uso de la madera *Guarea grandifolia* de acuerdo con sus propiedades físicas

Uso de la madera de <i>Guarea grandifolia</i> de acuerdo con sus propiedades físicas					
Prueba	Valor	Unidad	Clasificación	Uso	De acuerdo a
Densidad saturada	961.218	kg/m ³	Muy pesada	Elementos estructurales, vigas, durmientes, postes.	Vignote Peña & Martínez Rojas (2006)
Densidad al aire libre	765.333	kg/m ³	Pesada	Mobiliario, carpintería, pisos.	
Densidad básica	669.163	kg/m ³	Pesada	Mobiliario, carpintería, pisos.	
Contenido de humedad saturado	68.397	%	Media-alta	Requiere secado controlado antes de ser usado en estructuras o decoraciones	Rosales Solórzano (2019)
Contenido de humedad al aire libre	28.909	%	Baja	No apto para ensayos mecánicos sin estabilización previa (secado)	
Porosidad	54.694	%	Alta	Apta para tratamientos preservantes o tientes	

PSF	55.75	%	Alta	Alta sensibilidad dimensional.	
Peso específico normal	1157.64	kg/m ³	Pesada	Apta para elementos estructurales vigas, durmientes y piezas expuestos a esfuerzos altos	UAJMS (2025)
Peso básico	573.74	kg/m ³	Media-alta	Carpintería, revestimientos y mobiliario de uso intensivo	
Peso anhidro	732.42	kg/m ³	Pesada	Ideal para muebles, estructuras y pisos de buena resistencia	Vignote Peña & Martínez Rojas (2006)
Peso comercial	764.47	kg/m ³	Pesada	Ideal para muebles, estructuras y pisos de buena resistencia	
Contracción tangencial	5.565	%	Media	Requiere secado para poder ser usado ya que puede presentar fendas tangenciales	
Radial	4.374	%	Media	Comportamiento aceptable	UNE 56.540
Longitudinal	0.255	%	Media	Estable en longitud; no afecta significativamente el uso estructural	
Contracción volumétrica	9.912	%	Media	Carpintería y construcción	
T/R	1.155		Estable	Carpintería, moldurado, revestimientos	Vignote Peña & Martínez Rojas (2006)
Ccv	1.022		Muy nerviosa	No recomendada para usos de estructuras expuestas a variaciones ambientales	

Fuente: elaboración propia

5.3. Pruebas mecánicas

5.3.1. Flexión estática

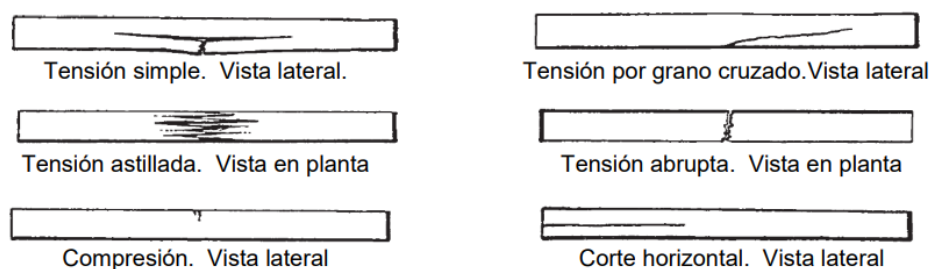
Para realizar las pruebas de flexión estática en la madera de la especie *Guarea grandifolia* se realizaron en un total de 30 probetas que establece las normas ASTM D 143-14. De este total de probetas se calculó un promedio de los parámetros proporcionados por la maquina HOYTOM; estas pruebas se realizaron en la madera con una humedad de 17.20 %. (Ver tabla 8).

Tabla 8: Datos promedios de flexión estática en la madera de la especie *Guarea grandifolia*

Parámetro	Valor promedio	Interpretación
Fuerza máxima	1,012.6 kg	Buena capacidad de carga transversal; apta para elementos estructurales moderados.
Desplazamiento máximo	32.91 mm	Comportamiento flexible antes de la fractura; adecuada para estructuras que requieren absorción de energía.
Esfuerzo máximo	732.5 kg/cm ²	Resistencia mecánica sólida; comparable con maderas de uso estructural.
Módulo de elasticidad	26,703.6 kg/cm ²	Alta rigidez; buena estabilidad dimensional bajo carga.
Deformación unitaria	3.63 %	Capacidad de deformación moderada; comportamiento elástico-plástico.
Energía absorbida	13.28 J	Buena capacidad de disipación de energía; útil en condiciones dinámicas o de impacto.
Momento flector máximo	10.67 (kgf-m)	Capacidad estructural adecuada para vigas y componentes sometidos a flexión.

Fuente: elaboración propia

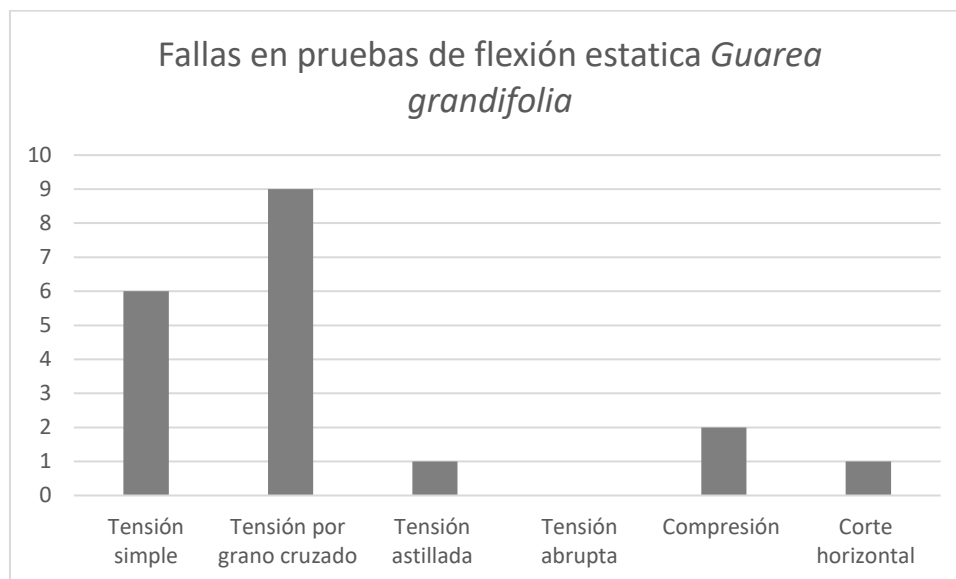
Figura 18: Posibles fallas que se pueden registrar en la prueba de flexión estática



Fuente: Normas ASTM D143-94

Con ayuda de la fig. 19, se observó que tipo de falla tiene cada probeta (30 en total), en la prueba de flexión estática y se encontró que 6 probetas presentaron falla de tipo tensión simple; 9 tensión por grano cruzado; 11 tensión astillada; 0 tensión abrupta; 2 compresión y; 1 corte horizontal, esto se obtuvo con la observación en vista lateral de cada probeta. (Ver figura 19).

Figura 19: Fallas en pruebas de flexión estática en la madera de la especie *Guarea grandifolia*



Fuente: elaboración propia

5.3.2. Compresión paralela a la fibra

Para realizar las pruebas de compresión paralela a la fibra en la madera de la especie *Guarea grandifolia* se realizaron en un total de 30 probetas que establece las normas ASTM D 143-14. De este total de probetas se calculó un promedio de los parámetros proporcionados por la maquina HOYTOM; estas pruebas se realizaron en la madera con una humedad de 17.20 %. (Ver tabla 9).

Tabla 9: Promedios de los parámetros evaluados en la prueba de compresión paralela en la madera de la especie *Guarea grandifolia* (Marapolán)

Parámetro	Promedio estimado	Interpretación
Fuerza máxima	237.06 kg	Alta capacidad de carga longitudinal
Esfuerzo máximo	54.07 kg/cm ²	Excelente resistencia paralela a la fibra

Deformación máxima	5.8 mm	Comportamiento semirrígido a dúctil
Strain (ϵ)	6 - 8 %	Buena acomodación antes de falla
Módulo de elasticidad	69,339.6 kg/cm ²	Alta rigidez estructural
Energía absorbida	45 J	Tenacidad variable, buena capacidad de disipación

Nota: Strain (ϵ), se refiere a la deformación relativa de un cuerpo cuando se le aplica una fuerza.

Fuente: elaboración propia

5.3.3. Compresión perpendicular a la fibra

Para realizar las pruebas de compresión paralela a la fibra en la madera de la especie *Guarea grandifolia* se realizaron en un total de 30 probetas que establece las normas ASTM D 143-94. De este total de probetas se calculó un promedio de los parámetros proporcionados por la maquina HOYTOM; estas pruebas se realizaron en la madera con una humedad de 17.20 %. (Ver tabla 10).

