

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CIENCIAS FORESTALES
UNACIFOR**

ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES



TESIS DE GRADO

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA
ESPECIE *Huertea cubensis* Griseb EN PLANTACIÓN AGROFORESTAL
CON CACAO EN COMPARACION CON INVESTIGACIONES REALIZADAS
EN SU AMBIENTE NATURAL, EN LA MASICA, DEPARTAMENTO DE
ATLÁNTIDA, HONDURAS, C.A**

NOMBRE DEL TESISISTA:

ALEJANDRA WALESKA ESCALANTE MARTINEZ

ASESOR DE TESIS

ING. JOAQUÍN SÁNCHEZ HERNÁNDEZ

TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN CIENCIAS FORESTALES

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

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CIENCIAS FORESTALES
UNACIFOR
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES



TESIS DE GRADO

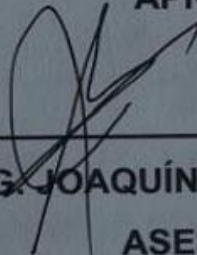
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA
ESPECIE *Huertea cubensis* Griseb EN PLANTACIÓN AGROFORESTAL
CON CACAO EN COMPARACION CON INVESTIGACIONES REALIZADAS
EN SU AMBIENTE NATURAL, EN LA MASICA, DEPARTAMENTO DE
ATLÁNTIDA, HONDURAS, C.A

NOMBRE DEL TESISISTA

ALEJANDRA WALESKA ESCALANTE MARTINEZ

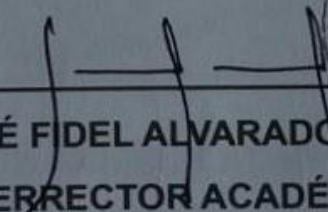
TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN CIENCIAS FORESTALES

APROBADO POR



ING. JOAQUÍN SÁNCHEZ HERNÁNDEZ

ASESOR DE TESIS



P.h.D. JOSÉ FIDEL ALVARADO SANCHEZ

VICERRECTOR ACADÉMICO



SIGUATEPEQUE, COMAYAGUA, HONDURAS C.A

NOVIEMBRE, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CIENCIAS FORESTALES

UNACIFOR

TESIS DE GRADO

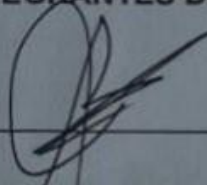
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA ESPECIE
Huertea cubensis Griseb EN PLANTACIÓN AGROFORESTAL CON CACAO EN
COMPARACION CON INVESTIGACIONES REALIZADAS EN SU AMBIENTE
NATURAL, EN LA MASICA, DEPARTAMENTO DE ATLÁNTIDA, HONDURAS, C.A

NOMBRE DEL TESISISTA:

ALEJANDRA WALESKA ESCALANTE MARTINEZ

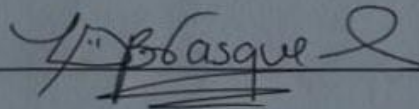
APROBADO POR

MIEMBROS INTEGRANTES DE LA TERNA EVALUADORA:



ING. JOAQUÍN SÁNCHEZ HERNÁNDEZ

ASESOR DE TESIS



LIC. CESAR BERNARDO VASQUEZ CALIX

REPRESENTANTE DE LA ESCUELA



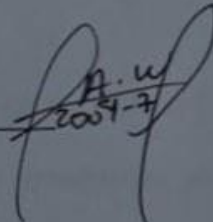
ING. WALTER DANIEL BARAHONA GALEAS

REPRESENTANTE DE LA COMISIÓN DE TESIS

SIGUATEPEQUE, COMAYAGUA, HONDURAS C.A
NOVIEMBRE, 2025

AUTORIZACIÓN

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

Nombre y firma del estudiante: Alejandra Escalante 

Lugar y fecha: 12/11/2025 Siquatepeque, Comayagua.

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico este trabajo al creador del universo, el que siempre me dio las fuerzas para continuar, mostrándome que todo es a su tiempo y que su tiempo es perfecto, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente en este camino, ¡Gracias rey de reyes!

A mi mami, Waleska Martínez mi fuerza y mi mayor inspiración. Que a pesar de la distancia nunca me faltó un “Buenos días, amor”. Nunca me faltó su amor incondicional, has sacrificado tanto para verme crecer, entregándome todo lo que tienes.

A mi papá, Jairo Escalante por ser ejemplo de esfuerzo, determinación y amor incondicional.

A mi padrastro, Walter Zaldaña quien más que un padrastro, ha sido un padre para mí. Gracias por guiarme, por cada consejo lleno de sabiduría y por brindarme su apoyo con la misma entrega y amor que un padre da a su hija.

A mi querida abuela, María Godoy quien con su amor inmenso y su ternura infinita ha sido un refugio en mi vida.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR) por darme esta oportunidad de formarme académicamente y por ser el escenario donde he crecido y me he formado profesionalmente.

A la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), por abrirme las puertas de su fundación y permitirme desarrollar mi investigación en un ambiente de aprendizaje, investigación y crecimiento.

A los ingenieros y licenciados que me apoyaron en este proceso, quienes con su conocimiento y orientación fueron un factor clave para el desarrollo de mi tesis.

A mis compañeros, quienes han sido una fuente inagotable de apoyo, motivación y colaboración. Gracias por cada momento compartido, por cada consejo y por cada esfuerzo en conjunto que hizo a este proceso más enriquecedor y llevadero.

Agradezco sinceramente a César Díaz, al Dr. Gustavo Ávila, a Nahomi Velásquez y mis hermanas por ser pilares fundamentales en este proceso. Su apoyo constante, sus palabras de aliento y la confianza depositada en mí han sido una fuente invaluable de motivación. Este logro también les pertenece, y les extiendo mi gratitud por acompañarme con generosidad y compromiso en cada etapa de este camino.

A Diego Velásquez, gracias por estar siempre, por tus palabras, tu tiempo y tu compañía. A veces no hacen falta grandes gestos, si no personas como vos que hacen la diferencia con su forma de ser.

A CONFOAS, por su respaldo y por creer en este proyecto.

A mi mascota Koda, por estar a mi lado en esas noches largas de desvelo, brindándome compañía y consuelo siendo un refugio constante en este camino.

RESUMEN

La presente investigación desarrolla un análisis de las propiedades físico-mecánicas y la trabajabilidad de la especie forestal *Huerteia cubensis Griseb* (cedrillo), cultivada en un sistema agroforestal en asocio con cacao en La Música, Atlántida, Honduras, en comparación con datos obtenidos de investigaciones ya realizadas en su hábitat natural, con el propósito de determinar su viabilidad y cuan funcional es para aplicaciones comerciales.

Este estudio es realizado en colaboración entre la Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR) y la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), esta investigación emplea un enfoque cuantitativo con un diseño no experimental y alcance descriptivo, aplicando las normas American Society for Testing and Materials (ASTM) para la elaboración y ejecución de ensayos en laboratorios.

Se evaluaron propiedades físicas como densidad básica (0.93 g/cm³), contracción volumétrica total (11.75%), contenido de humedad (33.38%), porosidad (70%) y punto de saturación de la fibra (30%), evidenciando ser una madera liviana, porosa y frágil al secado brusco.

En cuanto a propiedades mecánicas, se registraron valores de módulo de elasticidad (MOE) (3764.41 kg/cm²), módulo de ruptura (MOR) (626.94 kg/cm²), compresión paralela a la fibra (156.39 kg/cm²), compresión perpendicular a la fibra (37.17 kg/cm²), reflejando que presenta una menor rigidez estructural

respecto a otras especies, sin embargo; posee una mayor resistencia a la ruptura y menor comportamiento frente a cargas transversales.

Las pruebas de trabajabilidad las cuales fueron cepillado, lijado, moldurado, perforado, escopleado, clavado y torneado demostraron que la madera de cedrillo presenta una buena trabajabilidad con una superficie lisa, bordes definidos y ausencia de astillamiento, lo que la posiciona como una madera apta para acabados de carpintería finos, artesanías y estructuras ligeras.

La comparación analítica con datos del Centro de Utilización y Promoción de Productos Forestales (CUPROFOR) revelaron algunas diferencias en cuanto a la densidad y rigidez, atribuibles a las condiciones de cultivo, pero sin comprometer su potencial técnico.

Concluyendo que el cedrillo en un sistema agroforestal mantiene propiedades funcionales competitivas, recomendándose prácticas específicas en cuanto al secado al aire libre bajo sombra, uso de lijas, herramientas afiladas y calibración de maquinaria según las normas ASTM para garantizar precisión.

Esta investigación aporta evidencia científica y relevante para la valorización de esta especie forestal en un sistema productivo sostenible, promoviendo su cultivo y aprovechamiento razonable e incorporación en cadenas de valor maderables con criterios técnicos.

PALABRAS CLAVES:

Propiedades físico-mecánicas, densidad, contracción volumétrica, MOE, MOR, FHIA, ASTM.

ABSTRACT

This research develops an analysis of the physical-mechanical properties and workability of the forest species *Huertea cubensis Griseb* (Cedrillo), cultivated in an agroforestry system in association with cocoa in La Música, Atlántida, Honduras, in comparison with data obtained from research already carried out in its natural habitat, with the aim of determining its viability and how functional it is for commercial applications.

This study is conducted in collaboration between the National University of Forest Sciences (UNACIFOR) and the Honduran Agricultural Research Foundation (FHIA). This research employs a quantitative approach with a non-experimental design and descriptive scope, applying the American Society for Testing and Materials (ASTM) standards for the preparation and execution of laboratory tests.

Physical properties such as basic density (0.93 g/cm³), total volumetric shrinkage (11.75%), moisture content (33.38%), porosity (70%), and fiber saturation point (30%) were evaluated, showing it to be a lightweight, porous wood that is fragile when dried abruptly.

In terms of mechanical properties, the following values were recorded: modulus of elasticity (MOE) (3764.41 kg/cm²), modulus of rupture (MOR) (626.94 kg/cm²), compression parallel to the grain (156.39 kg/cm²), and compression perpendicular to the grain (37.17 kg/cm²), reflecting that it has lower structural

rigidity than other species; however, it has greater resistance to rupture and lower performance under transverse loads.

Workability tests, which included planing, sanding, molding, drilling, chiseling, nailing, and turning, showed that Cedrillo wood has good workability with a smooth surface, defined edges, and no splintering, making it suitable for fine carpentry finishes, crafts, and light structures.

Analytical comparison with data from the Center for the Use and Promotion of Forest Products (CUPROFOR) revealed some differences in density and stiffness, attributable to growing conditions, but without compromising its technical potential.

Concluding that cedar in agroforestry systems maintains competitive functional properties, specific practices are recommended regarding outdoor drying in the shade, the use of sandpaper, and the calibration of machinery according to ASTM standards to ensure accuracy.

This research provides scientific and relevant evidence for the valorization of this forest species in a sustainable production system, promoting its cultivation and reasonable use and incorporation into timber value chains with technical criteria.

KEYWORDS:

Physical-mechanical properties, density, volumetric shrinkage, MOE, MOR, FHIA, ASTM.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTO	6
RESUMEN	8
ABSTRACT	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO II. OBJETIVOS	18
CAPÍTULO III: REVISIÓN DE LA LITERATURA	19
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA	30
CAPÍTULO V: RESULTADOS	56
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN	69
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXOS	84
DECLARACIÓN	85

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS 1: SISTEMA AGROFORESTAL DE CEDRILLO (HUERTEA CUBENSIS GRISEB) Y CACAO	84
ANEXOS 2 MEDICIÓN DASOMÉTRICA DE LOS ARBOLES	85
ANEXOS 3 TABLAS DE 2 "X 6"X 8" DE LA MADERA DE CEDRILLO (HUERTEA CUBENSIS GRISEB)	85
ANEXOS 4 SECADO DE LA MADERA AL AIRE LIBRE BAJO SOMBRA	86
ANEXOS 5 ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS	86
ANEXOS 6 ROTULACIÓN DE LAS PROBETAS SEGÚN EL PROTOCOLO DE ENSAYOS	87
ANEXOS 7 BALANZA DIGITAL PARA EFECTUAR LOS PESAJES DE LAS PROBETAS	87
ANEXOS 8 HORNO DE LABORATORIO PARA PRUEBAS FÍSICAS.....	88
ANEXOS 9 MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS PARA PRUEBAS MECÁNICAS.....	88
ANEXOS 10 SECADO CONTROLADO DE PROBETAS MEDIANTE HORNO DE LABORATORIO.....	89
ANEXOS 11 DETERMINACIÓN DE VARIACIONES DIMENSIONALES POR PÉRDIDA DE HUMEDAD	89
ANEXOS 12 PRUEBA DE ESCOLETEADO EN PROBETAS DE CEDRILLO PARA CARACTERIZACIÓN DE TRABAJABILIDAD	90
ANEXOS 13 PRUEBA DE CEPILLADO EN PROBETAS DE CEDRILLO PARA CARACTERIZACIÓN DE TRABAJABILIDAD	90
ANEXOS 14 PRUEBA DE TORNEADO EN PROBETAS DE CEDRILLO PARA CARACTERIZACIÓN DE TRABAJABILIDAD	91
ANEXOS 15 PRUEBA DE CLAVADO EN PROBETAS DE CEDRILLO PARA CARACTERIZACIÓN DE TRABAJABILIDAD	91
ANEXOS 16 REALIZACIÓN DE PRUEBA DE FLEXIÓN ESTÁTICA.	92
ANEXOS 17 GRÁFICA DE LA PRUEBA DE FLEXIÓN ESTÁTICA	92
ANEXOS 18 HOJA DE EVALUACIÓN DE PRUEBA DE CEPILLADO.....	93
ANEXOS 19 HOJA DE EVALUACIÓN DE PRUEBA DE TORNEADO.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

