

**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 *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn., EN  
SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO EN LA MASICA, ATLÁNTIDA,  
HONDURAS.**

**NOMBRE DEL TESISISTA**

**NAZARETH IBETH ARMIJO ROMERO**

**ASESOR DE TESIS**

**MS.c. RENÉ FERNANDO BENÍTEZ RAMOS**

**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 *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn., EN  
SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO EN LA MASICA, ATLÁNTIDA,  
HONDURAS.

NOMBRE DEL TESISISTA:

NAZARETH IBETH ARMIJO ROMERO

TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN CIENCIAS FORESTALES

APROBADO POR

MS.c. RENÉ FERNANDO BENÍTEZ RAMOS  
ASESOR DE TESIS

P.h.D. FIDEL ALVARADO  
VICERRECTOR ACADÉMICO



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

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CIENCIAS FORESTALES**

**UNACIFOR**

**TESIS DE GRADO**

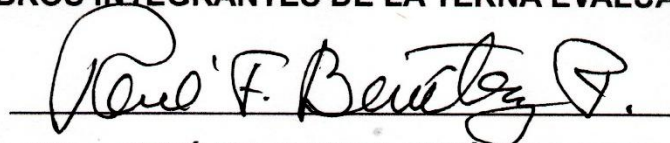
**DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MADERA DE LA ESPECIE *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn., EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO EN LA MASICA, ATLÁNTIDA, HONDURAS**

**NOMBRE DEL TESISISTA:**

**NAZARETH IBETH ARMIJO ROMERO**

**APROBADO POR**

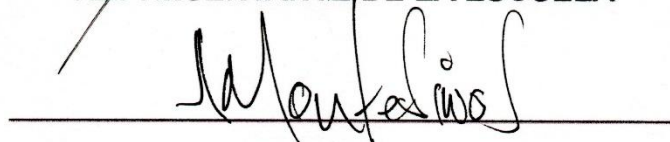
**MIEMBROS INTEGRANTES DE LA TERNA EVALUADORA:**



**MS.c. RENÉ FERNANDO BENÍTEZ RAMOS  
ASESOR DE TESIS**



**MS.c. JOSUÉ OMAR FLORES PINEDA  
REPRESENTANTE DE LA ESCUELA**



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

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

## AUTORIZACIÓN

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

Nombre y firma del estudiante: Nazareth Armijo

Siguetepeque, Comayagua, Honduras, C.A.

Noviembre, 2025

## DEDICATORIA

Principalmente le dedico esta investigación a Dios, al creador de todas las cosas, el que siempre me da las fuerzas para continuar, mostrando que su tiempo es perfecto, por fortalecer mi corazón e iluminar mi camino.

A mi mamá:

Quien es y seguirá siendo mi más grande inspiración para luchar día a día, por ser el ejemplo de una mujer guerrera, que desde el principio estuvo ahí porque siempre creyó en mí, nunca me cansare de agradecerte todo lo que haces por mí. Sin Sus sacrificios, dedicación y esfuerzo, nada de esto sería posible, este logro es tan suyo como mío, todo lo que yo soy es gracias a usted. Gracias por regalarme este mundo tan maravilloso a tu lado, te amo con todo mi corazón Lucia Ibeth Gallo.

Dedico este trabajo con todo mi cariño a mi padre Gustavo Armijo, a mi hermano Amed Armijo, a mi sobrino Sebastián Armijo, a mi tía Ana Gallo, a mi primita Inés Cantor, a mi cuñada Azaria Figueroa y mi primo Anthony Cáceres, así como a los demás familiares que han sido fundamentales en este proceso. Su apoyo incondicional, amor y compañía nunca me ha faltado.

In memoriam:

En honor a mi abuela Livia Gallo, la mujer que tanto me enseñó y amo. Aunque ya no estes físicamente conmigo, tu espíritu y amor continúan conmigo guiándome en cada paso de este camino.

## AGRADECIMIENTO

Con infinita gratitud a Dios por ser guía en cada paso de este camino.

Gracias a mis padres, Lucia Gallo y Gustavo Armijo, quienes han sabido formarme con buenos valores y cada paso de este camino lo he dado con el apoyo de sus palabras y su confianza en mí. También a mi hermano Amed Armijo, por ser el mejor hermano que pude tener.

Gracias a mi familia y seres queridos, quienes me acompañaron en este proceso, dándome fuerzas y apoyo para continuar, todos y cada uno de ustedes han sido parte esencial para lograrlo.

Gracias a mi mejor amiga, Sofía Midence, por ser tan incondicional, por tu amistad sincera y por demostrarme lo mucho que me quieres.

A mi amiga Emily Girón, gracias por tantos años de amistad, por tu confianza y por tu apoyo a lo largo del tiempo.

Gracias a mis amigos y colegas Milton Discua, Héctor Acosta, Alejandra Escalante y Daniela Hernández, por regalarme su amistad sincera y por demostrarme su cariño a lo largo de este camino.

Gracias a mi compañeros y colegas Wilman Díaz, Melissa Gudiel y Dunia Colindres, quienes fueron fundamentales en la realización de esta tesis.

A CONFOAS, por regalarnos su servicio técnico, brindando apoyo para realizar esta investigación.

Gracias a mi asesor de tesis el MS.c. René Benítez por su soporte y guía en el desarrollo de este proyecto.

También a mi terna, el Ing. José Luis Montesinos y al MS.c. Josué Omar Flores, cuyas observaciones y comentarios constructivos han sido cruciales para la consolidación de este trabajo.

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo analizar, evaluar, examinar y comparar las propiedades físico-mecánicas y la trabajabilidad de la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn., en sistemas agroforestales con cacao, proveniente de La Masica, Atlántida, Honduras, con el apoyo de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). El estudio adoptó un enfoque mixto que combinó métodos cuantitativos y cualitativos para generar un conocimiento más integral. Se realizaron ensayos como densidad, contracciones, contenido de humedad, también como pruebas de flexión estática y comprensión paralela, para las pruebas de trabajabilidad como lijado, perforado, escopleado, cepillado, torneado y clavado.

Las pruebas para las propiedades físicas demostraron que la madera presentó una densidad básica de  $0.46 \text{ g/cm}^3$ , lo cual lo clasifica como densidad media. La contracción tangencial  $5.52\%$ , radial  $3.54\%$  y la relación T/R  $1.56$  lo que lo cataloga como comportamiento estable, fortalecido por el Ccv  $0.22$  que lo clasifica como muy estable frente a los cambios de humedad. En el estado saturado alcanzó  $90.34\%$ , afirmando la alta capacidad de absorción.

En cuanto a las propiedades mecánicas, el esfuerzo al límite proporcional para la prueba de flexión estática fue de  $623.74 \text{ kg/cm}^2$ , catalogado como alto, y para la comprensión paralela el resultado fue de  $196.41 \text{ kg/cm}^2$ , clasificada como media. Referente a las pruebas de trabajabilidad la madera demostró un comportamiento favorable, ya que la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* respondió de manera adecuada en los diferentes procesos de trabajabilidad.

**Palabras claves:** Densidad, contracción, flexión estática y comprensión paralela.

## ABSTRACT

The objective of this research was to analyze, evaluate, examine, and compare the physical-mechanical properties and workability of *Acrocarpus fraxinifolius* Wight *et* Arn. wood in agroforestry systems with cocoa from La Masica, Atlántida, Honduras, with the support of the Honduran Agricultural Research Foundation (FHIA). The study adopted a mixed approach that combined quantitative and qualitative methods to generate more comprehensive knowledge. Tests were carried out on density, shrinkage, and moisture content, as well as static bending and parallel compression tests, for workability tests such as sanding, drilling, chiseling, planning, turning, and nailing.

The physical property tests showed that the wood had a basic density of 0.46 g/cm<sup>3</sup>, which classifies it as medium density. The tangential shrinkage was 5.52%, the radial shrinkage was 3.54%, and the T/R ratio was 1.56, which classifies it as stable behavior, reinforced by the Ccv 0.22, which classifies it as very stable against changes in humidity. In the saturated state, it reached 90.34%, confirming its high absorption capacity.

In terms of mechanical properties, the proportional limit stress for the static bending test was 623.74 kg/cm<sup>2</sup>, classified as high, and for parallel compression the result was 196.41 kg/cm<sup>2</sup>, classified as medium. Regarding workability tests, the wood showed favorable behavior, as *Acrocarpus fraxinifolius* wood responded adequately in the different workability processes.

**Keywords:** Density, shrinkage, static bending, and parallel compression.

## ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
ABSTRACT .....	v
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO II: OBJETIVOS.....	3
2.1.    Objetivo general .....	3
2.2.    Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO III: REVISIÓN DE LA LITERATURA .....	4
3.1.    Antecedentes .....	4
3.1.1.    Calidad de la madera de los árboles de sombra:.....	4
3.1.2.    Caracterización físico-mecánica de la madera <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> .....	6
3.1.3. <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight et Arn., especie de rápido crecimiento inicial, buena forma y madera de usos múltiples.....	8
3.1.4.    Caracterización física, química y mecánica de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> cultivada en Sao Paulo. ....	9
3.1.5.    Propiedades físico-mecánicas del contrachapado producido con <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> y <i>Pinus oocarpa</i> . ....	10
3.1.6.    Estudio de especies forestales bajo la modalidad agroforestal multi estratos con cacao. ....	12
3.2.    Bases teóricas.....	14
3.2.1.    Descripción de la especie <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> .....	14
3.3.    Conceptos claves de la investigación .....	15
3.3.1.    La madera .....	15
3.3.2.    Propiedades físicas .....	16
3.3.3.    Propiedades mecánicas .....	17
3.3.4.    Trabajabilidad .....	17
3.3.5.    Sistemas agroforestales .....	18
3.3.6.    Normas ASTM.....	18

3.3.7. FHIA .....	18
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA .....	19
4.1. Enfoque de la investigación .....	19
<b>4.2. Alcance de la investigación .....</b>	<b>19</b>
4.3. Diseño de la investigación .....	19
4.4. Descripción del área de estudio .....	19
4.5. Población, muestreo y muestra .....	22
4.6. Operacionalización / categorización de variables .....	22
4.7. Procedimientos por objetivo.....	24
4.7.1. Actividades realizadas por objetivos: .....	24
4.7.2. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	26
4.7.3. Programas utilizados para el procesamiento de la información ..	30
4.7.7. Análisis o modelo de interpretación de la información se empleó	40
5.1. Análisis de las propiedades físicas .....	41
5.1.1. Densidad .....	41
5.1.2. Contracción. ....	42
5.1.3. Contenido de humedad. ....	43
5.1.4. Clasificación de la madera.....	44
5.1.5. Uso de la madera según las propiedades físicas.....	45
5.2. Evaluación de propiedades mecánicas.....	45
5.2.1. Criterios de clasificación para las propiedades mecánicas. ....	45
5.2.2. Flexión estática .....	47
5.2.3. Compresión paralela .....	47
5.2.4. Usos de la madera según las propiedades mecánicas .....	47
5.3. Trabajabilidad .....	48
5.3.1. Prueba de lijado.....	48
5.3.2. Prueba de perforado.....	48
5.3.3. Prueba de moldurado. ....	50
5.3.4. Prueba de escopleado.....	51
5.3.5. Prueba de clavado.....	51
5.3.6. Cepillado .....	52
5.3.7. Torneado .....	53

5.4.	Resultados de antecedentes de investigaciones previas. ....	54
5.4.1.	Calidad de la madera de los árboles de sombra (Bárcenas & Ordoñez, 2008).....	54
5.4.2.	Caracterización físico-mecánica de la madera de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> (Tello, 2009). ....	54
5.4.3.	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight et Arn. Especie de rápido crecimiento inicial, buena forma y madera de usos múltiples (Whitmore & Otárola T, 1976). ....	55
5.4.4.	Caracterización física, química y mecánica de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> cultivada en Sao Paulo (De Oliveira et al., 2021). ....	55
5.5.	Comparación de propiedades físicas, mecánicas y de trabajabilidad con estudios previos. ....	56
5.5.1.	Comparación de propiedades físicas de la especie con investigaciones anteriores. ....	56
5.5.2.	Comparación de propiedades mecánicas de la especie con investigaciones previas.....	57
5.5.3.	Comparación de trabajabilidad de la especie con investigaciones previas. ....	58
5.6.	Características macroscópicas de la madera de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight et Arn. ....	59
5.6.1.	Características estructurales ....	60
5.6.2.	Características organolépticas.....	64
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN.....		66
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		68
7.1.	Conclusiones.....	68
7.2.	Recomendaciones.....	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		72
ANEXOS .....		77
DECLARACIÓN.....		<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Porosidad madera <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight et Arn.....	60
<b>Anexo 2.</b> Poros difusos o dispersos de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> .....	60
<b>Anexo 3.</b> Poros solitarios presentes en <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> .....	61
<b>Anexo 4.</b> Disposición de vasos en la madera de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> .....	61
<b>Anexo 5.</b> Vasos múltiples radiales presente en la madera de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> .....	61
<b>Anexo 6.</b> Disposición de vasos en grupos tangenciales.....	62
<b>Anexo 7.</b> Eventuales grupos tangenciales presentes en la madera de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> .....	62
<b>Anexo 8.</b> Anillos de crecimiento.....	62
<b>Anexo 9.</b> Plano tangencial/ Radios no estratificados.....	63
<b>Anexo 10.</b> Plano transversal.....	63
<b>Anexo 11.</b> Duramen y albura de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> .....	64
<b>Anexo 12.</b> Color de la madera de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> .....	64
<b>Anexo 13.</b> Grano recto de la madera de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> .....	65
<b>Anexo 14:</b> Árboles del sistema agroforestal <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight et Arn y Cacao.....	77
<b>Anexo 15.</b> Madera aserrada en tablas de la especie de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> .....	78
<b>Anexo 16</b> Marcación y sumersión de probetas para pruebas físicas.....	78
<b>Anexo 17.</b> Medición de probetas para pruebas físicas.....	79
<b>Anexo 18.</b> Marcación de probetas para la ejecución de prueba mecánica.....	79
<b>Anexo 19.</b> Ejecución de pruebas físicas y mecánicas.....	80
<b>Anexo 20.</b> Gráfica de prueba de flexión estática.....	80
<b>Anexo 21.</b> Gráfica de prueba de compresión paralela.....	81
<b>Anexo 22.</b> Marcación y ejecución de prueba de trabajabilidad de clavado.....	81
<b>Anexo 23.</b> Marcación y ejecución de prueba de torneado.....	82
<b>Anexo 24.</b> Ejecución de pruebas de perforado.....	83
<b>Anexo 25.</b> Ejecución de prueba de escopleado.....	83
<b>Anexo 26.</b> Ejecución de prueba de moldurado.....	84
<b>Anexo 27.</b> Prueba de lijado.....	84
<b>Anexo 28.</b> Tabla de las normas ASTM utilizadas para la realización de las pruebas.....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Curvas de crecimiento en DAP (cm) y su error estándar (E.E.), en 24 especies. ....	13
<b>Figura 2:</b> Curvas de crecimiento en volumen comercial (m <sup>3</sup> /árbol) y su error estándar (E.E.), ....	14
<b>Figura 3.</b> Mapa de ubicación del área de estudio. ....	20
<b>Figura 4.</b> Mapa de parcela de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight et Arn. ....	21
<b>Figura 5.</b> Árbol seleccionado de la especie <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> para corta .....	24
<b>Figura 6.</b> Tablas de 2"x6"x8" de madera de Cedro de la India. ....	25
<b>Figura 7.</b> Dimensiones de las probetas para pruebas físicas. ....	27
<b>Figura 8.</b> Instrumentos utilizados para la ejecución de las pruebas físicas (balanza digital y horno). ....	27
<b>Figura 9.</b> Dimensiones de las probetas para prueba de flexión estática. ....	28
<b>Figura 10.</b> Dimensiones de las probetas para pruebas de Compresión paralela y perpendicular. ....	29
<b>Figura 11.</b> Maquina HOYTOM para la ejecución de las propiedades mecánicas. .....	29
<b>Figura 12.</b> Dimensiones de las probetas para prueba de lijado. ....	38
<b>Figura 13.</b> Dimensiones de las probetas para las pruebas de perforado, moldurado, y escopleado. ....	38
<b>Figura 14.</b> Dimensión de la probeta para la prueba de cepillado. ....	39
<b>Figura 15.</b> Gráfica de densidades. ....	41
<b>Figura 16.</b> Gráfica de contracciones. ....	42
<b>Figura 17.</b> Gráfica de contenido de humedad. ....	43
<b>Figura 18.</b> Gráfica de evaluación de prueba de lijado. ....	48
<b>Figura 19.</b> Gráfica de evaluación de prueba de perforado. ....	49
<b>Figura 20.</b> Gráfica de evaluación de moldurado. ....	50
<b>Figura 21.</b> Gráfica de evaluación de prueba de escopleado. ....	51
<b>Figura 22.</b> Gráfica de evaluación de clavado. ....	52
<b>Figura 23.</b> Gráfica de evaluación de prueba de cepillado. ....	53
<b>Figura 24.</b> Gráfica de evaluación de prueba de torneado. ....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Características tecnológicas de la madera en condición seca de la especie <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight et Arn. colectada de fincas cafetaleras de la región centro del estado de Veracruz, México.....	5
<b>Tabla 2:</b> Resultados de las propiedades físicas de las variables de densidad básica de la caracterización físico-mecánica de la madera de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> .....	6
<b>Tabla 3:</b> Valores de las propiedades mecánicas de la Caracterización físico-mecánica de la madera de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight et Arn. ....	7
<b>Tabla 4:</b> Comportamiento de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> en Turrialba (bosque húmedo premontano según Holdridge). Datos sobre las plantaciones, su crecimiento total y anual, su facto mórfoico, supervivencia y derecha de fuste. 8	8
<b>Tabla 5:</b> Propiedades físico-mecánicas del contrachapado producido con <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> y <i>Pinus oocarpa</i> . ....	11
<b>Tabla 6:</b> Propiedades físico-mecánicas del contrachapado producido con <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> y <i>Pinus oocarpa</i> . ....	11
<b>Tabla 7:</b> Operacionalización de variables. ....	22
<b>Tabla 8.</b> Resultados de densidad de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight et Arn. ....	41
<b>Tabla 9.</b> Resultados de contracciones de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight et Arn. ....	42
<b>Tabla 10.</b> Resultados de contenido de humedad de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> ... 43	43
<b>Tabla 11.</b> Clasificación del cedro de la India según las propiedades físicas. ...	45
<b>Tabla 12.</b> Criterios de clasificación para la propiedad de flexión estática de maderas mexicanas.....	46
<b>Tabla 13.</b> Criteríos de clasificación para la propiedad de comprensión paralela. ....	46
<b>Tabla 14.</b> Resultados de flexión estática y comprensión paralela para <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> en un sistema agroforestal con cacao. ....	47
<b>Tabla 15.</b> Tabla comparativa de propiedades físicas de la especie contra investigaciones anteriores. ....	56
<b>Tabla 16.</b> Tabla comparativa de las propiedades mecánicas de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> en sistema agroforestal con cacao contra investigaciones previas. ....	58
<b>Tabla 17.</b> Tabla comparativa de la trabajabilidad de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> en sistema agroforestal con caco contra investigaciones previas. ....	59