Tabla 10: Promedios de los parámetros evaluados en la prueba de compresión perpendicular en la madera de la especie *Guarea grandifolia* (marapolán)

Parámetro	Promedio	Interpretación
Fuerza máxima	233.96 kg	Alta capacidad de carga
Esfuerzo máximo	662.8 kg/cm ²	Excelente resistencia perpendicular
Deformación máxima	12–15 %	Comportamiento semirrígido a dúctil
Módulo de elasticidad	1,560.15 kg/cm ²	Alta rigidez estructural
Energía absorbida	35 J	Tenacidad variable según muestra
Área promedio	300 mm ²	Muestras bien calibradas
Esfuerzo al límite proporcional	48.08 kg/cm ²	Comportamiento elástico estable bajo compresión perpendicular

Fuente: elaboración propia

5.4. Uso de la madera de la especie *Guarea grandifolia* de acuerdo con sus propiedades mecánicas

Con los resultados obtenidos en las pruebas mecánicas realizadas en la madera de la especie *Guarea grandifolia* (flexión estática, compresión paralela y perpendicular a la fibra), se han identificado los posibles usos que se le pueden dar a esta madera, que puede ser en aplicaciones estructurales de esfuerzo moderado. La especie demostró una buena capacidad de carga transversal (732.5 kgf/cm² en flexión), excelente resistencia longitudinal (2,325 kgf/cm²

compresión paralela) y alta rigidez estructural (69,339.6 kgf/cm²) lo que la hace apta para ser usada en vigas, columnas, marcos, peldaños y elementos sometidos a impactos o presión localizada.

Las propiedades mencionadas anteriormente son criterios establecidos por Vignote Peña & Martínez Rojas (2006), quienes destacan que la resistencia mecánica y el módulo de elasticidad son determinantes para el uso estructural de maderas en construcción y carpintería. Así mismo Rosales Solórzano (2019), subraya que las especies con buena absorción de energía y comportamiento elástico pueden emplearse en estructuras dinámicas, techos, mobiliarios resistentes.

5.5. Pruebas de trabajabilidad

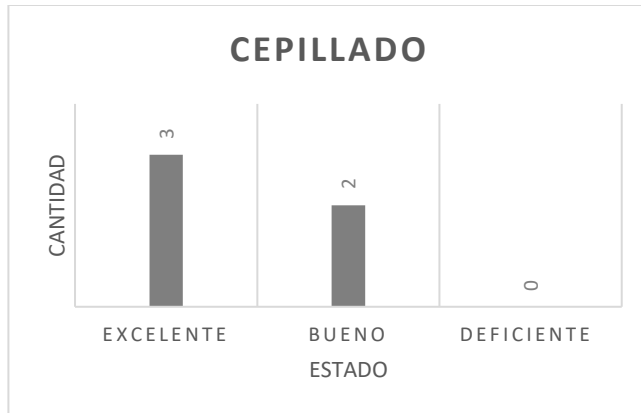
Para realizar las pruebas de trabajabilidad en la madera de la especie *Guarea grandifolia* se siguió lo establecido en la norma ASTM D 1666 - 87, donde establece que para evaluar la trabajabilidad en madera se recomienda usar entre cinco o diez probetas, según esta norma se hacen las siguientes pruebas: perforado, escopleado, clavado y lijado.

Para esta investigación se tomó a bien realizar otras pruebas que son cepillado, torneado y moldurado, las que se clasificaron mediante la experiencia del carpintero quien las clasificó en las categorías de Bueno, regular y malo.

5.5.1. Cepillado

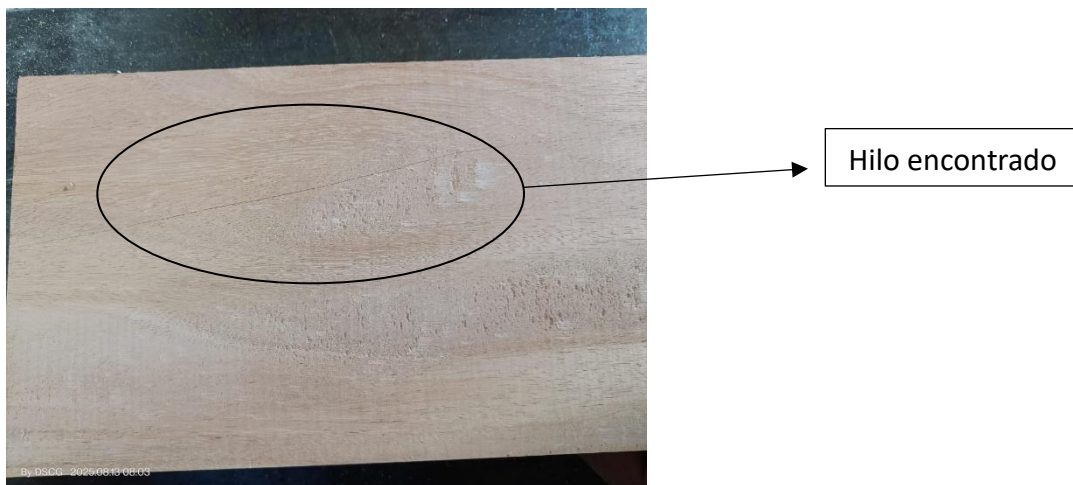
El cepillado de la madera de la especie *Guarea grandifolia* se realizó en cinco probetas de las cuales tres tuvieron un acabado “Excelente”, en cambio las dos restantes fueron calificadas como “Bueno”, sin registrarse caso de trabajabilidad “Deficiente”. Esta variación se atribuye a que la madera posee hilo encontrado en la estructura, lo que ocasionó ligeros defectos de rasgado en las probetas con menor calidad de cepillado. (Ver figura 20, 21).

Figura 20: *Cepillado en la madera de la especie Guarea grandifolia*



Fuente: elaboración propia

Figura 21: Hilo encontrado en el cepillado



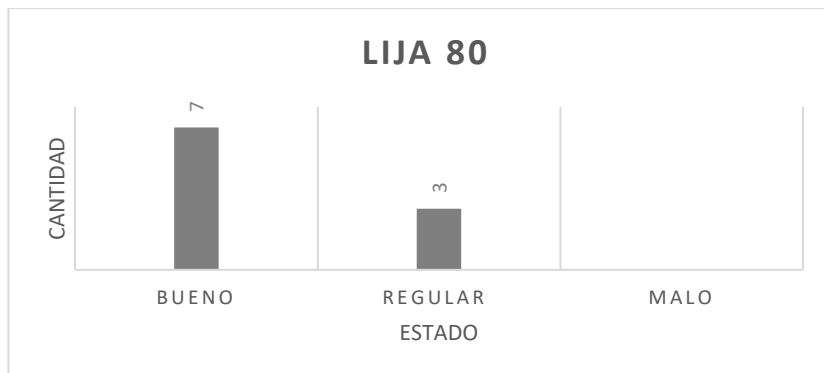
Fuente: elaboración propia

5.5.2. Lijado

En la prueba de lijado se usaron 3 tipos de lijas que fueron la 80, 100 y 120, en las cuales se observó que la madera de la especie de *Guarea grandifolia* presentó buen acabado en la superficie, que entre mayor sea el grano de la lija mejor será la condición de la superficie que se esté trabajando. En el caso de la lija 80 tres probetas tuvieron un acabado regular esto porque los cortes que tenía la madera eran poco limpios lo que ocasionó este resultado, lo que también se pudo observar con la lija 100 donde esas tres mismas probetas el acabado fue

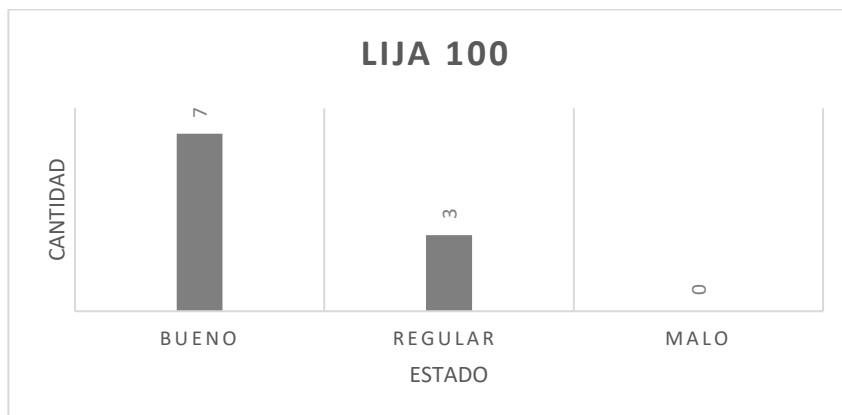
“Regular” pero ya cuando en las 10 probetas se usó la lija 120 su acabado fue “Bueno”. (Ver figura 22, 23, 24).