ILUSTRACIÓN 1: CROQUIS DEL CENTRO EXPERIMENTAL Y DEMOSTRATIVO DE CACAO- JESÚS ALFONSO SÁNCHEZ	31
ILUSTRACIÓN 2: DESCRIPCIÓN DE LOS LOTES ESTABLECIDOS	32
ILUSTRACIÓN 3: CROQUIS DE LA UNACIFOR- ALEJANDRA WALESKA ESCALANTE.	33
ILUSTRACIÓN 4: UBICACIÓN DEL SISTEMA AGROFORESTAL DE CACAO Y CEDRILLO (HUERTEA CUBENSIS GRISEB).....	33
ILUSTRACIÓN 5 DIMENSIÓN DE LAS TABLAS DE LA MADERA DE CEDRILLO PROVENIENTE DEL SISTEMA AGROFORESTAL.	39
ILUSTRACIÓN 6 DIMENSIONES DE LAS PROBETAS PARA PRUEBAS FÍSICAS.....	41
ILUSTRACIÓN 7 DIMENSIONES DE PROBETAS PARA PRUEBAS DE FLEXIÓN ESTÁTICA	50
ILUSTRACIÓN 8 DIMENSIONES PARA PRUEBAS DE LIJADO	53
ILUSTRACIÓN 9 DIMENSIONES PARA LAS PRUEBAS DE PERFORADO Y MOLDURADO.....	54
ILUSTRACIÓN 10 GRÁFICA DE DENSIDADES DE LA ESPECIE DE CEDRILLO.....	56
ILUSTRACIÓN 11 GRÁFICA DE CONTRACCIONES DE LA ESPECIE DE CEDRILLO	57
ILUSTRACIÓN 12 GRÁFICA DE FLEXIÓN ESTÁTICA DE LA ESPECIE DE CEDRILLO.	61

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE HUERTEA CUBENSIS GRISEB.	19
TABLA 2 . PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE HUERTEA CUBENSIS GRISEB.	20
TABLA 3: PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS Y TRABAJABILIDAD DE LA MADERA DE HUERTEA CUBENSIS GRISEB.	21
TABLA 4: DENSIDAD, TRABAJABILIDAD Y USOS DE LA MADERA DE HUERTEA CUBENSIS GRISEB	21
TABLA 5: PORCENTAJES DE DURAMEN Y ALBURA EN TROZAS DE TECA PROCEDENTE DE LAS ZONAS DE BALZA Y QUEVEDO.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 6: VALORES PROMEDIOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE TECA PROCEDENTE DE QUEVEDO Y BALZAR.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 7: VALORES PROMEDIOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE TECA PROCEDENTE DE QUEVEDO Y BALZAR.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 8: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	35
TABLA 9 COMPARACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ESPECIE HUERTEA CUBENSIS GRISEB (CEDRILLO)	66
TABLA 10 COMPARACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ESPECIE HUERTEA CUBENSIS GRISEB (CEDRILLO)	67

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El bosque húmedo tropical de Honduras representa un gran porcentaje de la superficie boscosa del país. Se ubica especialmente en la zona Norte del país y la característica principal que presenta son lluvias abundantes y muy bien distribuidas durante todo el año. Representan gran parte de la diversidad de especies forestales y su función radica en proporcionar hábitat para la flora y fauna, estos bosques son los mayores captadores de carbono por su hoja ancha y es una gran fuente de servicios ecosistémicos. (ICF, Ficha técnica del sistema de clasificación del mapa forestal y cobertura de la tierra de Honduras, 2019).

La madera es una de las partes que tiene el árbol que puede ser aprovechada y que proporciona un beneficio económico, la madera tiene diversos usos o maneras de ser utilizada entre ellas para la obtención de algunos aceites, ácidos y celulosa. (Nutsch, 2005), los estudios tecnológicos de la madera proporcionan información acerca de las propiedades de las diversas especies. Estas características influyen en los procesos de transformación, en el comportamiento en el secado, el aserrío, el maquinado y en el producto final o uso más adecuado al que se le deba destinar este valioso recurso forestal, que debe estar en relación con sus propiedades (Olvera, 2015).

Para determinar las características de la madera se debe realizar algunas pruebas entre ellas se deberán establecer las propiedades físico-mecánicas y trabajabilidad, que son una suma de datos de importancia las cuales ayudaran a determinar cualidades en la madera para su uso, la resistencia, su dureza entre

otras, mediante estas pruebas se puede comprobar la calidad de la madera en este caso del cedrillo (*Huertia cubensis Griseb*).

En esta investigación se comprobará si existen diferencias entre registros de otras investigaciones realizadas anteriormente en comparación con una plantación agroforestal que realizó la FHIA en el departamento de Atlántida, La Másica, Honduras.

CAPÍTULO II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Comparar las propiedades físico-mecánicas de la madera de la especie *Huerteia cubensis* Griseb, en sistemas agroforestales con cacao en La Música, Atlántida, Honduras.

2.2. Objetivos específicos

Definir las propiedades físicas de la especie *Huerteia cubensis* Griseb en sistema agroforestal.

Definir las propiedades mecánicas de la especie *Huerteia cubensis* Griseb en sistema agroforestal.

Evaluar la trabajabilidad de la madera de la especie *Huerteia cubensis* Griseb para identificar sus posibles usos.

Determinar las propiedades físico-mecánicas de la especie *Huerteia cubensis* Griseb, entre investigaciones previas 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 *Huerteia cubensis Griseb* 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. 12 donde se tratan las propiedades y usos de la madera del Cedrillo (*Huerteia cubensis Griseb*) donde se registró la siguiente información (ver tabla 1 y 2).

Tabla 1: Propiedades físicas de la madera de *Huerteia cubensis Griseb*.

Propiedades físicas de la madera de <i>Huerteia cubensis Griseb</i>				
Propiedad		Promedio	Margen de error	Clasificación
Densidad verde C.H.= 156.95 %	g/cm ³	0.94	0.12	
Densidad seca al aire C.H.= 13.56 %	g/cm ³	0.46	0.08	
Densidad al 12 %	g/cm ³	0.47	0.09	
Densidad anhidra	g/cm ³	0.44	0.09	
Densidad básica	g/cm ³	0.37	0.06	Liviana
Contracción volumétrica total		14.34%	3.35	Muy alta
Contracción tangencial al 12 %		6.17%	1.41	
Contracción radial al 12 %		2.90%	1.04	Media
Contracción tangencial anhidra (Ctg.)		9.64%	2.2	Muy alta
Contracción radial anhidra (Ctg.)		4.53%	1.63	Alta
Relación de contracción (Ctg./Cr.)		2.12%	0.31	Alta
Punto de saturación de fibras		33.14%		
Coef. de contracción tangencial		0.21	0.07	Bajo
Coef. de contracción radial		0.14	0.05	Bajo
Movimiento tangencial		1.48%		

Movimiento radial	0.85%	
Movimiento	2.33%	Bajo

Tabla 2 . Propiedades mecánicas de la madera de *Huetea cubensis* Griseb.

Propiedades mecánicas en condiciones verdes (130 % de contenido de humedad) de la madera del Cedrillo (*Huetea cubensis* Griseb.)

Propiedad	Medición	Promedio	Desviación estándar	Margen de error
Flexión estática	Módulo de rotura	495.7	117.7	62.65
	Módulo de elasticidad	70631	15551	8976.96
Compresión paralela	Resistencia máxima	252.6	55.6	22
Compresión perpendicular	Esfuerzo límite proporcional	20.41	5.6	3.57
Dureza janka	Resistencia lateral	241.62 kg	77.8	24.05
	Resistencia extremos	309.22 kg	90.1	39.94
Extracción de clavos	Resistencia lateral	73.96 kg	18.6	5.6
	Resistencia extremos	34.06 kg	11.53	5.27
Cizalle	Resistencia máxima	50.56	10.92	4.87
Tensión perpendicular	Resistencia máxima	27.21	7.09	2.86
Clivaje	Resistencia máxima	43.19	13.75	6.09

Fuente: (CUPROFOR)

COEX SUDAMERICA TRADING (2008) son proveedores de Maderas Tropicales de Sur y Centroamérica de comercio exterior que trabajan en la venta de bosques de Teca, entre otros; con árboles de más de 22 años, realizando comercio de Europa hasta Sudamérica con diferentes productos derivados de los

bosques. En el siguiente cuadro se encuentran los datos sobre las propiedades Físico-mecánicas sobre la especie del Cedrillo (ver tabla 3).

Tabla 3: Propiedades físicas, mecánicas y trabajabilidad de la madera de Huerteia cubensis Griseb.

Propiedades físicas y mecánicas	
Densidad básica	0.37g/cm ³
Módulo de elasticidad	93432 kg/cm ²
Movimiento	2.33%
Cizalle	87 kg/cm ²
Relación de contracción	2.12
Dureza janka	308 kg
Punto saturación de fibras	33%
Compresión perpendicular	35 kg/cm ²
<p>Trabajabilidad: Es una madera fácil de aserrar y de trabajar con herramientas manuales, pobre a regular para el cepillado, buena para el taladrado y torneado, regular para el lijado y excelente para el moldurado y escopleado y fácil para el clavado. Presenta un excelente acabado, siendo el transparente el más recomendable por su belleza natural</p>	

Fuente: (COEX SUDAMERICA TRADING, 2008)

Benítez y Montesinos, (1998). Realizaron un catálogo de cien especies forestales de Honduras, en donde establecen mediante algunas pruebas y recopilación de literatura las propiedades físico-mecánicas de estas 100 especies, siendo una de ellas la especie *Huerteia cubensis Griseb* (ver tabla 4).

Tabla 4: Densidad, trabajabilidad y usos de la madera de Huerteia cubensis Griseb

Propiedades físicas	
Gravedad específica	0.38 gr/cm ³
Propiedades Mecánicas	

Flexión estática (Verde y al 12% de humedad)	
Esfuerzo máximo	703.4 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	97.3 x 10 ³ kg/cm ²
Dureza Janka	Lateral 283 y 294 kg.

Trabajabilidad: Es fácil de aserrar y de trabajar con herramientas manuales y con maquinaria para carpintería. Después de cepillarse algunas veces presenta grano mechudo.

Fuente: (Benitez y Montesinos, 1998)

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Descripción de la especie: *Huertia cubensis* Griseb

3.2.1.1. Nomenclatura

Nombre científico: *Huertia cubensis* Griseb

Nombres comunes: Cedrillo

Familia: STAPHYLEACEAE

3.2.1.2. Descripción botánica

Es un árbol de mediano a grande, alcanzando 30 metros de altura y pueden llegar hasta 100 cm diámetros de, copa umbelada o largamente redondeada, follaje bastante claro, con ramas oblicuo-ascendentes. Troza recta, cilíndrica, base con gambas aliformes o rectas simples, grandes. Las hojas son imparipinnadas, alternas, lamina lanceolada u oblongo lanceolada, con ápice acuminado o acuminado-cuspidado, el haz verde oscuro y lustroso, el envés

verde pálido. Inflorescencia panículas axilares de color amarillento y pequeñas, y frutos en capsulas subglobulosas. (CUPROFOR).

3.2.1.3. Distribución geográfica

Se extiende desde Centro América a Perú y en las indias occidentales, de Cuba a la Republica dominicana. En Honduras crece en bosques húmedos a muy húmedos, en elevaciones de 100-800 metros de altitud. Se le reporta en los departamentos de Atlántida y Colón (CUPROFOR).

3.2.1.4. Características de la madera

La madera recién cortada presenta un color en el duramen café castaño y en la albura, amarillento rosado; cuando seca el color de toda la madera es castaño rosado. Presenta olor y sabor ligeramente perceptibles, hilo inclinado y algunas veces ondulado, textura de fina a mediana, brillo mediano, vetado suave (Benítez y Montesinos, 1998).

Una vez realizada la descripción de la especie que será objeto de investigación se establecieron las bases del porque es importante realizar el estudio de las propiedades físico-mecánicas de la especie *Huerteia cubensis* Griseb.

Según la RAE No 9502, define a la madera como un material de estructura compleja y de carácter anisótropo que forma el tejido leñoso (Berger, 2009). 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 lo que son el corte transversal, corte radial y corte tangencial (Umlandt, 2022).

Por lo mencionado anteriormente, las propiedades físicas y mecánicas de la madera dependieron de los cortes que se realizaron. Por ello, se prestó total atención a la orientación y el tipo de corte, con el fin de asegurar los datos obtenidos y evitar distorsiones en los resultados.

En este sentido, al determinar las propiedades físicas conocemos cual es el comportamiento de la madera ante los factores que intervienen en el medio ambiente, sin que este actué química ni mecánicamente en su estructura interna.

Determinar parámetros como el peso específico permitió clasificar la madera de ***Huertia cubensis Griseb*** considerada una madera liviana, al tratarse de este tipo de madera clasificada como las más resistentes ya que se fabrican artículos como estanterías o mesas que soportan artículos pesados (CUPROFOR).

