

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CIENCIAS FORESTALES  
UNACIFOR**

**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**



**TESIS DE GRADO**

**DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE  
LA MADERA DE LA ESPECIE *Cordia megalantha* Blake, EN SISTEMAS  
AGROFORESTALES CON CACAO EN LA MASICA, ATLÁNTIDA,  
HONDURAS.**

**NOMBRE DEL TESISISTA:**

**YAHIR ENRIQUE PINEDA OSORTO**

**ASESOR DE TESIS**

**Ing. RENÉ FERNANDO BENÍTEZ RAMOS**

**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 DE  
LA MADERA DE LA ESPECIE *Cordia megalantha* Blake, EN SISTEMAS  
AGROFORESTALES CON CACAO EN LA MASICA, ATLÁNTIDA,  
HONDURAS.**

**NOMBRE DEL TESISISTA:**

**YAHIR ENRIQUE PINEDA OSORTO**

**TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN CIENCIAS FORESTALES**

**APROBADO POR**

---

**Ing. RENÉ FERNANDO BENÍTEZ RAMOS  
ASESOR DE TESIS**

---

**MSc. JOSÉ FIDEL ALVARADO SANCHEZ  
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 DE  
LA MADERA DE LA ESPECIE *Cordia megalantha* Blake, EN SISTEMAS  
AGROFORESTALES CON CACAO EN LA MASICA, ATLÁNTIDA,  
HONDURAS.**

**NOMBRE DEL TESISISTA:**

**YAHIR ENRIQUE PINEDA OSORTO**

**APROBADO POR**

**MIEMBROS INTEGRANTES DE LA TERNA EVALUADORA:**

---

**ING. RENÉ FERNANDO BENÍTEZ RAMOS  
ASESOR DE TESIS**

---

**ING. JOAQUÍN SÁNCHEZ HERNÁNDEZ  
REPRESENTANTE DE LA ESCUELA**

---

**ING. ANDREA LETICIA AGUILAR MARTÍNEZ  
REPRESENTANTE DE LA COMISIÓN DE TESIS**

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

## AUTORIZACIÓN

El autor, **YAHIR ENRIQUE PINEDA OSORTO** 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 y del investigador que proporcionó la idea original del tema Oscar Ramírez.

Nombre y firma del estudiante: Yahir Enrique Pineda Osorto

Lugar y fecha: Siguatepeque, Comayagua, 13 de noviembre de 2025

## **DEDICATORIA**

A Dios todo poderoso, todo se lo debo a ÉL. a mis padres, Claudia Osorto y Arnaldo Pineda, por ser el fundamento de mis valores, mi inspiración diaria y el mayor ejemplo de perseverancia. Gracias por cada sacrificio, cada palabra de aliento y por creer en mí sin condiciones.

A mis abuelos, Francisca Galo y Nicomedes Osorto, por su cariño, enseñanzas de vida y por ser raíces firmes que sostienen este árbol de sueños.

A la Dra. Karoline Midory Nuñez De Vicente por ser un pilar fundamental para mi vida.

A cada uno de ustedes, dedico con profundo afecto este logro que también es suyo.

## AGRADECIMIENTO

Concluyo esta etapa de mi vida con gratitud profunda en el corazón, sabiendo que cada paso dado ha sido acompañado por personas excepcionales que dejaron huella en mi formación personal y profesional. A mis padres, Claudia Osorto y Arnaldo Pineda, por su amor incondicional, su fe incansable en mis capacidades y por enseñarme el valor del esfuerzo y la humildad.

A mis abuelos, Francisca Galo y Nicomedes Osorto, por su sabiduría, su cariño y su constante preocupación por mi bienestar. Sus oraciones y consejos me han acompañado siempre.

A mis amigos de promoción, quienes fueron parte esencial de este proceso. Gracias por compartir risas, desvelos, desafíos y triunfos. Especialmente a Williams López, Wilkin Padilla, Wilman Díaz, Janzen Varela y Ronnie Hernández, por su amistad genuina y apoyo constante. A mis compañeros de Tesis Nazareth Armijo, Milton Discua, Dunia Colindres, Melissa Gudiel, Alejandra Escalante, Oscar Padilla y Wilman Díaz por compartir ideas, resolver problemas y sostenerme en momentos difíciles

A mis docentes, que han dejado una huella significativa en mi formación. En especial al Ing. Josué Flores, Ing. José Luis Montecinos e Ing. Fidel Alvarado, quienes me guiaron con sabiduría, paciencia y dedicación. Su pasión por la enseñanza me motivó a dar lo mejor de mí.

Expreso mi sincero agradecimiento a mi asesor Ing. René Benítez cuya orientación académica y humana fue clave para culminar esta investigación

A la Dra. Karoline Midory Nuñez De Vicente por su apoyo y confianza.

A la Universidad Nacional de Ciencias Forestales, por brindarme las herramientas y el espacio para crecer como profesional. Finalmente, a todas aquellas personas que, directa o indirectamente, formaron parte de este camino; gracias infinitas.

## RESUMEN

Este estudio determinó y analizó las propiedades físico-mecánicas y la trabajabilidad de la madera de *Cordia megalantha* Blake proveniente de una plantación de 37 años establecida en sistemas agroforestales con cacao (FHIA, La Masica, Atlántida, Honduras). Se elaboraron probetas conforme a ASTM D143 (ensayos físicos y mecánicos) y ASTM D1666 (trabajabilidad); la máquina universal operó bajo configuración UNE, manteniendo dimensiones ASTM. En lo físico ( $n = 15$ ), la densidad básica fue  $0.429 \text{ g/cm}^3$  (madera ligera).

Las contracciones promediaron Contracción tangencial  $CT = 6.68 \%$ , contracción radial  $CR = 4.45 \%$  y tangencial/radial  $T/R = 1.58$ , con contracción volumétrica total ( $CV_{\text{total}} = 11.3 \%$ ); el punto de saturación de la fibra (PSF) fue  $29.73 \%$  y el coeficiente de contracción volumétrica ( $C_{cv} = CV_{\text{total}}/PSF$ )  $0.38$ , indicadores de buena estabilidad dimensional. En lo mecánico ( $n = 15$ ), se obtuvo compresión paralela =  $162.34 \text{ kg/cm}^2$  ( $1 \text{ MPa} = 10.1972 \text{ kg/cm}^2$ ), compresión perpendicular  $\approx 41.6045 \text{ kg/cm}^2$ , MOR (flexión) =  $697.18 \text{ kg/cm}^2$  y MOE =  $5.02 \text{ GPa}$ , valores característicos de resistencia media en maderas ligeras. La trabajabilidad fue favorable: cortes limpios al aserrar, cepillado con bajo desgarrado, lijado homogéneo, torneado con viruta continua, uniones clavadas/atornilladas sin rajaduras y encolado confiable (PVA).

En conjunto, *C. megalantha* muestra buen desempeño para mueblería y carpintería interior, chapas, molduras y piezas torneadas, con recomendaciones de secado controlado hasta  $\sim 12 \%$  y reparto de cargas en apoyos y herrajes. Se desaconseja su uso como elemento estructural principal o en exposición exterior sin preservación. El trabajo aporta líneas base para la especie en contexto agroforestal hondureño y orienta decisiones de procesamiento industrial y diseño de producto.

Palabras clave: *Cordia megalantha*; propiedades físicas; propiedades mecánicas; trabajabilidad; punto de saturación de la fibra; coeficiente de contracción volumétrica; agroforestería con cacao; Honduras.

## ABSTRACT

This study determined and analyzed the physical–mechanical properties and workability of *Cordia megalantha* Blake wood from a 37-year-old plantation grown in cacao-based agroforestry systems (FHIA, La Masica, Atlántida, Honduras). Specimens were prepared according to ASTM D143 (physical and mechanical tests) and ASTM D1666 (workability); the universal testing machine was configured under UNE settings while keeping ASTM dimensions. For physical properties ( $n = 15$ ), basic density averaged  $0.429 \text{ g/cm}^3$  (light wood).

Shrinkage averaged tangential = 6.68 %, radial = 4.45 %, yielding T/R = 1.58 and a total volumetric shrinkage (CV\_total) of 11.3 %. The fiber saturation point (FSP) was 29.73 %, and the volumetric shrinkage coefficient ( $C_{cv} = \text{CV\_total}/\text{FSP}$ ) was 0.38, all indicating good dimensional stability. For mechanical behavior ( $n = 15$ ), mean values were parallel-to-grain compression = 162.34 kg/cm, perpendicular-to-grain compression  $\approx 41.6045 \text{ kg/cm}^2$ , MOR (bending) =  $697.18 \text{ kg/cm}^2$ , and MOE = 5.02 GPa, which are typical of medium strength in light-density hardwoods. Workability responses were positive: clean sawing, low tear-out during planing, uniform sanding, continuous chips in turning, nail/screw joints without splitting, and reliable glue bonding (PVA).

Overall, *C. megalantha* is suitable for indoor furniture and joinery, veneers, mouldings, and turned components, provided controlled drying to  $\sim 12$  % MC and load-spreading hardware in bearing zones. Use as primary structural members or under outdoor exposure without preservation is not recommended. This work provides baseline data for the species under Honduran agroforestry conditions and guides industrial processing and product design decisions.

Keywords: *Cordia megalantha*; physical properties; mechanical properties; workability; fiber saturation point; volumetric shrinkage coefficient; cacao agroforestry; Honduras.

## ÍNDICE GENERAL

|   |     |
|---|-----|
| <b>AUTORIZACIÓN</b> .....                                 | i   |
| <b>DEDICATORIA</b> .....                                  | ii  |
| <b>AGRADECIMIENTO</b> .....                               | iii |
| <b>RESUMEN</b> .....                                      | iv  |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                     | v   |
| <b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....                     | 10  |
| <b>CAPÍTULO II. OBJETIVOS</b> .....                       | 13  |
| <b>CAPÍTULO III: REVISIÓN DE LA LITERATURA</b> .....      | 14  |
| <b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA</b> .....                     | 41  |
| <b>CAPÍTULO V: RESULTADOS</b> .....                       | 59  |
| <b>CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN</b> .....                       | 71  |
| <b>CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> ..... | 75  |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....                   | 78  |
| <b>ANEXOS</b> .....                                       | 84  |
| <b>DECLARACIÓN</b> .....                                  | 96  |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|   |    |
|---|----|
| Anexo 1. Visita al CEDEC – JAS FHIA, La Masica, Atlántida. ....                           | 84 |
| Anexo 2. Medición de árboles selectos de Cordia megalantha .....                          | 84 |
| Anexo 3. Madera de Laurel Negro (LN) aserrada .....                                       | 85 |
| Anexo 4. Movilización de madera de La Masica, Atlántida a Siguatepeque,<br>Comayagua..... | 85 |
| Anexo 5. Estibado de la madera para un óptimo secado.....                                 | 86 |
| Anexo 6. Pesaje de las probetas para pruebas físicas .....                                | 86 |
| Anexo 7. Toma de datos del pesaje .....   | 87 |
| Anexo 8. Determinación del volumen con el principio de Arquímedes ...                     | 87 |
| Anexo 9. Tabla de resultados de propiedades físicas .....                                 | 88 |
| Anexo 10. Peso específico .....   | 88 |
| Anexo 11. Probeta sometida a prueba de flexión estática.....                              | 89 |
| Anexo 12. Gráfica de prueba de flexión estática .....                                     | 89 |
| Anexo 13. Probetas para prueba de compresión paralela a las fibras ...                    | 90 |
| Anexo 14. Probeta sometida a prueba de compresión paralela a las fibras<br>.....          | 90 |
| Anexo 15. Grafica de prueba de compresión paralela a las fibras .....                     | 91 |
| Anexo 16. Realización de pruebas de trabajabilidad .....                                  | 91 |
| Anexo 17. Pruebas de clavado.....   | 92 |
| Anexo 18. Formato de pruebas de trabajabilidad.....                                       | 92 |
| Anexo 19. Formato de registro de prueba de Moldurado .....                                | 93 |
| Anexo 20. Prueba de torneado de Cordia megalantha Blake. ....                             | 93 |
| Anexo 21. Matriz de datos de pruebas mecánicas.....                                       | 94 |
| Anexo 21.1. Ensayo de flexión estática (FLEX) — datos por probeta....                     | 94 |
| Anexo 21.2. Compresión paralela a la fibra (CP) — datos por probeta .                     | 94 |
| Anexo 21.3. Compresión perpendicular a las fibras — datos por probeta<br>.....            | 95 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Croquis del Centro experimental y Demostrativo de Cacao-Jesús Alfonso Sánchez.....   | 42 |
| Figura 2: Descripción de los lotes establecidos .....  | 43 |
| Figura 3: Ubicación del sistema agroforestal de Cacao y Laurel Negro (Cordia megalantha Blake.) .....                                    | 43 |
| Figura 4: Ubicación del Laboratorio de maderas y Carpintería para realización de pruebas de Laurel Negro (Cordia megalantha Blake.)..... | 44 |
| .....  | 48 |
| Figura 5. Dimensiones de la probeta para pruebas físicas. ....   | 48 |
| Figura 6. Dimensiones de la probeta para la prueba de flexión estática.  | 53 |
| Figura 7. Dimensiones de probeta de flexión estática del método A. ....  | 54 |
| .....  | 55 |
| Figura 8. Dimensiones para probetas de ensayo de compresión paralela a las fibras de método B. ....                                      | 55 |
| .....  | 55 |
| Figura 9. Dimensiones para la probeta del ensayo de compresión paralela a las fibras método A. Véase Anexo 13. ....                      | 55 |
| Figura 10. Compresión Paralela.....  | 62 |
| Figura 11. Compresión perpendicular .....  | 63 |
| Figura 12. Flexión estática MOR.....   | 64 |
| Figura 13. Flexión estática MOE .....  | 65 |
| Figura 14. Cara longitudinal de Cordia megalantha: grano mayormente recto, textura fina–media y brillo medio–bajo.....                   | 67 |
| Figura 15. Sección transversal (macro de extremo): radios finos y anillos poco diferenciados.....  | 68 |
| Figura 16. Sección transversal (macro): poros difusos pequeños a medianos, distribución homogénea. ....                                  | 69 |
| Figura 17. Detalle superficial bajo aumento (~10×): textura uniforme; radios finos de baja visibilidad. ....                             | 70 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Densidad, trabajabilidad y usos de la madera de <i>Cordia megalantha</i> Blake. ....                | 16 |
| Tabla 2. Resumen de propiedades mecánicas determinadas en madera de raleo de <i>Cordia megalantha</i> . .... | 17 |
| Tabla 3. Propiedades físicas relevantes de especímenes de madera joven. ....                                 | 18 |
| Tabla 4. parámetros para clasificación de pruebas mecánicas. ....  | 57 |
| Tabla 5. Tabla de clasificación de la madera según las propiedades físicas. ....                             | 61 |
| Tabla 6. Cuadro comparativo de propiedades físicas. ....   | 71 |
| Tabla 7. Comparación de las Propiedades mecánicas. ....  | 72 |
| Tabla 8. Tabla de síntesis. ....   | 74 |

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Honduras cuenta con una cobertura forestal estimada de 6,314,814.59 hectáreas, representando aproximadamente el 56.06% del territorio nacional. En este sentido, dicha superficie se distribuye de la siguiente manera: bosque latifoliado (68.30%), bosque de coníferas (30.91%) y bosque de mangle (0.79%) (ICF, 2022).

Honduras presenta una alta diversidad de ecosistemas forestales, con amplias superficies de bosques latifoliados, coníferos y manglares. En el estrato de coníferas destacan varias especies del género *Pinus* entre ellas *P. oocarpa*, *P. caribaea*, *P. maximinoi*, *P. tecunumanii*, mientras que los bosques latifoliados agrupan centenares de especies arbóreas de interés ecológico y económico. Esta diversidad, sumada a presiones antrópicas históricas, refuerza la necesidad de gestión y manejo sostenible del recurso forestal.(FUNDACIÓN VIDA, 2020).

No obstante, la deforestación ha representado una problemática persistente en Honduras. Entre 2002 y 2020, se perdieron aproximadamente 10,500 hectáreas de bosque primario húmedo (Gómez, 2021), lo que evidencia la necesidad de implementar estrategias de manejo más efectivas. En este contexto, diversos especialistas en ciencias forestales destacan la importancia de los mecanismos de recuperación ambiental. Por ejemplo, (Larios, 2011). señala que, a pesar de las dificultades y percepciones de ineficiencia que en ocasiones se asocian a la aplicación obligatoria de los planes de manejo instaurados desde 1992, estos constituyen la medida técnica idónea para garantizar tanto la calidad como la cantidad de los ecosistemas.

Además, en los últimos años se ha observado que la implementación de certificados de plantación resulta ser un instrumento eficaz para estimular la participación de sectores no gubernamentales en la recuperación de áreas deforestadas o degradadas. En consecuencia, la integración de estas medidas, junto con el fortalecimiento de los planes de manejo, se representa como una estrategia integral para abordar los desafíos ambientales y potenciar el desarrollo sostenible del sector forestal de Honduras.

Por otra parte, es fundamental reconocer la relevancia de los sistemas agroforestales como complemento a la gestión sostenible de los recursos forestales. De forma general, se distinguen dos modalidades: sistemas agro-silvícolas (árboles con cultivos) y sistemas silvopastoriles (árboles con pasturas y ganado). En los primeros, la combinación de especies maderables con cultivos de ciclo corto, como el cacao, genera flujos de caja en el corto plazo mientras se capitaliza un activo forestal de rotación larga. En cultivos perennes, los árboles de sombra cumplen funciones productivas y de servicio: pueden ser maderables o de uso múltiple, o bien especies destinadas a fijación de nitrógeno, regulación de sombra y aporte de hojarasca/mulch, entendida cómo la cobertura orgánica formada por la caída de hojas, que protege al suelo al conservar humedad. Además de sus beneficios ecológicos, estos árboles constituyen un “seguro patrimonial” para los productores, pues pueden aprovecharse de manera selectiva cuando se requiere liquidez y su valor tiende a conservarse en términos reales a lo largo del tiempo (Beer et al., 2003).

En consecuencia, este aspecto adquiere un interés considerable, ya que constituye una fuente de ingresos económicos muy importantes. Por ello, se evidencia la relevancia de la madera no solo como materia prima para numerosas industrias, sino también por su uso generalizado en la sociedad, lo que subraya la necesidad de realizar estudios sobre sus propiedades físicas, mecánicas y de trabajabilidad.

En este contexto, la determinación de las propiedades físicas, mecánicas y la trabajabilidad de la madera es esencial para establecer los usos óptimos de cada especie, ya que estos parámetros funcionan como índices críticos que permiten evaluar la idoneidad y calidad de la madera para aplicaciones específicas. Asimismo, la implementación de sistemas agroforestales a base de cacao, promovida por la “Fundación Hondureña de Investigación Agrícola” (FHIA) en La Masica, Atlántida, no solo busca diversificar la producción, sino que también establece sinergias entre el cacao y los maderables. En este sentido, la integración de *Cordia megalantha* Blake, conocida como Laurel Negro, resulta fundamental, ya que la sombra y las condiciones micro climáticas que proporciona favorecen el desarrollo del cacao, mientras que sus destacadas propiedades maderables contribuyen a la sostenibilidad económica y

ambiental del sistema agroforestal. Por lo tanto, relacionar el cacao con el Laurel Negro permite optimizar los recursos y potenciar el aprovechamiento integral del ecosistema.

Por lo tanto, el presente estudio se orienta a evaluar la calidad de la madera de *Cordia megalantha* Blake mediante la realización de diversos ensayos que permitan determinar sus propiedades físico-mecánicas y su trabajabilidad. Estas pruebas no solo identificarán los posibles usos de la especie, sino que también verificarán las diferencias existentes con respecto a estudios previos realizados sobre madera proveniente de hábitats naturales o de sistemas agroforestales de cacao. En definitiva, el conocimiento profundo de las propiedades físico-mecánicas y de la trabajabilidad de la *madera Cordia megalantha* Blake permitirá fundamentar decisiones basadas en evidencia para su manejo y aprovechamiento sostenible.

¿Analizar las propiedades físico-mecánicas y la trabajabilidad de la madera de *Cordia megalantha* Blake producida en un sistema agroforestal con cacao de 37 años en La Masica, y cómo se posicionan frente a rangos reportados en la literatura para esta especie?

## CAPÍTULO II. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

Determinar las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la madera de la especie *Cordia megalantha* Blake, en sistemas agroforestales con cacao en La Masica, Atlántida, Honduras.

### 2.2. Objetivos específicos

**2.2.1.** Evaluar las propiedades físicas de la madera de la especie *Cordia megalantha* Blake procedente de una plantación agroforestal asociada con cacao, con el propósito de caracterización de su densidad, humedad, contracción y otras, para su uso y desempeño.

**2.2.2.** Analizar las propiedades mecánicas de la madera de *Cordia megalantha* Blake proveniente de una plantación agroforestal con cacao, mediante la determinación de parámetros como resistencia a la compresión, flexión y dureza, con el fin de establecer su potencial aplicación en la industria maderera.