Figura 22: Lijado con lija 80



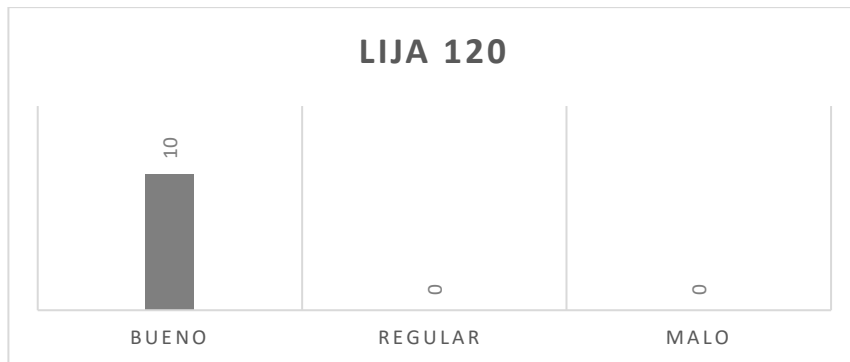
Fuente: elaboración propia

Figura 23: Lijado con lija 100



Fuente: elaboración propia

Figura 24: Lijado con lija 120

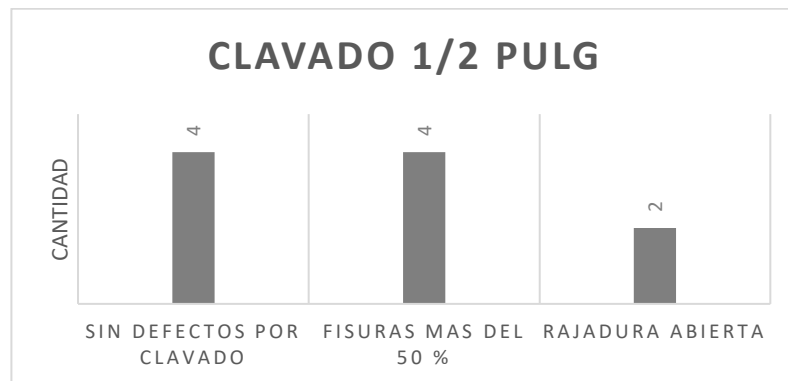


Fuente: elaboración propia

5.5.3. Clavado

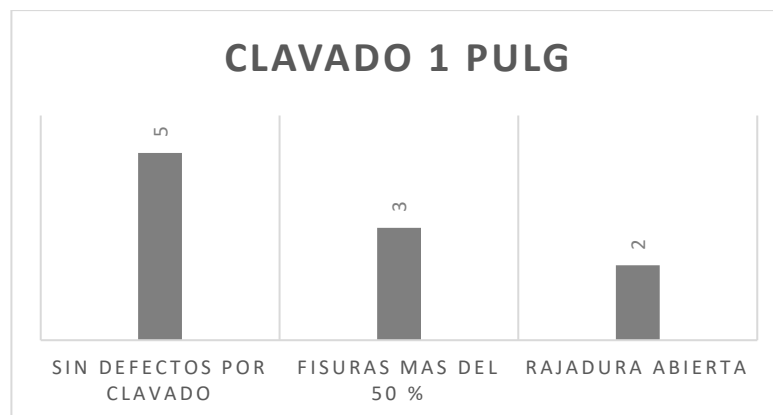
Para realizar las pruebas de clavado en la madera de la especie *Guarea grandifolia*, se utilizaron un total de 10 probetas en las que se usaron 3 tamaños de clavos diferentes (de 1/2"; 1"; 1 y 1/2"), se usaron cuatro clavos de cada tamaño y se coloraron a una distancia de 5/8 de pulgada del extremo de la pieza y a 3/4 de pulgada entre cada clavo. Se observó que si se hace el clavado cerca de los extremos se hace una rajadura abierta; en cuanto más central sea el clavado la pieza presentará menos defectos; depende del tamaño del clavo y en donde se hace el clavado así será la respuesta de la madera ante esta prueba. (Ver figura 25, 26, 27).

Figura 25: Clavado con clavos de 1/2"



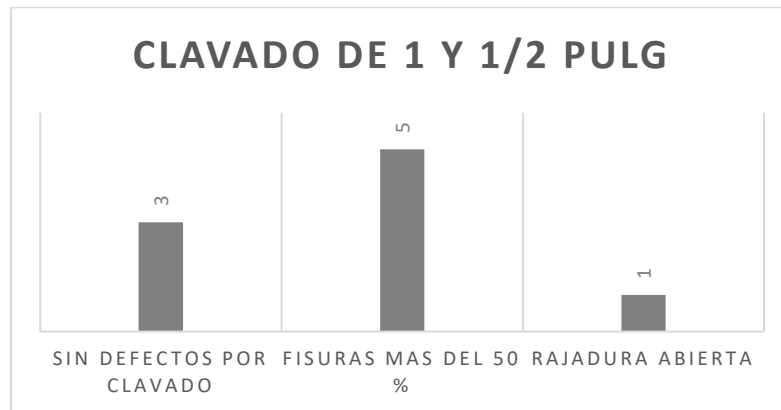
Fuente: elaboración propia

Figura 26: Clavado con clavos de 1"



Fuente: elaboración propia

Figura 27: Clavado con clavos de 1 y 1/2"

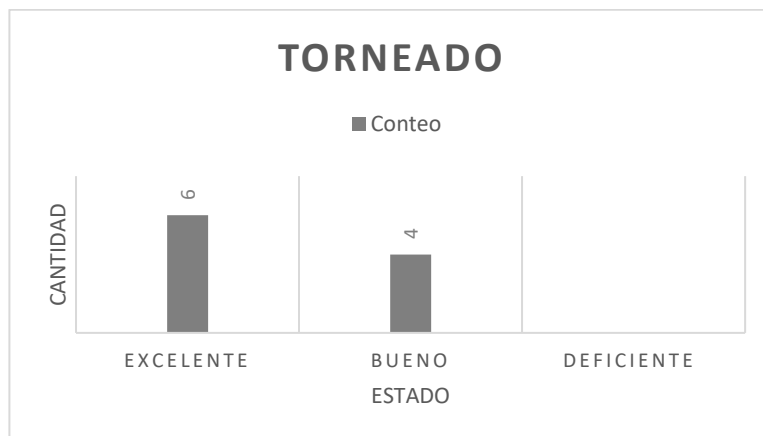


Fuente: elaboración propia

5.5.4. Torneado

La prueba de torneado se realizó en 10 probetas en las que se observó que 6 probetas se les calificó como “Excelente” y cuatro como “Bueno”, sin registrarse ninguna probeta como “Deficiente”. Estos resultados reflejan una alta calidad en maquinado en esta operación, lo que indica que la madera posee una estructura anatómica favorable para cortes rotativos y un comportamiento estable frente a herramientas de torneado. (Ver figura 28).

Figura 28: Torneado en la madera de la especie *Guarea grandifolia*

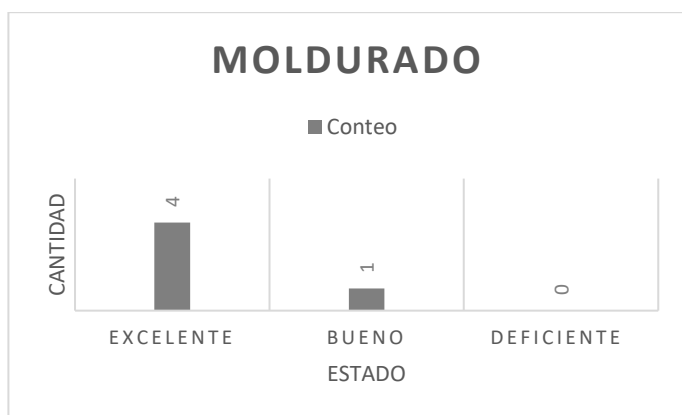


Fuente: elaboración propia

5.5.5. Moldurado

En la prueba de moldurado en la madera de la especie *Guarea grandifolia* se realizó en 5 probetas donde se obtuvieron los siguientes resultados: en la clasificación de “Excelente” se registraron 4 probetas y en “Bueno” solo una probeta, y ninguna en “Deficiente”, lo que indica que la especie presentó una alta estabilidad dimensional y una textura que permite cortes precisos en perfiles complejos, con mínima presencia de astillamientos o defectos en los bordes, en caso de presentarse dependerá del filo que tengan las herramientas con las que se trabaje. (Ver figura 29).

Figura 29: Moldurado en la madera de la especie *Guarea grandifolia*

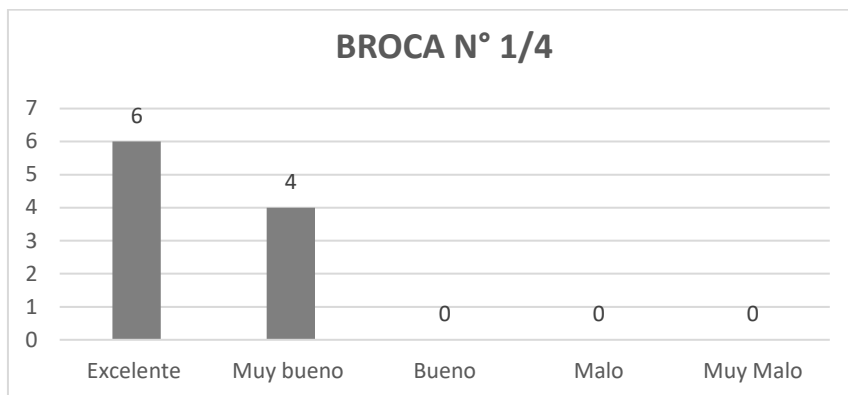


Fuente: elaboración propia

5.5.6. Perforado

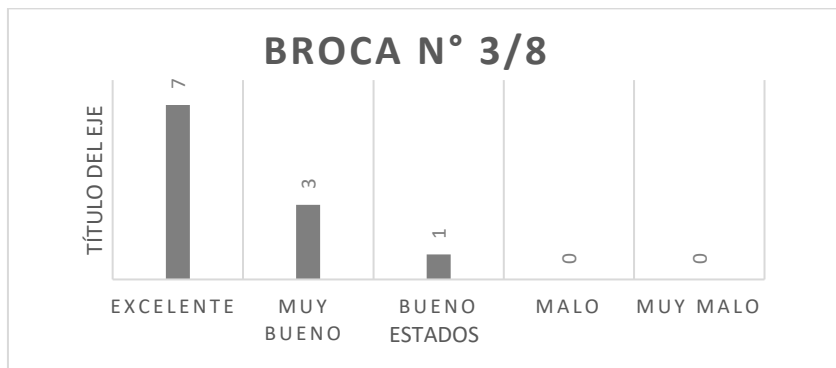
Para la prueba de perforado en la madera de la especie *Guarea grandifolia* se utilizaron, 10 probetas en las que se usaron las brocas con diámetros de $\frac{1}{8}$ pulg.; $\frac{1}{4}$ pulg.; y $\frac{3}{8}$ Pulg. Se observó que independientemente el diámetro de la broca se tuvo un desempeño que se calificó como “Excelente” en la mayoría de las probetas lo que evidenció una respuesta positiva de la madera ante el esfuerzo de corte y penetración. Sin embargo, se registraron casos aislados calificados como “Muy bueno” y “Bueno”, lo que indica que el comportamiento de la madera para el perforado depende del diámetro de la broca, el afilado que tenga esta, la orientación de las fibras y grado de humedad que tenga la madera al momento de trabajarla. (Ver figura 30, 31, 32).