A su vez, la densidad y la contracción permite determinar que usos se le pueden dar a la madera, en los estudios previos de la madera de la especie ***Huertia cubensis Griseb***, se puede analizar que esta especie es resistente al ataque de termitas y su madera es fácil de secar al aire, y con la contracción volumétrica y tangencial nos indican cómo se comportará la madera en el

proceso de secado y según estudios realizados por CUPROFOR esta especie no presenta cambios en sus dimensiones al momento del secado.

Mientras que las propiedades mecánicas nos indican 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.

En los estudios previos que se realizaron de la especie *Huerteia cubensis Griseb* se ha demostrado que la madera de esta especie es fácil de trabajar, y tiene una densidad alta y una resistencia mecánica baja lo que no la hace adecuada para ser usada en construcciones que soporten cargas medianas o pesadas.

3.3. Conceptos claves

3.1.1. Madera

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

3.1.2. Propiedades físicas de la madera

Para Winandy:

Las propiedades físicas de la madera son características cuantitativas que proporcionan información sobre el comportamiento de la madera contra las influencias ambientales (incluyendo las fuerzas externas aplicadas). Estas propiedades son de suma importancia, pues afectan el rendimiento y la resistencia de la madera que es utilizada para aplicaciones estructurales” (1994, p. 551).

Las propiedades físicas de la madera es el conjunto de propiedades que caracteriza el comportamiento físico de la madera (Bravo, 2017).

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

3.1.3. Propiedades mecánicas

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

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

3.1.4. 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 (COEX SUDAMERICA TRADING, 2008).

3.1.5. Sistema agroforestal

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

Los sistemas agroforestales se componen de árboles y cultivos (Philip, 2022). Los cuales incrementan el rendimiento de los cultivos al tiempo que mantiene sus servicios ecosistémicos de regulación y conservación del medio (FAO, 2022).

3.1.6. Normas ASTM

Las normas ASTM International se utilizan para la realización de investigaciones, sistemas de calidad, proyectos de desarrollo, comprobación y aceptación de productos entre otros usos. (ASTM International 2020).

3.1.7. 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 externo (FHIA, 2022).

3.1.8. Flexión estática

Se refiere a la acción de someter la madera a una carga la cual se encuentra sobre dos apoyos, la cual debido a la carga se tendrá que curvar lentamente o bien hacer que pierda su forma, determinando el límite de proporcionalidad y el módulo de elasticidad (Triana Gómez & González Roso, 2015).

3.1.9. Punto de saturación de la fibra (PSF)

Esto se refiere a cuando la madera tiene las paredes celulares saturadas de agua completamente (Álvarez & Lerda, 2011).

3.1.10. Contracción total

Es cuando la madera pasa de tener un tamaño mayor a uno menor, o sea cuando disminuye el contenido de humedad por debajo del punto de saturación de la fibra (Pazos & Sotelo, 1999).

3.1.11. Densidad anhidra de la madera

La densidad anhidra es cuando la madera ya no cuenta con humedad en donde paso por un proceso de secado en horno para obtenerlo (Pérez et al., 2011).

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

4.1. Enfoque de la investigación

La investigación realizada tiene un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la recolección y análisis de datos mediante las propiedades físicas y mecánicas de la especie, para determinar si las propiedades de la madera de una especie difieren según el entorno o ambiente de su crecimiento.

4.2. Alcance de la investigación

El estudio es descriptivo, pues se observó el comportamiento que toma la madera de *Huertea cubensis Griseb*, para conocer sus propiedades físicas y mecánicas, no se empleó la manipulación de las variables.

4.3. Hipótesis

Por la naturaleza de la investigación. No existe una hipótesis.

4.4. Diseño de la investigación

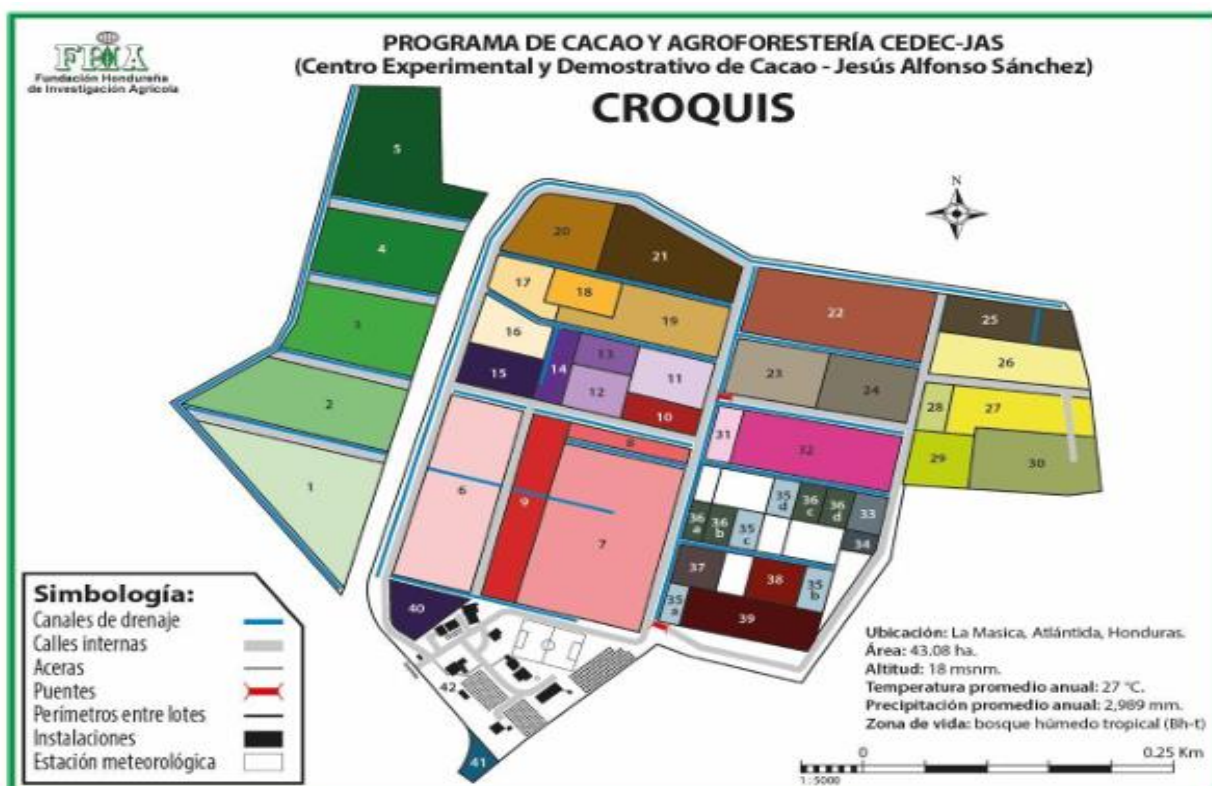
El diseño de la investigación fue no experimental, pues se ejecutaron distintas pruebas con la madera de *Huertea cubensis Griseb*, para conocer sus propiedades físico-mecánicas y trabajabilidad, no se empleará la manipulación de las variables.

4.5. Descripción del área de estudio

La primera parte del estudio se realizó en plantaciones agroforestales de la FHIA, las cuales se encuentran establecidas en el municipio de La Másica, departamento de Atlántida, Honduras.

La Másica, cuenta con cuatro climas diferentes: clima muy lluvioso con distribución regular de lluvia, clima poco lluvioso de transición, clima muy lluvioso con invierno lluvioso, y el clima predominante es el muy lluvioso tropical. El siguiente croquis muestra la distribución del centro experimental.

Ilustración 1: Croquis del Centro experimental y Demostrativo de Cacao- Jesús Alfonso Sánchez



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

Ilustración 2: Descripción de los lotes establecidos

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

Fuente: Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA)

La segunda parte del estudio se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR), el cual se encuentra en el municipio de Siguatepeque, departamento de Comayagua, Honduras.

Siguatepeque se caracteriza por tener un clima moderado y temperatura cálida. En cuanto a la precipitación promedio anual se estima un dato considerable, e incluso en su mes más árido cuenta con precipitaciones de 2048

mm. Un promedio de su temperatura es de 19.2 °C, en mayo es donde se presenta la temperatura más alta siendo esta de 21.1°C.

A continuación, se muestra un croquis sobre la ubicación del área de estudio ubicado en los laboratorios de UNACIFOR.

Ilustración 3: Croquis de la UNACIFOR- Alejandra Waleska Escalante.



LEYENDA

- ◆ Area de Estudio
- Edificio Emilio Esbeih
- Internado
- Edificio Administrativa
- Edificio 50 Aniversario
- Computo
- Aulas Maestria
- Biblioteca
- Bienestar Estudiantil
- Cafeteria
- Caja
- Aula taller
- Comedor
- Auditorio
- Clinica
- Limite UNACIFOR
- Aserradero
- CICAFOR
- Laboratorios
- Carpinteria
- Laboratorio de Biomasa

100 50 0 100 Meters



UNACIFOR



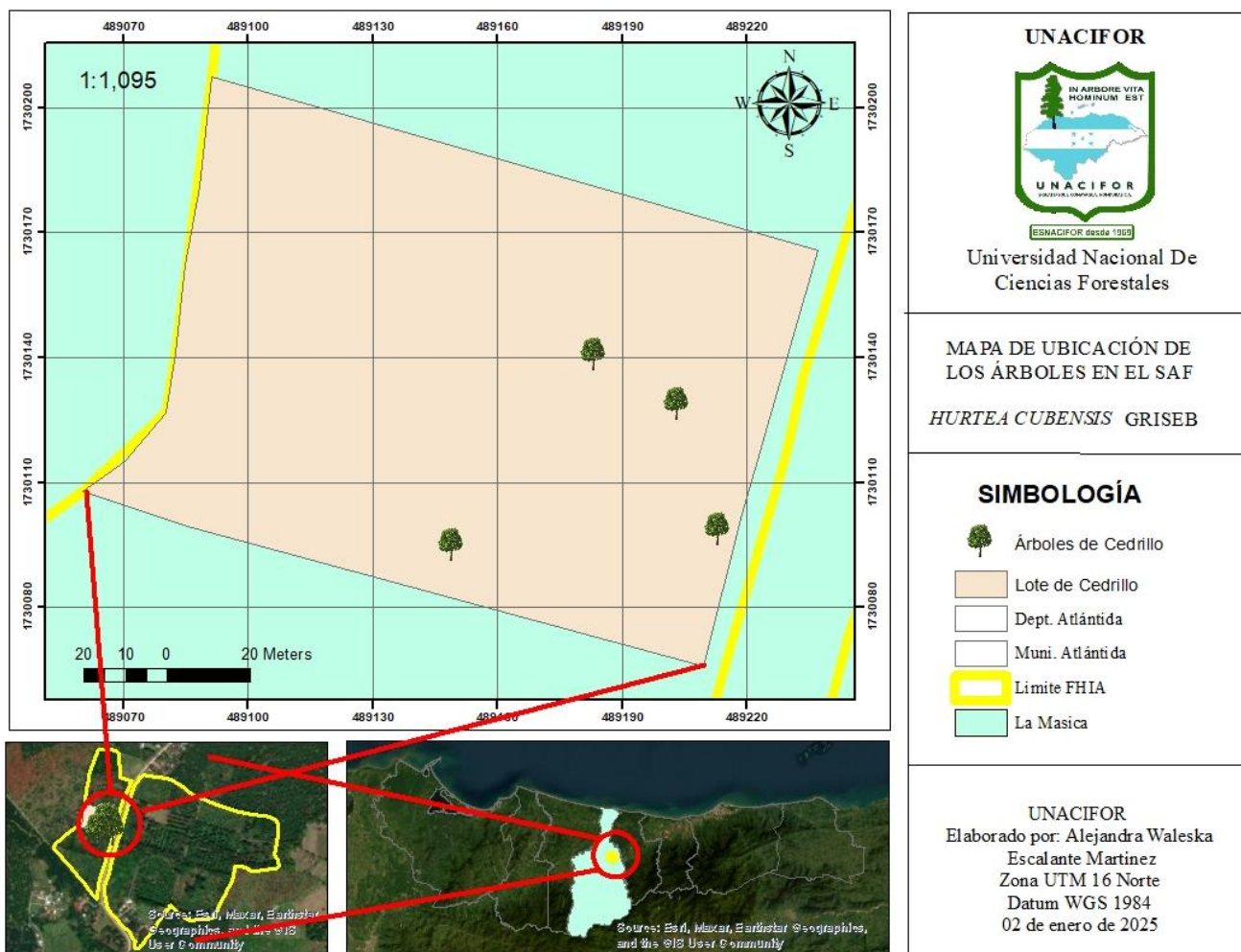
Universidad Nacional De Ciencias Forestales

MAPA DE UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

UNACIFOR
Elaborado por: Alejandra W. Escalante
Martinez
Zona UTM 16 Norte
Datum WGS 1984
08 de marzo de 2025

Elaboración: Alejandra Escalante

Ilustración 4: Ubicación del sistema agroforestal de Cacao y Cedrillo (Huertea cubensis Griseb)



Elaboración: Alejandra Escalante

4.6. Población, muestreo y muestra

La cantidad de árboles seleccionados dependieron del grado de precisión para lograr los diferentes ensayos. Se recomienda trabajar con una probabilidad estadística del 95%.

En esta investigación se utilizaron cuatro árboles, cantidad considerada adecuada para los fines del estudio. La Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) facilito el acceso a los árboles requeridos.

La cantidad de probetas se elaboraron con las especificaciones establecidas por las normas ASTM, donde se elaboraron 20 probetas por cada una de las pruebas.