**2.2.3.** Analizar la trabajabilidad de la madera de *Cordia megalantha* Blake, originario de una plantación agroforestal asociada con cacao, mediante ensayos estandarizados que evalúen el lijado, clavado y perforado.

**2.2.4.** Comparar las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la madera de *Cordia megalantha* Blake proveniente de plantación agroforestal en asociación con cacao, con estudios de bosque natural y plantaciones puras.

## CAPÍTULO III: REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 3.1. Antecedentes

La importancia de la caracterización físico-mecánica de especies maderables en sistemas agroforestales radica en el hecho de que estos sistemas combinan árboles y cultivos en una misma superficie, generando beneficios ecológicos y económicos. Estudios regionales muestran que en Honduras la superficie forestal representa el 56.06 % del territorio nacional, distribuida en bosque latifoliado (68.30 %), bosque de coníferas (30.91 %) y manglares (0.79 %). Sin embargo, la deforestación y degradación continuas (10 500 ha de bosque primario húmedo perdidas entre 2002 y 2020) evidencian la necesidad de impulsar sistemas agroforestales que diversifiquen la producción y mejoren la sostenibilidad. (ICF, 2022)

Asimismo, el uso combinado de especies maderables y cultivos como el cacao se ha promovido como estrategia de rehabilitación y producción sostenible, pues estas especies no solo brindan sombra y control micro climático, sino que también generan madera de valor comercial. La literatura destaca que árboles maderables en sistemas agroforestales pueden funcionar como “seguro financiero” para los agricultores; al vender la madera, los productores obtienen un ingreso adicional cuando los precios son favorables. Investigaciones en otras especies (por ejemplo, *Swietenia macrophylla*) han evidenciado mejoras en densidad básica y estabilidad dimensional de la madera al crecer en sistemas de sombra frente a ambientes naturales, y resaltan la necesidad de documentar esas variaciones para cada especie. (Gutierrez, 2023)

En el caso específico de *Cordia megalantha* (laurel negro), la información publicada es escasa. Estudios previos con la especie en plantaciones de 10 años reportaron densidades básicas de  $0.32 \text{ g cm}^{-3}$  y contracción volumétrica de 10.16 %, clasificándola como madera semi-ligera y de contracción media. Estas investigaciones, realizadas por (Sut, 2019). Véase tabla 2. Se limitaron a rodales jóvenes y señalaron la necesidad de evaluar la madera en plantaciones maduras y sistemas agroforestales. De allí surge el interés de esta investigación por determinar cómo la edad (37 años) y la asociación con cacao afectan las propiedades físico-mecánicas y la trabajabilidad de *C. megalantha*.

Algunas de las investigaciones que se han realizado sobre este tema y para la especie *Cordia megalantha* Blake. son las siguientes.

### **3.1.1. El “Proyecto de Estudio de Comportamiento de Especies Nativas” (PROECEN)**

Se concibe como una iniciativa integral que busca promover la gestión sostenible de los bosques y el desarrollo socioeconómico de las comunidades locales. Su principal objetivo radica en combinar estrategias de conservación y uso racional de los recursos naturales, particularmente en entornos agroforestales.

El proyecto parte de la premisa de que los bosques constituyen un activo fundamental para el desarrollo de Honduras, PROECEN integra prácticas de ordenamiento forestal y silvicultura sostenible, centradas en la protección de especies nativas y en la restauración de áreas degradadas.

Una de las estrategias más notables de este proyecto es la implementación de sistemas agroforestales que combinen cultivos de interés comercial (por ejemplo, cacao) con especies maderables de valor económico y ecológico.

PROECEN promueve la generación de conocimiento científico sobre las propiedades físico-mecánicas de especies forestales, métodos de manejo silvicultural y mejores prácticas de aprovechamiento maderero.

Ofrece un marco idóneo para el estudio de propiedades maderables en diferentes especies, lo que resulta valioso para la comunidad científica y la formación de profesionales en el área; cabe mencionar que se realizó el estudio sobre el crecimiento de especies nativas de interés comercial en Honduras en donde se estudió la especie *Cordia megalantha* Blake. Donde se registraron los siguientes datos.

Tabla 1. Densidad, trabajabilidad y usos de la madera de *Cordia megalantha* Blake.

---

**CARACTERÍSTICAS DESCRIPCIÓN**

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>Color</b>          | Albura de color grisácea amarillenta, duramen de color tabaco a café rojizo, con rayas café oscuras o negruzcas.                                      |
| <b>Olor</b>           | No distintivo.  |
| <b>Sabor</b>          | No característico.  |
| <b>Veteado</b>        | Suave.  |
| <b>Densidad</b>       | 0.36 a 0.43 g/cm <sup>3</sup> ; moderadamente liviana.  |
| <b>Trabajabilidad</b> | Fácil de trabajar, presentando un acabado fino y estable dimensionalmente.  |
| <b>Durabilidad</b>    | Considerada como una madera duradera.   |
| <b>Secado</b>         | Es de fácil secado al aire, requiriendo buena ventilación y preferentemente protección bajo techo. En secado convencional, exige programas moderados. |
| <b>Usos</b>           | Muebles finos, gabinetes, tornería, chapas, contrachapados, acabados de interiores y ebanistería.   |

---

Fuente: (Sandoval & Ramirez, 1999)

### 3.1.2. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y USO POTENCIAL DE MADERA DE RALEO DE LAUREL NEGRO (*Cordia megalantha* Blake) DE PLANTACIONES DE 10 AÑOS, ESTABLECIDAS EN EL JARDÍN BOTÁNICO LANCETILLA, HONDURAS, C. A.

Densidad de *Cordia megalantha* Blake: La madera joven presentó una densidad en estado saturado de 0.88 gr/cm<sup>3</sup> por lo que se genera un cambio drástico en la pérdida o absorción de humedad, pero no genera cambios notorios que indiquen colapso o fuertes deformaciones. 0.32 ANHIDRIDO y 0.34 AL AIRE (Sut, 2019).

Con las pruebas realizadas se observó un cambio significativo en la contracción tangencial anhidra (CTa = 6.4 %) respecto la contracción tangencial seca al aire (CTsa = 2.81 %). En términos dimensionales, la madera fue estable en el sentido radial tanto en estado anhidro (CRa = 2.89 %) como seco al aire (CRsa = 1.01 %) obteniendo una relación de contracción anhidra de 2.21 lo que indicó que, por cada unidad contraída en la sección radial, la sección tangencial se contrajo 2.21 unidades (Sut, 2019)

Tabla 2. Resumen de propiedades mecánicas determinadas en madera de raleo de *Cordia megalantha*.

| Pruebas               |                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Clasificación |
|-----------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| <b>Flexión</b>        |                    |                    |               |
| <b>Estática</b>       | MOR                | 298.0              | Baja          |
|                       | MOE                | 40317.5            | Muy baja      |
| <b>Comp. Paralela</b> | Esfuerzo al límite |                    |               |
|                       | proporcional       | 101.0              | Muy baja      |
|                       | Módulo de ruptura  | 155.4              | Muy baja      |
| <b>Dureza</b>         | Extremo            | 169.8              | Baja          |
|                       | Tangencial         | 122.8              | Baja          |
|                       | Radial             | 109.2              | Baja          |
| <b>Cizallamiento</b>  | Tangencial         | 57.2               | Mediana       |

Fuente: (Sut, 2019)

### 3.1.3. USO POTENCIAL DE LA MADERA MACIZA EN ESTADO JUVENIL DE DIEZ ESPECIES COMERCIALES

Pruebas de trabajabilidad: Siete pruebas se realizaron a las probetas elaboradas, mismas que consistieron en Cepillado, Lijado, Moldurado, Perforado, Escopleado, Torneado y Clavado.

Ensayos Físicos: Las pruebas llevadas a cabo sirvieron para determinar Contenido de Humedad (CH), Peso Específico, Contracciones Dimensionales y Volumétrica, Punto de Saturación de las Fibras y Coeficiente de Contracción Volumétrica (Mendoza T, 2011).

Tabla 3. Propiedades físicas relevantes de especímenes de madera joven.

| Especie             | Relación Contracción Tangencial/Radial | Contracción Volumétrica % | Coeficiente de contracción volumétrica |
|---------------------|--|---------------------------|--|
| Barba de Jolote     | 2.02                                   | 9                         | 0.35                                   |
| Laurel Negro        | 2.22                                   | 10.16                     | 0.36                                   |
| Caoba del Atlántico | 1.74                                   | 9.97                      | 0.4                                    |
| Rosita              | 2.02                                   | 12.06                     | 0.49                                   |
| Piojo               | 1.88                                   | 10.76                     | 0.49                                   |
| Cedro Real          | 1.38                                   | 15.06                     | 0.5                                    |
| Pino Ocote          | 1.64                                   | 14.43                     | 0.51                                   |
| San Juan Areno      | 2.75                                   | 13.54                     | 0.55                                   |
| Marapolán           | 2.18                                   | 13.02                     | 0.56                                   |
| Santa María         | 1.91                                   | 13.84                     | 0.57                                   |

Fuente: (Mendoza T, 2011)

### 3.2. Bases teóricas

Proporcionar la nomenclatura y la descripción botánica de *Cordia megalantha* Blake (Laurel Negro) garantiza que el estudio se centre en la especie correcta. Eso evita confusiones taxonómicas y asegura que otros investigadores puedan identificar y comparar la misma especie en futuros estudios.

Incluir detalles sobre la distribución geográfica y el hábitat natural de la especie ayuda a comprender el contexto ambiental en el que se desarrolla. Factores como el

clima, altitud y tipo de suelo pueden influir significativamente en el crecimiento y, por ende, en las propiedades de la madera. Incluir estos aspectos es esencial para fundamentar y contextualizar la investigación, proporcionando una visión integral que enriquece la discusión de los resultados y aporta al conocimiento en el área de la tecnología de la madera y las Ciencias Forestales.

### **3.2.1 Propiedades físicas de la madera.**

#### **3.2.1.1. Densidad de la madera**

La densidad es la relación entre la masa de la madera y su volumen en un estado higroscópico definido. En tecnología de la madera suelen emplearse tres referencias: densidad verde (volumen saturado), densidad anhidra (masa y volumen a 0 % CH) y densidad básica (masa anhidra/volumen verde). Esta última es la más utilizada para comparar especies porque minimiza el sesgo por colapso durante el secado. En términos tecnológicos, densidades  $< 0.50 \text{ g cm}^{-3}$  clasifican maderas ligeras; entre  $0.50\text{--}0.59 \text{ g cm}^{-3}$ , semi-ligeras;  $0.60\text{--}0.64 \text{ g cm}^{-3}$ , semi-pesadas; y  $\geq 0.65 \text{ g cm}^{-3}$ , pesadas (Bárcenas, 1985; Vignote & Martínez, 2007). La densidad se correlaciona con la resistencia mecánica, la dureza y varios aspectos de trabajabilidad, por lo que es un predictor útil del desempeño en servicio (Moya & Muñoz, 2010).

#### **3.2.1.2. Contenido de humedad y punto de saturación de la fibra (PSF)**

La madera es un material higroscópico; intercambia humedad con el ambiente hasta alcanzar el equilibrio higroscópico. Por encima del punto de saturación de la fibra (PSF) las paredes celulares están saturadas pero las cavidades no; por debajo del PSF el agua abandona las paredes y comienzan las contracciones. En la mayoría de especies el PSF se ubica típicamente entre 25–30 %; sin embargo, existen especies y condiciones donde se observan valores inferiores o superiores. Un PSF bajo implica que la madera empieza a contraerse a contenidos de humedad relativamente menores, lo que puede acortar tiempos de secado si se controlan gradientes de temperatura y velocidad del aire para evitar colapso, fendas o alabeos (Vignote Peña & Martínez Rojas, 2007).

#### **3.2.1.3 Contracciones radial, tangencial y volumétrica**

Las contracciones se expresan como el porcentaje de reducción de dimensión entre el estado saturado y el anhidro. Por anatomía, la madera se contrae más en sentido

tangencial que en el radial; la longitudinal suele ser despreciable ( $< 0.5 \%$ ). Por ello, la relación T/R es un indicador clave de estabilidad dimensional: valores  $\approx 1.5\text{--}2.0$  denotan maderas estables;  $> 2.0$  sugiere tendencia al alabeo/atejado (Bárceñas, 1985; Vignote & Martínez, 2007). La contracción volumétrica total integra los tres ejes y permite comparar el “movimiento” global de la madera durante el secado y en servicio; valores entre 5–10 % se consideran pequeños, 10–15 % medios y 15–20 % grandes (UNE 56.540 citada por Vignote & Martínez, 2007).

#### **3.2.1.4. Coeficiente de contracción volumétrica (Ccv)**

El coeficiente de contracción volumétrica (Ccv) relaciona la contracción volumétrica total con el cambio de humedad desde el PSF hasta un contenido de referencia (p. ej., 12 % CH). Es un índice práctico para comparar especies y anticipar movimientos dimensionales durante el uso. Maderas con  $Ccv < 0.35$  se consideran muy estables (aptas para ebanistería fina y productos ensamblados); 0.35–0.45 estables; 0.45–0.50 medianamente nerviosas; 0.50–0.60 nerviosas; y  $> 0.60$  muy nerviosas, recomendándose para ambientes de humedad constante o con diseños que toleren movimiento (Vignote & Martínez, 2007).

#### **3.2.1.5. Implicaciones tecnológicas: secado y comportamiento en servicio**

La combinación densidad–PSF–Ccv–T/R define el riesgo de defectos de secado (fendas o rajaduras, colapso y alabeos) y la estabilidad en uso. Las maderas ligeras con T/R baja y Ccv reducido suelen presentar muy buena trabajabilidad, admiten adhesivos de acetato de polivinilo (PVA) y recubrimientos estándar, y muestran buen desempeño en mueblería y carpintería interior. No obstante, un PSF inusualmente bajo exige rampas de secado cuidadosamente diseñadas (gradientes suaves, control de temperatura/humedad y velocidad del aire), especialmente si se busca minimizar el colapso interno y las tensiones residuales, (Fernández-Golfín Seco, Peraza, et al., 2020); (AENOR, 2012).

### **3.2.2 Propiedades mecánicas.**

#### **3.2.2.1. Concepto general de resistencia mecánica**

La madera es un material anisótropo e higroscópico, lo que significa que sus propiedades varían según la dirección de las fibras y su contenido de humedad. Su comportamiento mecánico depende principalmente de la densidad, la orientación de las fibras, el grado de humedad, y la presencia de defectos estructurales (nudos, grietas, irregularidades de crecimiento).

Las propiedades mecánicas expresan la capacidad de la madera para resistir esfuerzos externos sin sufrir deformaciones o fallas. Estas se determinan mediante ensayos normalizados que reproducen las condiciones de carga a las que puede estar sometida una pieza estructural o de uso industrial (Vignote & Martínez, 2007).

#### **3.2.2.2. Ensayos de compresión paralela a las fibras**

El ensayo de compresión paralela a la fibra evalúa la resistencia de la madera cuando la carga actúa en la misma dirección del grano, simulando el comportamiento de elementos estructurales como columnas, postes o patas de muebles. Véase Anexo 14 Según la norma ASTM D143-14 y la UNE-EN 408, la muestra se somete a carga axial hasta alcanzar el esfuerzo máximo ( $f_u$ ), expresado en megapascuales (MPa). El resultado principal es el módulo de resistencia a la compresión paralela ( $\sigma_m$ ), que está directamente correlacionado con la densidad básica y la orientación de las fibras (Machuca-Velasco et al., 2012).

Maderas ligeras presentan valores de resistencia entre 10–25 MPa, mientras que maderas pesadas pueden superar los 40 MPa (Moya & Muñoz, 2010).

Este ensayo también proporciona información sobre el comportamiento elástico inicial y la capacidad de deformación plástica antes del colapso.

#### **3.2.2.3. Ensayos de compresión perpendicular a las fibras**

La compresión perpendicular a la fibra determina la capacidad de la madera para soportar cargas transversales, como las ejercidas por apoyos o uniones en estructuras y muebles.

De acuerdo con ASTM D143 y UNE-EN 408, la resistencia perpendicular es mucho menor que la paralela, ya que depende del aplazamiento de las fibras y no de su ruptura.

Los valores típicos oscilan entre 2–10 MPa, dependiendo de la especie, la densidad y el contenido de humedad. Esta propiedad es crítica para diseñar elementos de apoyo, evitar aplastamientos locales y garantizar la durabilidad de uniones con clavos o tornillos (Vignote & Martínez, 2007).

#### **3.2.2.4. Ensayos de flexión estática (MOR y MOE)**

El ensayo de flexión estática mide la resistencia de la madera cuando es sometida a una carga transversal que genera una curvatura progresiva hasta la rotura. De acuerdo con ASTM D143 y UNE-EN 408, en este ensayo se obtienen dos parámetros principales:

- MOR (Módulo de rotura): Es el esfuerzo máximo que la madera soporta antes de fallar.
- MOE (Módulo de elasticidad): Indica la rigidez del material o su capacidad para deformarse elásticamente bajo carga.

El MOR está influenciado por la densidad, el ángulo de la fibra y los defectos internos, mientras que el MOE depende del grado de humedad y del comportamiento estructural del tejido leñoso. En maderas ligeras tropicales, los valores de MOR suelen encontrarse entre 50–90 MPa, y el MOE varía entre 4–8 GPa (Moya & Muñoz, 2010; Machuca-Velasco et al., 2012).

Estos ensayos son fundamentales para estimar el comportamiento estructural, la aptitud para mobiliario, y la resistencia al impacto o flexión repetida. Además, proporcionan información necesaria para la clasificación mecánica de maderas en sistemas de ingeniería o construcción. Véase Anexo 11.

#### **3.2.2.5. Factores que influyen en las propiedades mecánicas**

Diversos factores afectan las propiedades mecánicas de la madera:

Densidad básica: a mayor densidad, mayor resistencia y rigidez.

Contenido de humedad: la resistencia disminuye al aumentar la humedad, especialmente por encima del PSF.

Defectos anatómicos: la inclinación de las fibras, los nudos y la presencia de médula reducen el MOR y MOE.

La velocidad de crecimiento y la edad influyen en el grosor de las paredes celulares y, por tanto, en la resistencia. A la luz de los resultados, puede inferirse que la madera procedente de plantaciones podría presentar propiedades favorables bajo determinadas condiciones de manejo silvicultural (p. ej., espaciamiento, podas y aclareos); sin embargo, esta tendencia depende de la genética, el sitio y la proporción de madera juvenil, por lo que no es generalizable sin evidencia específica.

Tratamientos y secado: un secado controlado mejora la estabilidad y evita tensiones internas (Fernández-Golfín et al., 2020).

Estos factores deben considerarse al diseñar piezas estructurales o componentes industriales para garantizar seguridad, durabilidad y desempeño funcional.

### **3.2.3 Trabajabilidad de la madera**

#### **3.2.3.1. Concepto y relevancia**

La trabajabilidad se define como el comportamiento de la madera frente a operaciones de transformación —aserrado, cepillado, moldurado, torneado, perforado, lijado, clavado/atornillado y encolado— para obtener superficies de calidad, con esfuerzo razonable y sin defectos de maquinado. Es una propiedad tecnológica compuesta que depende de la interacción entre anatomía (grano, disposición de vasos y radios), propiedades físicas (densidad, contracciones, contenido de humedad) y parámetros de proceso (geometría/herramental, velocidad de corte, avance, afilado). En términos prácticos, maderas ligeras y de grano recto suelen exhibir buena trabajabilidad, mientras que mayor densidad, grano inclinado, nudos o abundancia de extractivos pueden incrementar la tendencia al desgarro (tear-out), levantar fibra, quemar o dificultar el acabado superficial (Vignote & Martínez, 2007).

### **3.2.3.2. Factores que influyen en la trabajabilidad**

Densidad y dureza. A mayor densidad y dureza, aumenta el esfuerzo de corte, el desgaste de herramienta y la probabilidad de quemado en operaciones con alta fricción (p. ej., lijado y moldurado). Maderas de baja densidad tienden a lijar y cepillar fácilmente, aunque pueden mostrar aplastamiento de fibra si se usan avances muy altos o cuchillas sin filo (Moya & Muñoz, 2010; Vignote & Martínez, 2007).

Orientación del grano y defectos. El grano recto favorece superficies lisas; el grano entrecruzado o inclinado, los nudos y el repelo incrementan el desgarramiento y el levantamiento de fibra, especialmente en cepillado a contrafibra (Vignote & Martínez, 2007).

Contenido de humedad (CH). Trabajos de maquinado y encolado se favorecen en rangos 8–12 % de CH. CH altas promueven pelusas y mala calidad de lijado; CH muy bajos pueden aumentar el astillado. Encolado fuera del rango óptimo reduce la resistencia de la unión (Fernández-Golfín et al., 2020).

Extractivos y superficie. Maderas con extractivos (aceites, resinas) pueden inhibir el encolado y el acabado si no se realiza preparación superficial adecuada (limpieza, lijado fresco) (Fernández-Golfín et al., 2020).

Parámetros de corte. La geometría de herramienta (ángulo de ataque), el afilado, la velocidad de corte y el avance determinan la calidad superficial. Ajustes conservadores (cortes finos, avances moderados, cuchillas bien afiladas/metal duro) reducen desgarramientos y quemado (ASTM D1666; Vignote & Martínez, 2007).