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La deforestación, la degradación de suelos y la pérdida de biodiversidad como resultado de malas prácticas agrícolas y forestales, han impulsado la implementación de prácticas tradicionales de comunidades indígenas y campesinas como lo son los sistemas agroforestales (Wielemaker, 1992). Los sistemas agroforestales son una combinación de tecnologías de manejo de suelo, agua, nutrientes y vegetación, que también conllevan el manejo agronómico de cultivos y el manejo forestal, que se conciben como una alternativa a los problemas de deforestación y degradación de ecosistemas frágiles (FAO, 2014). En la medida que la sensibilidad a la protección ha ido creciendo la industria de la madera irá tomando el tren de la tecnología adaptándose a los sistemas agroforestales.

Además, la madera es el material más noble, renovable, sano, sostenible, estético y confortable, el cual ha sido utilizado prácticamente por todas las culturas en sus obras (Zepeda, 2008). Sin embargo, la caracterización de la madera sigue siendo un desafío, debido a su variabilidad natural, no homogeneidad y propiedades anisotrópicas (Mvondo *et al.* 2017), dentro del estudio de la madera, el conocimiento de las propiedades físicas y mecánicas constituyen una base fundamental para determinar los posibles usos a que puede ser destinada (Tello, 2009).

El material de estudio para esta investigación proviene de la finca experimental de sistemas agroforestales propiedad de La Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) ubicada en el municipio de La Masica, Atlántida, Honduras. Esta institución ha promovido el establecimiento de un conjunto de sistemas agroforestales que integran el uso de especies maderables con cultivos de cacao, buscando optimizar tanto la producción de los cultivos, como el aprovechamiento de la madera de forma integral y constante a través del tiempo y espacio (FHIA, 2023).

Una de las especies integradas en este sistema agroforestal es la *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn. o también conocida como cedro de la india, sin embargo, un desafío clave para el aprovechamiento correcto en la industria local, es la escasez de información para determinar el potencial de la madera de esta especie.

Además, el desconocimiento de las propiedades físico-mecánicas y trabajabilidad de la madera de la especie *Acrocarpus fraxinifolius*, particularmente en su aplicación industrial o artesanal, representa una oportunidad para la investigación y desarrollo de conocimientos que permitan determinar su potencial, fomentar su aprovechamiento sostenible y promover la industria local.

Por consiguiente, la pregunta problema que guiará esta investigación es la siguiente: ¿Cuáles son las propiedades físico-mecánicas y la trabajabilidad de la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* en sistemas agroforestales con cacao en La Masica, Atlántida, y qué información es necesaria para su adecuada caracterización y uso?

## CAPÍTULO II: OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

2.1.1. Determinar las propiedades físico-mecánicas y la trabajabilidad de la madera de la especie *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn., en sistemas agroforestales con cacao en La Masica, Atlántida, Honduras.

### 2.2. Objetivos específicos

2.2.1. Analizar las propiedades físicas de la madera de la especie *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn. procedente de una plantación agroforestal.

2.2.2. Evaluar las propiedades mecánicas en la madera de la especie *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn. procedente de una plantación agroforestal.

2.2.3. Examinar la trabajabilidad de la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn. procedente de una plantación agroforestal.

2.2.4. Comparar las propiedades físico-mecánicas y la trabajabilidad de la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn., utilizando información de investigaciones previas, madera procedente de bosques naturales y de una plantación agroforestal.

## CAPÍTULO III: REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 3.1. Antecedentes

En Honduras se carece de información referente a las características físico- mecánicas del *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn., por lo tanto, el presente estudio que se realizó servirá como línea base en función de la información generada para futuras investigaciones.

#### 3.1.1. Calidad de la madera de los árboles de sombra:

El estudio realizado según Bárcenas & Ordoñez (2008), detalla lo siguiente:

Objetivo principal: Realizar ensayos estandarizados, físicos, mecánicos y de maquinado para evaluar la calidad de la madera de las especies seleccionadas (Normas ASTM).

En la actualidad existe un interés creciente en la explotación de la madera de los árboles en estas fincas y su manejo como sistemas agroforestales. Con el fin de evaluar esta posibilidad en el centro del estado de Veracruz, se seleccionaron seis especies de árboles en cuatro fincas, con base en su distribución, abundancia y potencial comercial (Bárcenas & Ordoñez, 2008). *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn. es una de las especies introducidas no nativas y se incluyó por ser de mayor importancia económica para los productores.

Metodología:

Bárcenas & Ordoñez (2008) incluyeron las fincas cafetaleras del proyecto que mostraron un nivel intermedio de intensificación en términos de su estructura y manejo. Se ubicaron cuatro fincas manejadas como policultivos donde fue posible realizar el estudio de calidad de madera.

Selección y análisis de especies: Para determinar la calidad de la madera se realizaron ensayos físicos (secado, contracciones y defectos durante el secado), mecánicos (resistencia a flexión, compresión, dureza, cortante e

impacto) y de maquinado (respuestas de la madera a los procesos de transformación como cepillado, taladrado, escopleado y moldurado). Se recolectaron entre dos y cuatro árboles de cada especie para obtener material suficiente para realizar entre 12 y 16 ensayos por árbol tipo de ensayos mecánicos. De cada troza se seleccionaron y elaboraron los especímenes de prueba, según lo establecido por las normas ASTM, D-143-200 (ASTM 2005) para pruebas físicas y mecánicas, y la norma D 1666-2004 (ASTM 2005) para los ensayos de maquinado (cepillado, moldurado, taladrado y escopleado).

El estudio de Bárcenas & Ordoñez (2008), adoptó un enfoque cualitativo Forma cualitativa, con excepción de la densidad relativa (PA/VV).

Resultados: La madera de esta especie introducida presentó características semejantes, siendo madera blanda, de densidad baja (de color claro, con resistencia baja a media, semejante a la madera de pino), con contracciones medias y velocidad media de secado, entre 60 y 90 días al aire libre (22 grados centígrados y 70% humedad relativa), fácil de aserrarse y trabajarse, con acabados en los procesos de transformación de no muy buena calidad. Por ser de madera de muy rápido crecimiento presenta anillos anuales muy separados (2 a 3.5 mm), índice de maderas muy ligeras. Reportan una densidad de 0.45 g/ cm<sup>3</sup>. (ver tabla 1)

**Tabla 1:** Características tecnológicas de la madera en condición seca de la especie *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn. colectada de fincas cafetaleras de la región centro del estado de Veracruz, México

Especie	Propiedades físicas			Maquinado o trabajabilidad				
	Densidad relativa (pa/vv)	Secado		Resistencia mecánica	Aserrado	Barrenado	Escopleado	Moldurado
Velocidad	Distorsiones	Contracciones						

<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	0,450									
Cedro rosado	Modo rado ligera	Muy rápido	Ligeras	Bajas	Muy baja	Mode rad. fácil	Muy pobre	Excele nte	Bueno	Excel ente

---

Fuente: (Bárceñas & Ordoñez, 2008).

Conclusiones: por sus características (color claro de su madera, su ligereza además que no se deforman durante el secado) pueden ser aptas para fabricar muebles, cajas de embalaje o decorativas y artesanías; también pueden utilizarse como rollizos para elementos constructivos como postes para cercas.

Mediante el tratamiento térmico, se puede ampliar su uso y mejorar su desempeño en aplicaciones como mobiliario, paneles y otras áreas de construcción sostenible.

### 3.1.2. Caracterización físico-mecánica de la madera

#### *Acrocarpus fraxinifolius*

En la caracterización de Tello (2009), presentó su tesis realizada de la especie *Acrocarpus fraxinifolius* et Arn. en México, donde obtuvo resultados semejantes a investigaciones anteriores.

Reportó los resultados de las propiedades físicas de las variables de densidad básica y contracción que se pueden ver en la tabla 2.

**Tabla 2:** Resultados de las propiedades físicas de las variables de densidad básica de la caracterización físico-mecánica de la madera de *Acrocarpus fraxinifolius*.

<b>Densidad básica g/cm<sup>3</sup></b>		0,49	Media
<b>Contracción %</b>	Radial	3,75	Baja
	Tangencial	7,09	Media
	Longitudinal	5,07	Alta

Fuente: (Tello, 2009)

En cuanto a los valores de las propiedades mecánicas reportó los resultados de las siguientes variables que se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3:** Valores de las propiedades mecánicas de la Caracterización físico-mecánica de la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn.

Esfuerzo		Media	Desviación estándar	Número de probetas ensayadas	Número de probetas calculadas	Clasificación
<b>Flexión Estática</b> kg/cm <sup>2</sup>	SLP	678.5	142	34	10	Media
	R	853.18	151	34	10	Media
	E	136,119.60	97679	34	10	Media
<b>Compresión paralela al grano</b> kg/cm <sup>2</sup>	SLP	433.12	64	45	10	Media
	R	506.95	68	45	10	Media
	E	51,130.55	15588	45	10	Media
<b>Dureza</b> kg/cm <sup>2</sup>	Radial	405.08	82.94	18	10	Media
	Tangencial	384.22	60.43	18	10	Media
	Transversal	519.33	82.62	18	10	Alta
<b>Extracción de clavos</b> kg	Radial	140.583	33.34	18	10	
	Tangencial	129.597	36.66	18	10	
	Transversal	89.38	25.45	18	10	
<b>Compresión perpendicular</b> kg/cm <sup>2</sup>	SLP	108.02	19.62	18	10	Media
<b>Rajaduras</b>	S máx.	65	12	25	10	
<b>Tensión perpendicular</b> kg/cm	S máx.	24	6.13	21	10	
<b>Tensión paralela</b> kg/cm <sup>2</sup>	R	705.23	238.17	34	10	
	SLP	Esfuerzo al límite de proporcionalidad				

R	Módulo de ruptura
E	Módulo de elasticidad
S máx	Esfuerzo máximo

---

Fuente: (Tello, 2009)

### 3.1.3. *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn., especie de rápido crecimiento inicial, buena forma y madera de usos múltiples.

Whitmore & Otárola T (1976), su objetivo principal fue introducir especies para seleccionar las más prometedoras para las condiciones de Turrialba, Costa Rica.

Metodología: se realizó un análisis de cuatro procedencias de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn., de esta manera complementario utilizando cuatro estimadores de crecimiento (volumen, área basal, DAP y altura) con el expreso fin de comparar mediante un solo número de procedencia. Se realizó una prueba de ocho muestras de madera de estas plantaciones, así de esta manera indicó el peso específico promedio.

Resultados: La madera es de gran utilidad, suficientemente dura, pero fácil de labrar. El peso específico quedó entre 0.62, la albura es blanca, el duramen es rojizo a café claro y es susceptible a termitas. Se comporta bien en el secado (Whitmore & Otárola T, 1976).

**Tabla 4:** Comportamiento de *Acrocarpus fraxinifolius* en Turrialba (bosque húmedo premontano según Holdridge). Datos sobre las plantaciones, su crecimiento total y anual, su facto mórfo, supervivencia y derecha de fuste.