4.7. Operacionalización / categorización de variables

Nota: Las pruebas que se muestran a continuación son las pruebas que se realizaron, sin embargo; a lo largo de la ejecución del trabajo por inconvenientes y limitantes relacionadas con maquinaria u otras situaciones como la información para comparación, la cantidad de pruebas disminuyo.

Tabla 5: 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	Medición cuantitativa específica que se utilizará para evaluar y describir	Densidad		Peso y volumen	g/cm ³ kg/m ³
			Contenido de humedad		Peso saturado (gr); Peso anhidro (gr).	gr

de la madera contra las influencias ambientales (incluyendo las fuerzas externas aplicadas).	como la madera reacciona a diversas condiciones ambientales y fuerzas externas.	Peso específico normal	Peso a un % de contenido de humedad	%
			Volumen a un % de contenido de humedad.	cm ³
		Peso específico saturado	Peso de la muestra saturada.	(kg)
			Volumen de la muestra saturada.	cm ³
		Peso Básico	Peso a 0% del contenido de humedad	gr
			Volumen saturado 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	cm ³
		Porosidad	Densidad anhidra.	gr/cm ³
		Contracción radial	Dimensión radial de la probeta saturada Dimensión radial de la probeta anhidra	Diámetro de la probeta satura, Diámetro de la muestra en estado seco

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 aplicadas sobre ella.	Contracción tangencial	Dimensión tangencial de la probeta saturada Dimensión tangencial de la probeta anhidra	Longitud de la probeta saturada
			Contracción volumétrica total	Volumen saturado de la probeta Volumen anhidro de la probeta	Volumen saturado de la probeta Volumen seco de la probeta
			Punto de saturación de las fibras	CVT, CHSA, CvSA	%
			Flexión estática	Determinación de esfuerzo de la fibra al límite proporcional Carga aplicada al límite proporcional Ancho de la probeta Altura de la probeta	mm.
			Módulo de ruptura	Carga máxima sostenida por la viga al momento de la falla Ancho y altura de la probeta	mm.
			Módulo de elasticidad		
			Compresión paralela	Carga aplicada al límite proporcional Área de la sección cruzada	mm.
			Compresión perpendicular	Incremento de la aplicación de la carga bajo el límite proporcional	

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.	Evaluación cualitativa de la respuesta de la madera determinada cuando es sometida a procesos de trabajo manual o herramientas eléctricas o manuales	Cepillado		Excelente, bueno, regular, sin defecto, levantamiento de fibra, rugosidad o marcas, quemaduras
			Lijado	Condición de la superficie	Muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo
			Perforado	Velocidad variable	Muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo
			Moldurado	Grano levantado, triturado, rasgado y astillado	Excelente (sin defectos visibles); Bueno (perfil aceptable); Deficiente (perfil irregular)
			Escopleado	Grano triturado.	Muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo
			Torneado	Condición de la superficie.	Excelente (sin defectos visibles); Bueno (mínimas imperfecciones); Deficiente (imperfecciones marcadas)
			Clavado	Porcentaje de rajadura.	Sin defectos por clavado Fisuras más del 50%
Rajadura abierta					

4.8 Procedimientos por objetivo

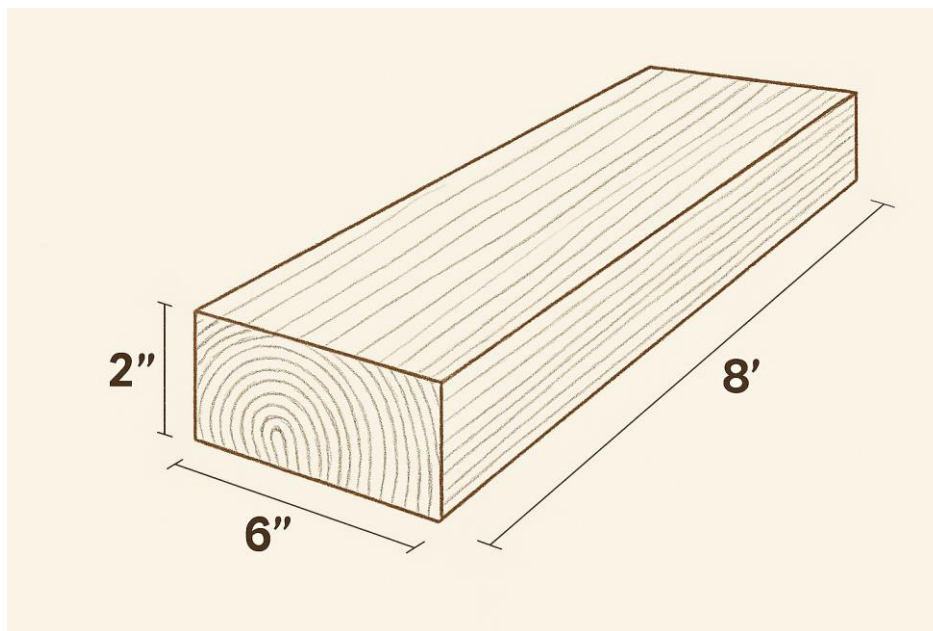
4.8.1. Actividades para desarrollar por objetivo

4.8.1.1. Objetivo 1

4.8.1.1.1. Extracción de la madera

Los árboles se extrajeron de una plantación de cedrillo en asocio con cacao ubicada en La másica, Atlántida en las instalaciones de la FHIA, con la ayuda de una motosierra se extrajo la madera de 4 árboles previamente escogidos de forma que fueran representativos. Una vez derribado los 4 árboles, se trasladaron al aserradero ubicado en la FHIA, donde se aserraron hasta llegar a obtener tablas con medidas de 2 "x 6"x 8".

Ilustración 5 Dimensión de las tablas de la madera de cedrillo proveniente del sistema agroforestal



Elaboración: Alejandra Escalante.

4.8.1.1.2. Transporte y secado

La madera se trasladó ya aserrada desde la FHIA ubicada en La másica, Atlántida, hasta la Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR) en Siguatepeque, Comayagua, recorriendo como distancia 380 km.

El secado se hizo bajo techo al aire libre en el aserradero de UNACIFOR. Las tablas se colocaron entre reglas de 1" pulg. para separarlas entre capas evitando el contacto directo con el suelo. Se rotularon con las iniciales del nombre científico de la especie y el nombre del tesista (mi persona), incluyendo las dimensiones de las tablas y se rotularon con un marcador permanente.

4.8.1.1.3. Elaboración de probetas

Las probetas para las pruebas físicas y mecánicas se realizaron es estado verde, utilizando las normas ASTM para la elaboración de estas, las cuales indican que se debe de realizar 30 probetas por cada prueba que vamos a realizar.

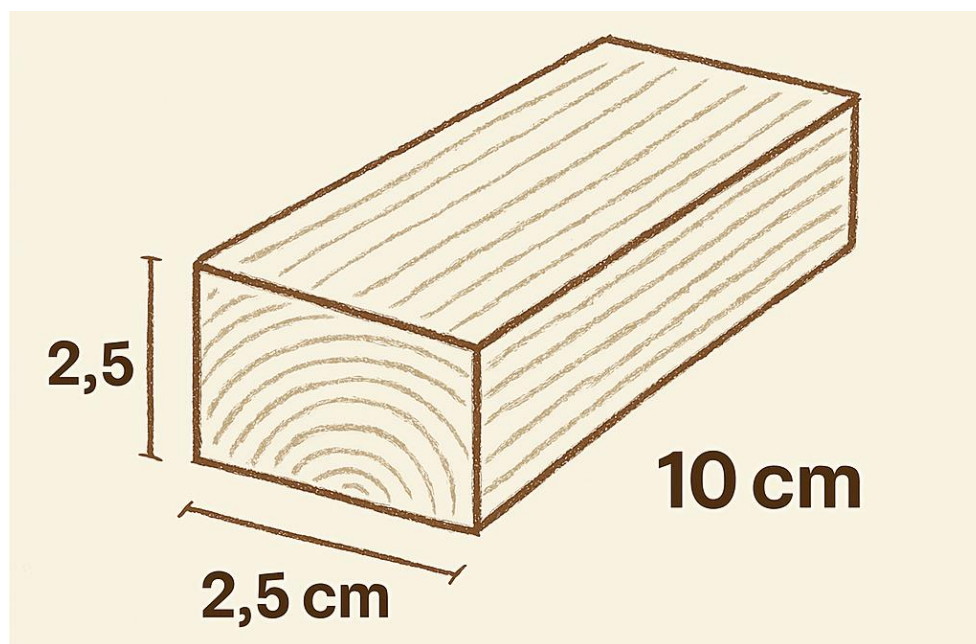
4.8.1.2 Objetivo 2

4.8.1.2.1. Ejecución de pruebas físicas

4.8.1.2.1.1. Preparación de probetas para pruebas físicas

Las probetas fueron elaboradas en la carpintería de UNACIFOR, las dimensiones fueron 2.5 cm de espesor y 10 cm de longitud, estas dimensiones fueron tomadas de las normas ASTM.

Ilustración 6 Dimensiones de las probetas para pruebas físicas



Elaboración: Alejandra Escalante

4.8.1.2.2. Densidad

4.8.1.2.2.1. Densidad saturada

Fórmula

Donde:

Ds: Densidad saturada (gr/cm^3)

Ps: Peso de muestra saturada (gr)

Vs: Volumen de muestra saturada (cm³)

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

4.8.1.2.2.2. Densidad normal

Fórmula

Donde:

Pn: Densidad normal

PCH: peso a un % de contenido de humedad

VCH: Volumen a un % de contenido de humedad

Se le considera densidad normal cuando es del 12%

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

4.8.1.2.2.3. Densidad básica

Fórmula

Donde:

We (o,s): peso básico.

Po: peso a 0% del contenido de humedad

Vs: volumen saturado al PSF

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

4.8.1.2.2.4. Densidad comercial

Fórmula

Donde:

Sc: densidad comercial (gr/cm³)

Fsa: pesa de la probeta en condición seca al aire (cm³)

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

$$Sc = \frac{F sa}{V sa}$$

4.8.1.2.2.5. Densidad anhidra

Volumen seco al aire (cm³) y peso seco al horno (gr)

Fórmula

Donde:

S: densidad anhidra (gr/cm³)

F: peso de la probeta en condición anhidra (gr)

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

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

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

4.8.1.2.3. Contenido de humedad

Con la densidad saturada y densidad anhidra

Fórmula

Donde:

CH%: contenido de humedad (%)

A: peso saturado (gr)

B: peso anhidro (gr)

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

4.8.1.2.4. Peso específico normal

Fórmula

Donde:

Pn: peso específico normal

PCH: peso a un % de contenido de humedad

VCH: volumen a un % de contenido de humedad

Cuando la humedad es del 12% se llama peso específico normal.

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

4.8.1.2.5. Peso específico saturado

Fórmula

Donde:

Ds: peso específico saturado (gr/cm3)

Ps: peso de la muestra saturada (gr)

Vs: volumen de la muestra saturada (cm3)

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

4.8.1.2.6. Peso básico

Fórmula

Donde:

We(o,s): peso básico

Po: peso a 0% del contenido de humedad

Vs: volumen saturado al PSF

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

4.8.1.2.7. Peso específico comercial

Fórmula

Donde:

Sc: peso específico comercial (gr/cm³)

Fsa: peso de la prueba en condición seca al aire (cm³)

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

$$Sc = \frac{Fsa}{Vsa}$$

4.8.1.2.8. Volumen

Haciendo uso del método B de las normas ASTM en donde se determina el volumen por inmersión de agua, en este apartado se realizaron tres mediciones, la primera en estado saturado, la segunda será en estado seco al aire libre, y por último en estado anhidro.

4.8.1.2.9. Porosidad

Fórmula

Donde:

Vp: volumen poroso %

S: densidad anhidra

0.667: constante obtenido del inverso de la densidad real de la madera (1/1.54 gr/cm³)

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

4.8.1.2.10. Contracción radial

Fórmula

Donde:

CR: contracción radial %

drs: dimensión radial de la probeta saturada (mm)

dra: dimensión radial de la probeta anhidra (mm)

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

4.8.1.2.11. Contracción tangencial

Se usarán las dimensiones tangenciales de las probetas en estado anhidro y saturado de las probetas.

Fórmula

Donde:

CT: contracción tangencial %

dts: dimensión tangencial de la probeta saturada (mm)

dta: dimensión tangencial de la probeta anhidra (mm)

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

4.8.1.2.12. Contracción longitudinal

Utilizando las probetas en estado anhidro y saturado.

Fórmula

Donde:

CL: contracción longitudinal %

dls: dimensión longitudinal de la probeta saturada (mm)

dla: dimensión longitudinal de la probeta anhidra (mm)

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

4.8.1.2.13. Contracción volumétrica total.

Se calcula mediante la diferencia de volumen saturado y volumen anhidro.