### **3.2.3.3. Ensayos y criterios de evaluación**

La literatura técnica y las normas de maquinado definen ensayos comparativos con escalas cualitativas (p. ej., muy buena, buena, regular, mala), atributos cuantitativos (p. ej., rugosidad Ra/Rz) y defectología específica (desgarramiento, levantamiento de fibra, quemado, pérdida de filo). La ASTM D1666 (Standard Methods for Conducting Machining Tests of Wood and Wood-Base Panel Materials) es referencia para cepillado, moldurado, torneado, taladrado y lijado; establece piezas estándar, herramientas, parámetros de corte y criterios de calificación. Para uniones encoladas se emplean ensayos de cizalla

(p. ej., ASTM D905) y normas europeas equivalentes (p. ej., EN 205 para resistencia a tracción-cizalla en uniones madera-madera), evaluando resistencia en húmedo/seco, fallo en madera y comportamiento al envejecimiento (ASTM International, 2014)

#### **3.2.3.4. Aserrado, cepillado, moldurado y torneado**

Aserrado: Maderas ligeras con grano recto asierran con baja potencia y menor sobrecalentamiento de diente; el dentado apropiado y evacuación de aserrín evitan quemado y marcas de sierra.

Cepillado/moldurado: La profundidad de pasada y el ángulo de ataque deben ajustarse al grano; una pasada fina y cuchillas afiladas reducen desgarró. El metal duro (HW) mantiene mejor el filo en maderas con sílice/extractivos.

Torneado: Avances moderados y cuchillas muy afiladas minimizan arrancamientos; el lijado posterior homogeniza la textura (ASTM D1666; Vignote & Martínez, 2007).

#### **3.2.3.5. Perforado, clavado y atornillado**

Perforado: Brocas afiladas y velocidad adecuada limitan astillados en la salida. Es recomendable pre-taladrar cuando la densidad, el espesor o la cercanía a canto incrementen el riesgo de fendas.

Clavado/atornillado: En maderas ligeras suele ser favorable; para minimizar rajaduras, se sugiere pre-taladro con diámetro próximo al alma del tornillo y respetar distancias a borde. Un CH 8–12 % mejora el comportamiento y la retención (Vignote & Martínez, 2007; ASTM D1666).

#### **3.2.3.6. Lijado, acabado y encolado**

Lijado: Secuencia típica 80–120–180 (o más fino para acabados transparentes). Evitar presiones excesivas y lijas saturadas para prevenir quemado o pulido superficial que reduzca la adherencia del acabado.

Acabado: La homogeneidad del poro y la ausencia de extractivos superficiales favorecen acabados uniformes. Selladores y fondos adecuados reducen levantamiento de fibra.

Encolado: Para madera-madera con PVA se recomienda trabajar cerca de 8–12 % CH, superficies recién mecanizadas, aplicación uniforme y presiones de prensado acordes a la densidad (rangos moderados en maderas ligeras). Adhesivos UF/MUF o resorcinol se seleccionan según exposición y requisitos estructurales (Fernández-Golfín et al., 2020; ASTM D905).

### **3.2.3.7. Implicaciones para selección de usos**

La combinación de baja densidad, estabilidad dimensional (T/R moderado) y buena respuesta al maquinado se asocia con aplicaciones de valor agregado: mueblería, carpintería interior, molduras, chapas decorativas y artesanías. Cuando la trabajabilidad es “buena a muy buena”, se facilita la precisión dimensional, la calidad superficial y la eficiencia de producción; no obstante, deben ajustarse parámetros de corte y protocolos de encolado/secado a las características de cada especie para garantizar calidad y durabilidad (Vignote & Martínez, 2007; Fernández-Golfín et al., 2020).

## **3.2.4. Estructura macroscópica de la madera**

### **3.2.4.1. Definición y objetivos**

La estructura macroscópica comprende los rasgos anatómicos visibles a simple vista o con lupa de 10× en las tres caras fundamentales de la pieza (transversal, radial y tangencial). Su análisis permite identificar especies o grupos próximos, controlar la calidad de la materia prima y anticipar comportamientos tecnológicos relevantes (secado, maquinado, acabado, impregnabilidad). En conjunto con la densidad y las contracciones, la descripción macroscópica aporta criterios prácticos para la selección de usos y el diseño de procesos de transformación de la madera (Benítez y Montesinos, 1988; Vignote & Martínez, 2007; (Forest Products Laboratory, 2010).

### **3.2.4.2. Atributos diagnósticos y terminología**

La evaluación macroscópica se apoya en un vocabulario estandarizado que facilita la comparabilidad entre descripciones. Los atributos más empleados incluyen: color de albura y duramen (contraste cromático, transición gradual o neta), olor y brillo; textura (fina, media, gruesa); grano (recto, entrecruzado, inclinado u ondulado); veteado; tipo de porosidad (anular, semianular o difusa), tamaño de poro (muy pequeño a grande), patrón de distribución (solitarios, múltiples cortos, cadenas radiales) y presencia de tilos;

parénquima (apotraqueal difuso o en agregados; paratraqueal vasicéntrico, aliforme o confluyente); radios leñosos (anchura: muy finos, finos, medianos, gruesos; visibilidad a simple vista); presencia de canales (resina/goma) e inclusiones minerales (sílice). El uso consistente de esta terminología, armonizada con listados anatómicos reconocidos, es fundamental para la correcta identificación y comparación entre especies (IAWA Committee, 1989); Benítez y Montesinos, 1988; Vignote & Martínez, 2007).

#### **3.2.4.3. Procedimiento de observación y registro**

Para la descripción macroscópica se recomienda preparar superficies limpias y recientes en las tres caras de la pieza, idealmente con cuchilla bien afilada que permita cortes netos; posteriormente, observar con lupa de 10× y luz rasante difusa. En la cara transversal, puede emplearse tiza o grafito para resaltar poros y bandas de parénquima. El registro debe realizarse en una ficha estandarizada que incluya: identificación de muestra (árbol, troza, posición), color y contraste albura/duramen, olor y brillo, textura, grano, porosidad y tamaño de poro, distribución y obstrucciones (tilos), tipo de parénquima, radios (anchura y visibilidad), presencia de canales o inclusiones, y observaciones adicionales de interés tecnológico (defectos, peculiaridades de maquinado). Este procedimiento, común en manuales prácticos y textos técnicos, garantiza consistencia y reproducibilidad de las descripciones (Hoadley, 2012); (Forest Products Laboratory, 2010; Benítez y Montesinos, 1988).

#### **3.2.4.4. Rasgos reportados para el género *Cordia***

En manuales y catálogos tropicales, diversas especies del género *Cordia* se describen con porosidad que va de difusa a semidifusa, poros de tamaño mediano a grande (frecuentemente solitarios y en múltiples cortos), parénquima paratraqueal predominantemente vasicéntrico a aliforme (en ocasiones confluyente), radios finos a medianos (no siempre visibles a simple vista), grano con frecuencia entrecruzado y textura media a gruesa; el duramen suele presentar tonalidades pardo-amarillentas a pardas con brillo medio y olor leve. Estas características son orientativas a nivel de género y no sustituyen la verificación específica de especie, que puede requerir comparación con láminas de referencia y, de ser necesario, apoyo de caracteres microscópicos (Chudnoff, 1984); (CATIE, 2001); Benítez y Montesinos, 1988).

### **3.2.4.5. Implicaciones tecnológicas de los rasgos macroscópicos**

Determinados rasgos macroscópicos se relacionan con comportamientos tecnológicos de interés: el grano entrecruzado incrementa el riesgo de desgarro en cepillado y moldurado, por lo que conviene reducir el ángulo de ataque y emplear pasadas finas con herramientas bien afiladas; los poros grandes y la presencia de parénquima confluyente pueden generar absorción diferencial de selladores y tintes, recomendándose sellado previo y lijado progresivo para homogeneizar el acabado; la presencia de tilos u obstrucciones en los vasos puede disminuir la impregnabilidad en tratamientos preservativos; en contraste, radios finos y veteado regular suelen favorecer la obtención de superficies uniformes y la estabilidad del acabado. La correcta interpretación de estos rasgos permite ajustar parámetros de maquinado, encolado y acabado para asegurar calidad superficial y desempeño en servicio (Vignote & Martínez, 2007; Forest Products Laboratory, 2010; Fernández-Golfín Seco, Peraza, & Hermoso, 2020).

### **3.2.5. Normas técnicas aplicadas (ASTM Y UNE)**

#### **3.2.5.1. Finalidad, alcance y diferencias conceptuales**

Las normas ASTM y UNE/EN proporcionan procedimientos estandarizados para medir propiedades físicas y mecánicas de la madera con el fin de asegurar repetibilidad, trazabilidad y comparabilidad entre laboratorios. En general, ASTM D143 define ensayos en probetas pequeñas, claras (sin defectos), orientadas a describir el potencial intrínseco del material (p. ej., compresión paralela/perpendicular, flexión estática), mientras que UNE-EN 408 prioriza piezas de tamaño estructural y el cálculo de módulos y resistencias en condiciones representativas del uso en estructura (ASTM International, 2014; AENOR, 2012).

En consecuencia, los resultados derivados de D143 (pequeña y clara) y de EN 408 (tamaño estructural) no son directamente intercambiables; las diferencias de escala, presencia de defectos y formas de cálculo pueden producir niveles distintos de MOR/MOE y resistencias (ASTM International, 2014; AENOR, 2012).

### **3.2.5.2. Variables físicas asociadas al ensayo (CH, densidad y ambiente)**

Para interpretar correctamente los resultados mecánicos, ambas familias normativas exigen controlar y reportar el contenido de humedad (CH), la densidad y las condiciones ambientales de acondicionamiento/ensayo. En el marco ASTM, el CH y la densidad suelen determinarse según métodos específicos (p. ej., ASTM D4442 para humedad por secado en horno; ASTM D2395 para densidad), mientras que en el marco europeo se recurre a UNE-EN 13183-1 (humedad por método de estufa) y la UNE-EN 408 contempla la obtención de densidad/masa volumétrica a partir de masa y dimensiones en estado de ensayo (ASTM International, 2014; AENOR, 2012).

La trazabilidad de estas mediciones (balanzas y equipos calibrados, tiempos/temperaturas de secado, correcciones por CH cuando proceda) es condición para comparar resultados entre laboratorios.

### **3.2.5.3. Ensayos mecánicos considerados**

Compresión paralela a la fibra. Probetas prismáticas cargadas axialmente hasta la carga última; se calcula el esfuerzo máximo a partir de la carga y el área efectiva. En ASTM D143 el énfasis está en probetas pequeñas y claras; EN 408 contempla piezas de mayor tamaño y criterios de módulo/resistencia adaptados a la verificación estructural (ASTM International, 2014; AENOR, 2012).

Compresión perpendicular a la fibra. Evalúa la resistencia al aplastamiento transversal, crucial en zonas de apoyo y uniones. Los criterios de límite proporcional o deformación específica difieren entre normas, por lo que deben declararse al reportar resultados (ASTM International, 2014; AENOR, 2012).

Flexión estática (MOR y MOE). Configuraciones de tres o cuatro puntos con luz y velocidad de carga normalizadas. ASTM D143 define el cálculo de MOR (resistencia) y MOE (rigidez) para probetas pequeñas y claras; EN 408 establece el cálculo del módulo de elasticidad global/local y la resistencia en flexión para elementos de tamaño estructural, incluyendo correcciones geométricas y de medición de flecha (ASTM International, 2014; AENOR, 2012).

#### **3.2.5.4. Compatibilidad de resultados y compatibilidad entre normas**

Dado que el tamaño de probeta, la presencia de defectos y la forma de cálculo difieren, no debe compararse de manera directa un valor obtenido según ASTM D143 con uno obtenido según UNE-EN 408, salvo que se realicen ajustes y declaraciones explícitas del origen normativo y las condiciones de ensayo. Para análisis comparativos entre estudios, es indispensable: (i) declarar la norma aplicada, (ii) documentar el tamaño/forma de probeta y tasa de carga, (iii) reportar CH y densidad de la probeta en el momento del ensayo, y (iv) aclarar si se aplicaron correcciones normativas (p. ej., ajuste a 12 % CH cuando proceda) (ASTM International, 2014; AENOR, 2012).

#### **3.2.5.5. Caso mixto: equipo parametrizado a UNE con probetas ASTM**

Cuando el equipo de ensayo está configurado conforme a UNE-EN 408 (p. ej., velocidad de actuador, definición de flecha o protocolos de adquisición de datos), pero las probetas se dimensionan según ASTM D143, el criterio defendible es anclar el reporte a la norma que define la probeta y la magnitud reportada (ASTM D143), declarando claramente las desviaciones en el protocolo (por ejemplo, tasa de carga del equipo bajo perfil UNE). Esto implica:

Indicar la norma base de cada propiedad (ASTM D143 para geometría/cálculo).

Describir toda desviación respecto al procedimiento prescrito (p. ej., tasas, instrumentación), justificando que no altera la definición de la magnitud (MOR, MOE, compresiones).

Reportar CH y densidad según métodos normalizados y el ambiente de ensayo.

Evitar comparaciones directas con resultados EN 408 estructurales, salvo que se expliciten las diferencias de escala y cálculo. Con este enfoque, se preserva la trazabilidad y la validez comparativa con la literatura que usa D143, a la vez que se documenta la realidad operativa del laboratorio (ASTM International, 2014; AENOR, 2012).

### **3.2.6. Clasificación y usos de la madera según sus propiedades**

#### **3.2.6.1. Criterios basados en densidad**

La densidad es un predictor robusto del desempeño mecánico y de varios aspectos de trabajabilidad. En la práctica iberoamericana, las maderas suelen agruparse por densidad al estado de referencia (básica o a humedad de equilibrio), de modo orientativo, en: ligeras ( $< 500 \text{ kg/m}^3$ ), semiligeras ( $500\text{--}599 \text{ kg/m}^3$ ), semipesadas ( $600\text{--}649 \text{ kg/m}^3$ ), pesadas ( $650\text{--}799 \text{ kg/m}^3$ ) y muy pesadas ( $\geq 800 \text{ kg/m}^3$ ). A mayor densidad, tienden a incrementarse la resistencia (MOR, compresiones) y la rigidez (MOE), pero también el esfuerzo de maquinado y la probabilidad de defectos si no se ajustan parámetros de corte y secado (Vignote & Martínez, 2007; Forest Products Laboratory, 2010).

#### **3.2.6.2. Estabilidad dimensional: contracción volumétrica y relación T/R**

La estabilidad dimensional se interpreta a partir de la contracción volumétrica total (desde el estado saturado al anhidro) y de la relación tangencial/radial (T/R). Con base en la literatura técnica, las contracciones volumétricas se clasifican de manera orientativa como pequeñas ( $\approx 5\text{--}10 \%$ ), medias ( $\approx 10\text{--}15 \%$ ) y grandes ( $\approx 15\text{--}20 \%$ ), mientras que la relación T/R se valora como muy pequeña ( $< 1.5$ ), pequeña ( $1.5\text{--}1.8$ ), mediana ( $1.8\text{--}2.0$ ), alta ( $2.0\text{--}2.2$ ) y muy alta ( $> 2.2$ ). Un menor porcentaje de contracción volumétrica y una relación T/R baja se asocian con mejor estabilidad (Vignote & Martínez, 2007; Forest Products Laboratory, 2010).

#### **3.2.6.3. Coeficiente de contracción volumétrica (Ccv)**

El coeficiente de contracción volumétrica (Ccv) relaciona el “movimiento” volumétrico con el cambio de humedad por debajo del PSF y permite comparar especies en términos de estabilidad. De forma orientativa, se consideran: muy estables ( $\text{Ccv} < 0.35$ ), estables ( $0.35\text{--}0.45$ ), medianamente nerviosas ( $0.45\text{--}0.50$ ), nerviosas ( $0.50\text{--}0.60$ ) y muy nerviosas ( $> 0.60$ ). Esta clasificación tiene implicaciones directas de uso: cuanto mayor es el Ccv, mayor atención requieren los diseños para absorber movimiento (Vignote & Martínez, 2007).

#### **3.2.6.4. Recomendaciones de uso según clases combinadas**

La asignación de usos se refuerza combinando densidad y estabilidad (contracción volumétrica, T/R, Ccv). De forma general:

Maderas muy estables / estables ( $Ccv \leq 0.45$  y  $T/R \leq 1.8$ ): aptas para ebanistería, carpintería interior de precisión, molduras, chapas decorativas, productos ensamblados/terciados y mueblería, especialmente cuando se trabajan a 8–12 % de humedad de equilibrio. Pueden destinarse a pisos interiores y recubrimientos en ambientes controlados (Vignote & Martínez, 2007; Forest Products Laboratory, 2010).

Maderas de estabilidad media ( $Ccv \approx 0.45-0.55$ ;  $T/R \approx 1.7-2.3$ ): adecuadas para carpintería general, puertas/ventanas, cajas y estuches, duelas/parquet en interiores con control higrotérmico; se recomienda selección por veta y holguras de montaje (Bárcenas, 1985; Vignote & Martínez, 2007).

Maderas nerviosas o muy nerviosas ( $Ccv \geq 0.55$ ;  $T/R \geq 2.0$ ): preferibles para construcción de despiece radial, obras temporales, aplicaciones donde el movimiento no sea crítico o en ambientes de humedad estable; deben preverse juntas de dilatación y sellado/repelentes de agua para minimizar cambios dimensionales (Bárcenas, 1985; Vignote & Martínez, 2007).

#### **3.2.6.5. Consideraciones de diseño, secado y servicio**

Independientemente de la clase, el desempeño final depende de alinear diseño–proceso–servicio: (i) seleccionar contenido de humedad objetivo acorde al destino ( $\approx 8-12$  % interiores;  $12-16$  % semicubiertos), (ii) orientar el corte y la veta para reducir deformaciones visibles, (iii) incorporar holguras/juntas cuando la estabilidad no sea alta, (iv) aplicar programas de secado compatibles con la densidad y el PSF para evitar colapso y fendas, y (v) preparar adecuadamente la superficie y el encolado (limpieza, presión y tiempo de prensado) para garantizar uniones durables. Estas prácticas reducen el riesgo de defectos y elevan la confiabilidad del producto final (Forest Products Laboratory, 2010; Fernández-Golfín Seco, Peraza, & Hermoso, 2020; Vignote & Martínez, 2007).

### **3.2.7. Descripción de la especie *Cordia megalantha* Blake.**

#### **3.2.7.1. Nomenclatura**

- Nombre Científico: *Cordia Megalantha* Blake.
- Familia: *Boraginaceae*
- Nombres Comunes: Laurel Negro, Laurel de Montaña

#### **3.2.7.2. Descripción botánica**

Hojas: Simples, enteras, alternas, de 10 a 15 cm de largo y de 3 a 5 cm de ancho. Lámina lanceolada a elíptica, haz de color verde oscuro y lustroso, el envés de color verde-grisáceo. Pecíolo de 2 a 5 cm de largo.

Frutos: Drupas elipsoides de color café al madurar. De 1.5 a 2.5 cm de largo, con cáliz persistente. Cada fruto contiene una semilla.

Flores: Panículas terminales o axilares, flores blancas y pequeñas.

#### **3.2.7.3. Distribución geográfica**

Crece en Honduras, Nicaragua y Costa Rica. En bosques muy húmedos subtropicales, se distribuye altitudinalmente desde el nivel del mar hasta los 600 msnm. Se le reporta en los departamentos de Atlántida, Colón, Yoro, Olancho y Gracias a Dios, se le encuentra en el sitio El Recreo, La Masica, Atlántida (Benitez y Montesinos, 1988)

#### **3.2.7.4. Características de la madera**

Madera blanca a castaño amarillento, con líneas finas más oscuras; presenta olor fragante pero ligeramente perceptible; no presenta sabor característico; hilo de recto a inclinado, textura de fina a media, brillo mediano, vetado suave (Benitez y Montesinos, 1988).

Propiedades Físicas: Gravedad específica 0.36 - 0.43 gr/cm<sup>3</sup> (moderadamente liviana), contracción radial total 4.0 %, contracción tangencial total 7.4 % relación contracción tangencial/radial 1.850; contracción volumétrica 11.6 %

Propiedades mecánicas: Flexión estática (verde y seco respectivamente): Esfuerzo al límite proporcional 258 y 386 kg/cm<sup>2</sup>, esfuerzo máximo 379.5 y 545 kg/cm<sup>2</sup>, módulo de elasticidad 56.07 x 10<sup>3</sup> y 66.525 x 10<sup>3</sup> kg/cm<sup>2</sup>, trabajo al límite proporcional 0.0666 y 0.1251 kg-m/cm<sup>3</sup>.

Compresión paralela (en verde y seco respectivamente): Esfuerzo al límite proporcional 151.45 y 260.53 kg/cm<sup>2</sup>, esfuerzo máximo 179.8 y 309.57 kg/cm<sup>2</sup>; módulo de elasticidad 14.575 x 10<sup>3</sup> y 24.032 x 10<sup>3</sup> kg/cm<sup>2</sup>.