Especie	Procedencia	Fecha y lugar de plantación	Promedio y límites de variabilidad		Promedio			Supervivencia %	Derecha de fuste	Índice de comportamiento
			DA P (cm)	Altura (m)	Volumen m <sup>3</sup> /ha	Área basal m <sup>3</sup> /ha	Facto mórfo (f)			

A. <i>fraxinifolius</i>	Nº 3. India	Junio 1968	10,6 7 ±	9,29 ±	63,7 5	11, 75	0,53	50	100	4,00
		P. Cajón	0,77 (1,52)	0,53 (1,33)	(9,11)	(1,68)				
A. <i>fraxinifolius</i>	Nº 4. India	Junio 1968	18,1 7 ±	16,17 ±	255, 00	30, 67	0,49	76	100	2,50
		Floren- cia Sur	1,44 (2,60)	0,90 (2,31)	(36,43)	(4,38)				
A. <i>fraxinifolius</i>	Nº 5. India	Junio 1968	19,5 3 ±	18,19 ±	332, 67	34, 67	0,51	73	100	1,25
		Floren- cia Sur	1,64 (2,79)	0,74 (2,60)	(4,95)	(4,95)				
A. <i>fraxinifolius</i>	Nº 6. India	Junio 1968	19,7 8 ±	16,28 ±	220, 67	24, 67	0,52	51	96	2,25
		Floren- cia Sur	1,90 (2,83)	1,08 (2,33)	(31,52)	(3,52)				

1. Promedios en paréntesis indican aumentos anuales.

2. Por ciento de árboles con fustes rectos.

3. Menor valor indica mejor comportamiento.

Fuente: (Whitmore & Otárola T, 1976)

Conclusiones: la madera producida por estas plantaciones jóvenes mostró un peso específico normal para la especie.

### 3.1.4. Caracterización física, química y mecánica de *Acrocarpus fraxinifolius* cultivada en Sao Paulo.

De Oliveira *et al.*, (2021) centran esta investigación en la modificación térmica de la madera y su impacto en las propiedades físicas y mecánicas de la especie de *Acrocarpus fraxinifolius*. De esta manera, se busca mejorar características como durabilidad, estabilidad dimensional y resistencia.

Los resultados claves del estudio son comparables con estudios previos en esta madera.

Resultados físicos obteniendo en la densidad básica  $391 \text{ kg/ m}^3$  y densidad aparente  $502 \text{ kg/ m}^3$ , los cuales son valores comparables con estudios previos, aunque con diferencias debido a su variabilidad natural. La estabilidad dimensional indicó que tiene una moderada estabilidad para usos que requieren control dimensional teniendo como resultado 2.09% de coeficiente de anisotropía.

Por ultimo los resultados de las pruebas mecánicas en su resistencia a la compresión paralela a las fibras fue de 21.46 MPa, el módulo de elasticidad paralelo a las fibras de 8962 MPa y clasificada como madera adecuada para aplicaciones estructurales ligeras.

### **3.1.5. Propiedades físico-mecánicas del contrachapado producido con *Acrocarpus fraxinifolius* y *Pinus oocarpa*.**

El estudio de Santos *et al.*, (2019) describen el objetivo principal de esta investigación que fue evaluar las propiedades físicas y mecánicas del contrachapado elaborado con madera de *Acrocarpus fraxinifolius* (cedro de la India), así como el efecto de combinar esta madera con chapas de *Pinus oocarpa* en la producción de paneles.

En su metodología empleada se utilizaron 5 árboles de *A. fraxinifolius* (20 años) y de *P. oocarpa* (28 años), provenientes de un experimento en Minas Geras, Brasil.

Los paneles fabricados fueron compuestos por cinco chapas de madera unidas con adhesivo fenol- formaldehído ( $320 \text{ g/m}^2$ ).

Las propiedades físicas evaluadas fueron de humedad de equilibrio, masa específica, absorción de agua (WA) e hinchamiento en espesor (TS).

Las propiedades mecánicas evaluadas de resistencia al corte (SS), módulo de ruptura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE), en dirección paralela y perpendicular a las fibras.

El análisis estadístico fue un diseño completamente aleatorizado, análisis de varianza y prueba de medias Scott-Knott al 5%.

Resultados de propiedades física (ver tabla 5):

**Tabla 5:** Propiedades físico-mecánicas del contrachapado producido con *Acrocarpus fraxinifolius* y *Pinus oocarpa*.

Tratamiento	Densidad	Absorción de agua	Hinchamiento en espesor
	(kg/m <sup>3</sup> )	(%)	(%)
5 chapas de <i>A. fraxinifolius</i> (5Af)	726.7	50.5	5.62
5 chapas de <i>Pinus oocarpa</i> (5Po)	513.3	65.7	5.66
3Af + 2Po (núcleo Af)	626.7	61.3	6.27
2Af + 3Po (cara Af)	590	63.7	6.08
Af cara / Po núcleo	670	53.6	5.43

Fuente: (Santos *et al.*, 2019)

Se puede observar que los paneles con mayor proporción de *A. fraxinifolius* tuvieron mayor densidad y menor absorción de agua, lo que implica mejor estabilidad dimensional y calidad de encolado.

Resultados de propiedades mecánicas (ver tabla 6):

**Tabla 6:** Propiedades físico-mecánicas del contrachapado producido con *Acrocarpus fraxinifolius* y *Pinus oocarpa*.

Tratamiento	MOR	MOE	Corte en Seco	Corte en Húmedo
			(Mpa)	
5Af	96.8	8,496	9	7.04

5Po	56.8	4,912	3.1	2.1
3Af + 2Po	71.6	7,654	5.2	3.3
2Af + 3Po	67.7	6,594	3.1	2.9
Po cara / Af núcleo	71.8	6,403	6.2	5

MOR: Modulo de Ruptura

MOE: Modulo de Elasticidad

Corte: Resistencia al corte en la línea de adhesivo

Fuente: (Santos *et al.*, 2019)

Todos los paneles cumplieron con el valor mínimo de 1Mpa exigido para resistencia al corte.

Describen que el panel con cinco chapas de *A. fraxinifolius* superó ampliamente los estándares estructurales de uso externo.

Santos *et al.*, (2019) concluyen que el *A. fraxinifolius* es viable técnica y estructuralmente para la producción de contrachapados, incluso en aplicaciones de uso externo.

### **3.1.6. Estudio de especies forestales bajo la modalidad agroforestal multi estratos con cacao.**

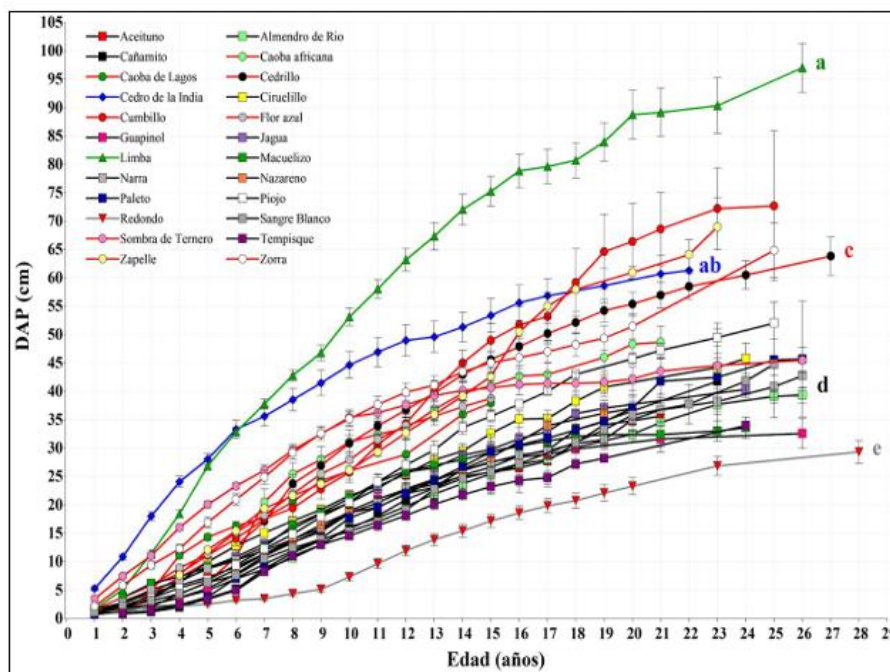
A partir de 1996, el Programa de Cacao y Agroforestería de la FHIA ha desarrollado estudios orientados a la integración de especies forestales latifoliadas con cacao, bajo condiciones de bosque húmedo tropical en La Masica, Atlántida. La especie de *Acrocarpus fraxinifolius*, fue incluida en el sistema agroforestal con cacao.

FHIA (2023b), se centraron en la consolidación de información sobre el rendimiento y crecimiento forestal en las especies restantes del estudio en SAF-

cacao. Monitorearon las variables dasométricas, con énfasis en la construcción de curvas de crecimiento y estimación de volumen comercial.

## Resultados

**Figura 1:** Curvas de crecimiento en DAP (cm) y su error estándar (E.E.), en 24 especies.

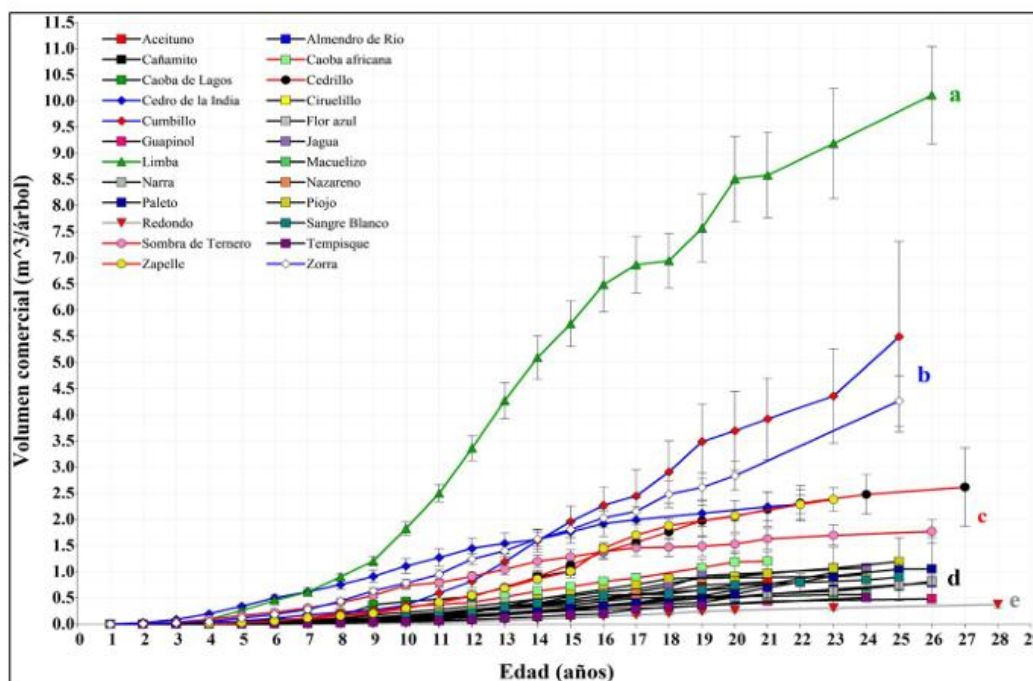


Fuente: (FHIA, 2023b)

El Cedro de la India presentó el mayor crecimiento en los primeros seis años, registrando en promedio 56 cm a los 16 años, es decir; 3.5 cm de crecimiento medio anual (IMA). Sin embargo, este crecimiento ha disminuido, promediando únicamente 1 cm, entre 16-22 años (FHIA, 2023b).

Crecimiento en volumen comercial:

**Figura 2:** Curvas de crecimiento en volumen comercial ( $m^3/\text{árbol}$ ) y su error estándar (E.E.),



Fuente: (FHIA, 2023b)

Para el caso del Cedro de la India únicamente a acumulado  $0.7 m^3$  desde sus 14 hasta sus 22 años.

## 3.2. Bases teóricas

### 3.2.1. Descripción de la especie *Acrocarpus fraxinifolius*

Nomenclatura:

Nombre científico: *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et. Arn.

Nombres comunes: Cedro de la india, cedro rosado o rojo y mundani.

Familia: FABACEAE

Género: *Acrocarpus*

Especie: *fraxinifolius*

#### Descripción:

Árbol de 25 a 30 m de altura. Habita en bosques perennifolios, de 600 a 1,500 msnm. Sensible a las heladas y no tolera las sequías. De rápido crecimiento (Sánchez, Santos, Valencia y Mesa, 2019). Esta especie tolera poca sombra cuando joven y está mejor indicado para temperaturas de 19 °C a 35 °C, y aún más soportando temperaturas de hasta más de 45 °C. Crece desde el nivel del mar hasta los dos mil metros de altitud, en zonas cálidas. En países centroamericanos ha alcanzado alturas de 25 a 30 metros, pero en su país de origen como la India alcanza alturas de hasta 60 metros (Maderero, 2012).

#### Descripción geográfica:

El área de distribución natural se extiende desde los 23° a 27° norte, forma parte de los bosques mixtos siempre verdes (Sánchez, Santos, Valencia y Mesa, 2019). Nativa de Bangladesh, Bhutan, China, India, Indonesia, Laos, Myanmar, Nepal y Tailandia. Fue introducida en Colombia, Guatemala, Honduras, Kenia, Malawi, México, Nicaragua, Panamá, Taiwán, Tanzania, Uganda y Zimbawe (Orwa *et al.*, 2009).

#### Características de la madera

La madera de esta especie introducida presentó características semejantes, siendo madera blanda, de densidad baja (de color claro, con resistencia baja a media, semejante a la madera de pino)(Bárcenas & Ordoñez, 2008). La albura de la madera es de color blanquizo, el duramen es de color rojo claro o marrón rojizo, es muy decorativo por su veteado oscuro. No presenta problemas para ser torneada, cepillada y pulida (Maderero, 2012).

### **3.3. Conceptos claves de la investigación**

#### **3.3.1. La madera**

Umlandt *et al.*, (2022) proponen a la madera como un material orgánico, poroso, heterogéneo, anisotrópico e higroscópica. Mier Simental (2013) define la madera como una sustancia dura y resistente que constituye el tronco de los

árboles, con características físicas y belleza natural, constituye un campo variado de aplicación muy variado.

### **3.3.2. Propiedades físicas**

Las propiedades físicas que estudian la madera son:

Densidad básica.

En el estudio de Coronel (1994) la densidad básica se define como la cantidad de madera leñosa por unidad de volumen, también Navar (2016), la describe como (peso seco entre volumen húmedo) y que es una variable que describe la cuarta dimensión del arbolado. La densidad básica en la práctica sirve para clasificar a las maderas (Figueroa, 2007), se emplea normalmente como criterio de evaluación, permitiendo predecir las posibilidades de uso, la calidad de los productos que se obtendrán.

Densidad saturada.

La densidad en estado verde o densidad saturada se refiere a la relación entre el peso y volumen de la muestra cuando esta se encuentra completamente saturada de agua, en otras palabras, en su estado verde (Roja & Yayselin, 2024).

Densidad anhidra

Es el coeficiente de la masa y volumen después de que las muestras obtengan un peso constante en el horno a 103<sup>0</sup>C (Pimentel, 2021).

Contracción.

Es la disminución del volumen debida a la eliminación de las moléculas de agua de los espacios submicroscópicos y de la pared celular por evaporación y difusión, ocasionando aproximación entre las micelas (Coronel, 1994). Según el estudio de (Delgado, 2019) la contracción responde a cambios en sus dimensiones: se hinca o contrae de acuerdo con la ganancia o pérdida de humedad, y son expresados en porcentaje del cambio dimensional respecto a la dimensión original.

Porosidad.

Suirezs & Berger, (2009) describen que las maderas tienen espacios libres, se deben a los lómenes de las células y a los espacios.