Fórmula

Donde:

CVT: contracción volumétrica total %

Vs: volumen saturado (cm³)

Va: volumen anhidro (cm³)

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

4.8.1.2.14. Punto de saturación de las fibras

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

Fórmula

Donde:

PSF: punto de saturación de la fibra 5

CVT: contracción volumétrica total (saturado-anhidro) %

CHSA: contenido de humedad seco al aire %

CvSA: contracción volumétrica seca al aire (saturado-seco al aire) %

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

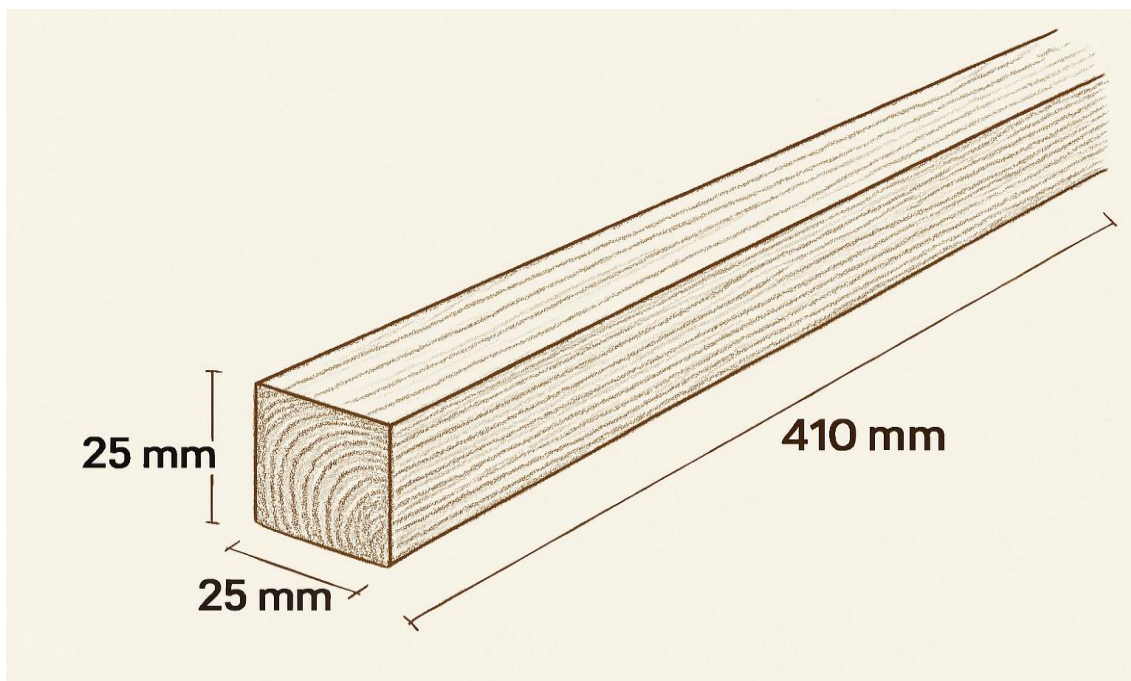
4.8.1.3. Objetivo 3

4.8.1.3.1. Ejecución de las pruebas mecánicas

4.8.1.3.2. Preparación de probetas para la prueba de flexión estática

Las probetas fueron elaboradas en la carpintería de la UNACIFOR, donde los cortes fueron dos en la cara tangenciales paralelas a los anillos y los otros en la cara radial, con dimensiones específicas de las normas ASTM que son 25mm de alto y 25mm de ancho y una longitud de 410mm, haciendo uso del método de probetas pequeñas.

Ilustración 7 Dimensiones de probetas para pruebas de flexión estática



Elaboración: Alejandra Escalante

4.8.1.3.3. Flexión estática

4.8.1.3.3.1. Esfuerzo de la fibra al límite proporcional

Fórmula

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)

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

4.8.1.3.3.2. Módulo de ruptura

Fórmula

Donde:

MOR: módulo de ruptura (kg/cm²)

Pmax: 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)

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

4.8.1.3.3.3. Módulo de elasticidad

Fórmula

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).

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

4.8.1.3.4. Compresión paralela a la fibra

4.8.1.3.4.1. Esfuerzo de las fibras al límite proporcional de la compresión paralela

Fórmula

Donde:

ELP: esfuerzo al límite proporcional

P': Carga aplicada al límite proporcional (kg)

A: área de la sección cruzada (cm²)

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

4.8.1.3.4.2. Compresión perpendicular a la fibra

4.8.1.3.4.2.1. Esfuerzo de las fibras al límite proporcional de la compresión paralela.

Fórmula**Donde:**

ELP: esfuerzo al límite proporcional (kg/cm²)

P': carga aplicada al límite proporcional (kg)

A: área de la sección cruzada (cm²)

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

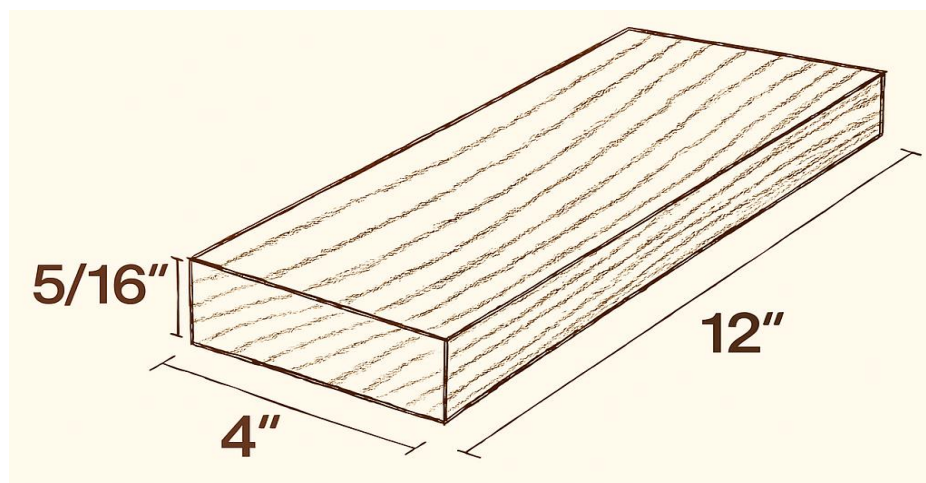
4.8.1.4. Objetivo 3**4.8.1.4.1. Pruebas de trabajabilidad**

Para elaborar las pruebas de trabajabilidad se utilizaron las normas ASTM 1666-87

4.8.1.4.1.1. Lijado

Las dimensiones para esta prueba con 5/16'' x 4'' x 12''

Ilustración 8 Dimensiones para pruebas de lijado



Elaboración: Alejandra Escalante

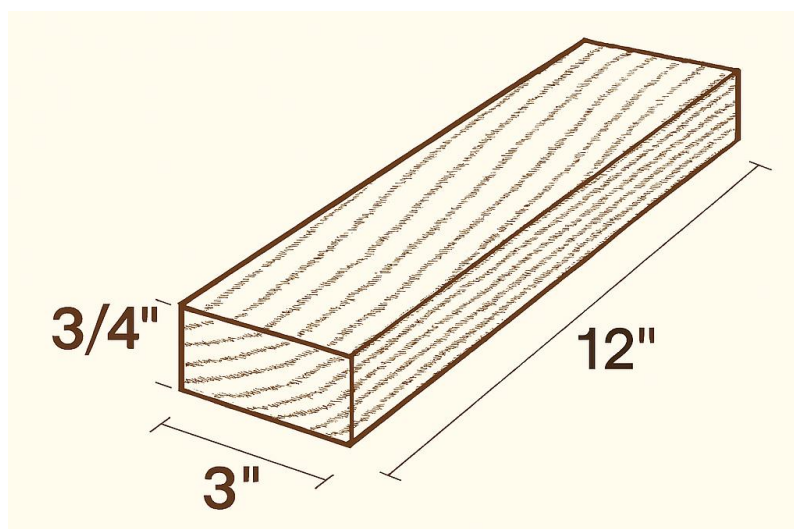
4.8.1.4.2. Perforado

Las dimensiones para esta prueba son $\frac{3}{4}$ "x3"x12''.

4.8.1.4.3. Moldurado

Las dimensiones para esta prueba son $\frac{3}{4}$ "x3"x12'', las piezas fueron clasificadas en excelente, bueno y regular.

Ilustración 9 Dimensiones para las pruebas de perforado y moldurado.



Elaboración: Alejandra Escalante.

4.8.1.4.4. Escopleado

Se utilizó un taladro para realizar esta prueba y su clasificación fueron muy bueno, bueno, regular malo y muy malo, con las mismas medidas de las probetas del perforado y moldurado.

4.8.1.4.5. Clavado

Para la realización de esta prueba se utilizaron las mismas medidas de las pruebas del lijado, se realizó de manera manual con un martillo común y con clavos de 2 pulg, a una distancia considerable.

Estas piezas se clasificaron como sin defectos, fisuras más del 50% y rajadura abierta.

4.8.1.5. Objetivo 4

Para una evaluación más integrada de la madera del Cedrillo, se compararon los datos obtenidos de las pruebas físicas, mecánicas y de trabajabilidad, con datos obtenidos de investigaciones previas sobre esta especie.

CAPÍTULO V: RESULTADOS

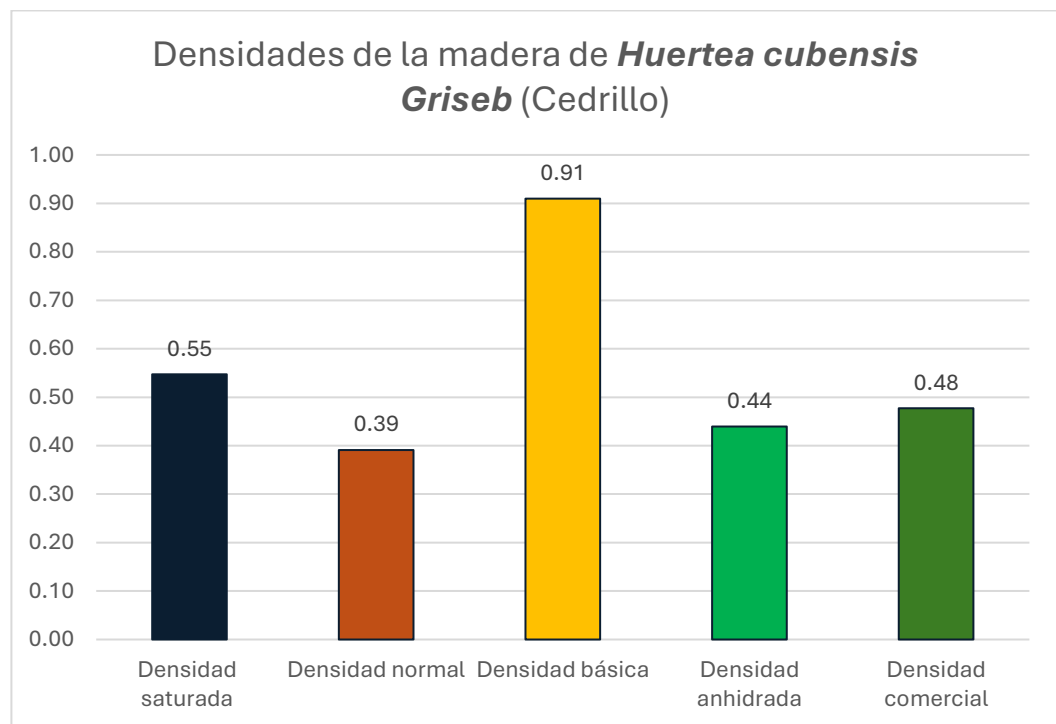
5.1. Análisis de las propiedades físicas

5.1.1. Densidad

La densidad de la madera de la especie *Huerteia cubensis Griseb* (Cedrillo) en estado saturado su densidad es de 0.55 gr/cm³, en su densidad normal es de 0.39 gr/cm³, su densidad básica es de 0.93 gr/cm³, y su densidad comercial es de 0.48 gr/cm³, según AEIM, s. f. lo ubica en la categoría de madera liviana.

Estos valores se obtuvieron a partir de los promedios de las 30 probetas que se sometieron a pruebas físicas.

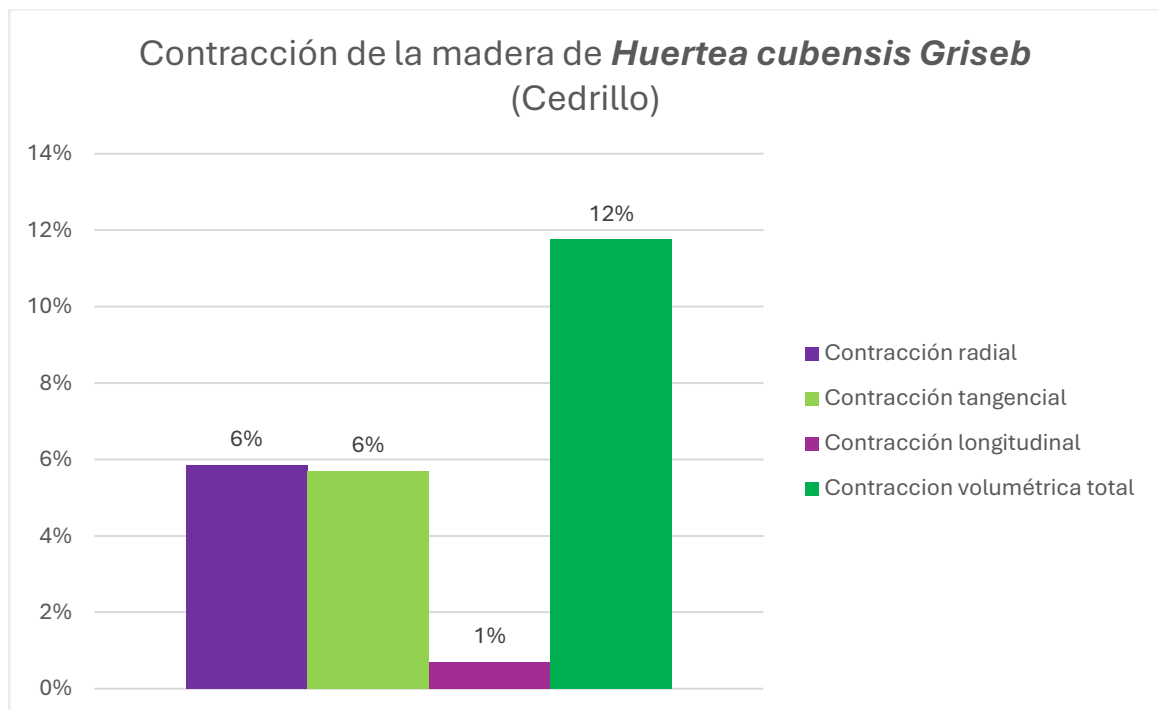
Ilustración 10 Gráfica de Densidades de la especie de Cedrillo



5.1.2. Contracción

La contracción tangencial de la madera de esta especie es de 5.69%, al igual que su contracción radial que es de 5.85%, lo que indica que la madera puede llegar a deformarse visiblemente por un mal secado y puede haber posibles fisuras al aplicar un secado brusco, mientras que su contracción longitudinal es de 0.70%, lo que indica que apenas puede afectar el secado al largo de la fibra y su contracción volumétrica es de 11.75% por lo que la madera del cedrillo reduce su volumen al pasar de un estado saturado a un estado anhidro casi un 12%.