Figura 30: Gráfica de perforado con broca de 1/4 pulg.



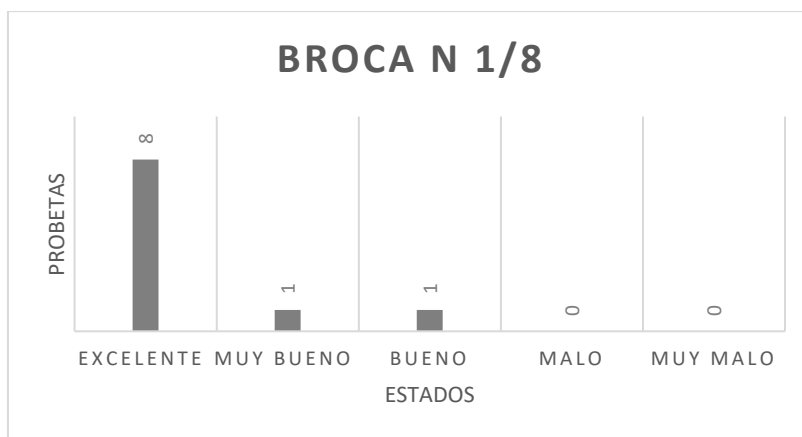
Fuente: elaboración propia

Figura 31: Gráfica de perforado con broca de 3/8 pulg.



Fuente: elaboración propia

Figura 32: Gráfica de perforado con broca de 1/8 pulg.

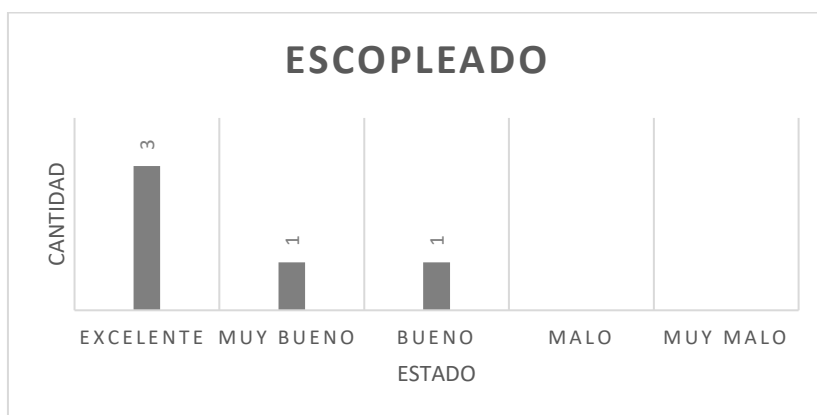


Fuente: elaboración propia

5.5.7. Escopleado

Para realizar las pruebas de escopleado en la madera de la especie *Guarea grandifolia* se usaron 5 probetas en las cuales se registró un comportamiento “Excelente” según la clasificación propuesta por la norma ASTM D 1666, donde se evalúa la calidad del maquinado en función de la presencia de defectos como astillas, quemaduras o desgarros. En las calificaciones de “Muy bueno”, “Bueno” existe una variabilidad en la respuesta de la madera lo que puede estar asociada a la orientación de las fibras como también el afilado que tiene la maquina al momento de trabajar. (Ver figura 33).

Figura 33: Escopleado en la madera de la especie *Guarea grandifolia*



Fuente: elaboración propia

5.6. Uso de la madera de la especie *Guarea grandifolia* de acuerdo a la trabajabilidad

Con los resultados que se obtuvieron en las pruebas de trabajabilidad que se realizaron en la madera de la especie *Guarea grandifolia* se evidenció un desempeño excelente en operaciones de cepillado, moldurado y torneado lo cual indica según Smithsonian (2025), que se pueda usar para carpintería y ebanistería fina, así como también, por la alta calidad de acabado superficial, la estabilidad dimensional y respuesta favorable al maquinado permite ser usada para la fabricación de muebles finos, moldurado de interiores, para puertas, ventanas y revestimientos.

Además, su textura uniforme y comportamiento estable frente al corte la hacen apta para trabajos de gabinetes e incluso para hacer instrumentos musicales y detalles decorativos e instrumentos.

5.7. Comparación de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la especie *Guarea grandifolia* entre investigaciones de bosque natural e información recopilada con madera procedente de una plantación agroforestal

5.7.1. Propiedades físicas

Investigaciones que trabajaron con madera de la especie *Guarea grandifolia* procedente de bosque natural reportan una densidad básica de 0.56 g/cm³ por CUPROFOR (1999); y 0.57 g/cm³ por Peña (2014), lo que clasifican a la especie *Guarea grandifolia* como pesada. En contraste, la madera obtenida de un sistema agroforestal con cacao los resultados fueron:

Densidad básica: 0.68 kg/m³

Densidad saturada: 0.96 kg/m³

Densidad al aire libre: 0.79 kg/m³

Estos resultados indicaron que la madera cultivada en plantaciones agroforestales presenta una estructura más densa y robusta que la reportada en bosques naturales, lo que puede atribuirse a las condiciones de manejo, edad de los árboles (28 años en sistema agroforestal), y características del sitio.

Además, los antecedentes reportan una contracción volumétrica (Cv) de 11.20 % (Montecinos y Benítez, 1998); mientras que la Cv calculada en esta investigación fue de 9.91 % lo que según las UNE (1978), indica que tiene mayor estabilidad dimensional en la madera de plantación con sistema agroforestales con cacao. También se observó una mejora en la relación tangencial/radial (T/R), pasando de 2.1, en bosque natural a 1.155 en plantación, dato que según Fuentes Talavera *et al.*, (2014), la estabilidad dimensional que sea < 1.7 (en T/R) se clasifica como “Muy buena”.

5.7.2. Propiedades mecánicas

Para la madera de la especie *Guarea grandifolia* CUPROFOR (1999), reportó los siguientes datos los cuales se calcularon con la madera en condición verde (112 % de humedad):

Flexión estática (Modulo de rotura): 639.79 kg/cm²

Compresión paralela (Resistencia máxima): 348.4 kg/cm²

Compresión perpendicular (Esfuerzo al límite proporcional): 46.13 kg/cm²

Por otro lado, los resultados de las pruebas mecánicas en la madera de la especie *Guarea grandifolia* procedente de un sistema agroforestal con cacao se obtuvieron los siguientes valores:

Flexión estática (Modulo de rotura): 732.87 kg/cm²

Compresión paralela (Resistencia máxima): 530.26 kg/cm²

Compresión perpendicular (Esfuerzo al límite proporcional): 48.09 kg/cm²

Nota: En la prueba de flexión estática, se calculó el módulo de elasticidad de 26,703.6 kg/cm², de madera procedente de una plantación agroforestal (cacao con marapolán) con un contenido de humedad de 17.20 %. Sin embargo, no fue posible realizar la comparación correspondiente con madera de bosque natural, ya que no se encontró información bibliográfica que reportara resultados bajo condiciones similares de humedad.

Los resultados de las pruebas mecánicas en la madera de la especie *Guarea grandifolia* demostró que la madera procedente de la plantación agroforestal supera los valores de las pruebas mecánicas que los reportados de la madera procedente de bosques naturales; especialmente en compresión paralela, donde el incremento es del 52 % en flexión estática con un aumento de 14.5 %, en compresión perpendicular la diferencias es de un 4.25 % que la madera de bosque natural en plantación agroforestal con cacao es mayor.

5.7.3. Trabajabilidad

En los datos del bosque natural se indica que la madera de la especie *Guarea grandifolia* es fácil de aserrar, seca con velocidad moderada, tiende a rajarse cuando se trabaja con taladro y requiere cuchillas afilados para el trabajo en chapas esto según Peña (2014). En el caso de los datos recolectados en la madera procedente de la plantación agroforestal se realizaron pruebas como:

Cepillado: 60 % “Excelente”; 40 % “Bueno”

Moldurado: 80 % “Excelente”; 20 % “Bueno”

Torneado: 60 % “Excelente”; 40 % “Bueno”

Perforado: 63 % “Excelente”; 24 % “Bueno”; 13 % “Deficiente”

Escopleado: 60 % “Bueno”; 20 % “Regular”; 20 % “Malo”

Clavado: 41 % “Sin defectos”; 41 % “Fisuras”; 18 % “Rajadura abierta”

Lijado: 70 % “Bueno”; 30 % “Regular”

Lo que indicó que la madera procedente de la plantación agroforestal con cacao mantiene o mejora la trabajabilidad que la reportada en bosques naturales. Además, se documenta su comportamiento frente a herramientas específicas lo que permite recomendar esta madera para ser usada en carpintería de muebles finos, moldurados, e instrumentos musicales, lo que respalda los usos mencionados por PROECEN (1999).