### **3.3.3. Propiedades mecánicas**

Se refieren a los comportamientos y a las resistencias que presentan las maderas cuando sobre ellas actúan cargas externas. Están relacionadas fundamentalmente con las cargas aplicadas y en determinadas circunstancias con el tiempo que actúan las mismas y la forma en que se realizan las combinaciones entre estas (Coronel, 1994).

### **3.3.4. Trabajabilidad**

Becerra et al., (2023) definen la trabajabilidad de la madera como una propiedad básica que afecta la eficiencia y calidad de los procesos de conversión y uso de dicho material.

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

Moldurado:

Es una operación que se realiza en los cantos de las piezas de madaera con el objetivo de darles mejor terminado y apariencia. Se observa este tipo de maquinado en marcos de puertas, de ventanas, cantos o esquinas de muebles, esambles y otras muhcas formas de adornos (Martínez & Martínez, 1994).

### **3.3.5. Sistemas agroforestales**

Según (Rural, 2020), define los sistemas agroforestales básicamente como una combinación de prácticas forestales con agricultura y/o pastoreo sobre la misma unidad de superficie. También la FAO PESA Centroamérica (2021), lo proponen como sistemas de producción con el manejo de suelo, agua y árboles en forma dispersa.

### **3.3.6. Normas ASTM**

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

### **3.3.7. FHIA**

Fundación Hondureña de Investigación Agrícola es una organización privada, sin fines de lucro, que se dedica a la generación, validación y a la transferencia de tecnologías para cultivos tradicionales y no tradicionales para mercado tanto interno como externo (FHIA, 2023a).

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA**

### **4.1. Enfoque de la investigación**

La investigación tuvo un enfoque mixto, teniendo en cuenta que, combinó tanto métodos cuantitativos como cualitativos que abordó la investigación de manera integral. Se combinaron métodos cuantitativos, como la recopilación de datos numéricos sobre las propiedades físicas, mecánicas y de trabajabilidad de la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn., con métodos cualitativos que incluyeron observaciones descriptivas sobre su comportamiento y características en un entorno agroforestal.

Además, facilitó una comparación objetiva y enriquecedora de sus atributos en función de las condiciones de crecimiento.

### **4.2. Alcance de la investigación**

El estudio contó con un alcance descriptivo, pues se observó el comportamiento que tomó la madera al ser sometida a diversas pruebas, y a partir de estas se hizo la recolección de los datos.

### **4.3. Diseño de la investigación**

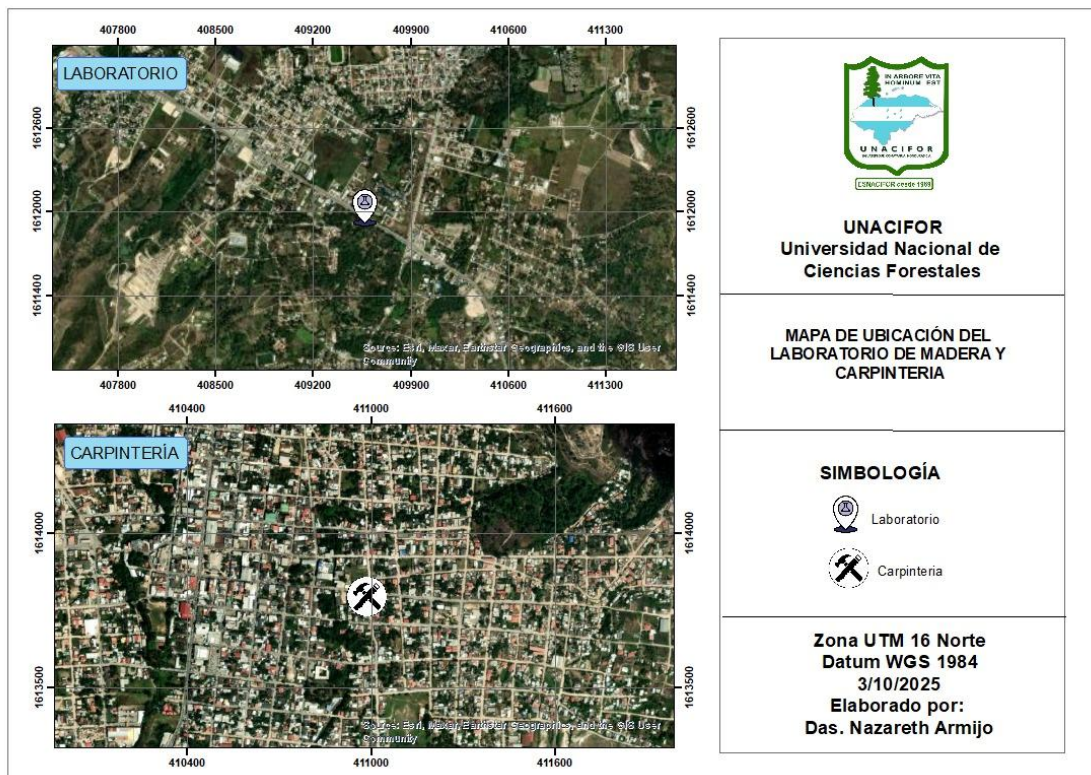
El diseño de la investigación fue no experimental, pues se ejecutaron distintas pruebas con la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn., para conocer sus propiedades físicas y mecánicas, no se empleó manipulación de las variables.

### **4.4. Descripción del área de estudio**

El estudio se realizó en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR), la cual se encuentra ubicada en el municipio de Siguatepeque, Comayagua, Honduras.

De otra manera, detalla una carpintería en la ciudad de Siguatepeque donde se ejecutaron las pruebas de trabajabilidad. (ver figura 3).

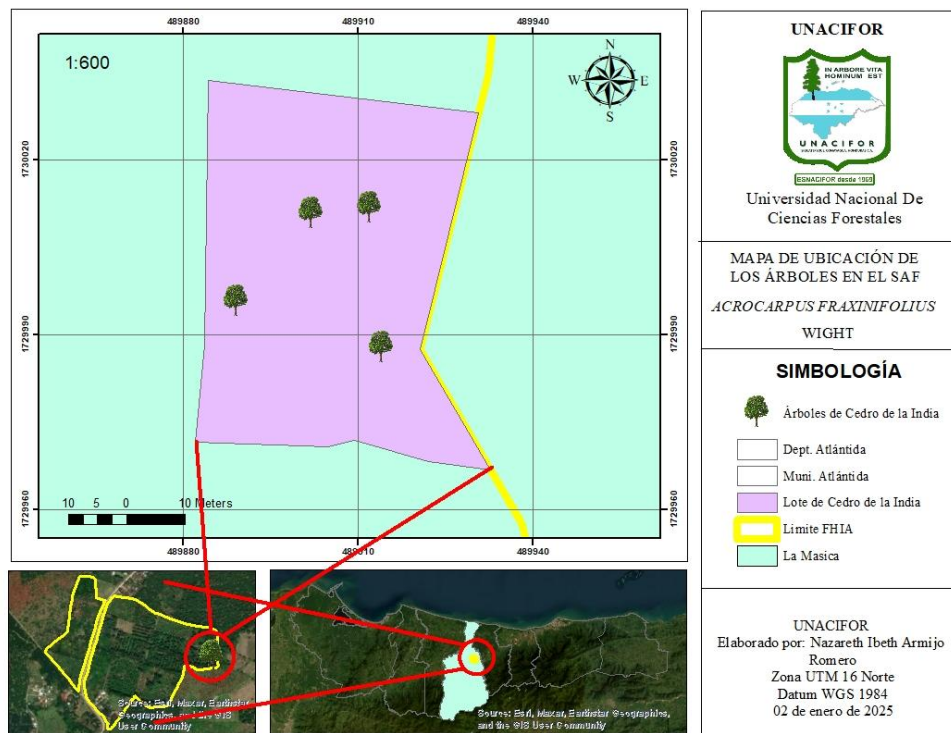
Figura 3. Mapa de ubicación del área de estudio.



Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta un croquis donde detalla la distribución que tienen los árboles en el sistema agroforestal de la FHIA CEDEC-JAS, con cada una de la información de las divisiones en el lote establecido (ver figura 4).

Figura 4. Mapa de parcela de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn.



Fuente: elaboración propia.

FHIA (2023b), en el CEDEC-JAS reportó la precipitación de 2023 que fue de 2,944.4 mm, esto fue 175 mm menos que en el 2022. También reportaron una temperatura media anual por encima de los 28 °C. La temperatura máxima fue de 34.1 °C y la temperatura mínima fue de 22.2 °C.

Manejo silvícola: realizó control de malezas en forma manual (chapia). Estas especies dentro del SAF- cacao, parcelas puras y en arreglos en línea, la FHIA realizó un monitoreo de crecimiento.

#### 4.5. Población, muestreo y muestra

Cabe mencionar que en esta investigación la cantidad de árboles que se utilizaron fueron cuatro árboles esto porque es la cantidad que brinda la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA).

La cantidad de probetas realizadas fueron 30 probetas por cada una de las pruebas con las especificaciones establecidas por las normas ASTM.

#### 4.6. Operacionalización / categorización de variables

Nota: las pruebas que se muestran a continuación son las pruebas que se realizaron para cada prueba.

**Tabla 7:** Operacionalización de variables.

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Subdimensiones	Indicadores	Escala de Medición
<b>1. Propiedades físicas de la madera</b>	Se refieren a la respuesta inherente de la madera ante factores ambientales sin alterar químicamente o modificar su estructura interna (Suárez, 2010).	Medición de las características físicas esenciales (densidad, humedad, contracción, entre otras) de la madera de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight et Arn. en sistemas agroforestales con cacao, para determinar su calidad y desempeño en condiciones de uso industrial.	Contenido de humedad		Peso húmedo - Peso seco	%
			Densidad básica		Peso y volumen verde	g/cm <sup>3</sup>
			Densidad anhidra		Peso seco y volumen seco	
			Densidad saturada		Peso verde y volumen verde	
			Contracción (volumétrica, tangencial y radial)			%
			Estabilidad dimensional			

<b>2. Propiedades mecánicas de la madera</b>	Corresponde a las características que determinan el comportamiento de la madera frente a cargas y esfuerzos (compresión, tracción, flexión, corte), fundamentales para su aplicación en construcción y fabricación (Sotelo & Pazos, 1999).	Determinación experimental de la capacidad mecánica de la madera de <i>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight et Arn, a través de ensayos de compresión, flexión, dureza y cizallamiento, que permitan establecer su potencial en aplicaciones estructurales y de uso industrial.	Flexión estática	Esfuerzo de la fibra al límite proporcional	Carga aplicada al límite proporcional (kg)	kg/cm <sup>2</sup>
			Compresión (paralela y perpendicular a la fibra)	Esfuerzo de la fibra al límite proporcional	Carga aplicada al límite proporcional (kg)	kg/cm <sup>2</sup>
<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>Acrocarpus fraxinifolius</i> Wight et Arn., a través de ensayos estandarizados (lijado, perforado, moldeado, clavado, etc.), que permitan determinar su idoneidad para aplicaciones en la industria maderera.	Lijado		Calidad del acabado superficial (medida a través de la rugosidad o grado de grano triturado)	Lijadora de mesa Banda 100-120, formatos de registro de datos. Medición del esfuerzo aplicado (por ejemplo, fuerza en kg o N durante perforado) Evaluación de la uniformidad del acabado mediante mediciones de rugosidad (Ra) y observación de defectos
			Perforado		Condición de la superficie procesada	
			Moldeado			
			Escopleado			
			Torneado			
			Clavado			
			Cepillado		Observación de defectos	

## 4.7. Procedimientos por objetivo

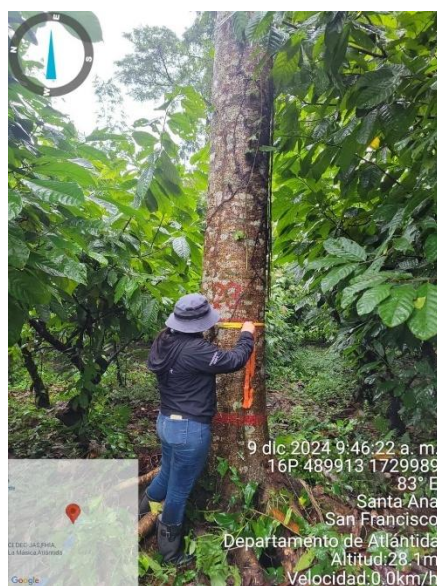
### 4.7.1. Actividades realizadas por objetivos:

#### 4.7.1.1. Objetivo 1:

Selección de árboles a cortar

Los árboles destinados a la corta cumplían con las características fenotípicas más representativos del sistema agroforestal. (ver figura 5)

**Figura 5.** *Árbol seleccionado de la especie Acrocarpus fraxinifolius para corta*



Fuente: propia

Extracción de datos.

Se extrajeron 16 piezas de madera de cedro de la India con dimensiones de 2" x 6" x 8", se pidieron con un excedente para compensar posibles desperdicios. (ver figura 6)

**Figura 6.** *Tablas de 2"x6"x8" de madera de Cedro de la India.*



Fuente: propia.

Elaboración de probetas.

Ejecución de las pruebas físicas de la madera.

Objetivo 2:

Recolección de datos.

Extracción de la madera.

Elaboración de probetas.

Ejecución de pruebas mecánicas en la madera.

Objetivo 3

Recolección de datos.

Extracción de la madera.

Elaboración de probetas.

Ejecución de pruebas de trabajabilidad en la madera.

Objetivo 4

Se realizó la comparación de los datos que se recolectaron en las pruebas físicas, mecánicas y de trabajabilidad que se realizaron en la madera de la

especie *Acrocarpus fraxinifolius* procedente de sistemas agroforestal con cacao con los datos encontrados en las investigaciones previas.

#### **4.7.2. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

##### 4.7.2.1. Objetivo 1:

Para llevar a cabo la extracción de la madera, se gestionaron los permisos necesarios ante el Instituto de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF), en la oficina que corresponde a la zona norte del país. Una vez obtenida la autorización, el proceso de corta de los árboles se realizó utilizando motosierras, cascos, sierras y con la asistencia del personal técnico de la FHIA.

La madera utilizada para las probetas y pruebas correspondiente fue en estado verde.

##### 4.7.2.1.1. Elaboración de las probetas para pruebas físicas:

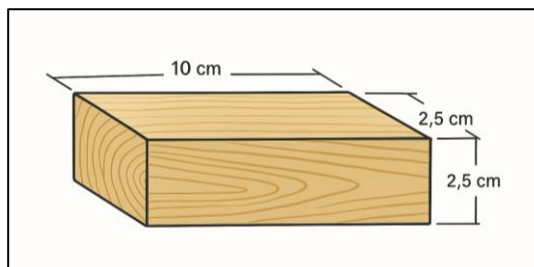
Las probetas fueron elaboradas en una carpintería, siguiendo los cortes previamente definidos. Se realizaron dos cortes en las caras tangenciales, paralelos a los anillos de crecimiento, y dos en la cara radial. Para cada tipo de ensayo, se utilizaron un total de 30 probetas.

Las dimensiones de estas probetas se ajustaron siguiendo las especificaciones establecidas por las Normas ASTM D143-94<sup>1</sup>: cada probeta tenía 2.5 cm de espesor, 2.5 cm de ancho y 10 cm de largo. (ver figura 3)

---

<sup>1</sup> D07 Committee. (s. f.). Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D0143-94>

**Figura 7.** Dimensiones de las probetas para pruebas físicas.



Fuente: elaboración propia.