Compresión perpendicular (en verde y seco respectivamente): Esfuerzo al límite proporcional 25.0 y 32.8 kg/cm<sup>2</sup>.

Dureza Janka (verde y seco respectivamente): Lateral 162 y 226 kg, extremos 191.55 y 293.14 kg.

Por otro lado, 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 *Cordia megalantha*, se puede analizar que la densidad varía en esta especie de acuerdo al contenido de humedad y por ende afectará su peso y resistencia. Además, la contracción volumétrica y tangencial nos indican como se comportará la madera en el proceso de secado.

Mientras que las propiedades mecánicas nos indican cuales 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.

En los estudios previos que se han realizado en la especie *Cordia megalantha* se ha demostrado que la madera de esta especie es fácil de trabajar, y tiene una densidad moderadamente liviana.

Los datos que se indican sobre propiedades mecánicas y gravedad específica han sido obtenidos de investigaciones realizadas en el Centro Nacional de Investigación Forestal Aplicada de ESNACIFOR, utilizando para los ensayos mecánicos una máquina Universal INS-TRON 1137 (Benitez y Montesinos, 1988).

### **3.3. Conceptos claves**

#### **3.3.1. Madera**

El material orgánico, fibroso y heterogéneo obtenido por medio de los troncos, ramas y raíces de los árboles. La celulosa, hemicelulosa y lignina son los principales compuestos de la madera, confiriéndole propiedades mecánicas y estructurales únicas (Fernández-Golfín Seco, García, et al., 2020).

#### **3.3.2. Propiedades físicas de la madera**

Las propiedades físicas de la madera analizan cómo las maderas reaccionan frente a los factores del entorno natural, sin que estos influyan de manera química o mecánica en su estructura interna. Los factores influyentes de estas propiedades pueden ser: el contenido de agua, composición química de las sustancias básicas, porcentaje de material celulósico, entre otros (Suirezs, 2010).

Para determinar las propiedades físicas de una especie se realizan diferentes pruebas entre las que podemos mencionar; contenido de humedad de equilibrio, “Punto de Saturación de las Fibras” (PSF), “Máximo Contenido de Humedad” (MCH), contracción, coeficiente de contracción volumétrica, hinchazón, densidad o peso específico, densidad al aire libre o peso específico normal, densidad de la madera anhidra y porosidad.

#### **3.3.3. Humedad**

La humedad es una propiedad física esencial de la madera, ya que influye en su comportamiento y aplicaciones. Dado que es un material higroscópico, la madera puede absorber o liberar humedad hasta alcanzar un equilibrio con las condiciones del entorno. Este proceso impacta directamente en sus características físicas y mecánicas. Asimismo, se puede decir que la humedad de la madera se define como la cantidad de agua presente en el leño. Esta agua se encuentra en la estructura interna de la madera de dos maneras: como agua libre, ubicada en las cavidades celulares, y como agua ligada, que está adherida a las paredes de las células (UNSE. Facultad de Ciencias Forestales, 2022).

### **3.3.4. Densidad**

La densidad es una propiedad física fundamental de la madera que influye en su resistencia, durabilidad y aplicaciones prácticas.

La densidad de la madera se define como la relación entre su masa y el volumen que ocupa, expresada comúnmente en gramos por centímetro cúbico o por metro cúbico. Esta medida indica la cantidad de materia leñosa presente en un volumen determinado (Suirezs, 2010).

La densidad de la madera no solo depende de la especie, sino también de factores como el contenido de humedad, la edad del árbol y las condiciones de crecimiento. Por ejemplo, maderas con mayor contenido de humedad presentan una densidad más alta en comparación con maderas secas (MAJOFESA, 2024).

Es por ello, que se necesita comprender la densidad de la madera es esencial para su adecuada utilización en diversas aplicaciones. Esta propiedad física afecta directamente su comportamiento mecánico y durabilidad, permitiendo seleccionar la especie más adecuada según las necesidades específicas del proyecto.

### **3.3.5. Propiedades mecánicas**

Las propiedades mecánicas de la madera son aquellas características que determinan su comportamiento bajo diversas cargas y esfuerzos, tales como compresión, tracción, flexión y corte. Estas propiedades son fundamentales para su aplicación en construcción, fabricación de muebles y otras industrias, ya que influyen directamente en la resistencia, durabilidad y funcionalidad de los productos elaborados con madera (Sotelo & Pazos, 1999).

### **3.3.6. Dureza**

La dureza de la madera es una propiedad mecánica clave que refleja su capacidad para resistir la penetración o deformación. Esta característica es crucial en aplicaciones que demandan resistencia al desgaste y a la abrasión. Un estudio realizado en la Universidad de Valladolid, analiza cómo la humedad y la densidad afectan la dureza de diferentes especies de madera (Rello, 2014).

### **3.3.7. Flexión estática**

La flexión estática es una propiedad mecánica clave de la madera que mide su capacidad para resistir deformaciones bajo la acción de una carga estática. Esta característica es crucial para analizar el comportamiento estructural de la madera en usos como vigas y columnas (Ramírez V et al., 2001).

### **3.3.8. Trabajabilidad**

Es una propiedad clave que define qué tan fácil o difícil es procesar la madera mediante herramientas manuales o eléctricas. Esta propiedad no solo se refiere a la capacidad de la madera para ser cortada o moldeada, sino también a su comportamiento durante el proceso de procesamiento, como el lijado, torneado, cepillado y la perforación. La trabajabilidad depende de varios factores, como la densidad, la dureza, el contenido de humedad, la dirección de las fibras y la presencia de defectos, como nudos o fisuras (Machuca-Velasco et al., 2012b).

### **3.3.9. Perforado**

La perforación de la madera es un proceso fundamental en la industria maderera, utilizado en la fabricación de muebles, estructuras y otros productos. La facilidad y calidad de la perforación dependen de diversas propiedades físicas y mecánicas de la madera, las cuales varían según factores como la especie, la dirección de las fibras y el contenido de humedad.

Un estudio realizado por la Universidad Nacional de Santiago del Estero destaca que la madera es un material anisotrópico, es decir, sus propiedades físicas y mecánicas varían en función de la dirección del esfuerzo con relación a la orientación de las fibras. Esta anisotropía implica que la perforación debe adaptarse a las características específicas de cada especie y orientación de las fibras para optimizar los resultados (UNSE. Facultad de Ciencias Forestales, 2022).

### **3.3.10. Clavado**

El clavado de la madera es una técnica común en la construcción y fabricación de estructuras de madera, utilizada para unir diferentes piezas y elementos. La eficacia y resistencia de estas uniones dependen de múltiples factores, incluyendo las propiedades

físicas y mecánicas de la madera, así como las características del proceso de clavado (Suirezs, 2010).

### **3.3.11. 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, 2016).

### **3.3.12. Sistema agroforestal**

Los sistemas agroforestales combinan árboles, cultivos agrícolas y/o ganado en una misma parcela, promoviendo la sostenibilidad y la diversificación de la producción. En el contexto de la producción de madera, estos sistemas ofrecen beneficios como la mejora de la fertilidad del suelo, la protección contra la erosión y la generación de ingresos adicionales a través de la venta de madera y otros productos forestales (Sears & Cronkleton, 2014).

Es así como, en resumen, se puede concluir que los sistemas agroforestales no solo promueven la sostenibilidad y la mejora de la productividad de la tierra, sino que también ofrecen beneficios a largo plazo para los agricultores, ayudando a equilibrar la producción de madera y otros recursos con la producción agrícola.

### **3.3.13. Cacao**

El cacao (*Theobroma cacao*) es un árbol originario de las regiones tropicales de América Central y del Sur, reconocido por sus semillas, que son la materia prima para la elaboración del chocolate y otros productos derivados. Su nombre proviene del vocablo náhuatl "cacáhua" (Perez Porto & Gardey, 2022).

### **3.3.14. El Punto de Saturación de la Fibra (PSF)**

Es el contenido de humedad de la madera a partir del cual comienzan los cambios dimensionales al secarse. En este punto las paredes celulares de la madera están totalmente saturadas de agua higroscópica (agua retenida en la pared celular) y se ha eliminado toda el agua libre presente en los lúmenes celulares. Por encima del PSF, la madera no experimenta contracción ni hinchamiento (solo varía su peso por el agua libre); por debajo del PSF, la pérdida adicional de humedad provoca la contracción de la

madera. En maderas comunes el PSF se sitúa aproximadamente entre 28% y 30% de contenido de humedad. (Suirezs & Berger, 2010).

### **3.3.15. Coeficiente de Contracción Volumétrica (Ccv)**

El Coeficiente de Contracción Volumétrica (Ccv) cuantifica la variación de volumen de la madera por cambios en su humedad. Específicamente, se define como la contracción volumétrica que experimenta una madera al perder 1% de su contenido de humedad, una vez que se encuentra por debajo del PSF. En otras palabras, el Ccv indica el porcentaje de reducción de volumen por cada unidad porcentual de humedad que la madera pierde en el rango higroscópico (por debajo del punto de saturación de la fibra). Un valor mayor de Ccv implica una madera más “nerviosa” o inestable dimensionalmente ante cambios de humedad. (Medina et al., 2018)

### **3.3.16. Relación Tangencial/Radial (T/R)**

La Relación T/R (relación tangencial-radial) es un indicador de la anisotropía dimensional de la madera. Se calcula como el cociente entre la contracción (o hinchamiento) tangencial y la contracción (o hinchamiento) radial de la madera al secarse o absorber humedad. Esta relación se emplea para evaluar el grado de anisotropía en el cambio dimensional: valores elevados de T/R indican que la madera se deforma mucho más en la dirección tangencial que en la radial (baja estabilidad dimensional), mientras que valores cercanos a 1 indican un comportamiento más uniforme y estable. En términos generales, “la relación hinchazón tangencial/radial (T/R) es un parámetro utilizado para evaluar la anisotropía de la hinchazón de una madera” – concepto extensible a las contracciones durante el secado. (Arévalo & Hernández, 2004).

### **3.3.17. Módulo de Ruptura (MOR)**

El Módulo de Ruptura (MOR) es la resistencia mecánica máxima que presenta la madera en ensayos de flexión hasta el punto de falla. Corresponde al esfuerzo último en la fibra externa de la probeta justo cuando se produce la rotura bajo carga flexional. En otras palabras, el MOR representa la tensión máxima soportada por la madera en flexión estática antes de quebrarse, y se expresa típicamente en unidades de presión (por ejemplo, MPa). Es un parámetro utilizado para comparar la resistencia a flexión de

diferentes maderas: un MOR más alto implica que la madera puede resistir mayores cargas antes de romper en flexión. (Becerra Duitama, 2020).

### **3.3.18. Módulo de Elasticidad (MOE)**

El Módulo de Elasticidad (MOE) es un parámetro que mide la rigidez o capacidad de la madera para deformarse elásticamente bajo carga. En términos técnicos, el MOE corresponde a la relación entre el esfuerzo (tensión) aplicado y la deformación unitaria resultante en la madera dentro del rango elástico. Es decir, cuantifica la pendiente de la curva esfuerzo-deformación en la región elástica, donde se cumple la ley de Hooke. Un MOE elevado indica una madera más rígida (poco deformable ante una carga dentro del límite proporcional), mientras que un MOE bajo indica una madera más flexible. El MOE se expresa en unidades de presión (MPa o equivalentes) y es fundamental en el cálculo de deflexiones y diseño estructural con madera. (Suárez Soledispa, 2021).

## CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

### 4.1. Enfoque de la investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, combinando técnicas cuantitativas (ensayos normalizados y análisis estadístico) y cualitativas (observación tecnológica de trabajabilidad). Este enfoque permitió abordar la complejidad del objeto de estudio desde distintas perspectivas, facilitando una comprensión integral de las propiedades físico–mecánicas, la estabilidad dimensional y la trabajabilidad de la madera de *Cordia megalantha* Blake.

### 4.2. Alcance de la investigación

El estudio tuvo un alcance descriptivo, centrado en la observación y análisis del comportamiento de la madera en condiciones controladas de laboratorio. Se recopilieron datos objetivos mediante protocolos normalizados y equipos calibrados, lo cual garantiza la trazabilidad y fiabilidad de los resultados. Las muestras se seleccionaron conforme a criterios prácticos de representatividad y disponibilidad.

### 4.3. Hipótesis

Dado el carácter descriptivo de la investigación, no se formuló una hipótesis específica. El estudio se orientó a la observación, documentación y análisis sistemático de las propiedades de la especie en el contexto agroforestal.

### 4.4. Diseño de la investigación

El diseño fue no experimental, aplicando métodos de observación y ensayo sobre probetas de madera sin manipular químicamente el material. A través de ensayos técnicos se obtuvieron datos representativos del comportamiento de la madera, declarando explícitamente el marco normativo utilizado en cada propiedad.

### 4.5. Descripción del área de estudio

El estudio se efectuó en plantaciones agroforestales de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), ubicadas en La Masica, Atlántida. El sitio se seleccionó por su relevancia en sistemas agroforestales con cacao y presencia de *Cordia megalantha*. Las condiciones climáticas reportadas para el municipio incluyen temperaturas promedio de 18–32 °C, humedades relativas de 83–88 % y precipitaciones

anuales de 2,300–3,500 mm (MAMUCA, 2013). Se incorporan además croquis/ubicación del centro y lotes (FHIA, 2022).

A continuación, se exhibe un diagrama ilustrativo que detalla la estructura integral del sistema agroforestal de la FHIA, destacando cada una de sus secciones. (ver figura 1).

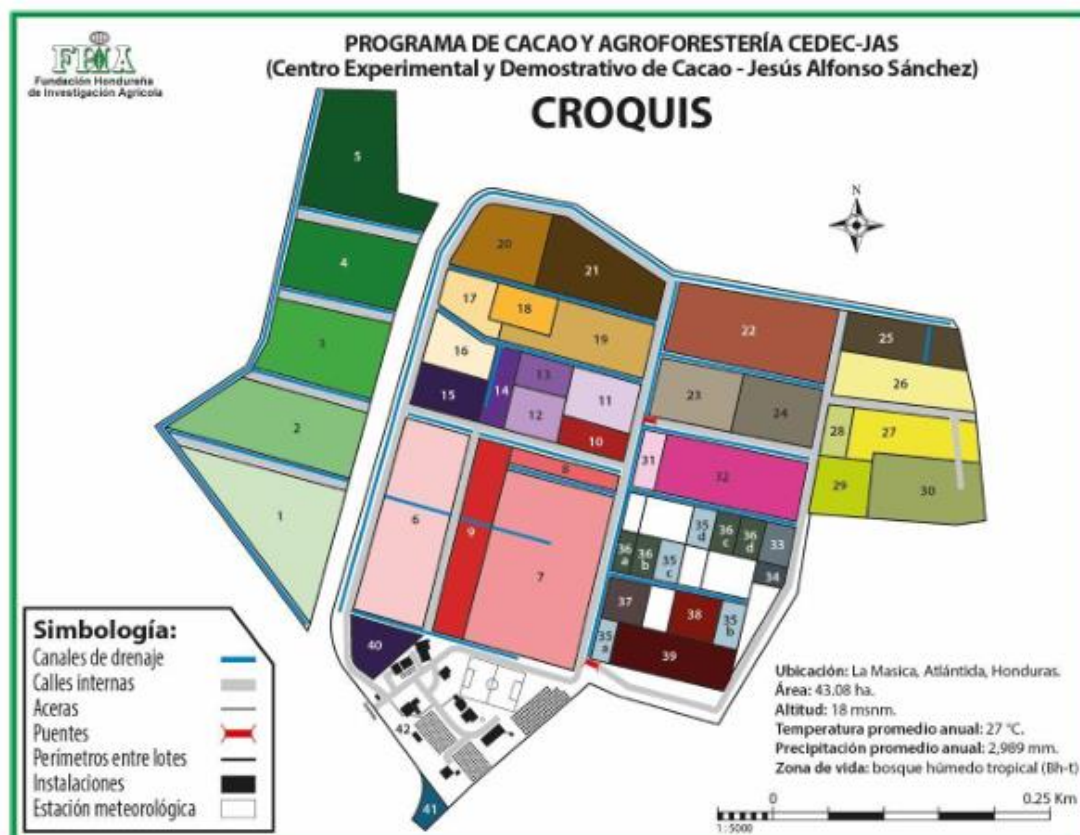


Figura 1. Croquis del Centro experimental y Demostrativo de Cacao-Jesús Alfonso Sánchez

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

Figura 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 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 cultivares internacionales. Lote 12 A/cumbillo, aceituno y nazareno          |
| 3                                 | Banco de yemas/renovación de copas 1 C/asociado con zorra y cedrillo          | 27   | Colección criollos e introducciones internacionales/cedro de la India                 |
| 4                                 | Banco de yemas/asociado con frutales 1 D                                      | 28   | Colección clones FHIA/asociado con caobina  |
| 5                                 | Lote comercial caoba y laurel negro 1 E                                       | 29   | Banco de yemas/renovación de copas/asociado con cincho                                |
| 6                                 | Lote comercial/asociado con limba   | 30   | Banco de yemas/renovación de copas/asociado con jigua                                 |
| 7                                 | Jardín clonal - recién renovado sistema Turrialba/sombra caoba africana       | 31   | Colección de frutales exóticos  |
| 8                                 | Lote criollo moderno - Carmelo/asociado con jagua                             | 32   | Lote validación de cacao suaves/asociado con marapolán                                |
| 9                                 | Introducciones nuevos materiales/asociado con sangre blanco y aceituno        | 33   | Lote de evaluación de 6 cruza promisorias con paletó                                  |
| 10                                | Lote monoclonal ICS-1 A.C./renovación de copas/asociado con hormigo           | 34   | Lote criollos de La Mosquitia con paletó  |
| 11                                | Germoplasma EET s asociado con hormigo  | 35 a | Repetición A/ensayo 18 cultivares/asociado con granadillo rojo                        |
| 12                                | Ensayo policlones CATIE/asociado con arenillo y maría                         | 35 b | Repetición B/ensayo 18 cultivares/asociado con granadillo rojo                        |
| 13                                | Progenies colombianas de FEDECACAO/arenillo y maría                           | 35 c | Repetición C/ensayo 18 cultivares/asociado con granadillo rojo                        |
| 14                                | Lote clones/semillas/patrón/renovación de copas/asociado con maría            | 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 terminalias  |
| 23                                | Ensayo concluido: prueba multilocal/asociada con zapelle, huesito, ciruelillo | 41   | Lote cacao/borojó   |
| 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)

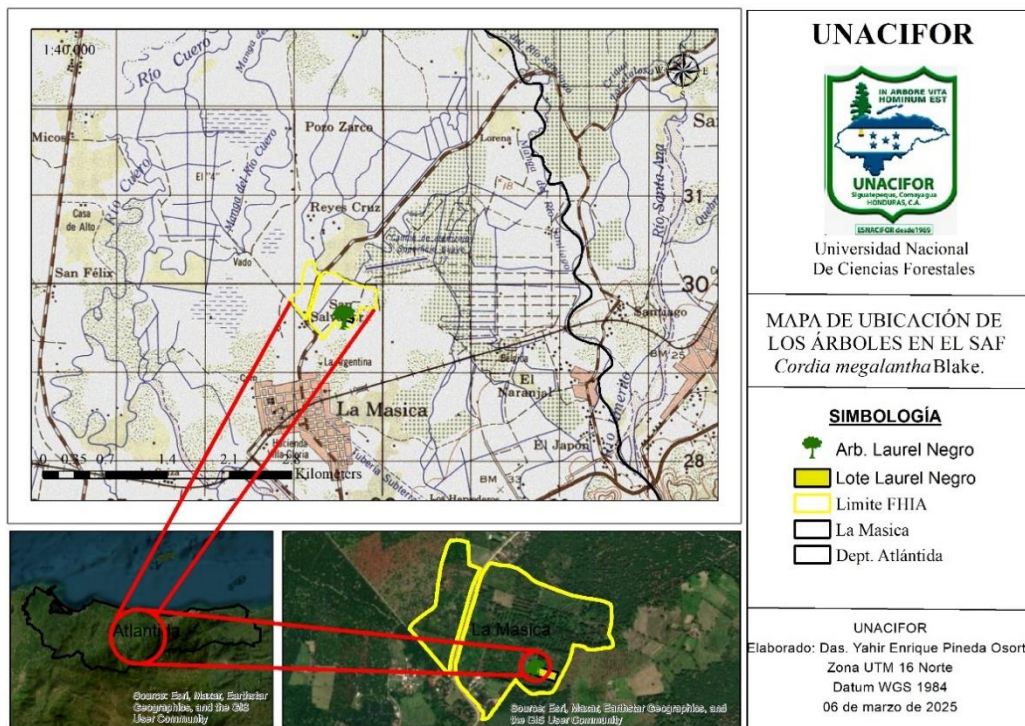
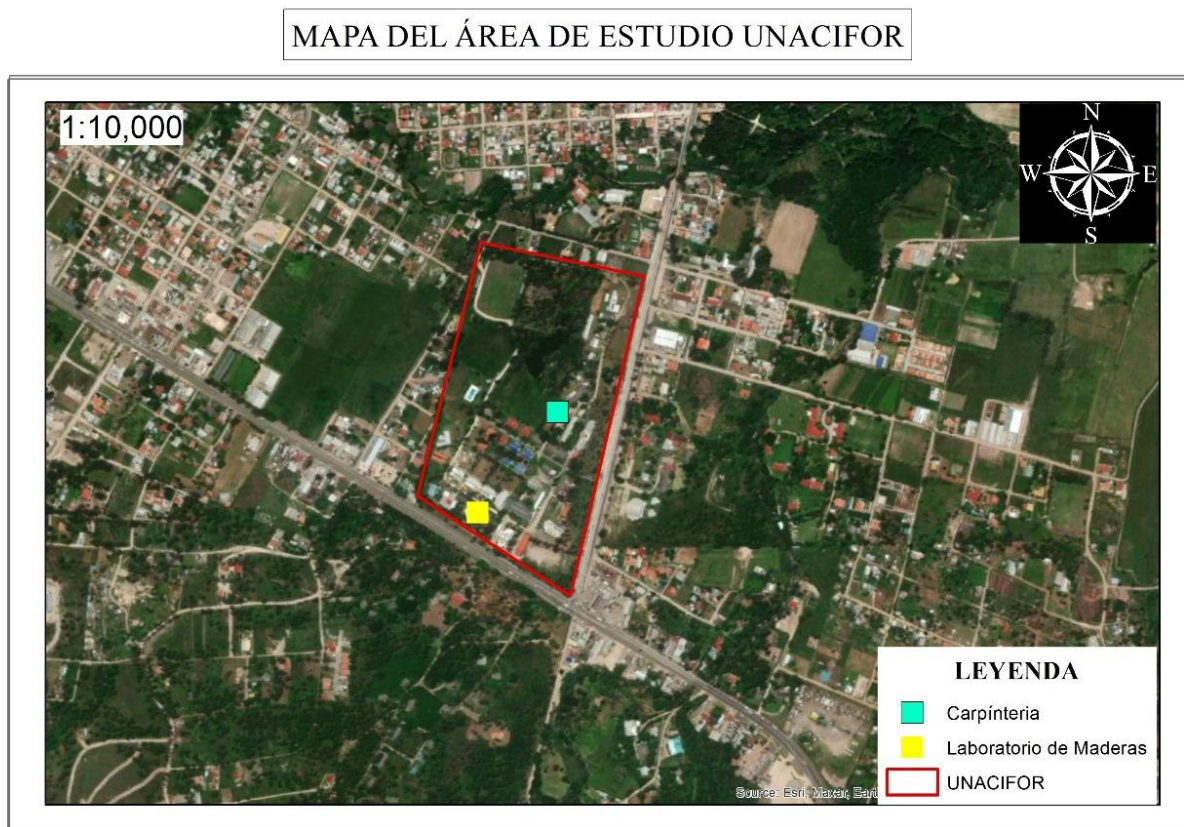


Figura 3: Ubicación del sistema agroforestal de Cacao y Laurel Negro (*Cordia megalantha* Blake.)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4: Ubicación del Laboratorio de maderas y Carpintería para realización de pruebas de Laurel Negro (*Cordia megalantha* Blake.)