Tabla 11: Cuadro comparativo de las pruebas físicas entre datos de bosque y datos de sistema agroforestal con cacao

Propiedad	De acuerdo a	Bosque natural	Plantación agroforestal	Diferencia (Agroforestal – Bosque)
Densidad básica	CUPROFOR (1999)	0.56 g/cm ³	0.68 g/cm ³	+0.12 g/cm ³
Densidad al 12%	PROECEN, (1999)	0.62 g/cm ³	0.74 g/cm ³	+0.12 g/cm ³
Densidad al aire libre	CUPROFOR (1999)	0.63 g/cm ³	0.75 g/cm ³	+0.12 g/cm ³
PSF	CUPROFOR (1999)	28.30%	55.75%	+27.45%
Peso específico normal	Peña (2014)	0.51 g/cm ³	1.16 g/cm ³	+0.65 g/cm ³
Contracción tangencial	Montecinos y Benítez (1998)	7%	5.56%	-1.44%

Propiedad	De acuerdo a	Bosque natural	Plantación agroforestal	Diferencia (Agroforestal – Bosque)
Contracción radial	Montecinos y Benítez (1998)	4%	4.37%	+0.37%
T/R	Montecinos y Benítez (1998)	1.75	1.15	-0.60
Contracción volumétrica	Montecinos y Benítez (1998)	11.2%	9.91%	-1.29%

Fuente: elaboración propia

Tabla 12: Cuadro comparativo de las pruebas mecánicas entre datos de bosque natural (según CUPROFOR, 1999) y datos de sistema agroforestal con cacao.

Propiedad	Medición	Bosque natural	Plantación agroforestal	Diferencia (Agroforestal – Bosque)
Flexión estática	Módulo de rotura	639.79 kg/cm ²	732.5 kg/cm ²	+92.71 kg/cm ²
Flexión estática	Módulo de elasticidad	93025 kg/cm ²	26703.6 kg/cm ²	-66321.4 kg/cm ²
Compresión paralela	Resistencia máxima	348.4 kg/cm ²	530.2 kg/cm ²	+181.8 kg/cm ²
Compresión perpendicular	Esfuerzo límite proporcional	46.13 kg/cm ²	48.09 kg/cm ²	+1.96 kg/cm ²

Fuente: elaboración propia

Tabla 13: Cuadro comparativo de las pruebas de trabajabilidad entre datos de bosque y datos de sistema agroforestal con cacao

Propiedad	Bosque natural	De acuerdo a	Plantación agroforestal
Cepillado	De bueno a excelente	CUPROFOR (1999)	"Excelente" (60 %) / "Bueno" (40 %)
Lijado	Excelente comportamiento	CUPROFOR (1999)	"Bueno2" (70 %) / "Regular" (30 %)
Clavado	Buen comportamiento	CUPROFOR (1999)	"Sin defectos por clavado" (41 %) / "Fisuras más del 50 % (41 %) / "Rajadura abierta" (18 %)
Torneado	Pobre comportamiento	CUPROFOR (1999)	"Excelente" (60 %) / "Bueno" (40 %)
Moldurado	Excelente	CUPROFOR (1999)	"Excelente" (80 %) / "Bueno" (20 %)
Perforado	Buen comportamiento	CUPROFOR (1999)	"Excelente" (63 %) / "Bueno" (24%) / "Deficiente" (13%)
Escopleado	Buen comportamiento	CUPROFOR (1999)	"Bueno" (60 %) / "Regular" (20 %) / "Malo" (20%)

Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

Los resultados que se obtuvieron en esta investigación han permitido caracterizar a la madera de la especie *Guarea grandifolia* como una especie forestal con alto valor económico ya que posee buenas características físicas, así como su comportamiento mecánico y su excelente trabajabilidad. Partiendo de las características físicas, la madera presentó una densidad saturada de 961.218 kg/m^3 , lo que según Vignote Peña & Martínez Rojas (2006), la clasifica como una madera muy pesada, apta para ser usada en estructuras como ser vigas, postes y durmientes.

La densidad básica de 669.163 kg/m^3 refuerza la clasificación anterior lo que indica una estructura estable. Además, el contenido de humedad saturado fue de 68.397% y el punto de saturación de las fibras (PSF) fue de 55.75% , lo que revela que la madera tiene una alta capacidad de retención hídrica, esto indica que la madera requiere procesos de secado controlado antes de su uso en algún ambiente variable, como lo menciona Rosales Solórzano (2019), quien indica que la humedad influye directamente en la estabilidad dimensional y en el desempeño mecánico de las especies tropicales.

Por otro lado, la contracción dimensional donde los valores obtenidos fueron en los siguientes sentidos; tangencial 5.565% ; radial 4.374% ; longitudinal de 0.255% y contracción volumétrica de 9.912% ; que según clasificación de las normas UNE (1978), las maderas con una contracción volumétrica menor de 10% presenta fendas pequeñas o superficiales.

La relación T/R (tangencial/ radial) calculada fue de 1.155 sugiere que esta madera es estable en condiciones normales y que puede presentar sensibilidad ante cambios brusco de humedad, por lo que se recomienda su uso en ambientes interiores y en caso de ser usada en exteriores se debe usar un tratamiento para

evitar cambios en su estabilidad dimensional. Esta recomendación coincide por lo planteado por Montecinos y Benítez (1998), quienes destacan que maderas con contracción equilibrada y baja anisotropía son ideales para uso de carpintería.

Desde el punto de vista mecánico, las pruebas de flexión estática revelaron que el módulo de rotura fue de 732.5 kg/cm^2 y un módulo de elasticidad de 26703.6 kg/cm^2 , lo que hace que la madera de la especie *Guarea grandifolia* como una especie apta para elementos sometidos a esfuerzos de flexión moderada, como vigas, travesaños.

En compresión paralela, el esfuerzo máximo fue de 530.2 kg/cm^2 , comparándolo con la investigación realizada por CUPROFOR (1999), donde se obtuvo que la resistencia máxima fue de 348.4 kg/cm^2 ; donde en esta misma investigación hacen una clasificación de la madera de marapolán (*G. grandifolia*) donde la clasifican como “Alta” para ser utilizada para elementos estructurales.

En la compresión perpendicular dio como resultado que el esfuerzo al límite proporcional fue de 48.09 kg/cm^2 comparándolo con la investigación realizada por CUPROFOR (1999), donde se obtuvo que el esfuerzo al límite proporcional es de 46.13 kg/cm^2 ; lo que refuerza que esta madera no debe utilizarse en elementos de construcciones que soporten cargas pesadas.

En cuanto a la trabajabilidad de la madera de *Guarea grandifolia*, las pruebas de cepillado, moldurado y torneado mostraron resultados sobresalientes; en cepillado en 60 % de las probetas fueron calificamos como “Excelente” y el 40 % como “Bueno”, lo que señala que en esta prueba se obtiene superficies lisas y con defectos poco significativos. En moldurado, el 80 % obtuvo una calificación de “Excelente” mostrando su aptitud para perfiles decorativos y molduras técnicas; el torneado dio respuestas favorables, con seis probetas con calificación “Excelente” y cuatro como “Bueno”, lo que indica que la especie

puede ser utilizada en componentes cilíndricos, detalles ornamentales e instrumentos.

Estos resultados coinciden con lo reportado por PROECEN (1999), donde señalan que la especie *Guarea grandifolia* es utilizada tradicionalmente en tornería, chapas decorativas, muebles finos e incluso en construcción de viviendas, esto por su textura uniforme y buena repuesta al maquinado. Las pruebas de perforado, escopleado, clavado y lijado también mostraron resultados positivos; en perforado la madera respondió bien a diferentes diámetros de broca, donde predominó la calificación de “Muy bueno” lo que indica una buena resistencia al corte y penetración, resultado que contradice a lo mencionado por Montecinos y Benítez (1998), que mencionan que cuando esta especie se trabaja con taladro se tiende a rasgar y desmenuzarse.

En clavado se identificó que la madera puede presentar rajaduras si el clavo se coloca cerca de los extremos, lo que sugiere que se debe trabajar con precaución en ensambles. En lijado, el acabado fue progresivamente mejor con lijas de mayor numeración, alcanzando un resultado “Bueno” en todas las diez probetas con lija 120, lo que confirma que la especie tiene buena aptitud para acabados finos y superficies decorativas como señala Rosales Solórzano (2019), que la textura y la densidad influyen directamente en la calidad del acabado de la superficie.

Se asume que las mejoras observadas en las pruebas físicas, mecánicas y de trabajabilidad en la madera de la especie *Guarea grandifolia* son atribuibles a los tratamientos y actividades silviculturales que se dieron en la plantación agroforestal con cacao. Entre estas actividades destacan el control de maleza, podas de saneamiento, fertilización química (NPK), y aplicación de cal dolomita en toda la parcela Informe (FHIA, 2022). Se considera que estas prácticas contribuyen a optimizar las condiciones de crecimiento del árbol, lo que se refleja en la calidad de la madera para fines industriales.