Las pruebas físicas se realizaron en el laboratorio de madera de la Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR) siguiendo las normas ASTM D143-94<sup>2</sup>, donde se tuvo el apoyo de personal especializados en el área y todos los datos se registraron en formatos de acuerdo con cada prueba realizada.

Se utilizaron instrumentos para la determinación de propiedades físicas como el calibrador vernier, horno y balanza digital.

**Figura 8.** Instrumentos utilizados para la ejecución de las pruebas físicas (balanza digital y horno)



Fuente: propia.

<sup>2</sup> D07 Committee. (s. f.). Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D0143-94>

#### 4.7.2.2. Objetivo 2

Para llevar a cabo la extracción de la madera, se gestionaron los permisos necesarios ante el Instituto de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF), en la oficina que corresponde a la zona norte del país. Una vez obtenida la autorización, el proceso de corta de los árboles se realizó utilizando motosierras, cascos, sierras y con la asistencia del personal técnico de la FHIA.

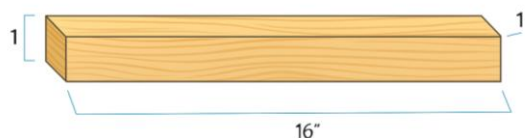
La madera utilizada para las probetas y pruebas correspondiente fue en estado verde.

##### 4.7.2.2.1. Elaboración de probetas para pruebas mecánicas

Las probetas fueron elaboradas en una carpintería siguiendo las Normas ASTM D143-94<sup>3</sup>, donde se elaboraron 30 probetas

Las dimensiones de estas probetas se ajustaron a las especificaciones de las normas que fueron las siguientes: 2.5 cm de espesor, 2.5 cm de ancho y 41 cm, equivalentes a las medidas estándar de 1" x 1" x 16" según ASTM D143-94<sup>4</sup>. (ver figura 4)

**Figura 9.** Dimensiones de las probetas para prueba de flexión estática.



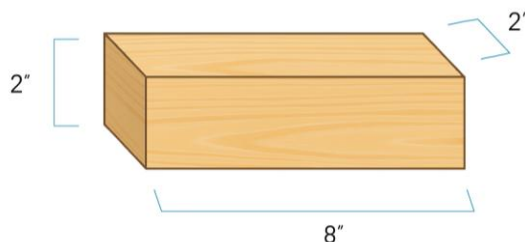
Fuente: elaboración propia.

<sup>3</sup> D07 Committee. (s. f.). Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D0143-94>

<sup>4</sup> D07 Committee. (s. f.). Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D0143-94>

Se elaboraron probetas para el ensayo de compresión paralela y perpendicular a las fibras. Las dimensiones de estas probetas se ajustaron a las especificaciones que fueron las siguientes: 5 cm de ancho, 5 cm de alto y 20 cm de largo que fueron convertidas de la Norma de ASTM143-94<sup>5</sup>, que es 2" de ancho, 2" de alto y 8" de largo. (ver figura 5)

**Figura 10.** Dimensiones de las probetas para pruebas de Compresión paralela y perpendicular.



Fuente: elaboración propia.

Las pruebas mecánicas se realizaron en el laboratorio de madera de la Universidad Nacional de Ciencias Forestales (UNACIFOR) siguiendo las normas ASTM 143-94, utilizando una maquina (Hoytom) para cada una de las pruebas, donde se tuvo el apoyo de personal especializados en el área y todos los datos se registraron en formatos de acuerdo con cada prueba realizada. (ver figura 11)

**Figura 11.** Maquina HOYTOM para la ejecución de las propiedades mecánicas.



Fuente: propia.

<sup>5</sup> D07 Committee. (s. f.). Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D0143-94>

### Objetivo 3

Las pruebas de trabajabilidad se realizaron mediante las Normas ASTM D1666-87<sup>6</sup>. Las cuales se pudieron realizar en una carpintería dentro de la ciudad de Siguatepeque.

Los usos potenciales de la madera se determinaron con los datos que se recolectaron de las pruebas físicas y mecánicas a las que fue sometida la madera de la especie *Acrocarpus fraxinifolius*.

Sitios web: Google Académico, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), ResearchGate, FAO, sitios oficiales de organizaciones internacionales, entre otros.

### Objetivo 4

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

#### 4.7.3. Programas utilizados para el procesamiento de la información

##### Objetivo 1

Utilizando las herramientas de Word y Excel se aplicaron formulas específicas que permitieron procesar los datos obtenidos durante los ensayos. Estas fórmulas facilitaron el cálculo de las propiedades físicas.

##### 4.7.3.1. Obtención de la densidad saturada:

**Fórmula 1.** Densidad saturada.

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

---

<sup>6</sup> D07 Committee. (s. f.). Test Methods for Conducting Machining Tests of Wood and Wood-Base Panel Materials. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D1666-22>

Donde:

**Ds** = densidad saturada (gr/ cm<sup>3</sup>)

**Ps** = peso de la muestra saturada (gr)

**Vs** = volumen de la muestra saturada (cm<sup>3</sup>).

**4.7.3.2. Obtención de la densidad normal o peso específico seco al aire libre.**

**Fórmula 2.** Densidad normal o Peso específico seco al aire libre.

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

**Pn**= densidad normal

**PCH**= peso a un % de contenido de humedad

**VCH**= volumen a un % de contenido de humedad.

**4.7.3.3. Obtención de la densidad básica:**

**Fórmula 3.** Cálculo de la densidad básica.

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

**We (o, s)** = peso básico

**Po**= peso a 0% del contenido de humedad

**Vs**= volumen saturado al PSF.

**4.7.3.4. Obtención de la densidad comercial:**

**Fórmula 4.** Cálculo de la densidad comercial.

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

**S<sub>c</sub>**= densidad comercial

**F<sub>SA</sub>**= peso de la probeta en condición seca al aire (cm<sup>3</sup>)

**V<sub>SA</sub>** = volumen de la probeta en condición seca al aire (cm<sup>3</sup>)

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

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

**Fórmula 5.** Cálculo de la densidad anhidra.

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

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)

#### 4.7.3.6. Determinación de contenido de humedad

Se utilizaron los datos de densidad saturada y densidad anhidra.

Formula 1. Cálculo de contenido de humedad

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

Donde:

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

**A**= peso saturado (gr)

**B**= peso anhidro (gr)

#### 4.7.3.7. Obtención del volumen

Al igual que las demás pruebas, se utilizaron las normas ASTM, en el cual mediante el método B que determina el volumen de las probetas por el principio de Arquímedes, fue realizado mediante la inmersión de agua y el desplazamiento del volumen líquido. Para este caso se realizaron tres mediciones, que fueron: la primera en estado saturado, la segunda en estado seco al aire libre, y la tercera medición en estado anhidro.

#### 4.7.3.8. Determinación de la contracción

Con el fin de evaluar esta propiedad se empleó el método de inmersión en estado anhidro y saturado, con el objetivo de calcular la capacidad que tiene la especie para reducir el volumen al perder humedad por debajo del PSF.

#### 4.7.3.9. Determinación de la contracción radial.

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

**Fórmula 8.** Cálculo de la contracción radial.

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

Donde:

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

**drs** = dimensión radial de la probeta saturada (mm)

**dra** = dimensión radial de la probeta anhidra (mm)

#### 4.7.3.10. Determinación de la contracción tangencial

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

**Fórmula 9.** Cálculo de la contracción tangencial.

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

CT = contracción en el sentido tangencial (%)

dts = dimensión tangencial de la probeta saturada (mm)

dta = dimensión tangencial de la probeta anhidra (mm)

#### 4.7.3.11. Determinación de la contracción longitudinal

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

**Fórmula 10.** Cálculo de la contracción longitudinal

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

Donde:

**CL** = contracción en el sentido longitudinal (%)

**dl<sub>s</sub>** = dimensión longitudinal de la probeta saturada (mm)

**dl<sub>a</sub>** = dimensión longitudinal de la probeta anhidra (mm)

#### 4.7.3.12. Determinación de contracción volumétrica total

Esta se calculó mediante la diferencia de volumen saturado y volumen anhidro.

**Fórmula 11.** Cálculo de la contracción volumétrica total.

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

Donde:

**CV<sub>T</sub>** = contracción volumétrica total (%)

**V<sub>s</sub>** = volumen saturado de la probeta (cm<sup>3</sup>)

**V<sub>a</sub>** = volumen anhidro de la probeta (cm<sup>3</sup>)

#### 4.7.3.13. Punto de saturación de las fibras

Con el fin de determinar el PSF de las probetas se utilizaron los datos de la humedad seca al aire, contracción seca al aire, contracción total de la madera y contracción volumétrica.

**Fórmula 12.** Cálculo del punto de saturación de las fibras.

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

Donde:

**PSF** = punto de saturación de la fibra (%)

**CV<sub>T</sub>** = contracción volumétrica total (de saturado a anhidro) (%)

**CH<sub>SA</sub>** = contenido de humedad seco al aire (%)

**CV<sub>SA</sub>** = contracción volumétrica seca al aire (saturado a seco al aire) (%)

4.7.3.14. Determinación de coeficiente de contracción volumétrica total.

**Fórmula 14.** Cálculo de coeficiente de contracción volumétrica total.

$$C_{cv} = \frac{CV}{PSF}$$

Donde:

**C<sub>cv</sub>** = coeficiente de contracción volumétrica total (%)

**CV** = contracción volumétrica total (%)

**PSF** = punto de saturación de la fibra.

## Objetivo 2

Utilizando las herramientas de Word y Excel se aplicaron formulas específicas que permitieron procesar los datos obtenidos durante los ensayos. Estas fórmulas facilitaron el cálculo de las propiedades mecánicas.

4.7.4. Determinación de esfuerzo de la fibra al límite proporcional.

**Formula 15.** Cálculo de esfuerzo de la fibra al límite proporcional.

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

**ELPF** = esfuerzo al límite proporcional de la fibra (kg/cm<sup>2</sup>)

**P'** = carga aplicada al límite proporcional (kg)

**b** = ancho de la probeta (mm)

**h** = altura de la probeta (mm)

**L** = luz del ensayo (mm)

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

**Fórmula 16.** Cálculo de 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 (N)

**A** = área de la sección transversal perpendicular a la carga (mm<sup>2</sup>)

### Objetivo 3

Utilizando la herramienta Excel se realizó un registro de datos para la evaluación de trabajabilidad que permitieron procesar los datos obtenidos durante los ensayos.

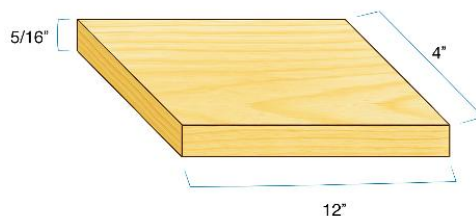
#### 4.7.6. Pruebas de trabajabilidad.

Para realizar las pruebas de trabajabilidad de la especie se utilizaron las normas ASTM 1666-87.

##### 4.7.6.1. Prueba de lijado

La prueba de lijado se realizó con probetas con dimensiones de 5/16" x 4" x 12". (ver figura 12)

**Figura 12.** Dimensiones de las probetas para prueba de lijado.

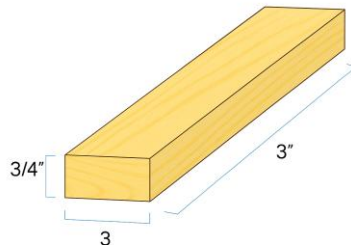


Fuente: elaboración propia.

#### 4.7.6.2. Prueba de perforado.

La prueba de perforado o taladrado con dimensiones de  $\frac{3}{4}$ " x 3" x 12". (ver figura 13)

**Figura 13.** Dimensiones de las probetas para las pruebas de perforado, moldurado, y escopleado.



Fuente: elaboración propia.

#### 4.7.6.3. Prueba de moldurado.

Esta prueba determina como responde la madera al ser perfilada, se realizó con probetas con dimensiones de  $\frac{3}{4}$ " x 3" x 12". (ver figura 13)

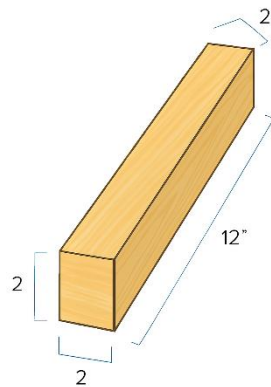
#### 4.7.6.4. Prueba de escopleado.

Esta prueba se realizó con probetas con dimensiones de  $\frac{3}{4}$ " x 3" x 12". (ver figura 13)

#### 4.7.6.5. Prueba de cepillado.

Esta prueba se realizó con probetas con dimensiones de 2" x 2" x 12". (ver figura 14)

**Figura 14.** Dimensión de la probeta para la prueba de cepillado.



Fuente: elaboración propia.

#### 4.7.6.6. Prueba de torneado.

Esta prueba se realizó con probetas con dimensiones de  $\frac{3}{4}$ " x  $\frac{3}{4}$ " x 5".

### Objetivo 4

Los datos se procesaron y analizaron utilizando Word que facilitó la comparación de los resultados de todas las tablas y graficas de las propiedades físicas, mecánicas y de trabajabilidad de la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* y los antecedentes consultados.

#### **4.7.7. Análisis o modelo de interpretación de la información se empleó**

##### Objetivo 1

Para el análisis de los resultados de las diferentes pruebas físicas, se empleó un análisis descriptivo mediante gráficos de barras, lo que permitió visualizar de manera clara las diferencias entre cada prueba.

##### Objetivo 2

Para el análisis de los resultados de las diferentes pruebas mecánicas, se empleó un análisis descriptivo mediante gráficos de barras, lo que permitió visualizar de manera clara las diferencias entre cada prueba.

##### Objetivo 3

Para el análisis de los resultados de las diferentes pruebas de trabajabilidad, se empleó un análisis descriptivo mediante gráficos de barras, lo que permitió visualizar de manera clara las diferencias entre cada prueba.

##### Objetivo 4

Se realizó la comparación entre las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn., procedente de un sistema agroforestal con cacao y la de bosques naturales, se llevó a cabo un análisis comparativo con base en investigaciones previas. Este análisis permitió determinar si existían diferencias significativas entre las maderas provenientes de ambos entornos, de igual manera, confirmar el potencial de la especie para fines industriales y su conservación.