#### 4.6. Población, muestreo y muestra

La población de estudio corresponde a árboles de *Cordia megalantha* Blake en el sistema agroforestal. La selección de árboles considera criterios de precisión estadística (95 %) de acuerdo con lineamientos de muestreo (p. ej., 5–6 árboles para  $\pm 15$  % del valor medio; 10–12 para  $\pm 10$  %; 20–30 para  $\pm 5$  %) (Suárez & Berger, 2010).

En este estudio, se trabajó con cuatro árboles (conforme a la disponibilidad FHIA). A partir de estos se extrajeron piezas aserradas de donde se elaboraron las probetas

para pruebas físicas, mecánicas y de trabajabilidad. Se planificó un número objetivo de  $\approx 30$  probetas por tipo de ensayo ajustado a disponibilidad real y piezas válidas. La selección de las piezas validas se puede tomar como parámetro que tengan las dimensiones correctas según la norma, que las piezas no presenten deformaciones ni nudos o alguna otra característica que pueda interferir en los datos de las pruebas.

#### **4.7. Operacionalización / categorización de variables**

Las variables principales fueron: propiedades físicas, propiedades mecánicas y trabajabilidad de la madera. Cada una fue definida operacionalmente y desglosada en dimensiones e indicadores medibles, tales como: densidad, humedad, compresión, flexión, dureza, lijado, perforado, clavado, entre otros. Esto permitió la sistematización del análisis de resultados de manera objetiva y replicable. A continuación, se explica de forma general el propósito y el desarrollo de esta operacionalización.



fundamentales para su aplicación en construcción y fabricación (Sotelo & Pazos, 1999). cizallamiento, que permitan establecer su potencial en aplicaciones estructurales y de uso industrial.

|                                       |  |  |              |  |  |
|---------------------------------------|--|--|--------------|--|--|
| <b>3. Trabajabilidad de la madera</b> | Es la capacidad de la madera para ser procesada con herramientas manuales o mecánicas, involucrando operaciones como lijado, perforado, torneado y clavado; influida por factores como densidad, dureza, contenido de humedad, dirección de fibras y presencia de defectos (Machuca-Velasco et al., 2012). | Evaluación de la facilidad de procesamiento y manipulación de la madera de <i>Cordia megalantha</i> Blake, a través de ensayos estandarizados (lijado, perforado, moldeado, clavado, etc.), que permitan determinar su idoneidad para aplicaciones en la industria maderera. | - Perforado  | - Calidad del acabado superficial (medida a través de la rugosidad o grado de grano triturado) | - Registro del tiempo requerido para cada proceso (lijado, perforado, etc.)                                |
|                                       |  |  | - Moldeado   | - Condición de la superficie procesada   | - Medición del esfuerzo aplicado (por ejemplo, fuerza en kg o N durante perforado)                         |
|                                       |  |  | - Escopleado | -  | - Evaluación de la uniformidad del acabado mediante mediciones de rugosidad (Ra) y observación de defectos |
|                                       |  |  | - Torneado   |  |  |
|                                       |  |  | - Clavado    |  |  |
|                                       |  |  | - Cepillado  |  |  |

---

La operacionalización facilita la definición precisa de cada variable, permitiendo que aspectos complejos; como las propiedades físicas, mecánicas y la trabajabilidad de la madera, se conviertan en elementos medibles. Al definir indicadores y métodos específicos para cada dimensión, se garantiza que la recolección y el análisis de datos se realicen de forma objetiva y estandarizada. Al establecer procedimientos claros y

específicos, otros investigadores podrán replicar el estudio, lo que fortalece la validez y la confiabilidad de los resultados.

#### 4.8. Procedimientos por objetivo

##### 4.8.1. Actividades a desarrollar por objetivo

##### 4.8.1.1. Objetivo 1: Actividades para el Objetivo 1: Evaluar las propiedades físicas

Las probetas fueron elaboradas en una carpintería, con las dimensiones especificadas en las normas ASTM D143- 94, las dimensiones de las probetas fueron de 2.5 cm (1in) de espesor a cada lado y tuvieron una longitud de 10 cm (4in).



Figura 5. Dimensiones de la probeta para pruebas físicas.

##### 4.8.1.1.1. Obtención de la densidad saturada

Fórmula 1. Densidad saturada.

$$D_s = P_s/V_s$$

Donde:

D<sub>s</sub>: Densidad saturado (gr/cm<sup>3</sup>)

P<sub>s</sub> = Peso de la muestra saturada (gr)

$V_s$  = Volumen de la muestra saturada (cm<sup>3</sup>)

#### 4.8.1.1.2. Obtención del densidad normal o seco al aire libre

Fórmula 2. Densidad normal o seco al aire libre.

$$P_n = PCH/VCH$$

Donde:

$P_n$  = Densidad 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 densidad normal.

#### 4.8.1.1.3. Determinación de la densidad anhidra:

Para realizar la medición de esta propiedad se necesitó; volumen seco al horno (cm<sup>3</sup>) y el peso seco al horno (gr).

Fórmula 3. Cálculo de la densidad anhidra.

$$S = KF/V$$

Donde:

$S$  = Densidad anhidra (gr/cm<sup>3</sup>)

$F$  = Peso de la probeta en condición anhidra (gr)

$V$  = Volumen de la probeta en condición anhidra (cm<sup>3</sup>)

$K$  = Constante cuyo valor es determinado por las unidades usadas en la medición de peso y volumen (para g/cm<sup>3</sup>,  $K = 1.00$ )

#### 4.8.1.1.4. Determinación de contenido de humedad

Se utilizaron los datos del peso saturado y peso anhidro.

Fórmula 4. Cálculo de contenido de humedad.

$$CH\% = ((A - B))/(B \times 100)$$

Donde:

CH% = Contenido de humedad (%)

A = peso saturado (gr)

B = peso anhidro (gr)

#### **4.8.1.1.5. Obtención del peso básico:**

Fórmula 5. Cálculo del peso básico.

$$We(o,s) = Po/Vs$$

Donde:

We (o,s) = Peso básico

Po = Peso a 0% del contenido de humedad

Vs = Volumen saturado al PSF

#### **4.8.1.1.6. Obtención del volumen**

Al igual que las demás pruebas, 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. Véase Anexo 8.

#### **4.8.1.1.7. Determinación de la contracción**

Para determinar estas propiedades se hizo uso del método de inmersión en estado anhidro y saturado, con el objetivo de calcular la capacidad que tiene la especie para perder humedad.

##### **4.8.1.1.7.1. Determinación de la contracción radial**

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

Fórmula 6. Cálculo de la contracción radial.

$$CR = (drs - dra)/drs \times 100$$

Donde:

CR = Contracción en el sentido radial (%)

drs = Dimensión radial de la probeta saturada (mm)

dra = dimensión radial de la probeta anhidra (mm)

#### **4.8.1.1.7.2. Determinación de la contracción tangencial**

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

Fórmula 7. Cálculo de la contracción tangencial.

$$CT = (dts - dta)/dts \times 100$$

CT = Contracción en el sentido tangencial (%)

dts = Dimensión tangencial de la probeta saturada (mm)

dta = Dimensión tangencial de la probeta anhidra (mm)

#### **4.8.1.1.7.3. Determinación de la contracción longitudinal**

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

Fórmula 8. Cálculo de la contracción longitudinal.

$$CR = (dls - dla)/dls \times 100$$

CT = Contracción en el sentido longitudinal (%)

dls = Dimensión longitudinal de la probeta saturada (mm)

dla = Dimensión longitudinal de la probeta anhidra (mm)

#### **4.8.1.1.7.4. Determinación de la contracción volumétrica total**

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

Fórmula 9. Cálculo de la contracción volumétrica total.

$$CVT = (V_s - V_a)/V_s \times 100$$

Donde:

CVT = Contracción volumétrica total (%)

$V_s$  = Volumen saturado de la probeta (cm<sup>3</sup>)

$V_a$  = Volumen anhidro de la probeta (cm<sup>3</sup>)

#### **4.8.1.1.7.5. Determinación de la contracción volumétrica para el 12% de contenido de Humedad**

Fórmula 10. Cálculo de la contracción volumétrica al 12% de CH.

$$CVT_{12\%} = (V_s - V_a)/V_s \times 100$$

Donde:

CVT 12% = Contracción volumétrica total al 12 % de CH (%)

$V_s$  = Volumen saturado de la probeta (cm<sup>3</sup>)

$V_a$  = Volumen al 12% del contenido de humedad de la probeta (cm<sup>3</sup>)

#### **4.8.1.1.8. 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.

Fórmula 11. Cálculo del punto de saturación de las fibras.

$$PSF = (CVT \times CHSA)/(C_v - CVSA) \times 100$$

Donde:

PSF = Punto de saturación de la fibra (%)

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

CHSA = Contenido de humedad seco al aire (%)

CvSA = Contracción volumétrica seca al aire (saturado a seco al aire) (%)

Fórmula 12. Cálculo de coeficiente de contracción volumétrica total.

$$C_{cv} = CV/PSF$$

Donde:

$C_{cv}$  = Coeficiente de contracción volumétrica total (%)

CV = Contracción volumétrica total (%)

PSF = Punto de saturación de la fibra.

#### 4.8.1.2. Objetivo 2: Analizar las propiedades mecánicas de la madera

Se prepararon probetas conforme a las normas internacionales ASTM D1666-87, con dimensiones de 2 × 2 × 41 cm, garantizando condiciones controladas y replicables para los ensayos mecánicos.

Las pruebas mecánicas a realizar fueron las siguientes:

##### 4.8.1.2.1 Flexión estática

Se utilizarán probetas que tengan las siguientes dimensiones:

25mm de alto y 25mm de ancho, y una longitud de 410mm, haciendo uso del método secundario (probetas pequeñas), que está establecido por las normas ASTM D143.



Figura 6. Dimensiones de la probeta para la prueba de flexión estática.

También se pueden utilizar probetas con medidas de 2" x 2" x 30".



Figura 7. Dimensiones de probeta de flexión estática del método A.

Fórmula 13. Determinación de esfuerzo de la fibra al límite proporcional.

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

Donde:

ELPF = Esfuerzo al límite proporcional de la fibra ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )  $P'$  = Carga aplicada al límite proporcional (kg)

$b$  = Ancho de la probeta (mm)  $h$  = Altura de la probeta (mm)  $L$  = Luz del ensayo (mm)

#### 4.8.1.2.2. Procedimiento del ensayo de compresión paralela a las fibras.

Se utilizaron las dimensiones del método A para probetas pequeñas determinado por la norma ASTM D 143 – 94, cuyas medidas fueron: 2 in x 2 in x 8 in.



Figura 8. Dimensiones para probetas de ensayo de compresión paralela a las fibras de método B.

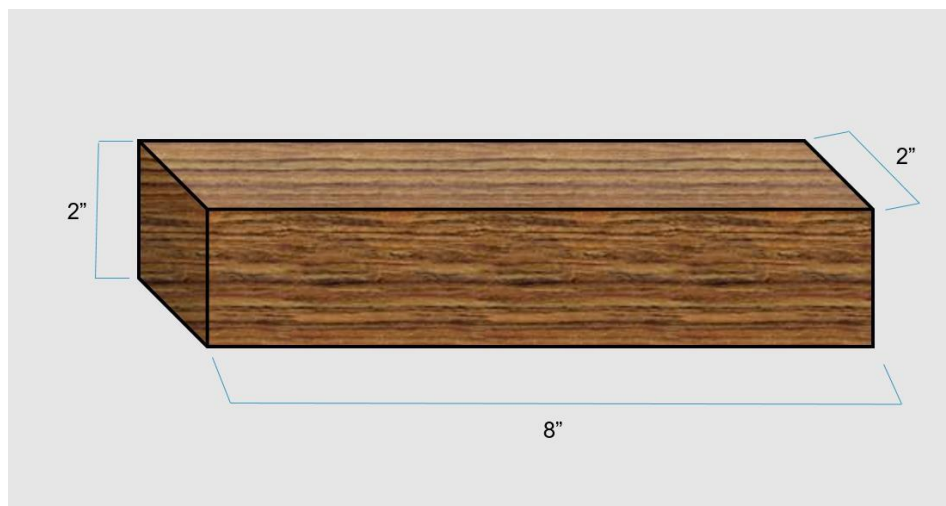


Figura 9. Dimensiones para la probeta del ensayo de compresión paralela a las fibras método A. Véase Anexo 13.

Fórmula 14. 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 (cm<sup>2</sup>)

La Tabla 4 clasifica el comportamiento mecánico de la madera en categorías cualitativas (muy baja–muy alta) considerando: MOE en flexión (rigidez), MOR en flexión (resistencia a la ruptura) y compresión paralela a la fibra. Para hacer comparables los valores, se expresan en kg/cm<sup>2</sup>; cuando los ensayos se reportan en MPa o GPa, se usó 1 MPa = 10.197 kg/cm<sup>2</sup> y 1 GPa = 1000 MPa. Esta clasificación es únicamente orientativa y sirve para ubicar la especie frente a rangos de referencia.

| <b>Flexión Estática</b> |                           |  |  |
|-------------------------|---------------------------|--|--|
| Calificación            | MOE (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia al límite elástico (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a la ruptura (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| Muy baja                | Menor de 40,000           | Menor de 200   | Menor de 350                                   |
| Baja                    | 40,001 - 80,000           | 201 - 400  | 350 - 700                                      |
| Media                   | 80,001 - 120,000          | 401 - 600  | 701 - 1,050                                    |
| Alta                    | 120,001 - 160,000         | 601 - 800  | 1,051 - 1,400                                  |
| Muy alta                | Mayor de 160,000          | Mayor de 800   | Mayor de 1,400                                 |

| <b>Compresión Paralela A La Fibra</b> |                           |  |  |
|---------------------------------------|---------------------------|--|--|
| Calificación                          | MOE (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia al límite elástico (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia a la ruptura (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| Muy baja                              | Menor de 50,000           | Menor de 100   | Menor de 150                                   |
| Baja                                  | 50,001 - 100,000          | 101 - 180  | 151 - 300                                      |
| Media                                 | 100,001 - 150,000         | 181 - 260  | 301 - 450                                      |
| Alta                                  | 150,001 - 200,000         | 261 - 340  | 451 - 600                                      |
| Muy alta                              | Mayor de 200,000          | Mayor de 340   | Mayor de 600                                   |

Tabla 4. parámetros para clasificación de pruebas mecánicas.

#### **4.8.1.3. Objetivo 3: Analizar la trabajabilidad de la madera**

Se elaboraron muestras normalizadas específicas para cada tipo de prueba.

Las pruebas de clavado se ejecutaron aplicando clavos de diferentes calibres con martillo manual. Se observó la facilidad de inserción y resistencia a la tracción de los clavos. Véase Anexo 17.

Para las pruebas de perforado, se utilizó un taladro de precisión con brocas normalizadas. Se registraron el esfuerzo necesario, tiempo de perforación y calidad del agujero resultante. Véase Anexo 16.

También se realizaron ensayos de torneado, escopleado y moldeado, evaluando la uniformidad de los acabados, la formación de astillas y la presencia de defectos. Véase Anexo 20. Estas evaluaciones se apoyaron mediante observaciones cualitativas del comportamiento del material frente al trabajo mecánico por medio de formatos de pruebas. Véase Anexo 19.

#### **4.8.1.4. Objetivo 4: Comparar el desempeño general de la madera**

Se integraron todos los resultados obtenidos en los objetivos anteriores. Se elaboró un análisis comparativo entre las propiedades físicas, mecánicas y de trabajabilidad, lo que permitió establecer el desempeño general de la especie *Cordia megalantha* Blake.

El análisis permitió evaluar el potencial industrial de la especie bajo condiciones agroforestales, aportando evidencia técnica para su promoción en el sector maderero sostenible.

## CAPÍTULO V: RESULTADOS

### 5.1 Pruebas físicas

En este apartado se presentan y analizan los resultados de las pruebas físicas realizadas a probetas de *Cordia megalantha* Blake provenientes del sistema agroforestal con cacao en La Masica, Atlántida. Los ensayos se ejecutaron conforme a lo descrito en el Capítulo IV (normas ASTM y procedimientos de laboratorio); tamaño muestral  $n = 15$ .

#### 5.1.1 Contenido de humedad

El contenido de humedad en equilibrio (seco al aire, ambiente de laboratorio) fue 11.7 %. Este valor es coherente con climas tropicales húmedos y resulta adecuado para operaciones de mecanizado y acabado en interiores. En condición verde/saturada las probetas mostraron alta retención de agua libre, como se observa en las masas registradas. Véase en anexo 9, pero el análisis comparativo se realiza respecto a la condición seca al horno (0 % CH), que es la referencia estándar para las contracciones.

#### 5.1.2 Densidad

La densidad básica promedio fue  $0.429 \text{ g/cm}^3$ , por lo que la especie se clasifica como madera ligera. La densidad saturada alcanzó  $0.616 \text{ g/cm}^3$  y la densidad comercial (seca al aire)  $0.528 \text{ g/cm}^3$ . Este conjunto es típico de maderas de fácil maquinado y resistencia mecánica moderada, recomendables para aplicaciones no estructurales o de cargas ligeras en interiores.

#### 5.1.3 Contracciones dimensionales

Las contracciones lineales promedio fueron: tangencial (CT) = 6.68 %, radial (CR) = 4.45 %, con relación T/R = 1.58, lo que evidencia baja anisotropía y buen comportamiento dimensional.

La contracción volumétrica total (CV<sub>total</sub>), calculada con volúmenes por dimensiones (rectangulares) entre estado saturado y anhidro, fue  $\approx 11.3 \%$  ( $n = 15$ ). Este valor sitúa a la especie en la clase media de contracción ( $\approx 10\text{--}15 \%$ ) y

anticipa bajo riesgo de fendas en secado técnico y deformaciones controladas en servicio interior.

Nota sobre outliers: La probeta 10 mostró  $CV_{total} \approx 20\%$  asociada a diferencias marcadas en medidas longitudinales anhidras; se conserva en el promedio por transparencia, pero se documenta como valor atípico (ver Anexo 9.).