En conjunto los resultados obtenidos en esta investigación permiten afirmar que la madera de la especie *Guarea grandifolia* es una especie con alto valor técnico y comercial, apta para una amplia gama de aplicaciones que van desde estructuras de interiores, carpintería, molduras, chapas, instrumentos musicales y elementos sometidos a esfuerzos mecánicos moderados. Su densidad, resistencia, estabilidad dimensional y trabajabilidad la posicionan como una alternativa viable frente a otras especies tropicales de uso comercial, siempre y cuando se respete sus límites mecánicos.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

La madera de la especie *Guarea grandifolia* procedente de una plantación agroforestal presentó propiedades físicas que la clasifican como una especie muy pesada, con densidad saturada de 961.218 kg/m^3 , una densidad básica de 669.163 kg/m^3 . Estos valores reflejan una estructura densa y robusta, adecuada para aplicaciones que requieren resistencia y durabilidad. Además, los parámetros de contracción volumétrica (9.912 %) y la relación T/R (1.155) que indican una buena estabilidad dimensional, lo que aporta importancias en lo viable que es usar la madera de *Guara grandifolia* para carpintería y elementos estructurales en ambientes interiores.

En cuanto a las pruebas mecánicas evidencia que la madera de la especie *Guarea grandifolia* posee una resistencia y comportamiento elástico, con esfuerzo máximo en flexión de 732.5 kg/cm^2 , módulo de elasticidad de $26,703.6 \text{ kg/cm}^2$, lo que la hace apta para usos como vigas, travesaños y elementos o estructuras que estén sometidos a flexión moderada. En compresión paralela, se registró un esfuerzo máximo de 237.06 kg/cm^2 y módulo de elasticidad de $69,339.6 \text{ kg/cm}^2$ confirmando su uso para columnas. En compresión perpendicular con 662.8 kg/m^2 de esfuerzo máximo, deformación de hasta el 15 % y el esfuerzo al límite proporcional fue de 48.08 kg/cm^2 , con lo que se demuestra su capacidad para absorber presión localizada, siendo útil en base, apoyos y zonas de contacto directo.

Las pruebas de trabajabilidad revelaron que la madera de la especie *Guarea grandifolia* presenta excelente comportamiento en operaciones de cepillado, moldurado y torneado, con más del 80 % de las probetas clasificadas como “Excelente” en moldurado y torneado. Estos resultados junto con la textura fina y uniforme como también, su estabilidad dimensional,

permiten recomendar su uso en muebles, molduras decorativas, chapas, tornería e instrumentos musicales. La buena respuesta en perforado, escopleado y lijado refuerzan su aplicabilidad en carpintería y acabados finos.

La madera de la especie *Guarea grandifolia* proveniente de una plantación agroforestal con cacao presenta mejores propiedades físicas, mecánicas y de trabajabilidad que los resultados reportados de madera proveniente de bosques. Su mayor densidad, menor contracción volumétrica y su resistencia estructural indican una calidad óptima, atribuible al manejo silvicultural dado en la plantación.

7.2. Recomendaciones

El contenido de humedad de la madera de este estudio fue de 17.20 % lo que indica que no llegó al deseado (12 %), situación que podría tener una repercusión al momento de la recolección de resultados, lo cual sucedió por haber comenzado el proceso de secado en fechas no adecuadas, siendo el verano la mejor estación para realizar un secado más óptimo.

En las pruebas de trabajabilidad se deben seguir los parámetros como lo establecen las normas ASTM donde indican la velocidad y el ángulo de corte para obtener datos que se respalden con las clasificaciones que especifica la norma, esto no se logró ya que no se cuenta con las máquinas en buenas condiciones para lograr registrar dichos valores.

Se debe contar siempre con maquinaria apta o con los implementos necesarios para la manipulación de la madera, es decir, que las máquinas y equipo cuenten con brocas o cuchillas con buen filo ya que los resultados de trabajabilidad dependen de las condiciones en las que se encuentre la máquina.

Utilizar esta madera para elementos sometidos a esfuerzos de compresión y flexión como ser en columnas, marcos y en estructuras livianas, esto por su resistencia mecánicas. También, recomendar su uso en muebles finos, moldurados decorativos e instrumentos musicales, aprovechando su estabilidad dimensional en condicionales controladas.

Que en el laboratorio de maderas haya personal con mayor experiencia en el uso de las máquinas y equipo, así como para la interpretación de datos, para garantizar un aprendizaje de alta calidad para los estudiantes.

Promover el establecimiento de plantaciones agroforestales bien manejadas dado que con la asistencia técnica que se le dio a la plantación de donde se aprovecharon los árboles para sacar la madera que se utilizó en esta investigación se demostró que tiene mejoras significativamente en las propiedades físicas, mecánicas y de trabajabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEIM. (2025). Clasificación de maderas según su densidad. Asociación Española del Comercio e Industria de la Madera. <https://www.aeim.org/index.php/clasificacion-de-maderas-comerciales-segun-sus-caracteristicas/>. Fecha de consulta el 15 marzo de 2025.
- Aguilar, & Guzowski. (2011). *Materiales y Materias Primas*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL007398.pdf>. Fecha de consulta el 18 de diciembre de 2024.
- ASTM. (2000). *ASTM International*. https://la.astm.org/wp-content/uploads/2020/03/what_is_astm_SP_feb16.pdf. Fecha de consulta el 15 de diciembre de 2024
- ASTM. (2016). *¿Qué es ASTM International?* www.astm.org. Fecha de consulta el 15 de junio de 2025.
- Cámara. (2017). *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]. <https://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14070/267/004-2-3-056.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Fecha de consulta el 20 de Diciembre de 2024.
- Campos, C. (2015). *Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera de Pinus Maximinoi H. E. Moore; Cobán, Alta Verapaz* [Universidad Rafael Landívar]. <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2015/06/22/Campos-Christian.pdf>. Fecha de consulta el 16 de diciembre de 2024.
- CUPROFOR. (1999). *Propiedades físicas de la madera de marapolán (G. grandifolia)*. En CUPROFOR, serie tecnológica de maderas hondureñas.

Informe técnico N° 5 propiedades y usos de la madera de marapolán (Guarea grandifolia D.C.). San Pedro Sula, Honduras.

- Duron M.M. (1993). *Manejo sustentable del bosque húmedo tropical en Honduras. Revista Forestal Centro americana N° 6, Año 2, 28.*
- FAO. (2022). *El estado de los bosques del mundo. Vías forestales hacia la recuperación verde y la creación de economías inclusivas, resilientes y sostenibles.* <https://doi.org/10.4060/cb9360es>. Fecha de consulta el 20 de diciembre de 2024.
- FHIA. (2022). *Informe Técnico 2022 Programa de Cacao y Agroforestería.* La Lima, Cortés, Honduras.
- FHIA. (2023). *Informe Técnico 2022 Programa de Cacao y Agroforestería.* La Lima, Cortés, Honduras.
- FOA. (2011). *TECA.* <https://teca.apps.fao.org/es/technologies/7189/>. Fecha de consulta el 15 de diciembre de 2024.
- Fuentes Talavera, F., Silva Guzmán, J. A., Rodríguez Anda, R., Sanjuan Dueñas, R., & Richter, H. (2014, agosto). Perfil de estabilidad dimensional de las maderas primavera y Rosa Morada. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(24). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322014000400006. Fecha de consulta el 29 de junio de 2025.
- Hernández Sampieri, R., & Fernández-Collado, C. F. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edición). McGraw-Hill Education. Fecha de la consulta 13 marzo de 2025.
- ICF. (2020). *Anuario Estadístico Forestal.* Unidad de Estadística Forestal. fecha de la consulta 15 de julio de 2025.
- ICF. (2023). *Anuario Estadístico Forestal* (38.^a ed., Vol. 38). Unidad de Estadística Forestal. <https://icf.gob.hn/unidad-de-estadistica-forestal/>. Fecha de la consulta 15 de julio de 2025.
- Montecinos, J. L., y Benítez, R. (1998). *Catálogo de cien especies forestales de Honduras distribución, propiedades y uso* (ESNACIFOR). Siguatepeque, Comayagua, Honduras.

- Nutsch, W. (2000). *Tecnología de la Madera y del Mueble*. España: Reverté, S.A.
Fecha de la consulta 15 de marzo de 2025.
- Peña, S. V. (2014). *Principales Maderas Tropicales Utilizadas en España. Características, tecnología y aplicaciones*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Perdomo, M. (2023). *Evaluación de propiedades físico-mecánicas de la especie Dalbergia glomerata Hemsl en ambiente natural contra plantación agroforestal en el departamento de Atlántida, Honduras*. Universidad Nacional de Ciencias Forestales.
- Philip, A. G. (2022). *Agroforestería: Una guía. Principios de diseño y manejo agroforestal en beneficio de las personas y del medio ambiente*.
- PROECEN. (1999). *Estudio de crecimiento de Especies Nativas de Interés Comercial de Honduras* (No. Ficha Técnica N°4). Lancetilla, Honduras.
- Rosales Solórzano, E. R. (2019). *Ecuaciones de niveles de humedad relacionada a la densidad básica de la madera de especies forestales tropicales en Madre de Dios, Perú*. N°17.
https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-25042020000100033. Fecha de la consulta 18 de septiembre de 2025.
- Smithsonian. (2025). *Guarea grandifolia*. Tropical Research Institute.
<https://panamabiota.org/stri/taxa/index.php?taxon=80197&clid=64>. Fecha de la consulta 6 de septiembre de 2025.
- Suirezs, M. T., & Berger, G. (2009). *Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera*. Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones. Fecha de la consulta 14 de diciembre de 2024.
- Telles et al, R. (2017). *Propiedades físico-mecánicas de la madera de Tectona grandis L. F. de una plantación comercial en el estado de Michoacán*. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. Fecha de la consulta 17 de diciembre de 2024.
- UAJMS. (s. f.). *Clave para la clasificación de maderas*. Universidad Autónoma
Juan Misael Saracho.

https://biblioteca.uajms.edu.bo/biblioteca/opac_css/doc_num.php?explnum_id=25513. Fecha de la consulta 8 de septiembre de 2025.