## CAPÍTULO V: RESULTADOS

### 5.1. Análisis de las propiedades físicas

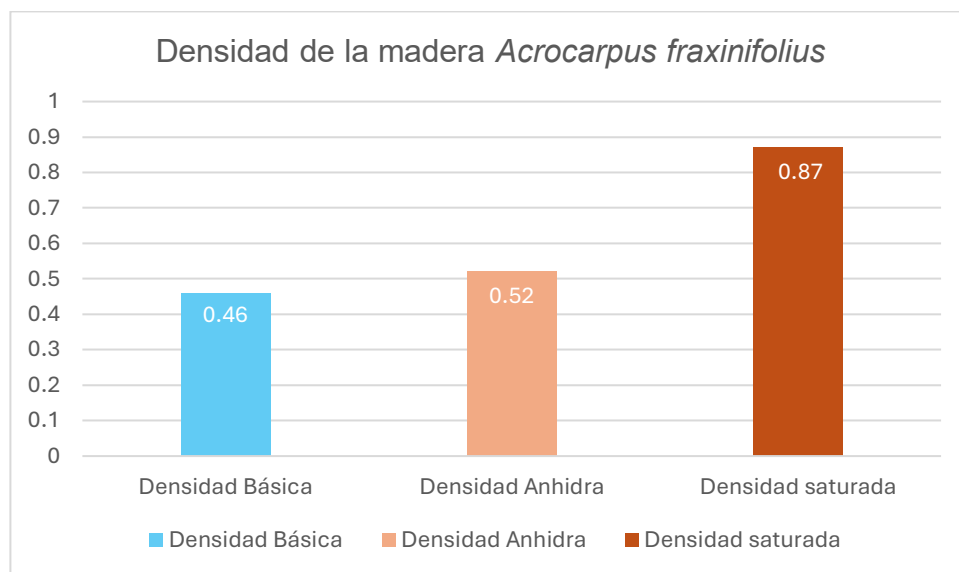
#### 5.1.1. Densidad.

Para determinar la densidad de *Acrocarpus fraxinifolius* se sometieron 30 probetas a pruebas físicas.

Tabla 8. Resultados de densidad de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn.

Propiedad	Promedio
Densidad básica	0.46 gr/cm <sup>3</sup>
Densidad anhidra	0.52 gr/cm <sup>3</sup>
Densidad saturada	0.87 gr/cm <sup>3</sup>

Figura 15. Gráfica de densidades.



Fuente: elaboración propia.

Los valores obtenidos de esta prueba física presentaron una densidad básica que fue de 0.46 g/cm<sup>3</sup>, esto indica que es una madera de densidad media-baja. Al observar la densidad anhidra fue de 0.52 g/cm<sup>3</sup>. Por su gran capacidad de absorción que tiene

*Acrocarpus fraxinifolius* en estado verde su densidad saturada fue de  $0.87 \text{ g/cm}^3$ .

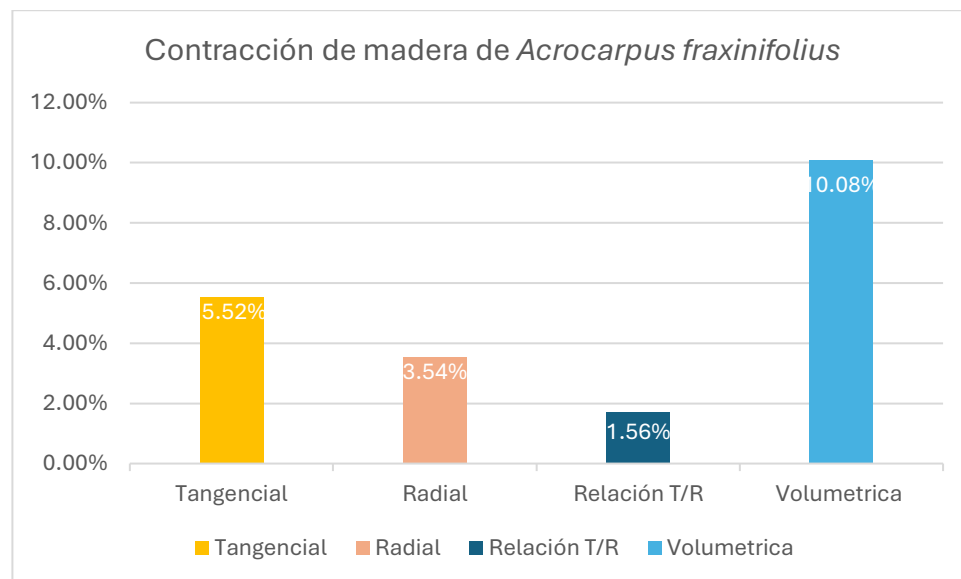
### 5.1.2. Contracción.

En la prueba de contracción se evaluaron 30 probetas mediante pruebas físicas.

**Tabla 9.** Resultados de contracciones de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn.

Propiedad	Promedio (%)
Contracción Tangencial	5.52
Contracción Radial	3.54
Contracción Relación T / R	1.56
Contracción Volumétrica	10.08

**Figura 16.** Gráfica de contracciones.



Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos para esta prueba física fueron: tangencial de 5.52%, radial de 3.54%, y volumétrica de 10.08%. Con estos resultados se calculó la relación entre la contracción tangencial y contracción radial, obteniendo un valor en la relación

T/R de 1.56, esto determinó que, por cada unidad de contracción en la sección radial, la sección tangencial se contrae 1.56 unidades.

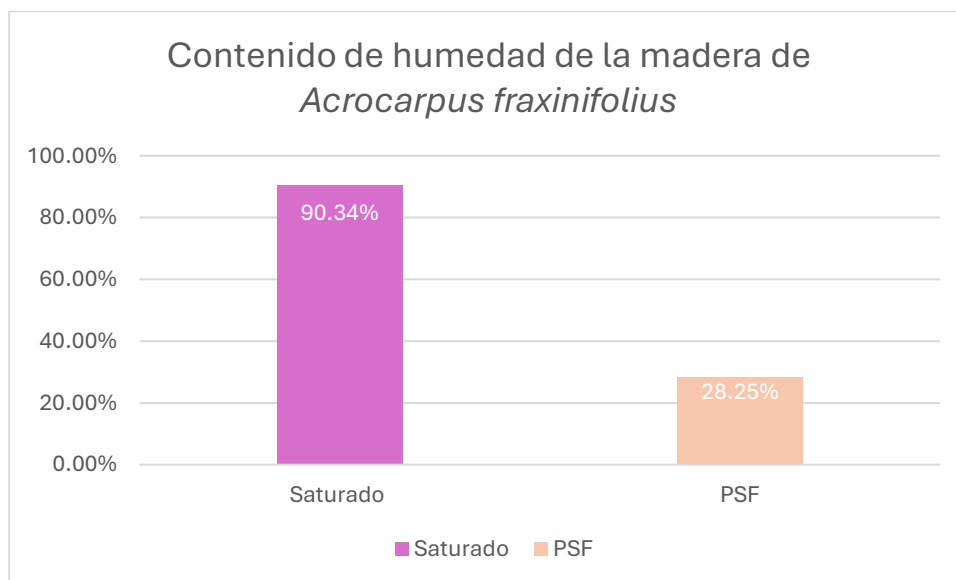
### 5.1.3. Contenido de humedad.

En la prueba de contenido de humedad se evaluaron 30 probetas mediante pruebas físicas.

**Tabla 10.** Resultados de contenido de humedad de *Acrocarpus fraxinifolius*.

Propiedad	Promedio (%)
Saturado	90.34
PSF	28.25

**Figura 17.** Gráfica de contenido de humedad.



Fuente: elaboración propia.

La madera de *Acrocarpus fraxinifolius* presentó un alto contenido de humedad saturada de 90.34%, esta especie tiene capacidad de absorber grandes cantidades de agua. El punto de saturación de fibras alcanzó un valor de 28.25% elevado que condiciona sus contracciones.

#### 5.1.4. Clasificación de la madera.

Los resultados obtenidos de los ensayos para determinar la densidad básica indicaron que se trata de una madera de densidad media, con un valor promedio de  $0.46 \text{ g/cm}^3$ , esta clasificación fue hecha de acuerdo a (Sotomayor, 1987). Que esta clasificación integra en un rango de 0.401-0.600 como densidad media.

En cuanto a las Normas UNE 56.540, los valores obtenidos de los ensayos de contracción volumétrica total de 10.08% clasifica como madera contracción media, la cual se interpreta como fendas medias que puede presentar propensión intermedia, se recomienda un secado lento y gradual.

*Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn. (cedro de la India) por su Coeficiente de contracción (Ccv) que obtuvo 0.22, es una madera muy estable, según la clasificación de (Vignote y Martínez ,2007). Esta madera según esta clasificación la determina como madera para ebanistería.

Bárcenas, (1985) en sus criterios para determinar la categoría en la cual se ubica cedro de la India de acuerdo con la relación de contracción tangencial/radial obtenida ( $T/R=1.56$ ), es una madera de baja distorsión e indica la poca tendencia a deformaciones. En contraste, este resultado se complementa con la clasificación de Fuentes-Talavera et al.,(2002), quienes consideran la contracción para clasificar la estabilidad dimensional de la madera; el resultado obtenido corresponde a la categoría estable.

En conjunto ambas clasificaciones señalaron a cedro de la India con una buena estabilidad dimensional.

**Tabla 11.** Clasificación del cedro de la India según las propiedades físicas.

<b>Clasificación del Cedro de la India según las propiedades físicas</b>			
<b>Propiedad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Clase</b>
Densidad	0.46	g/cm <sup>3</sup>	Media
Relación T/R	1.56	Coeficiente	Baja tendencia a atear
C. Volumétrica	10.08	%	Media
Ccv	0.22	Coeficiente	Muy Estable

Fuente: Clasificación del cedro de la India según las propiedades físicas.

### **5.1.5. Uso de la madera según las propiedades físicas**

De acuerdo a los rangos técnicos establecidos por Bárcenas (1985) , la madera de cedro de la India puede usarse en:

- Muebles, recubrimientos y pisos.
- Instrumentos musicales.
- Aparatos científicos.
- Puertas y ventanas deslizantes.
- Acabados finos.
- Construcción de interior.
- Chapas.

## **5.2. Evaluación de propiedades mecánicas**

El contenido de humedad promedio de las probetas antes de realizar las pruebas fue de 18.38%. La clasificación de las propiedades mecánicas de la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* fue hecha de acuerdo a (Sotomayor, 1987).

### **5.2.1. Criterios de clasificación para las propiedades mecánicas.**

**Tabla 12.** *Criterios de clasificación para la propiedad de flexión estática de maderas mexicanas.*

<b>Flexión estática</b>			
<b>Calificación</b>	<b>MOE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia al límite elástico (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la ruptura (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
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

**Tabla 13.** *Criterios de clasificación para la propiedad de compresión paralela.*

<b>Compresión paralela</b>			
<b>Calificación</b>	<b>MOE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia al límite elástico (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la ruptura (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
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

Fuente: (Sotomayor, 1987).

### 5.2.2. Flexión estática

Se realizó esta prueba en 30 probetas, en las cuales se pudo observar algunos defectos durante el ensayo presentaron fallas características tanto por comprensión como por tracción.

El esfuerzo al límite proporcional de las fibras tuvo un resultado de 623.74 kg/cm<sup>2</sup>. Al 18.38% de humedad, lo que se clasifica como alta.

### 5.2.3. Compresión paralela

La prueba de compresión paralela a la fibra se realizó en 30 probetas, las cuales se observaron principalmente fallas por aplastamiento de fibras en la madera de *Acrocarpus fraxinifolius*.

El esfuerzo al límite proporcional de la fibra fue de 196.41kg/cm<sup>2</sup>, al 18.38% de humedad, lo que se clasifica como media.

**Tabla 14.** Resultados de flexión estática y compresión paralela para *Acrocarpus fraxinifolius* en un sistema agroforestal con cacao.

Propiedad	Esfuerzo	Resultados	
		Valor	Clasificación
Flexión estática	ELPF	623.74 kg/cm <sup>2</sup>	Alta
Compresión paralela a la fibra	ELPF	196.41kg/cm <sup>2</sup>	Media

### 5.2.4. Usos de la madera según las propiedades mecánicas

La madera de *Acrocarpus fraxinifolius* puede usarse en:

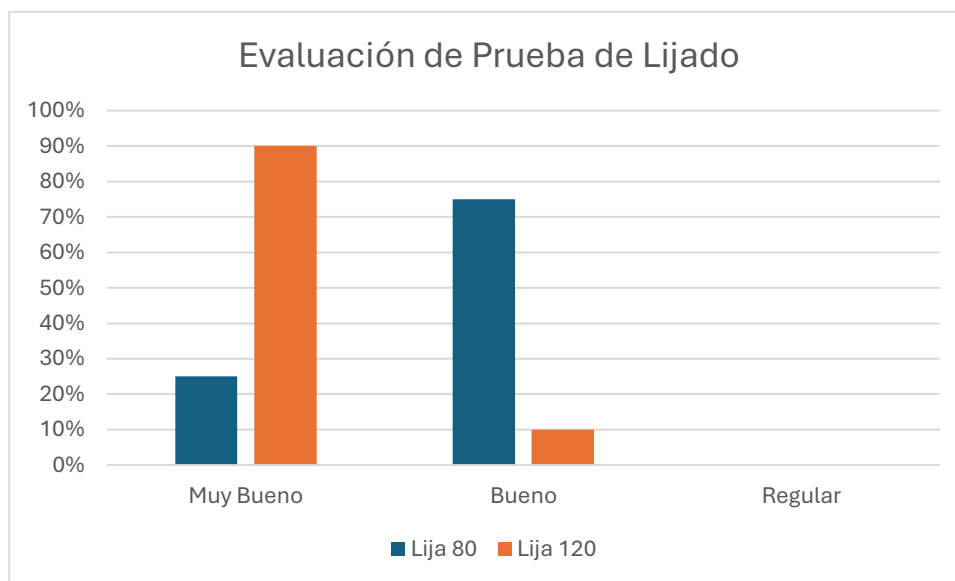
- Mesas de comedor o de oficina.
- Sillas comunes o de respaldo bajo.
- Estanterías o repisas de salas.
- Muebles de sala

### 5.3. Trabajabilidad

#### 5.3.1. Prueba de lijado.

La prueba de lijado se realizó con 20 probetas con dimensiones de 5/16" x 4" x 12". (ver figura 18)

**Figura 18.** Gráfica de evaluación de prueba de lijado.



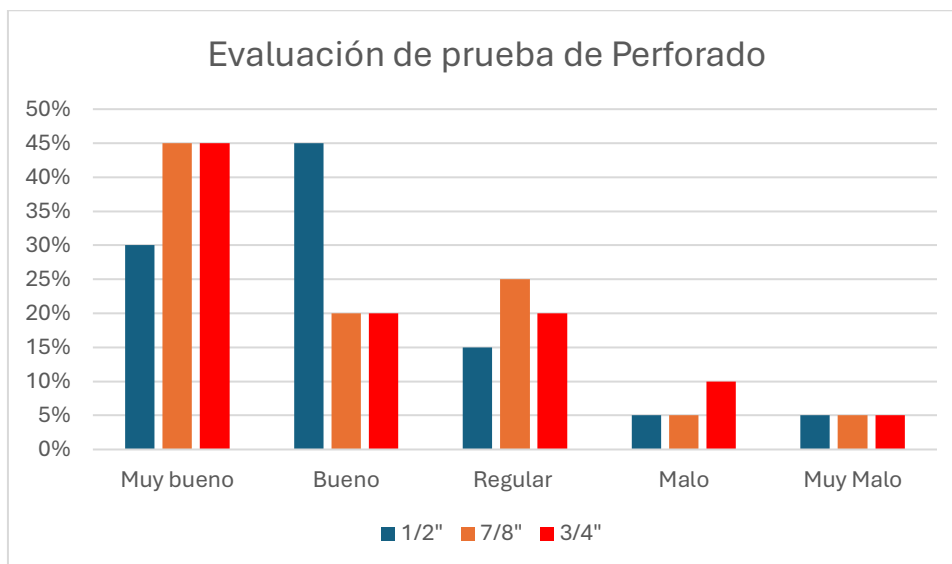
Fuente: elaboración propia.