#### **5.1.4 Punto de saturación de la fibra (PSF) y coeficiente volumétrico (Ccv)**

Con base en la metodología de regresión/razón contraccional aplicada al conjunto de probetas, el PSF promedio fue  $\approx 29.73\%$ , dentro del rango esperado para latifoliadas. A partir de ello, el coeficiente de contracción volumétrica ( $Ccv = CV_{total}/PSF$ ) resultó  $\approx 0.38$  (adimensional), indicando buena estabilidad volumétrica por cada punto porcentual de cambio de humedad.

#### **5.1.5 Clasificación tecnológica a partir de las propiedades físicas**

Con base en los promedios obtenidos:

Densidad básica  $\approx 429 \text{ kg/m}^3 \rightarrow$  madera ligera.

$CV_{total} \approx 11.3\% \rightarrow$  contracción media (UNE 56.540).

$T/R = 1.58 \rightarrow$  estable (baja anisotropía).

$Ccv \approx 0.38 \rightarrow$  buena estabilidad frente a variaciones higroscópicas.

Véase Tabla 5.

En conjunto, *C. megalantha* es idónea para mueblería interior, carpintería fina, chapas, molduras y componentes no portantes bajo techo, con buen comportamiento dimensional y muy buena maquinabilidad.

| <b>Propiedad</b>             | <b>Media</b> | <b>Clase/Nota</b>        |
|------------------------------|--------------|--------------------------|
| Densidad ( $\text{g/cm}^3$ ) | 0.429        | Ligera                   |
| CT (%)                       | 6.68         | –                        |
| CR (%)                       | 4.45         | –                        |
| T/R                          | 1.58         | Estable                  |
| $CV_{total}$ (%)             | 11.3         | Media (UNE)              |
| PSF (%)                      | 29.73        | En rango de latifoliados |
| Ccv                          | 0.38         | Estable                  |

Fuente: Clasificación según Vignote, Martínez y Bárcenas. Elaboración propia.

Tabla 5. Tabla de clasificación de la madera según las propiedades físicas

Mayor divergencia: densidad (Inv. 2 muy baja vs. Inv. 3 alta) y T/R (Propia muy favorable vs. Inv. 2–3 desfavorable).

Similitudes: Cv en todas = clase MEDIA; Ccv (cuando hay dato) = ESTABLE.

Uso técnico sugerido:

Propia (0.429; T/R 1.58; Cv 11.3; Ccv 0.38): mejor perfil para carpintería/mueblería interior y productos ensamblados con menor riesgo de alabeo.

Inv. 2 (0.28; T/R 2.21): usos ligeros y no estructurales; extremar diseño higroscópico.

Inv. 3 (0.58; T/R 2.22): potencial mecánico mayor por densidad, pero más crítica la estabilidad (preferir corte radial, anchos estrechos, CH 10–14%).

Inv. 1: intermedia; sin Ccv, pero Cv y T/R sugieren estabilidad media.

Diferencias pueden deberse a edad del árbol (madera joven vs. madura), sitio/manejo (agroforestería vs. natural), estado de humedad de ensayo, y método de medición.

## 5.2 Pruebas mecánicas

Los ensayos se realizaron en máquina universal Hoytom HM-D 50 kN, configurada bajo normas UNE, utilizando probetas con dimensiones ASTM D143-94 (probetas pequeñas). Los resultados se expresan en MPa para las resistencias y en GPa para el MOE.

### 5.2.1 Compresión paralela a la fibra

Con  $n=15$ , las resistencias a compresión paralela oscilaron entre 147.04 – 171.31  $\text{kg/cm}^2$ , con media = 162.33  $\text{kg/cm}^2$ , DE = 6.4242  $\text{kg/cm}^2$  y CV = 4.0 %. Las curvas esfuerzo–deformación mostraron un tramo elástico bien definido, seguido de aplastamiento progresivo. Este nivel de resistencia es moderado, coherente con la densidad básica  $\approx 0.429 \text{ g/cm}^3$ , y ubica a la especie como apta para elementos comprimidos secundarios, no recomendada para columnas principales sin diseño específico. Véase anexo 15.

| n  | Media (MPa) | DE (MPa) | CV (%) | Min (MPa) | Max (MPa) |
|----|-------------|----------|--------|-----------|-----------|
| 15 | 15.92       | 0.63     | 4.0    | 14.42     | 16.80     |

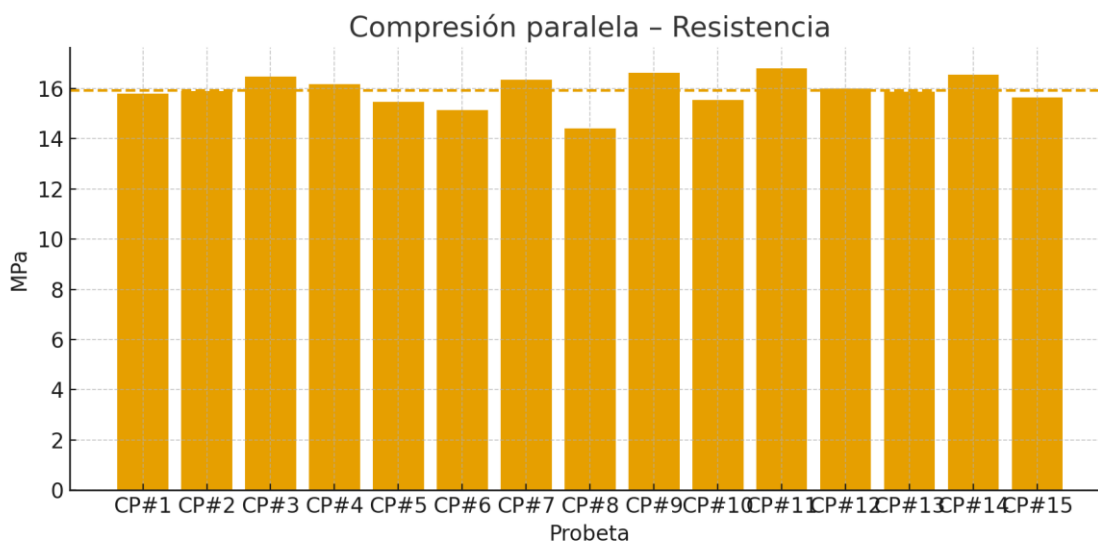


Figura 10. Compresión Paralela  
Datos crudos: véase Anexo 21.1

### 5.2.2 Compresión perpendicular a la fibra

Con  $n=15$ , la resistencia perpendicular se ubicó entre 39.76  $\text{kg/cm}^2$  – 42.72  $\text{kg/cm}^2$ , con media = 41.70  $\text{kg/cm}^2$ , DE = 0.8157  $\text{kg/cm}^2$  y CV = 1.9 %. El modo de falla fue aplastamiento local con fluencia, típico de maderas de baja a media densidad.

| n  | Media (MPa) | DE (MPa) | CV (%) | Min (MPa) | Max (MPa) |
|----|-------------|----------|--------|-----------|-----------|
| 15 | 4.09        | 0.08     | 1.9    | 3.90      | 4.19      |

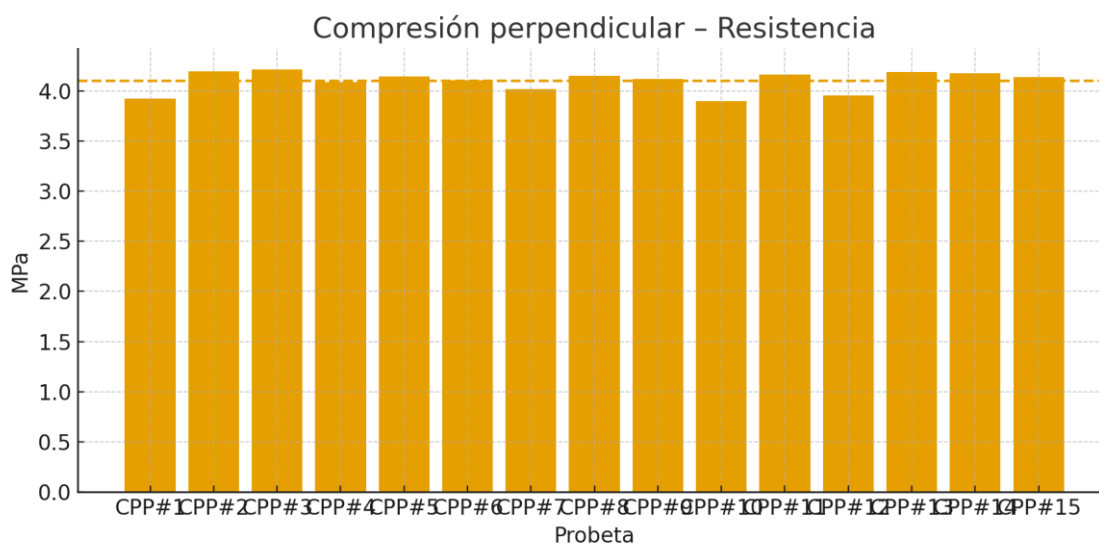


Figura 11. Compresión perpendicular  
 Datos crudos: véase Anexo 21.2

### 5.2.3. Flexión estática

Se ensayaron 15 probetas 25×25×410mm. El MOR varió entre 575.12 – 791.30 kg/cm<sup>2</sup> con media = 697.18 kg/cm<sup>2</sup>, DE = 46.19 kg/cm<sup>2</sup> y CV = 6.6 %. El MOE osciló entre 4.06–6.50 GPa con media = 5.017 GPa, DE = 0.73 GPa y CV = 14.6 %. El modo de falla fue rotura por tracción en la cara inferior, precedida de un tramo elástico claro. Véase Anexo 12.

con MOR 693.4096 kg/cm<sup>2</sup> y MOE 5.0 GPa, la especie es adecuada para mueblería, carpintería interior y bastidores de carga ligera, no para vigas principales de gran luz. La dispersión mayor del MOE sugiere sensibilidad a grano, nudos finos o variación de densidad entre probetas (propio de maderas de crecimiento en sistemas agroforestales)

Conclusión de 5.2: Perfil resistente: moderado en compresión paralela (163.155 kg/cm<sup>2</sup>) y en MOR (693.4096 kg/cm<sup>2</sup>), con MOE en el rango 4 – 6.5 GPa.

Uniones/apoyos: compresión perpendicular  $\approx 41.8084 \text{ kg/cm}^2$ ; usar placas/arandelas para repartir cargas.

Usos recomendados: muebles, carpintería interior, piezas torneadas, laminados decorativos y elementos no portantes.

Buenas prácticas: control de humedad (11–12 %), selección de grano recto, y pretaladro en piezas delgadas para mitigar fisuras por clavos/tornillos.

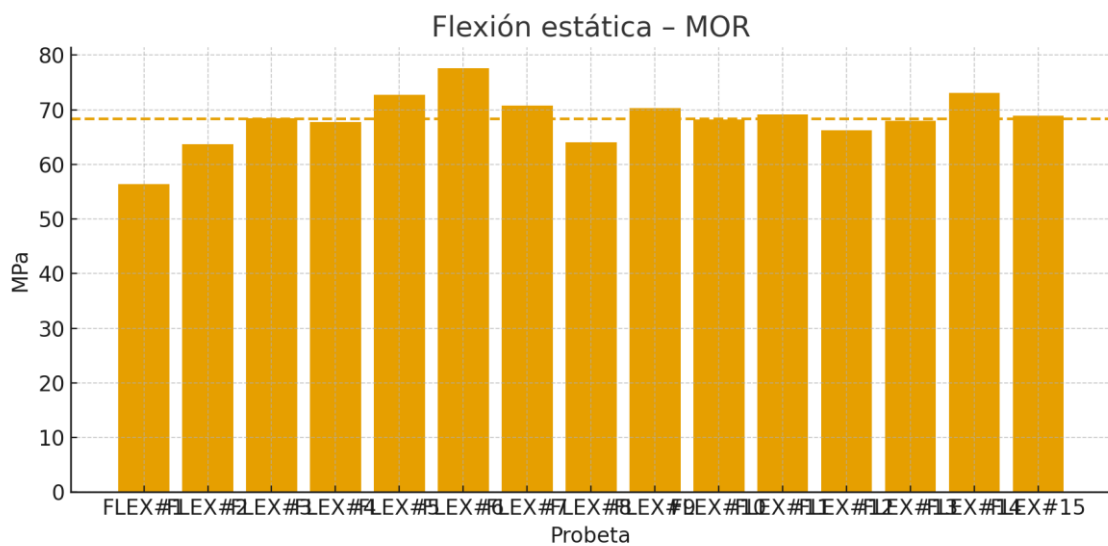


Figura 12. Flexión estática MOR  
Elaboración Propia

Datos crudos: véase Anexo 21.3

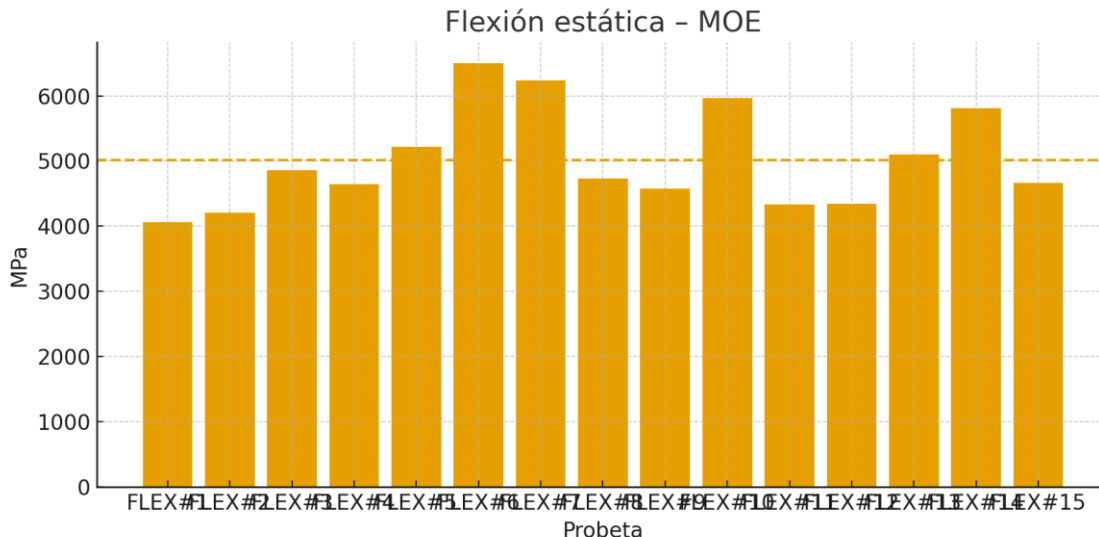


Figura 13. Flexión estática MOE

Fuente: Elaboración Propia

Datos crudos: véase Anexo 21.3

### 5.3 Pruebas de trabajabilidad

Las pruebas de trabajabilidad se realizaron en las probetas previamente acondicionadas, siguiendo procedimientos de taller habituales para evaluar la respuesta de la madera a operaciones de maquinado, ensamble y acabado. Estas pruebas permiten determinar la facilidad de transformación de la madera y predecir su comportamiento en procesos industriales de carpintería, ebanistería y mueblería.

#### 5.3.1 Aserrado

El corte de las probetas se realizó mediante aserrío radial con sierra de banda. El examen visual evidenció cortes limpios, sin quemado ni carbonización en los cantos, lo que indica baja fricción y adecuada evacuación de viruta. No se observó astillado significativo en el extremo de salida; por tanto, bajo las condiciones de avance empleadas, la especie admitió aserrío radial con sierra de banda con riesgo mínimo de desgarró. La elección del aserrío radial con

anillos de crecimiento aproximadamente perpendiculares a la cara se orientó a reducir alabeos y mejorar la estabilidad dimensional.

### **5.3.2 Cepillado**

Las caras cepilladas presentaron superficies lisas y uniformes, con desgarros mínimos incluso en zonas de grano inclinado. Esto indica que la madera tiene **buena respuesta al cepillado** con herramientas afiladas y puede trabajarse con ángulos de corte convencionales sin necesidad de ajustes especiales.

### **5.3.3 Lijado**

El lijado dejó una textura homogénea, sin fibras levantadas. El acabado superficial es fino, lo que demuestra que la madera responde bien a lijas de grano medio y fino, alcanzando rápidamente una superficie apta para el acabado.

### **5.3.4 Torneado**

En las piezas torneadas se obtuvo un perfil definido y sin astillamientos en los bordes. La operación produjo virutas continuas y regulares, evidenciando excelente maquinabilidad. Esto permite recomendar la especie para piezas torneadas como balaustres, patas de mesa y elementos decorativos cilíndricos.

### **5.3.5 Clavado y atornillado**

Las probetas sometidas a clavado y atornillado no presentaron rajaduras ni deformaciones alrededor de la unión. Los clavos penetraron sin esfuerzo excesivo y mostraron buena retención, mientras que los tornillos generaron rosca limpia. No fue necesario pretaladro en diámetros estándar, aunque se recomienda en piezas delgadas para evitar posibles fisuras.

### **Interpretación de los resultados de trabajabilidad**

En conjunto, *Cordia megalantha* Blake puede clasificarse como madera de fácil trabajabilidad, mostrando buen desempeño en aserrado, cepillado, torneado y lijado, así como comportamiento confiable en procesos de unión

mecánica y adhesiva. Estas características la hacen ideal para mueblería de interior, carpintería fina, piezas torneadas y aplicaciones donde se requiere buena calidad superficial y estabilidad dimensional.

Para aplicaciones industriales, se recomienda utilizar herramientas bien afiladas y mantener parámetros de corte estándar; no se requieren modificaciones especiales en ángulo de ataque ni velocidad de avance.

#### **5.4 Características macroscópicas**

La identificación macroscópica de la madera de *Cordia megalantha* se realizó a simple vista y con lupa de 10×. Las observaciones se documentan con las Figuras 14-17 que muestran cara longitudinal, detalle superficial y secciones transversales.

##### **5.4.1 Color y brillo**

La madera de *Cordia megalantha* presenta color del duramen es castaño claro a castaño amarillento, con albura poco diferenciada. El brillo es medio-bajo y la textura es fina a media y bastante uniforme, lo cual favorece acabados lisos por cepillado y lijado.



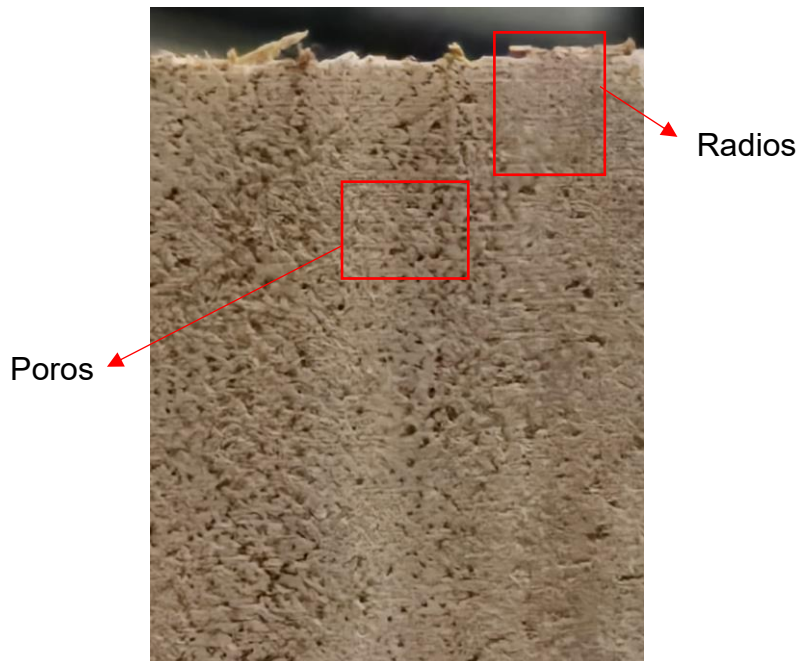
Figura 14. Cara longitudinal de *Cordia megalantha*: grano mayormente recto, textura fina-media y brillo medio-bajo.

### 5.4.2 Textura

La textura es fina a media, uniforme en toda la pieza, lo que facilita su uso en acabados lisos y pulidos. La homogeneidad de la textura es ventajosa para procesos de lijado y aplicación de recubrimientos. Véase también Figura 17

### 5.4.3 Grano

Se aprecia grano generalmente recto con zonas locales de grano



entrecruzado leve, sin presencia de vetas prominentes ni depósitos resinosos. Esto explica el bajo riesgo de desgarro cuando se trabaja con cuchillas bien afiladas y ángulos convencionales.

Figura 15. Sección transversal (macro de extremo): radios finos y anillos poco diferenciados.

#### 5.4.4 Anillos de crecimiento y porosidad

Se observan poros difusos de diámetro pequeño a mediano, distribuidos homogéneamente. Los anillos de crecimiento son poco diferenciados, con transición gradual entre madera temprana y tardía. Este patrón es consistente con la buena estabilidad dimensional reportada en el secado.



Figura 16. Sección transversal (macro): poros difusos pequeños a medianos, distribución homogénea.