Ilustración 11 Gráfica de contracciones de la especie de Cedrillo



5.1.3. Contenido de humedad

Contenido de humedad de las probetas saturadas, se refiere al punto en el que todas las cavidades celulares están llenas de agua, y que las paredes celulares aún no han comenzado a perderlas (Gonzales, 2025). En este caso. La madera sumergida en agua presento un contenido de humedad del 33.38% lo que refleja la cantidad de agua retenida en sus cavidades celulares.

5.1.4. Peso

El peso de la madera se refiere a la masa obtenida por unidad de volumen de las probetas, esto se expresa en unidades de kilogramo por metro cúbico (gr/m^3). Y puede variar según el contenido de humedad presente en la muestra.

El peso básico corresponde al peso de la madera a un contenido de humedad específico, siendo 0.45 gr/cm^3 el valor del peso básico indicando que la madera es considerada como una madera medianamente densa según Green et al., (1999).

En cambio, el peso comercial refleja el estado real en que se comercializa o utiliza la madera tras un proceso de secado natural. En este caso el peso comercial significa que la madera, en condiciones típicas de uso de venta (con humedad entre 12 y 14%), tiene un peso comercial es de 0.48 gr/cm^3 , lo que refleja el peso real que tendrá esta madera en aplicaciones prácticas como construcción y carpintería (USDA, 2010).

5.1.5. Volumen

Para la estimación de volumen de las probetas de madera de *Huertea cubensis* Griseb (Cedrillo), se aplicó el método B de las Normas ASTM D2395-17, el cual es por la inmersión en agua para determinar volúmenes de cuerpos sólidos irregulares. Este método se basa en el principio de desplazamiento de líquido, permitiendo obtener mediciones precisas del volumen en estado higroscópicos (ASTM, 2017).

Se realizaron mediciones de volumen en probetas de madera en estados saturado, seco al aire libre y anhidro, los cuales se pueden resumir que la madera del cedrillo tiene una contracción volumétrica progresiva conforme la madera pierde humedad, la diferencia entre el volumen saturado y el volumen anhidro es de 6.7%, a lo que se le atribuye a la pérdida de agua libre y ligada durante el proceso de secado.

5.1.6. Porosidad

La porosidad en la madera es la representación de espacios vacíos (poros). La madera de Cedrillo tiene un 70.65 % lo que la clasifica como una madera altamente porosa.

5.1.7. Saturación al PSF

La capacidad de la madera para retener agua, especialmente en forma de agua libre, que se almacena en las cavidades celulares. Esta retención se

mantiene estable mientras la humedad se encuentra por encima del punto de saturación de las fibras (PSF), por lo que en ese estado la madera no experimenta cambios dimensionales ni estructurales, sin embargo; cuando el contenido de humedad desciende por debajo del PSF, empieza un proceso de contracción en las paredes celulares y es donde se empieza a generar variaciones dimensionales.

En este caso el PSF es de 30.05%, lo que representa un porcentaje de humedad antes de que inicien los cambios físicos que están asociados al proceso de secado.

5.2. Evaluación de propiedades mecánicas

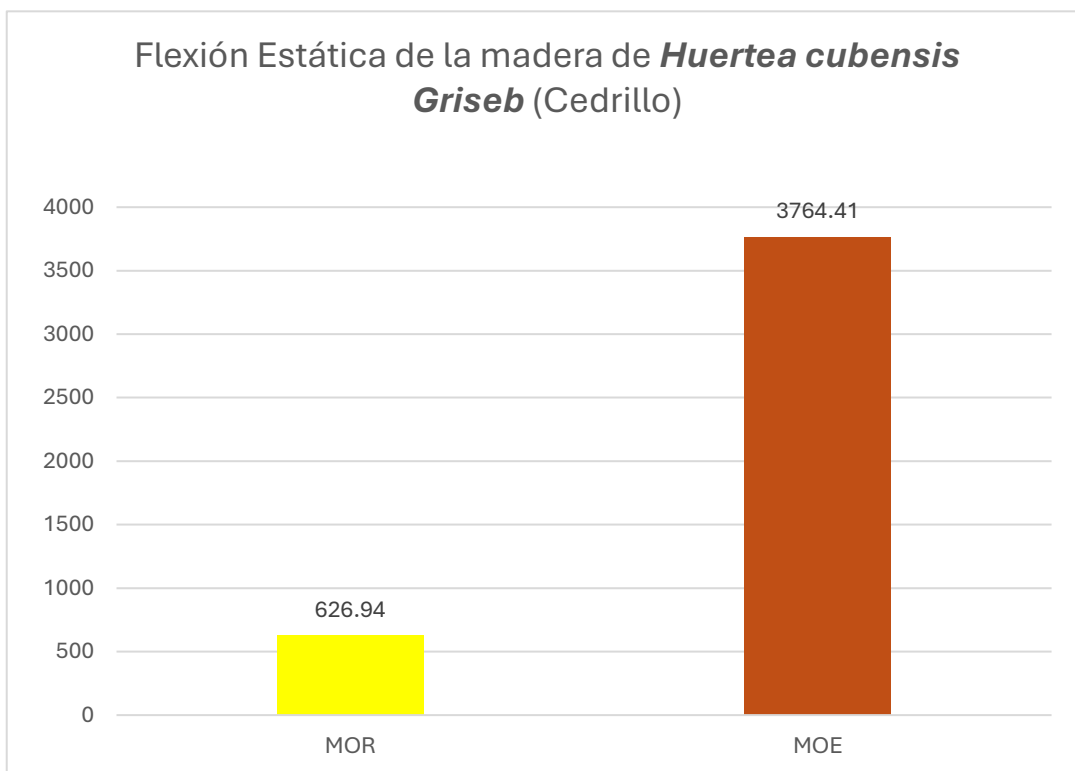
5.2.1. Flexión estática

El módulo de elasticidad (MOE) es el esfuerzo máximo que resiste una pieza sometida a una cantidad de fuerza determinada, mide la rigidez de la madera, en donde cuanto mayor sea el MOE más rígida y menos deformación tiene esta (Suirezs & Berger, 2009).

En este caso el MOE es de 3764.41 kg/cm² lo que nos indica que esa es la tensión que puede soportar la madera del cedrillo reflejando la capacidad de la madera para resistir a deformaciones.

El módulo de ruptura (MOR) representa el esfuerzo de la resistencia máxima que tiene la pieza antes de romperse. El cedrillo (*Huertea cubensis* Griseb) puede soportar 626.94 kg/cm² esa es la capacidad máxima de esta especie para resistir esfuerzos de flexión antes de su falla.

Ilustración 12 Gráfica de Flexión estática de la especie de Cedrillo.



5.2.2. Compresión de la fibra

Compresión paralela a la fibra

La resistencia a la compresión paralela a la fibra mide la capacidad de la madera para soportar fuerzas aplicadas en la misma dirección que sus fibras longitudinales, como ocurre en columnas o postes.

La capacidad de la madera del Cedrillo puede soportar 156.39 kg/cm² lo que indica buena resistencia en la compresión paralela y se puede utilizar en construcciones principalmente columnas, y la información que arrojó el ensayo es que la probeta nunca presentó la falla por lo que se considera que posee buena resistencia.

El valor indica que la madera puede resistir hasta 156.39 kilogramos por cada centímetro cuadrado de sección transversal antes de fallar por aplastamiento en esa dirección.

Compresión perpendicular a la fibra

La especie de cedrillo presenta una compresión paralela a la fibra de 37.17 kg/cm² indicando que es una madera resistente con buen comportamiento frente a cargas transversales, útiles para superficies de apoyo y aplicaciones como tableros, este valor se complementa con una resistencia mayor en dirección paralela a la fibra, debido a la alineación de sus células estructurales

Esta especie es una opción para la fabricación de muebles, elementos decorativos que requieren estabilidad, buena trabajabilidad y respuesta mecánica.

5.3. Trabajabilidad

5.3.1. Cepillado

Para la evaluación de trabajabilidad de la madera del cedrillo se utilizaron 20 probetas de 2" x 2" x 4" para someterlas a la prueba de cepillado, el objetivo de esta prueba es observar la respuesta de la madera del cedrillo ante el cepillado, e identificar posibles defectos como levantamiento de las fibras,

quemaduras o irregularidades, todo esto para determinar su aptitud para trabajos de carpintería y acabados finos.

La madera de cedrillo (*Huertia cubensis* Griseb) mostro una superficie uniforme y lisa sin imperfecciones visibles, lo que demuestra que posee propiedades favorables y una excelente trabajabilidad en respuesta al cepillado.

5.3.2. Lijado

Para la prueba de lijado se realizó con 20 probetas de 5/16" x 4" x 12", utilizando dos tipos de lija, una de grano 80 (más gruesa) y otra de grano 120 (más fina), se utilizaron tres categorías para evaluar: muy bueno, bueno y regular, esto en función del acabado, si existe presencia de rajadura o levantamiento de la fibra.

Ambas pruebas reflejaron que la madera de *Huertia cubensis* Griseb (cedrillo) presentan buen comportamiento ante el lijado utilizando los dos tipos de lija, ya que no mostro defectos significativos, tanto con la lija gruesa como la fina, mostrando una textura uniforme.

5.3.3. Perforado

Para la prueba de perforado se realizó con 30 probetas de 3/4" x 3" x 12", se utilizó parámetros como muy bueno, bueno, regular, malo y muy malo. La madera mostro un comportamiento favorable, en donde destaco por su resistencia al corte transversal, una fibra uniforme y ausencia de astillamiento, lo que facilito la penetración de la broca sin generar deformaciones.

Los resultados confirman que el cedrillo que es una especie apta para procesos de perforado, manteniendo una estabilidad dimensional y una buena respuesta mecánica, su textura fina y porosidad contribuye a una excelente trabajabilidad permitiendo perforaciones precisas.

5.3.4. Moldurado

Para la prueba de moldurado se realizaron 20 probetas de $\frac{3}{4}$ " x 3" x 12", con el objetivo de evaluar su respuesta ante las herramientas de perfilado y acabado superficial. Se utilizaron los parámetros de excelente, bueno y regular.

Durante la prueba la madera presento un comportamiento apto para el moldurado destacando su fibra recta, su textura uniforme y baja resistencia al corte transversal, por lo que obtuvimos una facilidad de mecanizado.

5.3.5. Escopleado

Para la prueba de escopleado se realizaron 20 probetas con las dimensiones de $\frac{3}{4}$ " x 3" x 12", con la finalidad de evaluar su respuesta al mecanizado en procesos de unión.

Durante la prueba la madera mostro un comportamiento favorable considerándose muy buena, destacando su fibra y textura homogénea y buena resistencia al desgarre, penetro con facilidad, manteniendo precisión en sus cortes.

5.3.6. Torneado

Para la realización de la prueba de torneado, se utilizaron 20 probetas con dimensiones de $\frac{3}{4}$ " x $\frac{3}{4}$ " x 5", con el objetivo de evaluar su trabajabilidad en procesos de acabado superficial.

La madera presento un buen comportamiento, destacando su textura y fibra homogénea y poca tendencia al astillado, lo que permitió obtener piezas con superficies limpias, bordes definidos y sin desprendimiento.

5.3.7. Clavado

Para la realización de esta prueba, se utilizaron las mismas 30 probetas del lijado. La prueba se realizó a mano, con un martillo común y con clavos de 2 in 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 cinco clavos en cada uno de los extremos de la probeta.

Las piezas fueron clasificadas por el porcentaje de rajadura, las que no presenten ningún tipo de rajadura serán clasificadas como excelentes o libres de defectos.

5.4. Comparación de propiedades Físico-mecánicas de la especie de *Huertia cubensis* Griseb (Cedrillo) en plantaciones agroforestales en asocio con cacao contra investigaciones realizadas en su habitat natural

Para establecer la comparación técnica, se ha tomado como referencia el Informe Técnico No. 12 elaborado por el Centro de Utilización y Promoción de Productos Forestales (CUPROFOR) en ayuda con la International Tropical

Timber Organization (ITTO), titulado Usos y propiedades de la madera de Cedrillo, en donde constituyen uno de los estudios más completos y representativos sobre la especie del cedrillo en condiciones naturales, describiendo sus características macroscópicas y microestructurales hasta sus propiedades físico-mecánicas.