Los resultados indicaron que la madera de cedro de la India presentó un comportamiento aceptable con el uso de la lija 120, ya que alcanzó el 90% en muy bueno. Lo que indicó que para esta madera es recomendable lijas de grano fino. La lija 80 presenta resultados aceptables, pero más para usarla antes como un acabado preliminar antes del afinado final, ya que este es un grano más grueso.

#### 5.3.2. Prueba de perforado.

En la prueba de perforado se evaluaron 45 probetas, cada una con dimensiones de 3/4" x 3" x 12". Estas se dividieron en tres grupos según el diámetro nominal de las brocas utilizadas: 1/2", 7/8", y 3/4". (ver figura 19)

**Figura 19.** Gráfica de evaluación de prueba de perforado.



Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos reflejaron que el grupo de  $\frac{1}{2}$ " tuvo menor incidencia en porcentajes de los parámetros de *malo* y *muy malo* (15%), mientras que tuvo presencia en los parámetros de *muy bueno* y *bueno* (75%). Esto indica que la madera es adecuada para realizar perforaciones con este diámetro de broca, ya que presentó un comportamiento positivo.

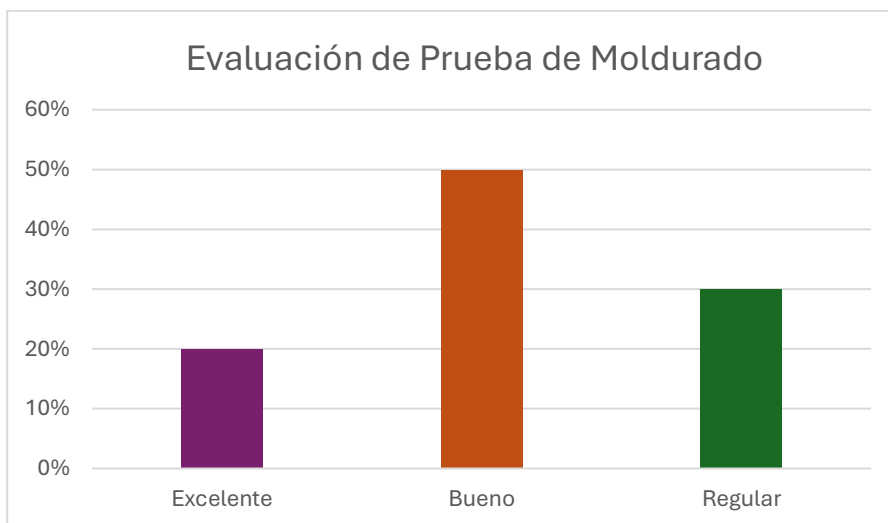
En comparación con los resultados del grupo de  $\frac{7}{8}$ " se observa consistencia, presentó altos porcentajes en los parámetros de *muy bueno*, *bueno* y *regular* y un bajo porcentaje en los parámetros de *malo* y *muy malo*. Esto mostró el mejor comportamiento en general, un alto rendimiento y que es adecuada para realizar perforaciones con este diámetro.

Por último, el grupo de  $\frac{3}{4}$ " presentó un alto porcentaje en *Muy bueno*, también tuvo una presencia en *Regular* y *Malo*, lo que indicó que hay variabilidad cuando se trabaja con este diámetro de broca. Genera más astillado o irregularidad en los orificios. Esta broca con las condiciones controladas al usarla se puede mantener una buena calidad al perforar.

### 5.3.3. Prueba de moldurado.

En la prueba de perforado se evaluaron 20 probetas, cada una con dimensiones de  $\frac{3}{4}$ " x 3" x 12". (ver figura 20)

**Figura 20.** Gráfica de evaluación de moldurado.



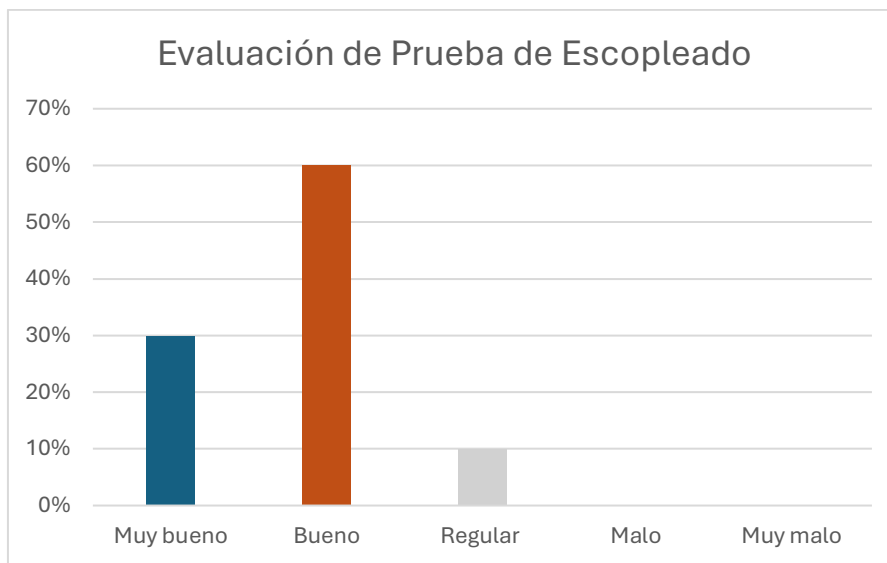
Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos clasificaron la prueba de moldurado como *Bueno*, lo que demuestra que la madera de Cedro de la India, tiene un comportamiento adecuado y aceptable. El 20% que alcanzo en *Excelente*, representa que existe capacidad para obtener mejores acabados. Y el 30% de *Regular* representa la variabilidad en la trabajabilidad.

### 5.3.4. Prueba de escopleado.

Esta prueba se realizó con probetas con dimensiones de  $\frac{3}{4}$ " x 3" x 12". (ver figura 21)

**Figura 21.** Gráfica de evaluación de prueba de escopleado.



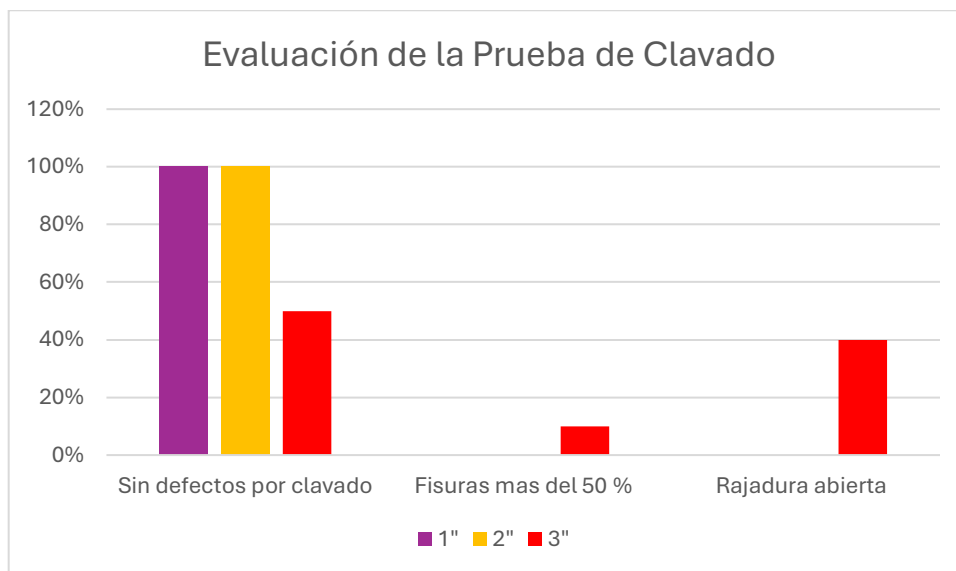
Fuente: elaboración propia.

Los resultados de la prueba de escopleado presentaron que el 60% fue del parámetro *Bueno*, lo que indica que el proceso de escopleado es estable y adecuado para esta madera. El 30% de *Muy bueno* representa que la madera alcanzó un nivel de calidad de acabado. Mientras que el 10% que fue *Regular*, solo evidencia que esta madera es confiable ya que no tuvo incidencia en los parámetros de malo y muy malo.

### 5.3.5. Prueba de clavado.

En la prueba de clavado se evaluaron un total de 30 probetas, cada una con dimensiones de  $\frac{5}{16}$ " x 4" x 12". Estas se dividieron en tres grupos según la longitud del clavo utilizado: 1", 2" y 3". (ver figura 22)

**Figura 22.** Gráfica de evaluación de clavado.



Fuente: elaboración propia.

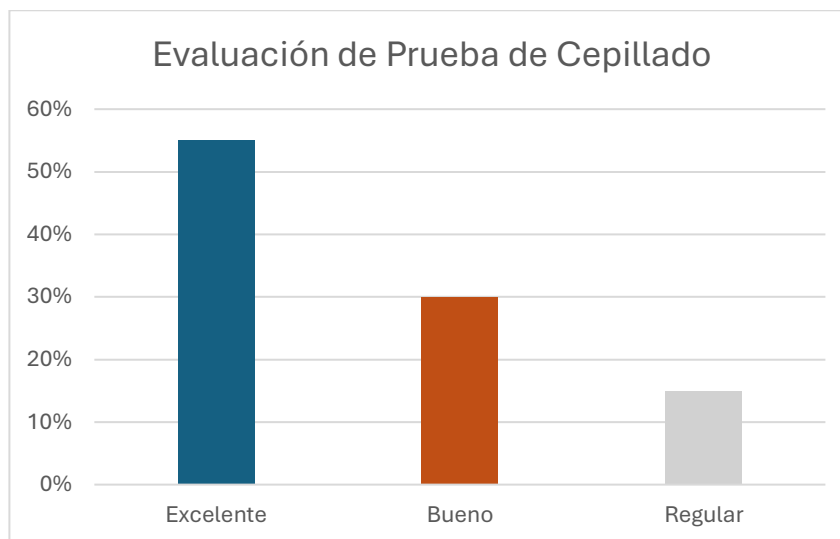
El patrón del clavado fue de una separación de 1" entre clavados. Los resultados obtenidos reflejaron que el grupo correspondiente a clavos de 1" presentó un 100% de probetas sin defectos por clavado. En el grupo de 2", también se observó un 100% de probetas sin defectos por clavado, sin embargo, se identificaron algunas fisuras menores al 50%, consideradas como fisuras superficiales. Lo que indica el cedro de la India tolera muy bien estas longitudes de clavos, ya que pasaron de forma limpia.

En contraste, al grupo de 3" presentó que el 50% sin defectos por clavado, mientras que el 10% mostro fisuras más del 50% y el 40% restante evidenció rajaduras abiertas, lo que indica una mayor incidencia de daño al utilizar esa longitud de clavo.

### 5.3.6. Cepillado

En la prueba de cepillado se evaluaron 20 probetas cada una con dimensiones de 2" x 2" x 4". (ver figura 23)

**Figura 23.** Gráfica de evaluación de prueba de cepillado.



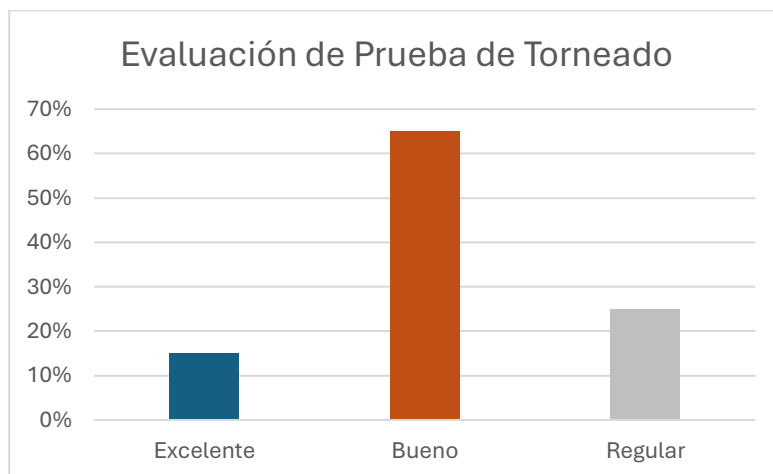
Fuente: elaboración propia.

La prueba de cepillado resultó ser uno de los procesos más aceptable y adecuado para la madera cedro de la India con el 85% (Excelente y Bueno), ya que presentó buena calidad de cepillado.

### 5.3.7. Torneado

Esta prueba se realizó con 20 probetas con dimensiones de  $\frac{3}{4}$ " x  $\frac{3}{4}$ " x 5". (ver figura 24)

**Figura 24.** Gráfica de evaluación de prueba de torneado.



Fuente: elaboración propia.

Los resultados indicaron que la mayoría de las probetas con un 65% mostró un comportamiento estable y aceptable. El 15% en excelente demostró que cuando se utiliza lija su comportamiento puede ser excelente, alcanzando una buena calidad en el torneado. El torneado de cedro de la India presenta una buena trabajabilidad en general, el porcentaje de regular solo demuestra que con buen afilado y utilizando lija esta madera puede tener un mejor acabado.

## 5.4. Resultados de antecedentes de investigaciones previas.

### 5.4.1. Calidad de la madera de los árboles de sombra (Bárcenas & Ordoñez, 2008).

Propiedades físicas		
Propiedad	Valor reportado	Clasificación
Densidad relativa (g/cm <sup>3</sup> )	0.45	Moderado ligera
Contracciones	–	Medias

Trabajabilidad	
Proceso	Clasificación
Escopleado	Excelente
Moldurado	Bueno
Cepillado	Excelente

### 5.4.2. Caracterización físico-mecánica de la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* (Tello, 2009).

Densidad básica g/cm <sup>3</sup>		0,49	Media
Contracción %	Radial	3,75	Baja
	Tangencial	7,09	Media
	Longitudinal	5,07	Alta

Propiedades mecánicas			
Esfuerzo		Media	Clasificación
Flexión Estática kg/cm <sup>2</sup>	SLP	678.5	Media
	R	853.18	Media
	E	136,119.60	Media
Compresión paralela al grano kg/cm <sup>2</sup>	SLP	433.12	Media
	R	506.95	Media
	E	51,130.55	Media
Compresión perpendicular kg/cm <sup>2</sup>	SLP	108.02	Media

SLP	Esfuerzo al límite de proporcionalidad
R	Módulo de ruptura
E	Módulo de elasticidad
S máx	Esfuerzo máximo

**5.4.3. *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn. Especie de rápido crecimiento inicial, buena forma y madera de usos múltiples (Whitmore & Otárola T, 1976).**

Propiedad	Resultado
Peso específico promedio g/cm <sup>3</sup>	0.62

**5.4.4. Caracterización física, química y mecánica de *Acrocarpus fraxinifolius* cultivada en Sao Paulo (De Oliveira et al., 2021).**

Propiedad	Valor reportado	Calificación
Densidad básica (kg/m <sup>3</sup> )	391 (0.39 g/cm <sup>3</sup> )	Baja
Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	502 (0.50 g/cm <sup>3</sup> )	–
Coefficiente de anisotropía	2.09%	Moderada estabilidad dimensional
Mecánicas		
Compresión paralela (MPa)	21.46 (≈218.7 kg/cm <sup>2</sup> )	Similar a media
MOE paralelo (MPa)	8962	Adecuada para aplicaciones ligeras

## 5.5. Comparación de propiedades físicas, mecánicas y de trabajabilidad con estudios previos.

### 5.5.1. Comparación de propiedades físicas de la especie con investigaciones anteriores.

**Tabla 15.** Tabla comparativa de propiedades físicas de la especie contra investigaciones anteriores.

Propiedad	Propiedades físicas				
	Esta investigación (2025)	Bárcenas & Ordoñez (2008, México)	Tello (2009, México)	Whitmore & Otárola (1976, Costa Rica)	De Oliveira et al. (2021, Brasil)
Densidad básica (g/cm <sup>3</sup> )	0.46 (Media)	0.45 (Media)	0.49 (Media)	0.62 (Pesada)	0.39 (Baja)
Contracción radial (%)	3.54 (Baja)	–	3.75 (Baja)	–	–

<b>Contracción tangencial (%)</b>	5.52 (Media)	–	7.09 (Media)	–	–
<b>Relación T/R</b>	1.56 (Estable)	–	1.89	–	–
<b>Coef. contracción volumétrica (Ccv)</b>	0.22 (Muy estable)	–	–	–	2.09% anisotropía (moderada estabilidad)

La especie evaluada tiene diferencias encontradas en sistema agroforestal y las consultadas en otros contextos. La densidad obtenida en este estudio está en el rango de la misma categoría de madera media en la mayoría de las investigaciones previas, sin embargo, existen antecedentes en las que se obtuvo la densidad como más pesada o baja. Por el sitio de crecimiento y la edad de la madera, estos resultados podrían estar influenciados.