- Umlandt, et al. (2022). *CÁTEDRA DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA. Fundamentos Teóricos-Prácticos de las propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera* (Universidad Nacional de Santiago del Estero).
- UNE. (1978). *Características físico-mecánicas de la madera. Interpretación de los resultados de los ensayos*. <https://tienda.aenor.com/norma-une-56540-1978-n0006026>. Fecha de la consulta 6 de septiembre de 2025.
- Vargas, J. (1987). *Anatomía y tecnología de la madera*. Fecha de la consulta 9 de septiembre de 2025.
- Vignote Peña, S., & Martínez Rojas, I. (2006a). *Tecnología de la madera* (3a. ed). Mubdi-Prensa. Fecha de la consulta 10 de septiembre de 2025.
- Vignote Peña, S., & Martínez Rojas, I. (2006b). *Tecnología de la madera* (3a. ed). Mubdi-Prensa. Fecha de la consulta 9 de septiembre de 2025.
- Winandy. (1994). *Wood Properties. USD-Forest Service, Forest Products Laboratory. Encycloped of Agricultural*. <https://www.eximcorp.co.in/pdf/wood-properties-forest-product-lab-usa.pdf>. Fecha de la consulta 17 de diciembre de 2024.

ANEXOS

Anexo 1: *Árbol de Guarea grandifolia (Marapolán)*



Anexo 2: *Sistema agroforestal de cacao con Marapolán (Guarea grandifolia) en La Masica, Atlántida, Honduras*

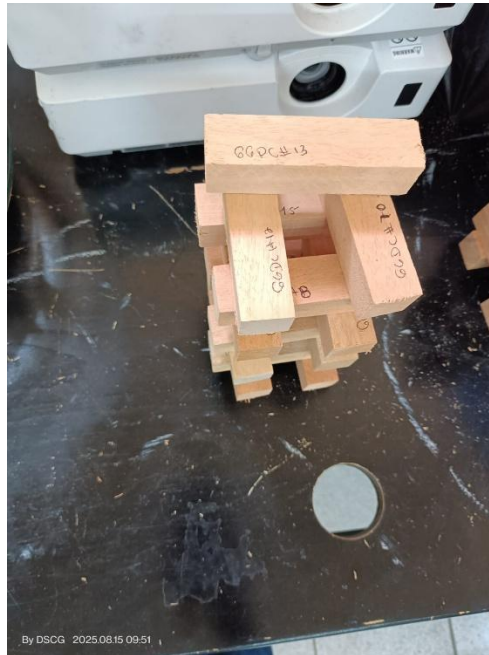


Anexo 3: Toma de datos dasométricos a los árboles a aprovechar



Anexo 4: Marcación de probetas y sumergidas en agua



Anexo 5: Medición y marcación de probetas para pruebas de contracción**Anexo 6: Probetas secadas al aire libre**

Anexo 7: Probetas en horno y peso**Anexo 8: Calculo de volumen mediante principio de Arquímedes**

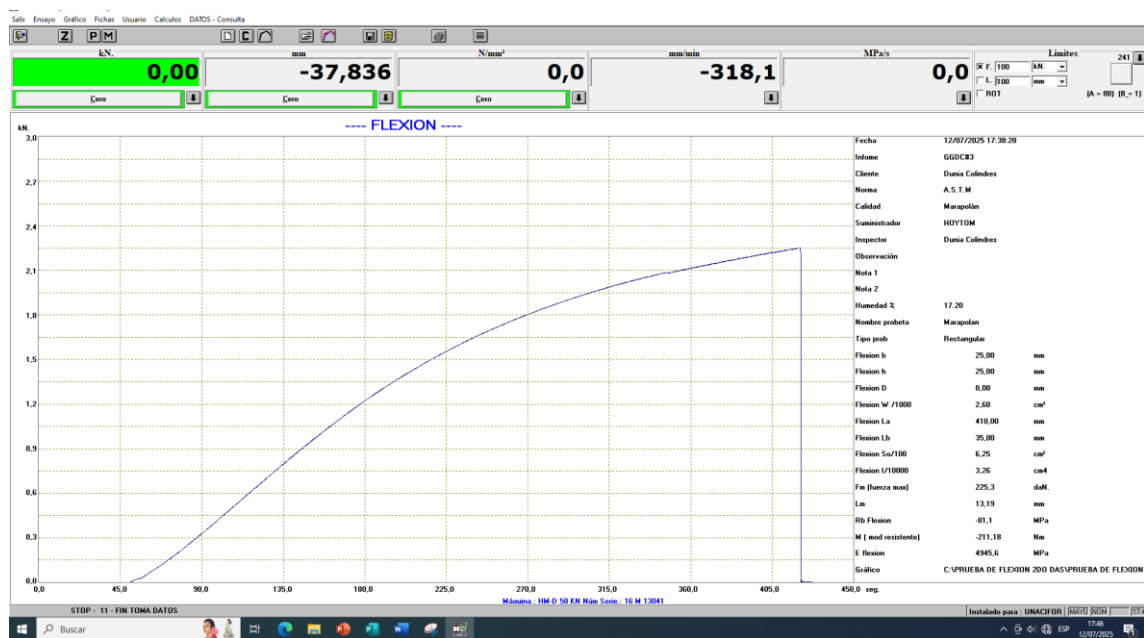
Anexo 9: Realizando pruebas mecánicas en la maquina Hoytom



Anexo 10: Prueba de flexión en la madera de la especie *Guarea grandifolia* (Marapolán)



Anexo 11: Gráfica de la prueba mecánica de flexión estática



Anexo 12: Fallas en flexión estática: 1. Tención astilladas; 2. Tensión horizontal; 3. Tensión por grado cruzado