Este estudio tiene como uno de sus objetivos establecer un análisis comparativo de los valores obtenidos bajo condiciones agroforestales con parámetros establecidos por CUPROFOR, para determinar si existen variaciones en la calidad de la madera, y si pueden influir en su uso comercial, estructural o artesanal.

*Tabla 6 Comparación de propiedades Físicas de la especie **Huerteia cubensis Griseb** (Cedrillo)*

Propiedades Físicas de la especie Huerteia cubensis Griseb		
PROPIEDAD	TESIS	CUPROFOR
Densidad saturada	0.55 gr/cm ³	0.94 gr/cm ³
Densidad normal	0.39 gr/cm ³	0.46 gr/cm ³
Densidad básica	0.93 gr/cm ³	0.37 gr/cm ³
Densidad anhídrida	0.44 gr/cm ³	0.44 gr/cm ³
Densidad comercial	0.48 gr/cm ³	0.47 gr/cm ³
Peso específico saturado	0.55 gr/cm ³	
Peso básico	0.45 gr/cm ³	
Peso específico comercial	0.48 gr/cm ³	
Contracción radial	6%	2.90%
Contracción tangencial	6%	9.64%
Contracción longitudinal	1%	
Contracción volumétrica total	12%	14.34%
Contenido de humedad	33.38%	
PSF	30.05%	33.14%
Porosidad	70%	

La madera proveniente del sistema agroforestal muestra menores valores de densidad y peso específico, lo que indica que tiene una estructura más ligera y menos compacta que la madera que crece en su hábitat natural, esto puede deberse a factores como competencia por luz y nutrientes, manejo de podas y condiciones edáficas y micro climáticas distintas.

La mayor porosidad y contracciones observadas en este estudio indican que la madera podría ser susceptible pero también más apta para procesos de moldura y perforados como se demuestra en los resultados.

*Tabla 7 Comparación de propiedades Mecánicas de la especie **Huertia cubensis Griseb** (Cedrillo)*

Propiedades Mecánicas de la especie <i>Huertia cubensis Griseb</i>		
PROPIEDAD	TESIS	CUPROFOR
Módulo de elasticidad (MOE)	3764.41 kg/cm ²	7063.1 kg/cm ²
Módulo de ruptura (MOR)	626.94 kg/cm ²	495.7 kg/cm ²
Compresión paralela a la fibra	156.39 kg/cm ²	252.6 kg/cm ²
Compresión perpendicular a la fibra	37.17 kg/cm ²	20.41 kg/cm ²

La diferencia en el módulo de elasticidad es muy grande lo que demuestra que el cedrillo de la plantación agroforestal muestra una rigidez estructural inferior, lo que nos dice que tiene una menor capacidad para resistir deformaciones elásticas, esto puede deberse a condiciones de crecimiento un tanto controladas.

En el módulo de ruptura el cedrillo de la plantación agroforestal supera en resistencia máxima antes de la ruptura al del hábitat natural, esto indica que a pesar de que tiene una menor rigidez puede absorber más carga antes de la falla.

En la compresión paralela a la fibra la madera natural tiene mayor resistencia a la compresión axial, lo que lo hace adecuada para soportes verticales, sin embargo; la madera del sistema agroforestal también sigue siendo funcional para aplicaciones estructurales.

En la compresión perpendicular a la fibra la madera de la plantación muestra un mejor desempeño, lo que nos indica una mayor capacidad para resistir cargas transversales sin deformarse, donde también se puede utilizar en ensambles y apoyos.

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

En lo que respecta a las propiedades físicas, se calculó un valor de densidad básica el cual es de 0.91 g/cm³, la cual se encuentra entre el rango de categoría liviana. Las diferencias encontradas entre la especie en sistema agroforestal y la especie en su hábitad natural resultan ser menores por parte de la especie en sistema con valores que la determinan con una estructura más ligera y menos compacta que la desarrollada en su hábitat natural.

Estas diferencias indican que las condiciones de manejo la disponibilidad de nutrientes y las características edáficas tienen una mínima influencia en la conformación atómica de su tejido leñoso, con referencia a la relación tangencial/radial, el resultado fue de 6% para la investigación en una plantación agroforestal siendo mayor, lo que nos indica una alta sensibilidad al secado, sin embargo; el secado no afecta demasiado a la longitud de la fibra, según con las investigaciones de su hábitat natural la madera del cedrillo es de fácil secado al aire libre con defectos moderados, con algunas grietas y arqueaduras.

A pesar de la diferencia entre los resultados se sigue considerando dentro del rango para ser una madera liviana y con buenas características de secado al aire libre.

Los resultados obtenidos sugirieron que esta especie de madera puede ser utilizada en diversas aplicaciones referente a construcciones como vigas, trabajos de carpintería con acabados finos.

Según COEX Sudamérica Trading, (s. f.), la madera del cedrillo puede usarse en:

Muebles finos, lineales y torneados, puertas, ventanas, chapas decorativas, artesanías, molduras y carpintería en general.

Elementos estructurales que soporten cargas livianas, marcos para ventanas y puertas.

En cuanto a las propiedades mecánicas de la madera, las diferencias encontradas entre la madera en sistema agroforestal y la madera en su ambiente natural, resultan ser más amplias a diferencia de las pruebas físicas, ya que bajo la clasificación su esfuerzo al límite proporcional a la fibra de la madera en sistema agroforestal es menor y la especie en un ambiente natural es alta, en la prueba de compresión paralela a la fibra los resultados mantienen una diferencia de 10.76 kg/cm².

También se observó que la madera no presenta un alta nivel de torceduras u ondulaciones con el método de secado al aire libre bajo sombra, esto puede deberse a la edad de cada árbol al momento de ser aprovechado.

En términos de trabajabilidad, la madera mostro un excelente desempeño en las pruebas que se realizaron. En el lijado se utilizaron dos tipos de lija una de 120 (fina) y 80 (gruesa), en la cual presento un buen resultado dejando un excelente acabado, con respecto al perforado y escopleteado también se obtuvieron resultados positivos ya que no hubo ningún inconveniente al momento de ser perforada teniendo un excelente desempeño en estas pruebas, el clavado no mostro daños ya que la madera es ligera por lo que no presento rajaduras, en general los resultados fueron muy satisfactorios.

Por lo tanto, se puede considerar que la madera del cedrillo proveniente de un sistema agroforestal ofrece una trabajabilidad que va de muy buena a buena, en comparación a investigaciones previas de esta especie en su habitat natural sobre su trabajabilidad la madera es muy similar a lo descrito, es moderadamente fácil de aserrar y trabajar con la maquinaria de la carpintería.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

Se realizaron las pruebas de propiedades físicas de la madera, mediante ellas se determinó el nivel de absorción de humedad como el nivel de expulsión de humedad, el peso, densidad y así observar las características que presenta la madera de cedrillo.

Se realizaron pruebas mecánicas las cuales nos ayudaron a conocer la fuerza que la madera puede soportar antes de mostrar un defecto, esto para darnos a conocer sus posibles usos, llegando a la conclusión que la madera de cedrillo procedente de un sistema agroforestal es similar mas no igual de resistente que la madera procedente de su hábitat natural, la resistencia de las respectivas pruebas es similar, ya que su clasificación se encuentra dentro de la categoría de maderas livianas.

Se realizo un análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la madera de cedrillo en sistema agroforestal, lo que la hace apta para carpintería, acabados finos y estructuras ligeras, su trabajabilidad es favorable respondiendo al lijado, con contracciones moderadas que facilitan el secado al aire libre bajo sombra. Al

compararla con investigaciones realizadas en su habidad natural, se observaron diferencias, en ambientes más húmedos y sombreados el cedrillo desarrolla una madera más liviana y de menor resistencia, pero con grano más fino y uniforme, lo que potencia su uso ornamental.

7.2. Recomendaciones

En el proceso de secado de la madera, se recomienda hacerlo al aire libre bajo techo, sin tocar el suelo. En estas galeras, se utilizan palillos como separadores entre piezas de madera para controlar la circulación del aire. Esto es importante para evitar problemas por patógenos. Hay que considerar que la madera de cedrillo tiende a rajarse con un secado muy brusco y aun con el secado al aire libre tiende a tener pequeñas grietas.

El contenido de humedad de la madera de este estudio fue de 13.38% lo cual está en óptimas condiciones para realizar trabajos de interiores, ya que alcanzo una estabilidad dimensional que minimiza los riesgos de contracción o deformación, en este estado puede cepillarse, lijarse y realizar ensambles con adhesivos como PVA, además de permitir una aplicación de selladores o barnices, siempre evitando la absorción de humedad, especialmente si se planea que sea de uso para exteriores en donde se tendría que aplicar tratamientos o protectores.

En el proceso de lijado se recomienda utilizar lijas desde el grano número 60, 80, 100 y finalizar con número 120 para lograr una mejor textura y un mejor acabado de las piezas. Siempre lijando en dirección de la veta para evitar rayones y mantener su textura natural.

Para garantizar resultados precisos en las pruebas de trabajabilidad, se recomienda que las herramientas utilizadas estén correctamente afiladas, ya que esto incide en la calidad del corte y en la facilidad del mecanizado de las piezas.

Asimismo, es fundamental que la madera presente un contenido de humedad dentro del rango óptimo establecido para procesos, lo cual permite evaluar el comportamiento real bajo condiciones controladas.

Mejorar las condiciones de la maquinaria y apegarlas según la normativa para que las pruebas lleven una secuencia mediante las características que se solicitan.

La máquina con la que se realizaron las pruebas mecánicas trabaja con un sistema de normas europeas lo cual limita la cantidad de pruebas que se podían realizar ya que se utilizaron las normas ASTM, también debe de realizarse el debido mantenimiento a la máquina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar y Guzowski. (2011). *Materiales y Materias Primas*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Obtenido de <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL007398.pdf>

Armando, L. (2022). Maderas de la región de madre de Dios- Perú. Obtenido de Propiedades http://maderasdemadrededios.blogspot.com/p/propiedades_mecanicas_mecanicas.html#:~:text=El%20ensayo%20de%20clivaje%20tambi%C3%A9n,falla%20es%20tangencial%20a%20los

Benitez y Montesinos. (1998). *Catálogo de cien especies forestales de Honduras distribución, propiedades y uso*. Siguatepeque, Comayagua, Honduras: ESNACIFOR.

Berger, S. (2009). *Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera*. Argentina: Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones.

Calvo, C. F. (2007). Propiedades de hinchamiento y contracción en la madera de *Eucalyptus grandis* de argentina. Obtenido de MADEIRA: Carlos Fabio Calvo1

Campos, W. (2015). *Determinación de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera de Pinus maximinoi H. E Moore; Cobán, Verapaz*. San

Juan Chamelco, Alta Verapaz . Obtenido de obtenido de
<http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2015/06/22/Campos-Christian.pdf>

COEX SUDAMERICA TRADING. (2008). *COEX SUDAMERICA TRADING*. Obtenido de <https://www.maderasdesudamerica.com/cedrillo-huerte-cubensis-griseb/>

CUPROFOR. (s.f.). Propiedades físicas de la madera de Cedrillo (Huerte cubensis Griseb.). En CUPROFOR, *SERIE TECNOLOGICA DE MADERAS HONDUREÑAS. INFORME TÉCNICO N° 12 PROPIEDADES Y USOS DE LA MADERA DE CEDRILLO (Huerte cubensis Griseb)*. San Pedro Sula, Honduras.

Díaz, J. A., Naranjo, A. G., Mancera, N. J., Tejeda, T. H., Díaz, M. d., & Sotelo, R. D. (2015). Densidad de las maderas mexicanas. Obtenido de scielo: <https://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v21nspe/v21nspea6.pdf>

FAO. (Junio de 2011). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura*. Obtenido de Establecimiento de sistemas agroforestales: <https://teca.apps.fao.org/es/technologies/7189/>

FAO. (2022). *El estado de los bosques del mundo 2022. Vías forestales hacia la recuperación verde y creación de economías inclusivas, resilientes y sostenibles*. Roma, FAO.

FHIA. (2022). *Informe Técnico 2021*. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola , La Lima, Cortés, Honduras. Obtenido de Fundación Hondureña de Investigación Agrícola FHIA. (2022). Informe Técnico 2021

Programa de Cacao y Agroforestería. La

[Lhttp://www.fhia.org.hn/descargas/informes_tecnicos/inf_Programa_de_Cacao_y_Agroforesteria-2021.pdf](http://www.fhia.org.hn/descargas/informes_tecnicos/inf_Programa_de_Cacao_y_Agroforesteria-2021.pdf)

Giménez, A., Moglia, J., Hernández, P., & Gerez, R. (2000). ANATOMIA DE LA MADERA. Santiago del Estero. Obtenido

<https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/sd-1-anatomia-de-madera.pdf>

Gutiérrez, & Torres. (2021). Dureza y densidad de la madera. Obtenido de Torres y Gutiérrez: <https://www.torresygutierrez.com/blog-muebles/dureza-y-densidad-las-maderas>

ICF. (04 de Marzo de 2019). *Ficha técnica del sistema de clasificación del mapa forestal y cobertura de la tierra de Honduras*. Tegucigalpa. Obtenido de Obtenido de https://la.astm.org/wp-content/uploads/2020/03/what_is_astm_SP_feb16.pdf

ICF. (2024). *PPAT*. Obtenido de Programa Presidencial Padre Andrés Tamayo: <https://icf.gob.hn/areas-de-trabajo/ppat/>

MAMUCA. (s.f.). *PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL LA MASICA, ATLANTIDA 2014-2018*. Obtenido de Obtenido de <https://www.sjgd.gob.hn/biblioteca-virtual/docspdm/pdm-certificados/atlantida-pdm-certificados/1105-pdm-la-masica-atlantida/file>

Mendoza, D. L. (15 de septiembre de 2010). "UTILIZACIÓN INDUSTRIAL Y MERCADO DE DIEZ ESPECIES MADERABLES POTENCIALES DE BOSQUES SECUNDARIOS Y PRIMARIOS RESIDUALES.