#### 5.4.5 Radios leñosos

Los radios son finos y de baja visibilidad a simple vista, perceptibles con aumento. El parénquima se aprecia apotraqueal difuso y paratraqueal muy discreto, sin formar figuras llamativas. No se evidencian inclusiones minerales que afecten el maquinado.

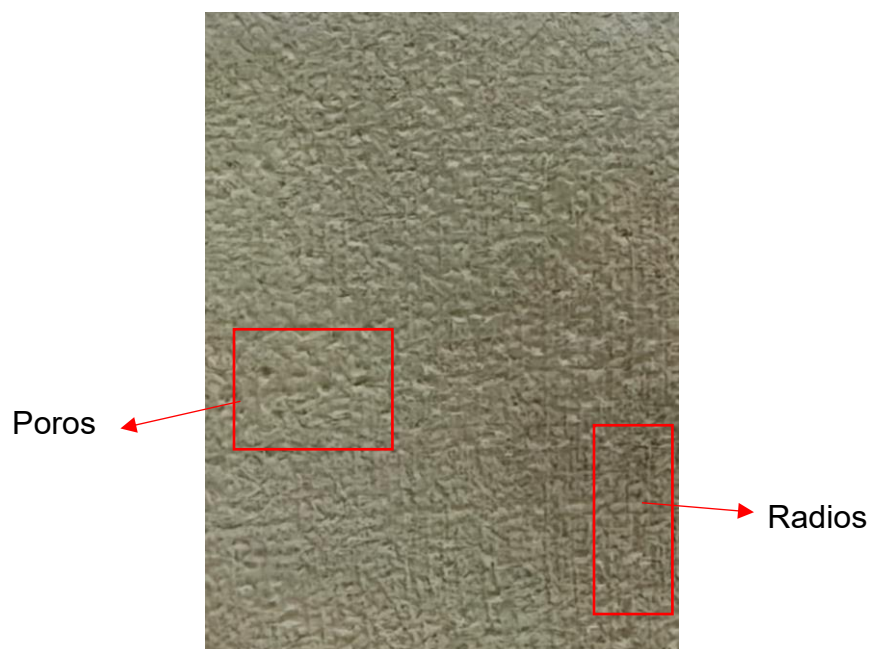


Figura 17. Detalle superficial bajo aumento ( $\sim 10\times$ ): textura uniforme; radios finos de baja visibilidad.

#### 5.4.6 Olor y sabor

La madera no presenta olor característico intenso; el aroma es ligero y agradable al momento del maquinado. No se detectó sabor particular.

#### Interpretación macroscópica

La combinación color uniforme + textura fina/medio-fina + poros difusos pequeños + radios finos respalda el desempeño observado en trabajabilidad (secciones 5.3.1–5.3.6): buen cepillado, lijado y torneado, con acabados homogéneos y baja tendencia al astillado cuando el filo es adecuado.

## CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

**Cuadro comparativo de propiedades físicas de la especie en plantación agroforestal contra investigaciones de la especie *Cordia megalantha* Blake**

| N. | Tipo de prueba  | Inv. 1                            | Inv. 2                 | Inv. 3                 | Inv. Propia             |
|----|-----------------|-----------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| 1. | Densidad básica | 0.36 – 0.43<br>gr/cm <sup>3</sup> | 0.28 g/cm <sup>3</sup> | 0.58 g/cm <sup>3</sup> | 0.429 g/cm <sup>3</sup> |
| 2. | Relación T/R    | 1.85                              | 2.21                   | 2.22                   | 1.58                    |
| 3. | C. volumétrica  | 11.6%                             | 10.16%                 | 10.16%                 | 11.3%                   |
| 4. | Ccv             | X                                 | 0.36                   | 0.36                   | 0.38                    |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6. Cuadro comparativo de propiedades físicas

Mayor divergencia: densidad (Inv. 2 muy baja vs. Inv. 3 alta) y T/R (Propia muy favorable vs. Inv. 2–3 desfavorable).

Similitudes: Cv en todas = clase MEDIA; Ccv (cuando hay dato) = ESTABLE.

Uso técnico sugerido:

Propia (0.429; T/R 1.58; Cv 11.3; Ccv 0.38): mejor perfil para carpintería/mueblería interior y productos ensamblados con menor riesgo de alabeo.

Inv. 2 (0.28; T/R 2.21): usos ligeros y no estructurales; extremar diseño higroscópico.

Inv. 3 (0.58; T/R 2.22): potencial mecánico mayor por densidad, pero más crítica la estabilidad (preferir corte radial, anchos estrechos, CH 10–14%).

Inv. 1: intermedia; sin Ccv, pero Cv y T/R sugieren estabilidad media.

Diferencias pueden deberse a edad del árbol (madera joven vs. madura), sitio/manejo (agroforestería vs. natural), estado de humedad de ensayo, y método de medición.

La densidad básica  $0.429 \text{ g/cm}^3$  ubica a la especie dentro del grupo de maderas ligeras ( $<0.50 \text{ g/cm}^3$ ), lo que anticipa buena maquinabilidad y resistencias mecánicas moderadas.

La  $CV_{\text{total}} = 11.3 \%$  se clasifica como pequeña–media; junto con  $T/R = 1.58$  indica estabilidad dimensional favorable (baja anisotropía y menor tendencia a alabeos/fendas durante secado).

El  $PSF = 29.73 \%$  está dentro del rango típico de latifoliadas ( $\approx 25\text{--}35 \%$ ).

El  $C_{cv} = 0.38$  (definido como  $CV_{\text{total}}/PSF$ , con ambos en %) implica que por cada  $1 \%$  de variación de humedad por debajo del  $PSF$ , la madera experimenta  $\sim 0.38 \%$  de contracción volumétrica. Este valor es moderado, coherente con la estabilidad observada (mejor que especies nerviosas, inferior a maderas muy estables).

Implicaciones tecnológicas. La combinación densidad ligera +  $CV$  moderada +  $T/R=1.58$  respalda el uso en mueblería y carpintería interior, chapas y molduras; con secado técnico hasta  $12 \%$  y control higrotérmico para minimizar movimiento.

### **Cuadro comparativo de propiedades mecánicas de la especie en plantación agroforestal contra investigaciones de la especie en ambiente natural**

| N. | Tipo de prueba              | Inv. 1                    | Inv. 2                   | Inv. Propia               |
|----|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1. | Flexión Estática<br>ELPF    | 309.57 kg/cm <sup>2</sup> | 298 kg/cm <sup>2</sup>   | 697.18 Kg/cm <sup>2</sup> |
| 2. | Compresión paralela<br>ELPF | 313.78 kg/cm <sup>2</sup> | 155.4 kg/cm <sup>2</sup> | 162.34 Kg/cm <sup>2</sup> |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7. Comparación de las Propiedades mecánicas

En la comparación mecánica (ELPF), la flexión estática de *Cordia megalantha* en la Investigación Propia alcanzó  $697.18 \text{ kg/cm}^2$ , superando con amplitud a Inv. 1 ( $309.57 \text{ kg/cm}^2$ ) e Inv. 2 ( $298.00 \text{ kg/cm}^2$ ), lo que indica un mayor

margen elástico antes de la deformación permanente en esfuerzos de flexión. En compresión paralela, en cambio, la Investigación Propia registró 162.34 kg/cm<sup>2</sup>, valor cercano a Inv. 2 (155.40 kg/cm<sup>2</sup>) y sensiblemente inferior a Inv. 1 (313.78 kg/cm<sup>2</sup>), evidenciando una capacidad limitada a aplastamiento y menor desempeño en elementos sometidos a esfuerzos axiales. En conjunto, el perfil mecánico sugiere buen comportamiento en flexión para aplicaciones interiores donde gobierna la flecha (p. ej., superficies, estanterías y largueros bajo control de humedad), pero restricciones para usos en compresión (postes, pies derechos o zonas de apoyo concentrado), que requerirían sobredimensionamiento, reparto de cargas y un diseño cuidadoso de apoyos si se contemplan.

La compresión paralela ~ 163.155 kg/cm<sup>2</sup> coincide con lo esperable en maderas ligeras y confirma su idoneidad para elementos comprimidos secundarios (no portantes).

La compresión perpendicular ~ 40.7886 kg/cm<sup>2</sup> representa, como es habitual, una fracción de la paralela; recomienda placas/arandelas de reparto en apoyos y uniones tope para evitar aplastamiento localizado.

La flexión ubica a la especie en resistencia media (MOR ~ 693.407 kg/cm<sup>2</sup>; MOE ~5 GPa): apta para largueros, bastidores y componentes de mobiliario, pero no para vigas de gran luz que exigen alta rigidez.

La respuesta en aserrado, cepillado, lijado y torneado fue consistente con una madera ligera y de grano mayormente recto: cortes limpios, bajo desgarró, buen acabado con lijas medias-finas y viruta continua en torneado. En clavado/atornillado no se observaron rajaduras. Esto reduce tiempos de reproceso y desgaste de herramientas, un plus para talleres y producción seriada.

Uniéndolo físico, mecánico y de taller:

Perfil tecnológico: madera ligera, estable (CV 11.3 %, T/R 1.58, Ccv 0.38), resistencia media y excelente trabajabilidad.

Usos recomendados: mueblería y carpintería interiores (mesas, estanterías, frentes, molduras), piezas torneadas, chapas/laminados decorativos y ensamblados encolados.

Usos a evitar o condicionar: elementos estructurales principales o exposición directa sin tratamiento; en apoyos/compras, incluir reparto de carga.

| <b>Indicador clave</b> | <b>Valor</b>                | <b>Lectura rápida</b>        |
|------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Densidad básica        | 0.429 g/cm <sup>3</sup>     | Madera ligera                |
| CV_total               | 11.3 %                      | Contracción pequeña-media    |
| T/R                    | 1.58                        | Estable (baja anisotropía)   |
| PSF                    | 29.73 %                     | Rango típico de latifoliadas |
| Ccv                    | 0.38                        | Movimiento moderado/estable  |
| MOR                    | 697.17 kg/cm <sup>2</sup>   | Flexión media                |
| MOE                    | 5.02 GPa                    | Rigidez media                |
| Comp. //               | 162.3388 kg/cm <sup>2</sup> | No portante                  |
| Comp. ⊥                | 41.60 kg/cm <sup>2</sup>    | Repartir cargas en apoyos    |

Tabla 8. Tabla de síntesis.

Fuente: Clasificación según (Bárceñas, 1985);(Vignote & Martínez , 2007)

Los análisis se basan en n=15 probetas por ensayo, con árboles de una misma procedencia y edad (sistema agroforestal con cacao).

El cálculo de Ccv se realizó con la definición  $Ccv = CV\_total / PSF$  (ambos en %); reportado como adimensional para facilitar comparaciones entre especies.

## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

*Cordia megalantha* Blake procedente de sistemas agroforestales con cacao en La Masica, Atlántida, se clasifica como madera ligera (densidad básica =  $0.429 \text{ g/cm}^3$ ), con buena estabilidad dimensional: CT = 6.68 %, CR = 4.45 %, T/R = 1.58, CV\_total = 11.3 %, PSF = 29.73 % y Ccv = 0.38.

El desempeño mecánico promedio ubica a la especie como resistencia moderada: compresión paralela =  $162.1349 \text{ kg/cm}^2$  (n = 15), compresión perpendicular  $\approx 41.80 \text{ kg/cm}^2$ , MOR =  $697.17 \text{ kg/cm}^2$  y MOE = 5.02 GPa.

La trabajabilidad fue favorable en aserrado, cepillado, lijado, torneado, clavado/atornillado y encolado; se observaron superficies limpias, baja tendencia al desgarro y buena retención de uniones.

Las características macroscópicas (color castaño claro–amarillento, textura fina–media, grano mayormente recto, vasos difusos pequeños–medianos) respaldan su atractivo estético y su idoneidad para mueblería y carpintería de interior.

### Objetivo 1 — Propiedades físicas.

La combinación CV\_total = 11.3 % y T/R = 1.58 confirma bajo riesgo de fendas y alabeos en secado técnico y en uso interior.

El PSF = 29.73 % es coherente con latifoliadas tropicales y, junto con Ccv = 0.38, explica la buena respuesta al control higrotérmico.

### Objetivo 2 — Propiedades mecánicas.

La compresión paralela (media  $162.1349 \text{ kg/cm}^2$ ) y la flexión (MOR  $697 \text{ kg/cm}^2$ , MOE 5.02 GPa) la posicionan para cargas ligeras y componentes secundarios; no es recomendable para vigas principales ni columnas solicitadas.

La compresión perpendicular  $\approx 41.80 \text{ kg/cm}^2$  sugiere uso de placas/arandelas para repartir cargas en apoyos y herrajes.

### Objetivo 3 — Trabajabilidad.

Responde muy bien a operaciones de maquinado; no requiere ángulos de corte especiales ni pretaladros salvo en piezas delgadas o próximas a bordes.

### Objetivo 4 — Potencial de uso.

Mejor desempeño en mueblería interior, carpintería fina, molduras, chapas y piezas torneadas.

Uso bajo techo o con protección si se expone a humedad prolongada.

Secado y acondicionamiento.

Secar hasta 11–12 % de CH con gradientes moderados; usar apilado con separadores uniformes y peso superior para minimizar alabeo.

Aprovechar el PSF = 29.73 % para fases de secado más eficientes, manteniendo control de temperatura/HR para evitar tensiones internas.

Control de calidad.

Verificar CH final, densidad aparente y defectos de secado por lote; documentar trazabilidad árbol–pieza.

Para modelar adecuadamente la variabilidad, se recomienda incrementar el tamaño muestral y estratificar el muestreo por: (i) edad del arbolado (clases de edad que discriminen madera juvenil/madura), (ii) posición en el fuste (secciones basal, media y apical; y orientación radial/tangencial en la obtención de probetas), y (iii) sitio (p. ej., plantación vs. bosque o entre plantaciones con distinto manejo). Este diseño permite estimar efectos principales e interacciones (edad×sitio, posición×sitio), controlar la heterogeneidad intrínseca del material y obtener parámetros más robustos para diseño y uso tecnológico. Durabilidad natural y tratamientos: ensayos contra hongos/insectos y eficacia de preservantes bajo normativa.

Las mediciones volumétricas se realizaron por desplazamiento de agua (método de Arquímedes) y por cálculo geométrico a partir de dimensiones. Se

aplicaron controles de calidad Este procedimiento es válido y ampliamente utilizado en determinaciones tecnológicas de madera, por lo que no compromete la validez de los resultados. Como mejora, se recomienda replicar con balanza hidrostática calibrada y verificación independiente del volumen para reducir la incertidumbre y documentar la trazabilidad metodológica.

Estudiar la relación entre anatomía y química de la madera (vasos, radios, extractivos) y sus efectos en estabilidad dimensional, durabilidad y adhesión de recubrimientos.

Integrar la dimensión silvícola–económica: impacto de densidad de siembra, arreglos cacao–madera y manejo sobre calidad de fuste, rendimiento en aserrío y valor agregado en mueblería.

Diseñar modelos de negocio para pequeños productores que combinen la producción de cacao con la madera de *Cordia megalantha*, evaluando rentabilidad y servicios ecosistémicos.

Se recomienda que se profundice en la relación entre la anatomía de la madera y el cambio climático, mediante el análisis detallado de los anillos de crecimiento. En particular, sería pertinente evaluar cómo varían parámetros anatómicos (ancho de anillo, proporción de madera temprana y tardía, tamaño y frecuencia de vasos, grosor de paredes celulares, densidad aparente, entre otros) en función de series climáticas históricas (precipitación, temperatura, eventos extremos), de manera que se cuantifique el valor de la anatomía de la madera como indicador biofísico de sensibilidad climática, capacidad de resiliencia y potencial de almacenamiento de carbono ante escenarios de cambio climático.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AENOR. (2012). *UNE-EN 408: Madera estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas*. Asociación Española de Normalización.
- Arévalo, R. L., & Hernández, R. E. (2004). Efecto de la sorción de humedad en las propiedades físico-mecánicas de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* King). *Colombia Forestal*, 8(17), 110-119.
- ASTM. (2016, marzo). *¿Qué es ASTM International?* [https://la.astm.org/wp-content/uploads/2020/03/what\\_is\\_astm\\_SP\\_feb16.pdf](https://la.astm.org/wp-content/uploads/2020/03/what_is_astm_SP_feb16.pdf)
- ASTM International. (2014). *ASTM D143-14: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber*.
- Becerra Duitama, J. A. (2020). *Propiedades mecánicas de los materiales*. Fundación Universitaria Juan de Castellanos.
- Beer, J., Ibrahim, M., Somarriba, E., Barrance, A., & Leakey, R. (2003). *Stablecimiento y manejo de árboles en sistemas agroforestales*. [https://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/Establecimiento\\_y\\_manejo\\_de\\_arboles\\_en\\_sistemas\\_agroforestales.pdf](https://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/Establecimiento_y_manejo_de_arboles_en_sistemas_agroforestales.pdf)
- Benitez y Montesinos. (1988). *Estudio y de Crecimiento de Especies Nativas de Interes Comercial en Honduras (PROECEN)*. [https://www.itto.int/files/itto\\_project\\_db\\_input/2017/Technical/pd8-92-5-24%20rev2\(F\)%20s\\_Nogal\\_S.pdf](https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2017/Technical/pd8-92-5-24%20rev2(F)%20s_Nogal_S.pdf)
- CATIE. (2001). *Árboles de Centroamérica: Manual para extensionistas*. CATIE.

Chudnoff, M. (1984). *Tropical Timbers of the World*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

Fernández-Golfín Seco, J. I., García, M. C., & Cabezas Martínez, J. A. (2020). *LA MADERA: CONCEPTOS CLAVE PARA SU IDENTIFICACIÓN BOTÁNICA*.

[https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/internacional-especies-madera/lamaderacuartas\\_baja\\_tcm30-536229.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/internacional-especies-madera/lamaderacuartas_baja_tcm30-536229.pdf)

Fernández-Golfín Seco, J. I., Peraza, R., & Hermoso, E. (2020). *Secado industrial de la madera: Principios y prácticas*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA).

Forest Products Laboratory. (2010). *Wood Handbook—Wood as an Engineering Material*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

FUNDACIÓN VIDA. (2020). *Conservación de Bosques y Biodiversidad*.  
<https://fundacionvida.org/pagina-ejemplo/conservacion-de-bosques-y-biodiversidad/>

gomez, thelma. (2021, octubre 25). *Honduras: Deforestación amenaza la zona cultural de la Biosfera Río Plátano*. Noticias ambientales.  
<https://es.mongabay.com/2021/10/honduras-deforestacion-zona-cultural-de-biosfera-rio-platano/>

Gutierrez. (2023). *EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA ESPECIE Swietenia macrophylla King EN AMBIENTE NATURAL CONTRA PLANTACIÓN AGROFORESTAL EN EL DEPARTAMENTO DE*

ATLÁNTIDA, HONDURAS.

(file:///C:/Users/yahir/OneDrive/Escritorio/ANTEPROYECTO\_YEPO/TESES%20APROBADO/Tesis\_de\_grado\_-\_Ashley\_Gutierrez\_final.pdf).

Universidad Nacional de Ciencias Forestales.

Hoadley, R. B. (2012). *Understanding Wood: A Craftsman's Guide to Wood Technology* (2nd ed., reprint). Taunton Press.

IAWA Committee. (1989). IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin new series*, 10(3), 219-332.