1

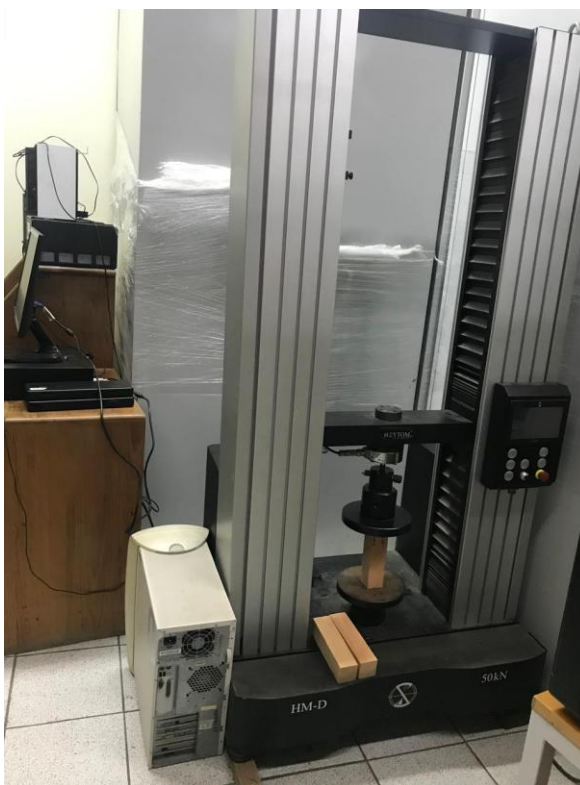


2

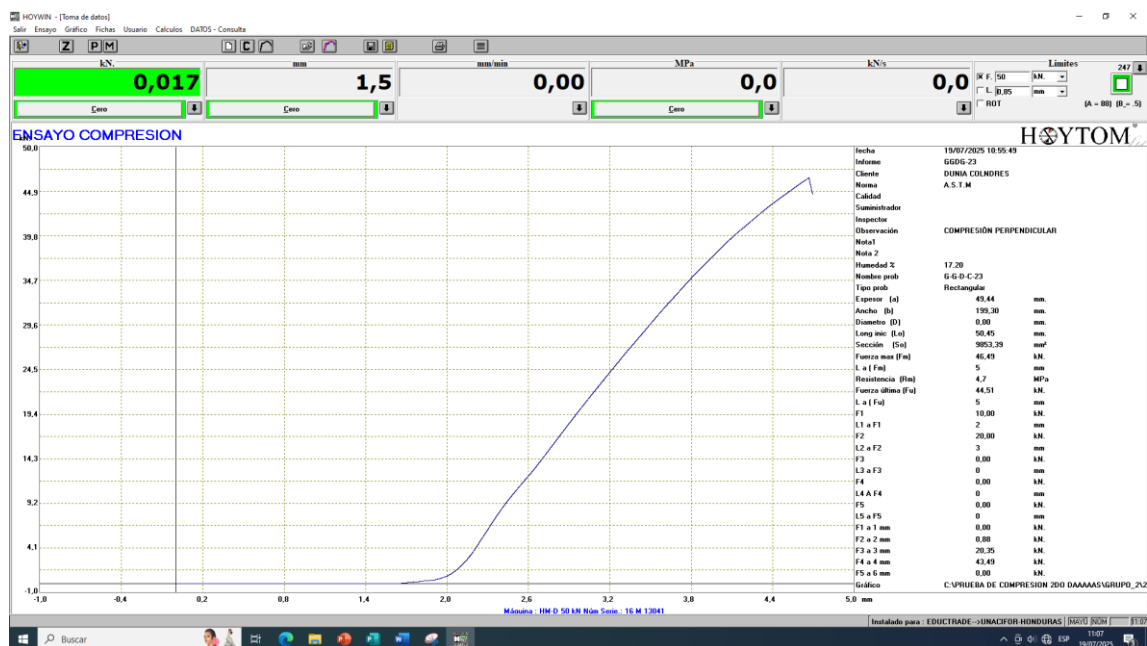


3

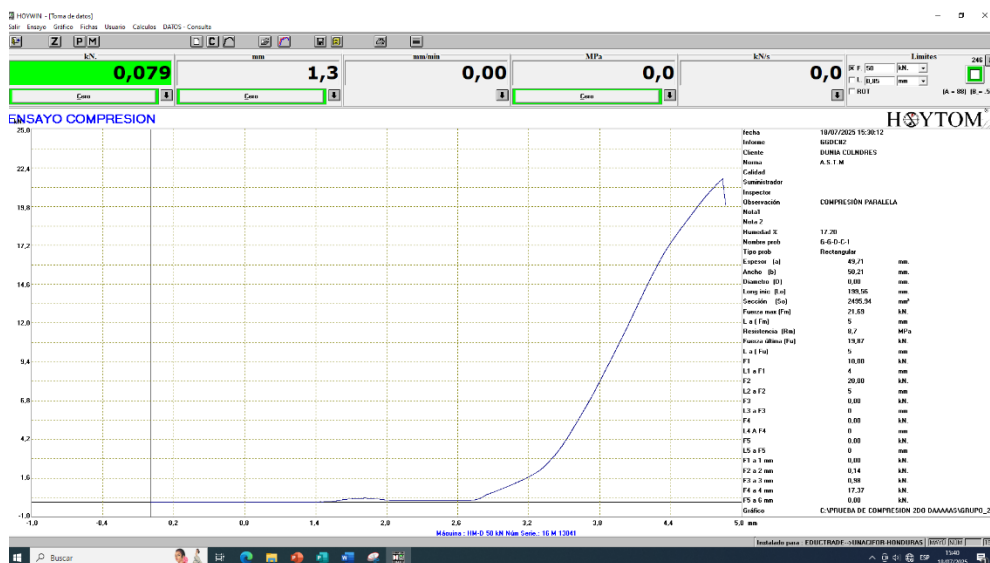
Anexo 13: Prueba de compresión perpendicular



Anexo 14: Gráfica de prueba mecánica de compresión perpendicular



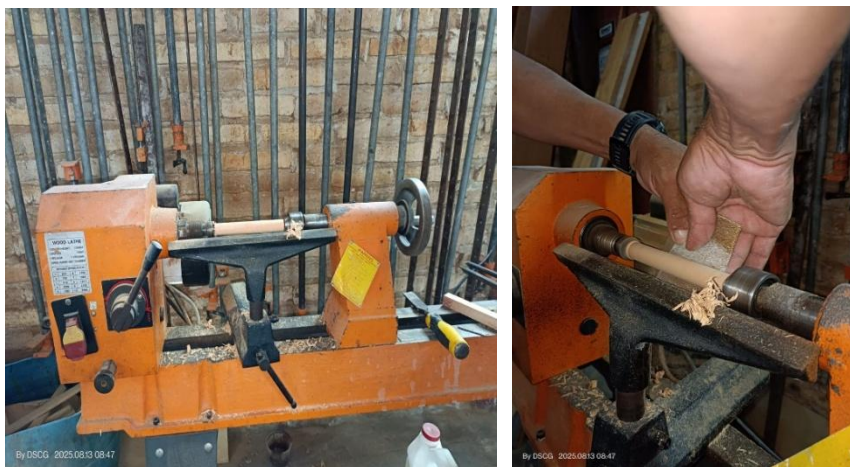
Anexo 15: Gráfica de la prueba mecánica de compresión paralela

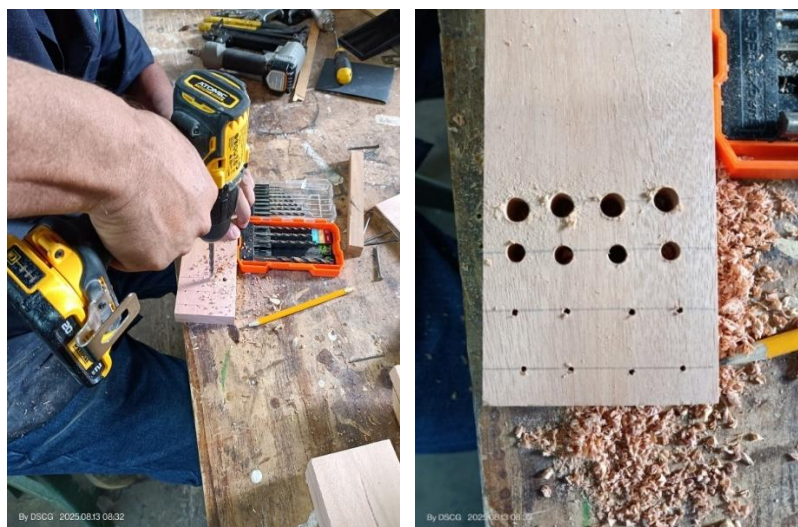
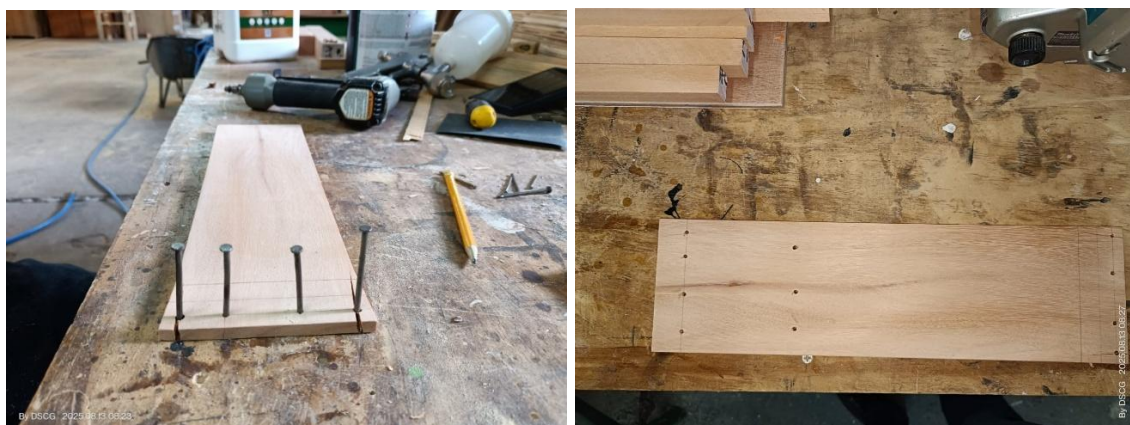


Anexo 16: Prueba de trabajabilidad de escopleado



Anexo 17: Pruebas de trabajabilidad de torneado



Anexo 18: Prueba de trabajabilidad moldurado**Anexo 19: Prueba de trabajabilidad perforado****Anexo 20: Prueba de trabajabilidad clavado y su respuesta a diferentes distancias de clavado**

Anexo 22: Presupuesto

Rubros	Cantidad	Unidad	Costo C/U (L)	Total (L)
A. Recurso Humano				
Carpintero	1	C/U	L4,000.00	L1,500.00
Terna	1	C/U	L7,000.00	L7,000.00
Gastos administrativos	1	C/U	L500.00	L500.00
B. Equipos				
Computadora	1	C/U	L1,000.00	L1,000.00
Máquina para realizar pruebas	1	C/U	L2,500.00	L2,500.00
C. Materiales				
Impresiones	3	Documento	L120.00	L360.00
Papel	1	Resma	L150.00	L150.00
Encuadernado	3	Documento	L270.00	L810.00
Fotocopia	100	C/U	L3.00	L300.00
D. Giras				
Transporte	2	Viajes	L1,000.00	L2,000.00
Alimentación	10	Tiempo de comida	L150.00	L1,500.00
E. Otros gastos				
Costo de la madera	120	Pt	L36.00	L4,320.00
Transporte de la madera	1	C/U	L1,000.00	L1,000.00
Subtotal				L22,940.00
Imprevistos (10%)				L2,294.00
Total				L25,234.00

1 dólar igual 25,4733.00 lempiras (BCH, 2025)

DECLARACIÓN

Yo, **Dunia Sofia Colondres Godoy**, por este medio declaro que la idea original de este tema fue proporcionada por la **Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA)**, y el título del estudio: **Determinación y análisis de propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la madera de la especie *Guarea grandifolia* DC. 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: Dunia Sofia Colindres Godoy

Lugar y fecha: Siguatepeque, Comayagua, noviembre de 2025