Obtenido de ministerio de agricultura:

https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2929/Technical/Technical%20report%20%20Propiedades%20f%C3%ADsicas%20de%2010%20especies%20de%20bosques%20secundarios.pdf

Nutsch. (2005). *Tecnología de la madera y del mueble*. Barcelona: Reverte, S. A.

Nutsch, W. (2000). *TECNOLOGÍA DE LA MADERA Y DEL MUEBLE*. España: Reverté, S.A.

Olvera, S. L. (13 de Septiembre de 2015). *Características tecnológicas de la madera de dos especies de Quercus*. Durango, Mexico. Obtenido de https://es.scribd.com/document/323903396/Bosques-de-Honduras?user_action=save

Peña, S. V. (s.f.). *Principales Maderas Tropicales Utilizadas en España. Características, tecnología y aplicaciones*. Universidad Politécnica de Madrid .

Philip, A. G. (2022). *Agroforestería: una guía. Principios de diseño y manejo agroforestal en beneficio de las personas y del medio ambiente*.

Pérez-Peña, N., Valenzuela, L., Diaz-vaz, J. E., & Ananías, R. A. (2011). Predicción del contenido de humedad de equilibrio de la madera en función del peso específico de la pared celular y variables ambientales. Obtenido de Maderas. Ciencia y Tecnología https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718221X2011000300

- Cardoso, A., Cagno, M., Cárdenas, P., & Gatto, F. (2013). Contracción, hinchamiento y peso específico aparente de madera de eucalipto colorado (*Eucalyptus tereticornis* Smith). *INNOTEC*, 8 ene-dic, 5-12. <https://doi.org/10.26461/08.01>
- COEX Sudamérica Trading. (s. f.). *Comercio Exterior de Commodities y Maderas: Cedrillo Huertea cubensis Griseb*. Recuperado 16 de septiembre de 2025, de <https://www.maderasdesudamerica.com/cedrillo-huertea-cubensis-griseb/>
- Crespo Gutiérrez, R., Jiménez Romero, E., Suatunce Cunuhay, P., Law Blanco, G., & Sánchez Fonseca, C. (2008). Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera de teca (*Tectona grandis* L.F.) de Quevedo y Balzar. *Revista Ciencia y Tecnología*, 1(2), 55-63.
- gDosAdmin. (s. f.). *Según su densidad*. AEIM. Recuperado 10 de septiembre de 2025, de <https://www.aeim.org/index.php/clasificacion-de-maderas-comerciales-segun-sus-caracteristicas/>
- Gonzales, C. (2025). *II241 Seminario N°3.3—Balance de Materia y Energía en Secado* [Academica]. Studocu. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-peruana-de-ciencias-aplicadas/ingenieria-de-procesos/ii241-seminario-n033-balance-de-materia-y-energia-en-secado/138265614>
- Green, D. W., Winandy, J. E., & Kretschmann, D. (1999). *Mechanical Properties of Wood*.

Informe de Madera | PDF | Madera | Arboles. (s. f.). Scribd.

<https://es.scribd.com/document/478816655/imforme-de-madera>

Pazos, G. B., & Sotelo, R. D. (1999). Importancia de la lignina en las contracciones de la madera: Revisión bibliográfica. *Madera y Bosques*, 5(1), 13-26.

Pérez Peña, N., Valenzuel, L., Diaz-vaz, J. E., & Ananías, R. A. (2011). Predicción del contenido de humedad de equilibrio de la madera en función del peso específico de la pared celular y variables ambientales. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 13(3), 253-266.

Perez Peña, N., Valenzuela, L., Diaz, J. E., & Ananias, R. A. (2011). *PREDICCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO DE LA MADERA EN FUNCIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE LA PARED CELULAR Y VARIABLES AMBIENTALES.*

<https://doi.org/10.4067/S0718-221X2011000300002>

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

Triana Gómez, M. A., & González Roso, G. (2015). Comportamiento en flexión estática de vigas de madera antigua de *Picea abies*. *Nova scientia*, 7(13), 208-227.

Triana-Gómez, M. A., González Roso, G., & Paspur Posso, S. D. (2008). ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE PALOSANGRE (*Brosimum rubescens* Taub.), PROCEDENCIA: LETICIA, AMAZONAS. *Colombia Forestal*, 11(1), 149-164.

USDA, F. P. L. (2010). *Durabilidad y protección de la madera—Preservación de la madera | Investigación y desarrollo del Servicio Forestal de EE. UU.*

[Text]. <https://research.fs.usda.gov/fpl/programs/dwp>

ANEXOS

Anexos 1: Sistema agroforestal de Cedrillo (Huertea cubensis Griseb) y cacao



Anexos 2 Medición dasométrica de los arboles



*Anexos 3 Tablas de 2 "x 6"x 8" de la madera de cedrillo (**Huertea cubensis Griseb**)*



Anexos 4 Secado de la madera al aire libre bajo sombra



Anexos 5 Elaboración de las probetas



Anexos 6 Rotulación de las probetas según el protocolo de ensayos



Anexos 7 Balanza digital para efectuar los pesajes de las probetas



Anexos 8 Horno de laboratorio para pruebas físicas



Anexos 9 Maquina Universal de Ensayos para pruebas mecánicas



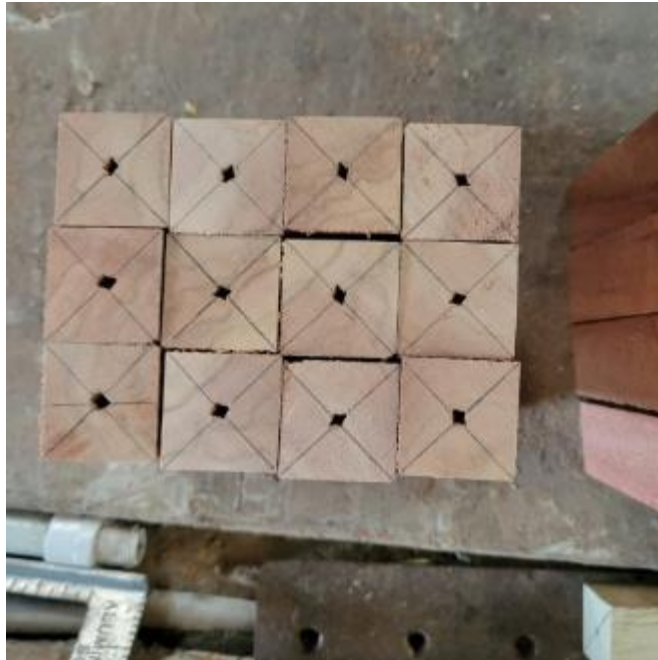
Anexos 10 Secado controlado de probetas mediante horno de laboratorio



Anexos 11 Determinación de variaciones dimensionales por pérdida de humedad



Anexos 12 Prueba de escopleteado en probetas de cedrillo para caracterización de trabajabilidad



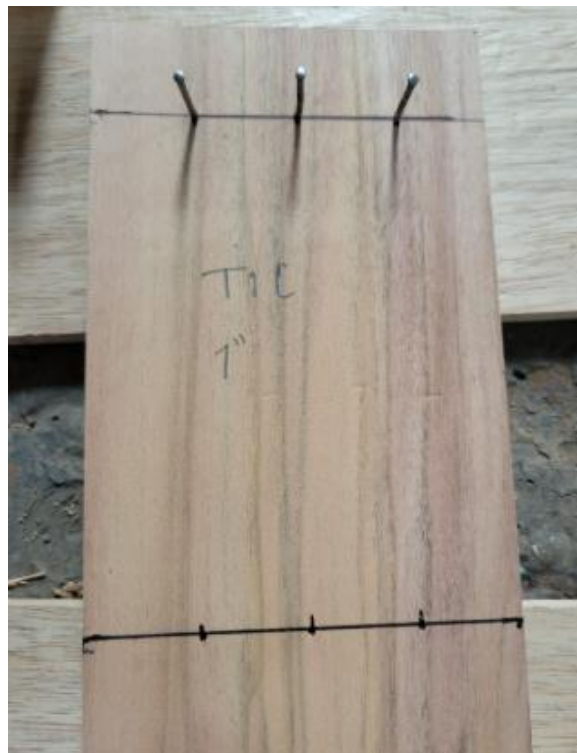
Anexos 13 Prueba de cepillado en probetas de cedrillo para caracterización de trabajabilidad



Anexos 14 Prueba de torneado en probetas de cedrillo para caracterización de trabajabilidad



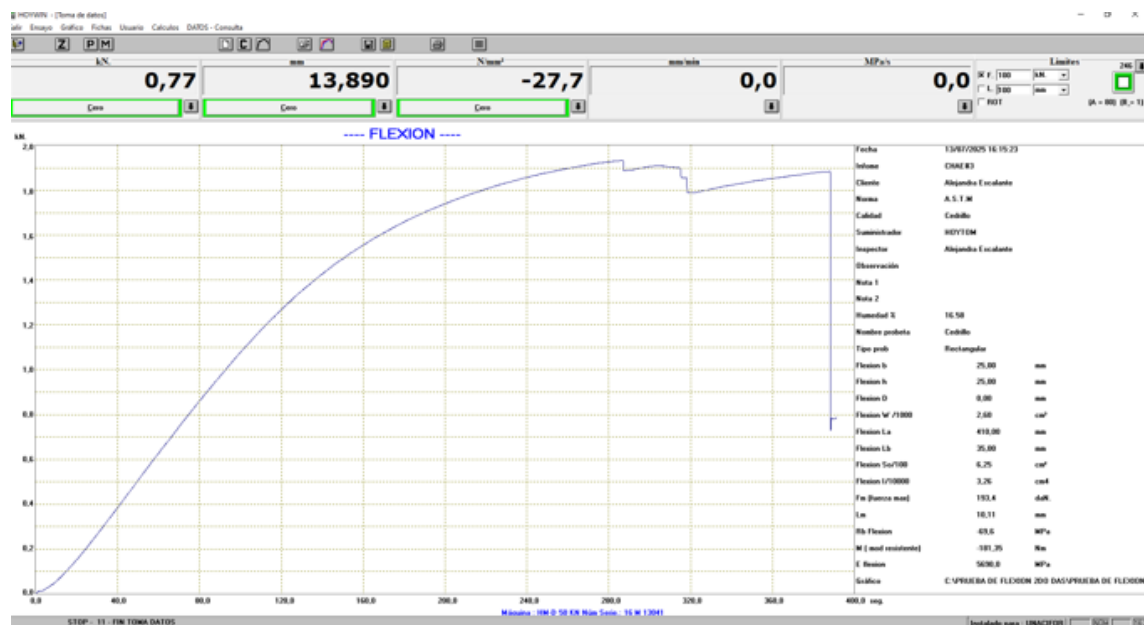
Anexos 15 Prueba de clavado en probetas de cedrillo para caracterización de trabajabilidad



Anexos 16 Realización de prueba de flexión estática.



Anexos 17 Gráfica de la prueba de flexión estática



Anexos 18 Hoja de evaluación de prueba de cepillado

Cepillado

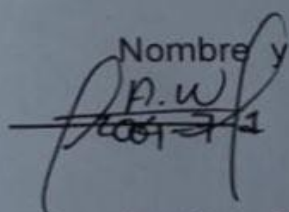
Probeta	Estado			Observaciones				
	Excelente	Bueno	Regular	Sin defectos	Levantamiento de fibras (fibras que sobresalen de la superficie)	Astillado	Rugosidad o marcas (ondulaciones, rayas de cuchilla)	Quemaduras (zonas oscurecidas por fricción)
1	✓			✓				
2	✓			✓				
3	✓			✓				
4	✓			✓				
5	✓			✓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

Anexos 19 Hoja de evaluación de prueba de torneado

Torneado

Prueba	Estado			Observaciones				
	Excelente	Bueno	Regular	Sin defectos	Fibras sueltas que sobresalen de la superficie.	Astillado	Rugosidad o marcas de herramienta.	Quemaduras por fricción excesiva.
1		✓		✓				
2		✓		✓				
3		✓		✓				
4		✓		✓				
5		✓		✓				
6		✓		✓				
7		✓		✓				
8		✓		✓				
9		✓		✓				
10		✓		✓				
11		✓		✓				
12		✓		✓				
13		✓		✓				
14		✓		✓				
15		✓		✓				
16		✓		✓				
17		✓		✓				
18		✓		✓				
19		✓		✓				
20		✓		✓				

Yo, Alejandra Waleska Escalante Martínez, por este medio declaro que la idea original de este tema fue proporcionada por Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), y el título del estudio: COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA ESPECIE *Huertea cubensis* Griseb EN PLANTACIÓN AGROFORESTAL CON CACAO CONTRA INVESTIGACIONES REALIZADAS EN SU AMBIENTE NATURAL, EN LA MASICA, DEPARTAMENTO DE ATLÁNTIDA, HONDURAS, C.A ha sido elaborado a través de mi propia iniciativa, 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: Alejandra Waleska Escalante


Lugar y fecha: Siguatepeque, Comayagua 12 de septiembre de 2025.