ICF. (2022). *Anuario-estadístico-forestal*. [https://sigmof.icf.gob.hn/wp-content/uploads/2023/12/Anuario-estadistico-forestal-2022\\_-1.pdf](https://sigmof.icf.gob.hn/wp-content/uploads/2023/12/Anuario-estadistico-forestal-2022_-1.pdf)

Larios, M. V. (2011). *Evaluación Preliminar sobre Causas de Deforestación y Degradación de Bosques en Honduras*. <https://icf.gob.hn/wp-content/uploads/2022/02/2011-Analisis-de-la-Deforestacion-en-Honduras-REDD-CCAD-GiZ.pdf>

Machuca-Velasco, R., Borja-de La Rosa, A., Morales- Villalba, E., & Flores Velásquez, R. (2012a). TRABAJABILIDAD DE LA MADERA DE Pinus oaxacana Mirov. PROVENIENTE DE UNA PLANTACIÓN EN EL ESTADO DE MÉXICO. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(2), Article 2. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.01.001>

Machuca-Velasco, R., Borja-de La Rosa, A., Morales- Villalba, E., & Flores Velásquez, R. (2012b). TRABAJABILIDAD DE LA MADERA DE Pinus oaxacana Mirov. PROVENIENTE DE UNA PLANTACIÓN EN EL ESTADO

- DE MÉXICO. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(2), 193-205. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.01.001>
- MAJOFESA. (2024, junio 5). *La Densidad De La Madera: ¿qué Debes Tener En Cuenta?* [https://www.majofesa.com/densidad-de-la-madera/?utm\\_](https://www.majofesa.com/densidad-de-la-madera/?utm_)
- MAMUCA. (2013). *Comunidades Cepal org.* <https://comunidades.cepal.org/ilpes/sites/default/files/2019-11/Bestalina%20Mart%C3%ADnez%20-%20MAMUCA%20Honduras.pdf>
- Medina, A. A., Baucis, A. G., Catalán, M. A., Andía, I. R., Trangoni, F., Razquin, M., Pampiglioni, A., & Vuillermet, A. (2018). Características y propiedades físicas de la madera de álamos cultivados en Río Negro, Patagonia Argentina. *Madera y Bosques*, 24(1), e2411434. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2411434>
- Mendoza T. (2011). USO POTENCIAL DE LA MADERA MACIZA EN ESTADO JUVENIL DE DIEZ ESPECIES COMERCIALES. *Junio 2011*, 23(1). [file:///C:/Users/yahir/OneDrive/Escritorio/ANTEPROYECTO\\_YEPO/Usopotencial%20de%20la%20madera%20maciza%20en%20estado%20juvenil%20de%20diez%20especies%20comerciales.%20.pdf](file:///C:/Users/yahir/OneDrive/Escritorio/ANTEPROYECTO_YEPO/Usopotencial%20de%20la%20madera%20maciza%20en%20estado%20juvenil%20de%20diez%20especies%20comerciales.%20.pdf)
- Moya & Muñoz. (2010). Physical and mechanical properties of eight fast-growing plantation species in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science*, 22(3), 317-328.
- Perez Porto, J., & Gardey, A. (2022, febrero 11). *Cacao—Qué es, características, definición y concepto*. Definición.de. <https://definicion.de/cacao/>

- Ramírez V, M., Valenzuela H, L., & Díaz S, C. (2001). PROPIEDADES MECANICAS EN FLEXION DE LA MADERA DE *Pinus radiata*, CRECIENDO EN UN SISTEMA SILVOPASTORAL. I: ELASTICIDAD Y RESISTENCIA. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 3(1-2), 35-43. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2001000100004>
- Rello, L. A. (2014). *INFLUENCIA DE LA HUMEDAD Y DENSIDAD EN LA DUREZA COMO PROPIEDAD FÍSICO-MECÁNICA DE LA MADERA*. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/5822/TFM-L127.pdf?sequence=1>
- Sandoval, C. H., & Ramirez, J. A. (1999). *Estudio de crecimiento de Especies Nativas de Interés Comercial de Honduras (PROECEN)*. 19. [https://www.itto.int/files/itto\\_project\\_db\\_input/2017/Technical/pd8-92-5-19%20rev2\(F\)%20s\\_Laurel%20Negro\\_S.pdf](https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2017/Technical/pd8-92-5-19%20rev2(F)%20s_Laurel%20Negro_S.pdf)
- Sears, R., & Cronkleton, P. (2014). *Producción de madera en sistemas agroforestales de pequeños productores*. [https://www.cifor-icraf.org/publications/pdf\\_files/brief/5103-brief.pdf?utm\\_](https://www.cifor-icraf.org/publications/pdf_files/brief/5103-brief.pdf?utm_)
- Sotelo, R. D., & Pazos, G. M. B. (1999). Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición “seca”. *Madera y Bosques*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.21829/myb.1999.511355>
- Suárez Soledispa, E. N. (2021). *La resistencia a la flexión en la madera: Trabajo de investigación recopilatorio*.
- Suirezs, T. M. (2010). *DESCRIPCIONES DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA*.

[https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos\\_digitales/f5\\_978-950-579-154-5.pdf?utm\\_](https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos_digitales/f5_978-950-579-154-5.pdf?utm_)

Suirezs, T. M., & Berger, G. (2010). *Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera*. EdUNaM, Universidad Nacional de Misiones.

Sut, E. D. (2019). *DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y USO POTENCIAL DE MADERA DE RALEO DE LAUREL NEGRO (Cordia megalantha Blake) DE PLANTACIONES DE 10 AÑOS, ESTABLECIDAS EN EL JARDÍN BOTÁNICO LANCETILLA, HONDURAS, C. A.* [Universidad Nacional de Ciencias Forestales].  
file:///C:/Users/yahir/OneDrive/Escritorio/ANTEPROYECTO\_YEPO/TESIS%20EDY%20DAVID%20SUT%20HERNANDEZ.pdf

UNSE. Facultad de Ciencias Forestales. (2022, mayo). *Fundamentos teóricos-prácticos de las propiedades físicas mecánicas de la madera: Cátedra de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera*.  
[https://fcf.unse.edu.ar/wp-content/uploads/2014/07/sd-47-prop-fisicas-y-mecanicas-madera-HUMBLANDT.pdf?utm\\_](https://fcf.unse.edu.ar/wp-content/uploads/2014/07/sd-47-prop-fisicas-y-mecanicas-madera-HUMBLANDT.pdf?utm_)

Vignote Peña, S., & Martínez Rojas, I. (2007). *Tecnología de la madera: Propiedades físicas y mecánicas*. ETSI Montes, Universidad Politécnica de Madrid.

## ANEXOS



Anexo 1. Visita al CEDEC – JAS FHIA, La Masica, Atlántida.



Anexo 2. Medición de árboles selectos de *Cordia megalantha*



Anexo 3. Madera de Laurel Negro (LN) aserrada



Anexo 4. Movilización de madera de La Masica, Atlántida a Siguatepeque, Comayagua



Anexo 5. Estibado de la madera para un óptimo secado



Anexo 6. Pesaje de las probetas para pruebas físicas



Anexo 7. Toma de datos del pesaje



Anexo 8. Determinación del volumen con el principio de Arquímedes

| Probeta          | Volumen saturado por arquim cm3 | Volumen anhidrido por arquim cm3 | Volumen saturado por dimensiones cm3 | Volumen anh por dimensiones cm3 | CV_T_arquim % | CVT_dime n % | CTan %      | CRad %      | CLon g %    | T/R         | CH_saturado % | Densidad básica |
|------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|-----------------|
| P01              | 67.67                           | 43.6                             | 70.22                                | 62.24                           | 35.57         | 11.35        | 7.50        | 3.94        | 0.23        | 1.90        | 72.07         | 0.42            |
| P02              | 69.1                            | 45                               | 71.53                                | 64.29                           | 34.88         | 10.12        | 6.46        | 3.68        | 0.23        | 1.76        | 80.39         | 0.43            |
| P03              | 65                              | 55                               | 69.08                                | 62.17                           | 15.38         | 9.99         | 6.66        | 3.45        | 0.12        | 1.93        | 73.53         | 0.45            |
| P04              | 66.83                           | 46                               | 68.74                                | 58.96                           | 31.17         | 14.22        | 8.64        | 5.93        | 0.18        | 1.46        | 67.00         | 0.46            |
| P05              | 67.66                           | 48.6                             | 70.94                                | 63.26                           | 28.17         | 10.82        | 7.25        | 3.68        | 0.17        | 1.97        | 99.97         | 0.41            |
| P06              | 65.36                           | 54                               | 69.49                                | 61.98                           | 17.38         | 10.79        | 4.75        | 5.77        | 0.61        | 0.82        | 100.69        | 0.37            |
| P07              | 67.25                           | 52                               | 68.30                                | 61.32                           | 22.68         | 10.23        | 6.70        | 3.59        | 0.19        | 1.86        | 75.68         | 0.43            |
| P08              | 65                              | 47.65                            | 69.33                                | 64.04                           | 26.69         | 7.63         | 4.41        | 3.23        | 0.14        | 1.36        | 98.02         | 0.37            |
| P09              | 69.66                           | 52.3                             | 69.06                                | 62.58                           | 24.92         | 9.39         | 6.26        | 3.00        | 0.35        | 2.09        | 97.18         | 0.36            |
| P10              | 68.6                            | 52                               | 69.41                                | 55.57                           | 24.20         | 19.94        | 10.74       | 9.65        | 0.72        | 1.11        | 92.28         | 0.39            |
| P11              | 65                              | 42                               | 71.37                                | 64.84                           | 35.38         | 9.14         | 5.89        | 3.37        | 0.09        | 1.75        | 91.17         | 0.38            |
| P12              | 66.97                           | 46                               | 68.05                                | 62.16                           | 31.31         | 8.66         | 5.15        | 3.47        | 0.23        | 1.48        | 95.55         | 0.39            |
| P13              | 66.08                           | 43                               | 68.10                                | 60.77                           | 34.93         | 10.76        | 7.02        | 4.00        | 0.03        | 1.76        | 73.28         | 0.46            |
| P14              | 66.23                           | 47                               | 69.94                                | 62.68                           | 29.04         | 10.37        | 6.29        | 4.17        | 0.20        | 1.51        | 76.46         | 0.44            |
| P15              | 67.94                           | 46.85                            | 71.17                                | 64.06                           | 31.04         | 9.99         | 6.63        | 3.53        | 0.07        | 1.88        | 107.37        | 0.39            |
| <b>Promedios</b> |                                 |                                  |                                      |                                 | <b>28.18</b>  | <b>11.30</b> | <b>6.69</b> | <b>4.45</b> | <b>0.24</b> | <b>1.58</b> | <b>86.71</b>  | <b>0.429</b>    |

Anexo 9. Tabla de resultados de propiedades físicas

| PESO ESPECIFICO      |              |              |
|----------------------|--------------|--------------|
| PE g/cm <sup>3</sup> |              |              |
| basico               | anhidro      | comercial    |
| 0.433                | 0.672        | 0.565        |
| 0.446                | 0.686        | 0.560        |
| 0.480                | 0.567        | 0.528        |
| 0.475                | 0.690        | 0.570        |
| 0.429                | 0.597        | 0.546        |
| 0.398                | 0.482        | 0.458        |
| 0.438                | 0.567        | 0.550        |
| 0.395                | 0.539        | 0.447        |
| 0.357                | 0.475        | 0.520        |
| 0.398                | 0.525        | 0.511        |
| 0.413                | 0.639        | 0.472        |
| 0.396                | 0.576        | 0.472        |
| 0.472                | 0.725        | 0.572        |
| 0.462                | 0.651        | 0.563        |
| 0.446                | 0.681        | 0.609        |
| <b>0.429</b>         | <b>0.605</b> | <b>0.530</b> |

Anexo 10. Peso especifico



Anexo 11. Probeta sometida a prueba de flexión estática



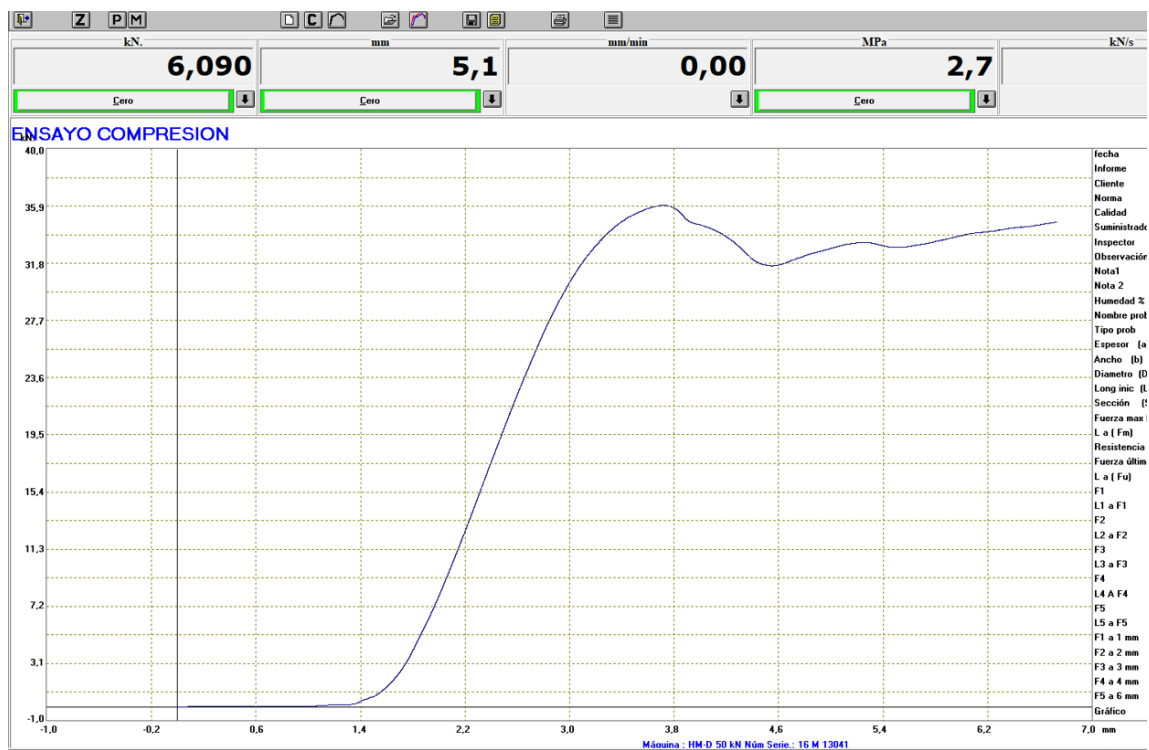
Anexo 12. Gráfica de prueba de flexión estática



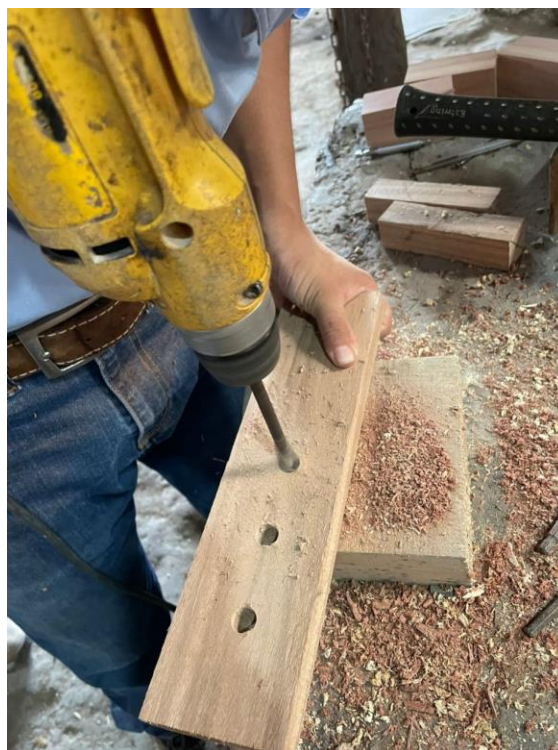
Anexo 13. Probetas para prueba de compresión paralela a las fibras



Anexo 14. Probeta sometida a prueba de compresión paralela a las fibras



Anexo 15. Grafica de prueba de compresión paralela a las fibras



Anexo 16. Realización de pruebas de trabajabilidad



Anexo 17. Pruebas de clavado

**PRUEBAS DE TRABAJABILIDAD (PERFORADO)**

Tipo de prueba: \_\_\_\_\_ Tipo de broca: \_\_\_\_\_  
 Especie: \_\_\_\_\_ Velocidad rpm: \_\_\_\_\_  
 Contenido de humedad: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

| No.   | Grano Triturado | Grano Velloso | Grano Rasgado | Suavidad general de cortadura |
|-------|-----------------|---------------|---------------|-------------------------------|
| 1     |                 |               |               |                               |
| 2     |                 |               |               |                               |
| 3     |                 |               |               |                               |
| 4     |                 |               |               |                               |
| 5     |                 |               |               |                               |
| 6     |                 |               |               |                               |
| 7     |                 |               |               |                               |
| 8     |                 |               |               |                               |
| 9     |                 |               |               |                               |
| 10    |                 |               |               |                               |
| 11    |                 |               |               |                               |
| 12    |                 |               |               |                               |
| 13    |                 |               |               |                               |
| 14    |                 |               |               |                               |
| 15    |                 |               |               |                               |
| 16    |                 |               |               |                               |
| 17    |                 |               |               |                               |
| 18    |                 |               |               |                               |
| 19    |                 |               |               |                               |
| 20    |                 |               |               |                               |
| 21    |                 |               |               |                               |
| 22    |                 |               |               |                               |
| 23    |                 |               |               |                               |
| 24    |                 |               |               |                               |
| 25    |                 |               |               |                               |
| 26    |                 |               |               |                               |
| 27    |                 |               |               |                               |
| 28    |                 |               |               |                               |
| 29    |                 |               |               |                               |
| 30    |                 |               |               |                               |
| total |                 |               |               |                               |

Porcentaje de piezas que tiene grados 1 y 2

Anexo 18. Formato de pruebas de trabajabilidad

Es muy  
fácil para moldurar  
se desprenden pequeñas fibras

Moldurado

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

Anexo 19. Formato de registro de prueba de Moldurado

Anexo 20. Prueba de torneado de *Cordia megalantha* Blake.

## Anexo 21. Matriz de datos de pruebas mecánicas

| Probeta | b (mm) | h (mm) | L (mm) | MOR (MPa) | MOE (MPa) |
|---------|--------|--------|--------|-----------|-----------|
| FLEX#1  | 25     | 25     | 410    | 56.4      | 4062.1    |
| FLEX#2  | 25     | 25     | 410    | 63.7      | 4204.9    |
| FLEX#3  | 25     | 25     | 410    | 68.5      | 4861.1    |
| FLEX#4  | 25     | 25     | 410    | 67.8      | 4642.1    |
| FLEX#5  | 25     | 25     | 410    | 72.7      | 5222.1    |
| FLEX#6  | 25     | 25     | 410    | 77.6      | 6499.3    |
| FLEX#7  | 25     | 25     | 410    | 70.8      | 6234.8    |
| FLEX#8  | 25     | 25     | 410    | 64.1      | 4736.4    |
| FLEX#9  | 25     | 25     | 410    | 70.3      | 4577.9    |
| FLEX#10 | 25     | 25     | 410    | 68.2      | 5967.2    |
| FLEX#11 | 25     | 25     | 410    | 69.1      | 4329.6    |
| FLEX#12 | 25     | 25     | 410    | 66.3      | 4344.4    |
| FLEX#13 | 25     | 25     | 410    | 68.0      | 5101.2    |
| FLEX#14 | 25     | 25     | 410    | 73.1      | 5808.0    |
| FLEX#15 | 25     | 25     | 410    | 68.9      | 4661.2    |

## Anexo 21.1. Ensayo de flexión estática (FLEX) — datos por probeta

| Probeta | Sección (mm <sup>2</sup> ) | Fu (kN) | Resistencia (MPa) |
|---------|----------------------------|---------|-------------------|
| CP#1    | 2503.53                    | 39.54   | 15.7937           |
| CP#2    | 2487.52                    | 39.52   | 15.88731          |
| CP#3    | 2397.14                    | 39.52   | 16.48631          |
| CP#4    | 2443.43                    | 39.51   | 16.16989          |
| CP#5    | 2553.79                    | 39.52   | 15.47504          |
| CP#6    | 2587.18                    | 39.2    | 15.15163          |
| CP#7    | 2410.01                    | 39.4    | 16.34848          |
| CP#8    | 2560.58                    | 36.92   | 14.41861          |
| CP#9    | 2377.2                     | 39.5    | 16.61619          |
| CP#10   | 2540.15                    | 39.51   | 15.5542           |
| CP#11   | 2349.47                    | 39.48   | 16.80379          |
| CP#12   | 2469.25                    | 39.52   | 16.00486          |
| CP#13   | 2263.92                    | 35.95   | 15.87954          |
| CP#14   | 2385.99                    | 39.49   | 16.55078          |
| CP#15   | 2526.57                    | 39.5    | 15.63384          |

## Anexo 21.2. Compresión paralela a la fibra (CP) — datos por probeta

| Probeta | Sección (mm <sup>2</sup> ) | Fu (kN) | Resistencia (MPa) |
|---------|----------------------------|---------|-------------------|
| CPP#1   | 10069.29                   | 39.49   | 3.92182567        |
| CPP#2   | 9421.89                    | 39.51   | 4.19342616        |
| CPP#3   | 9378.03                    | 39.51   | 4.213038346       |
| CPP#4   | 9659.48                    | 39.5    | 4.08924704        |
| CPP#5   | 9489.94                    | 39.32   | 4.143334942       |
| CPP#6   | 9624.56                    | 39.51   | 4.105122728       |
| CPP#7   | 9829.93                    | 39.5    | 4.018339907       |
| CPP#8   | 9495.25                    | 39.38   | 4.147336826       |
| CPP#9   | 9570.32                    | 39.39   | 4.115849836       |
| CPP#10  | 10123.38                   | 39.45   | 3.896919803       |
| CPP#11  | 9464.75                    | 39.4    | 4.162814654       |
| CPP#12  | 9996.98                    | 39.5    | 3.95119326        |
| CPP#13  | 9430.73                    | 39.47   | 4.185253952       |
| CPP#14  | 9458.49                    | 39.48   | 4.174027778       |
| CPP#15  | 9528.0                     | 39.41   | 4.136230059       |

Anexo 21.3. Compresión perpendicular a las fibras — datos por probeta

## DECLARACIÓN

Yo, Yahir Enrique Pineda Osorto, 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: Determinación de las propiedades físico-mecánicas de la madera de la especie *Cordia megalantha* Blake, en sistemas agroforestales con cacao en La Masica, Atlántida, Honduras 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.



**Yahir Enrique Pineda Osorto**

**Siguatepeque, Comayagua 13 de noviembre de 2025.**