En cuanto, a las contracciones los resultados tienen semejanzas con las investigaciones ya reportadas, ya que la contracción radial en este estudio es reportada como media, también en otro antecedente. De igual manera, la contracción tangencial está en el rango de media, aunque los resultados ligeramente más bajos para esta investigación. Lo que hace una relación tangencial-radial más favorable, con menos incidencia a deformaciones.

De acuerdo, a los resultados obtenidos en esta investigación el Ccv clasifica esta madera muy estable, sin embargo, en el estudio De Oliveira *et al.* (2021), se reporta como estabilidad moderada.

### **5.5.2. Comparación de propiedades mecánicas de la especie con investigaciones previas.**

La comparación de las propiedades mecánicas se realizó con los antecedentes de Tello (2009) y De Oliveira *et al.* (2021), ya que fueron realizados bajo la Norma ASTM D143-94<sup>7</sup>, al igual que esta investigación.

<sup>7</sup> D07 Committee. (s. f.). Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D0143-94>.

**Tabla 16.** Tabla comparativa de las propiedades mecánicas de *Acrocarpus fraxinifolius* en sistema agroforestal con cacao contra investigaciones previas.

Propiedades mecánicas			
Ensayo	Esta investigación (2025, Honduras)	Tello (2009, México)	De Oliveira et al. (2021, Brasil)
Flexión estática – ELP (kg/cm <sup>2</sup> )	623.74	678.5	–
Compresión paralela – ELP (kg/cm <sup>2</sup> )	196.41	433.12	218.7

El esfuerzo al límite proporcional para la prueba de flexión estática, en esta investigación fue ligeramente más bajo que el reportado por Tello en México, sin embargo, ambos valores están un rango similar, demuestra que la especie de *Acrocarpus fraxinifolius* tiene un comportamiento estable bajo diferentes condiciones de sitio y crecimiento.

En contraste, el esfuerzo al límite proporcional para la prueba de compresión paralela, los resultados varían entre investigaciones. Esta investigación fue más baja que la de Tello, pero cercana a la De Oliveira en Brasil.

La madera de *Acrocarpus fraxinifolius* en los datos de ambas pruebas demuestran que tiene un desempeño mecánicamente aceptable, con diferencias referibles principalmente al sitio de procedencia de la madera, el manejo de los árboles y el contenido de humedad cuando se realizaron las pruebas.

### 5.5.3. Comparación de trabajabilidad de la especie con investigaciones previas.

La comparación de trabajabilidad se realizó con las pruebas de trabajabilidad ejecutadas por Bárcenas & Ordoñez (2008), ya que tanto ambas investigación se realizaron bajo las Normas ASTM D1666-87<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> D07 Committee. (s. f.). Test Methods for Conducting Machining Tests of Wood and Wood-Base Panel Materials. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D1666-22>

**Tabla 17.** Tabla comparativa de la trabajabilidad de *Acrocarpus fraxinifolius* en sistema agroforestal con caco contra investigaciones previas.

Ensayo de trabajabilidad	Investigación propia (2025, Honduras)	Bárcenas & Ordoñez (2008, México)
Lijado	Muy bueno	–
Perforado (barrenado)	Muy bueno / Bueno	Muy pobre
Moldurado	Bueno	Bueno
Escopleado	Bueno / Muy bueno	Excelente
Clavado	Bueno	–
Cepillado	Excelente / Bueno	Excelente
Torneado	Bueno / Excelente	–

*Acrocarpus fraxinifolius* en sistema agroforestal demostró un desempeño provechoso en la mayoría de las pruebas de trabajabilidad. En esta investigación, la madera mostró un comportamiento muy bueno en lijado, perforado, y escopleado, mientras que Bárcenas reportó el perforado como muy pobre.

En los resultados de moldurado y escopleado, tuvieron clasificaciones semejantes que van de bueno a excelente para ambas investigaciones. La prueba de cepillado para ambas investigaciones se clasificó como excelente. En conjunto, se pudo observar que la madera en un sistema agroforestal presenta mejor comportamiento en los procesos de lijado, perforado y torneado. Mientras que en los procesos de moldurado, cepillado y escopleado se tuvieron resultados equivalentes.

## **5.6. Características macroscópicas de la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn.**

Su textura es de mediana a gruesa, el veteado es pronunciado, el hilo es recto, lo que favorece su trabajabilidad. Posee un brillo que oscila de medio a alto. No presenta olor, pero si sabor amargoso y un color amarillo cremoso.

## 5.6.1. Características estructurales

### 5.6.1.1. Porosidad

*Anexo 1. Porosidad madera Acrocarpus fraxinifolius Wight et Arn.*



Fuente: propia.

#### 5.6.1.1.1. Disposición de vasos.

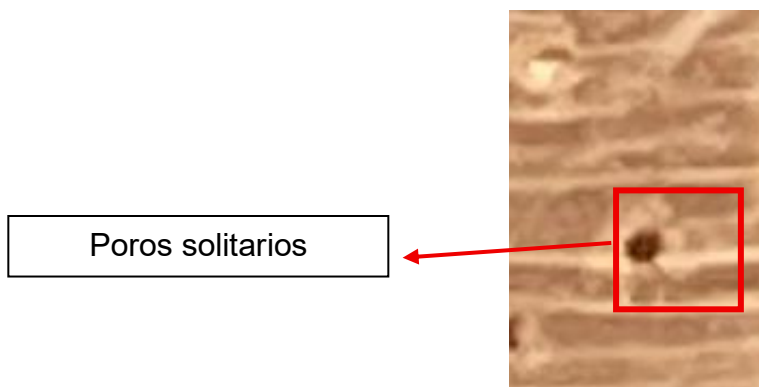
*Anexo 2. Poros difusos o dispersos de Acrocarpus fraxinifolius.*



Difusos o dispersos

Fuente: propia.

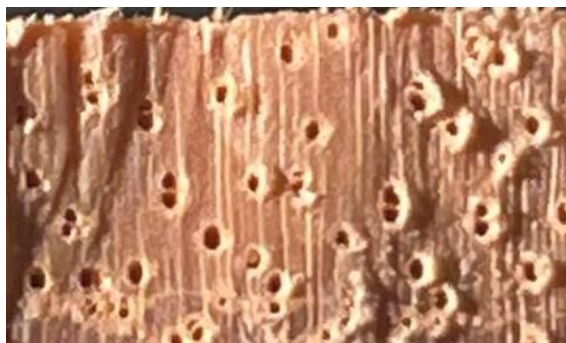
**Anexo 3.** *Poros solitarios presentes en Acrocarpus fraxinifolius.*



Fuente: propia.

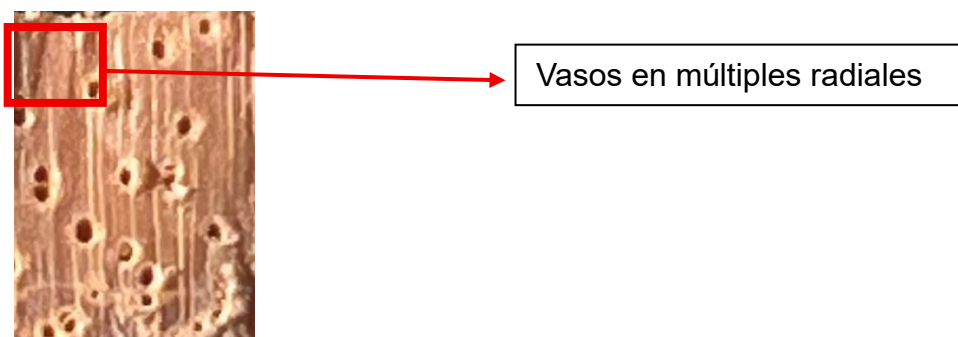
#### 5.6.1.1.2. Vasos en múltiples radiales

**Anexo 4.** *Disposición de vasos en la madera de Acrocarpus fraxinifolius.*



Fuente: propia.

**Anexo 5.** *Vasos múltiples radiales presente en la madera de Acrocarpus fraxinifolius*



Fuente: propia.

### 5.6.1.1.3. Vasos en grupos tangenciales

**Anexo 6.** Disposición de vasos en grupos tangenciales.



Fuente: propia.

**Anexo 7.** Eventuales grupos tangenciales presentes en la madera de *Acrocarpus fraxinifolius*.



Eventuales grupos tangenciales

Fuente: propia.

### 5.6.1.2. Anillos de crecimiento

**Anexo 8.** Anillos de crecimiento.

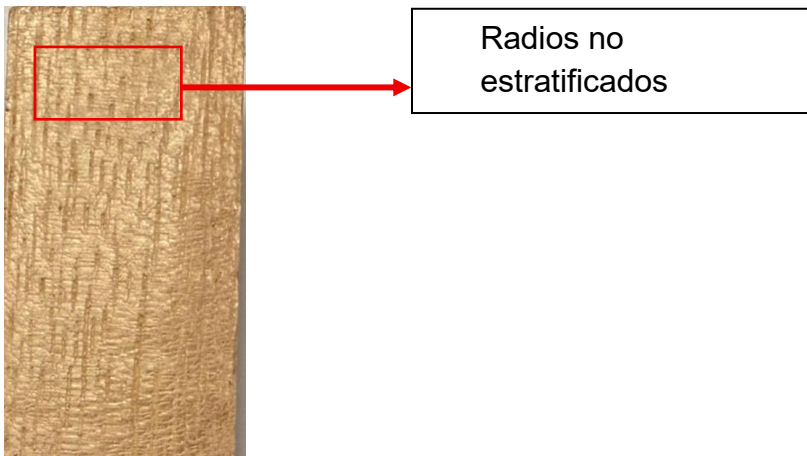


Madera de leño

Madera de leño

5.6.1.3. Radios  
5.6.1.3.1. Plano tangencial

**Anexo 9.** *Plano tangencial/ Radios no estratificados.*



Fuente: propia.

5.6.1.3.2. Plano transversal

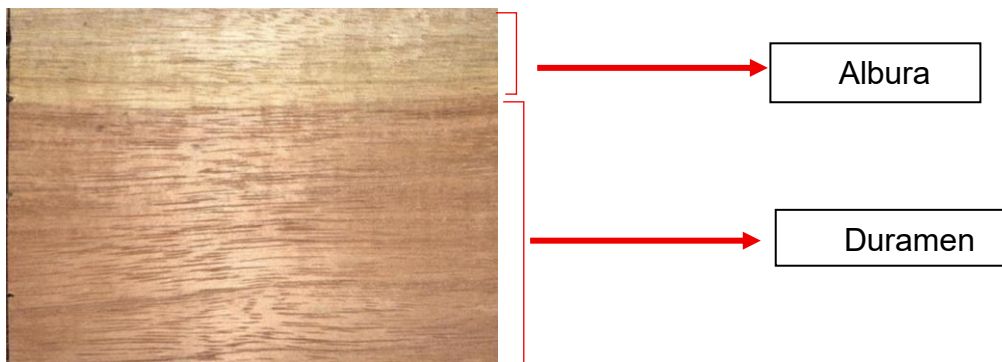
**Anexo 10.** *Plano transversal.*



Fuente: propia

#### 5.6.1.4. Duramen y albura

**Anexo 11.** Duramen y albura de *Acrocarpus fraxinifolius*.



Fuente: propia.

#### 5.6.2. Características organolépticas

- 5.6.2.1. Olor  
No distintivo
- 5.6.2.2. Sabor  
Amargo
- 5.6.2.3. Color  
Amarillo cremoso



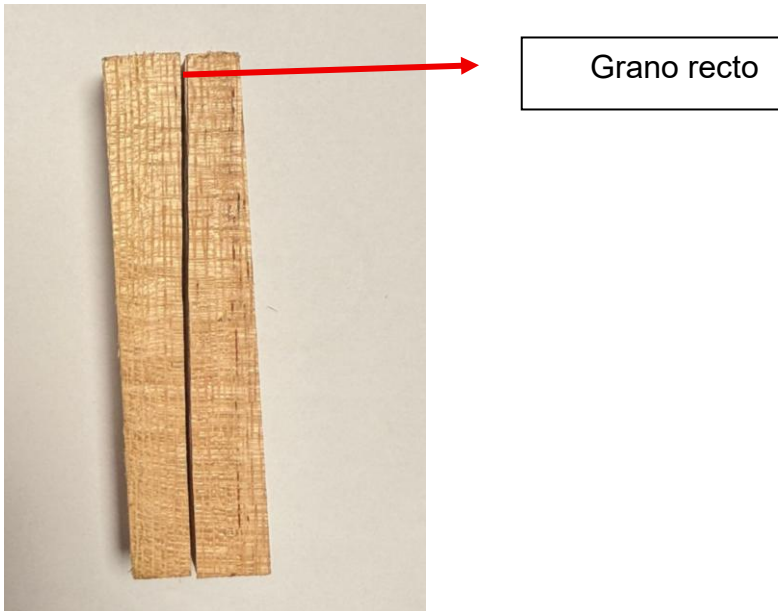
**Anexo 12.** Color de la madera de *Acrocarpus fraxinifolius*.

Codigo HTML: **R255, G226, B175**

- 5.6.2.4. Textura  
Mediana a gruesa

### 5.6.2.5. Hilo, grano o friba

**Anexo 13.** Grano recto de la madera de *Acrocarpus fraxinifolius*.



Fuente: propia.

## CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

El análisis de las propiedades físicas de la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* en sistema agroforestal con caco indicó que la densidad básica fue de  $0.46 \text{ g/cm}^3$ , la cual tiene semejanza con los resultados de las demás investigaciones, clasificándola como media. Aunque difiere con lo reportado por Whitmore & Otárola T (1976), que presento un valor alto de  $0.62 \text{ g/cm}^3$  clasificándola como semipesada y De Oliveira *et al.* (2021), que la clasifica como baja por su resultado de  $0.39 \text{ g/cm}^3$ .

En cuanto a la contracción tangencial y radial, los resultados obtenidos en este estudio (5.52% y 3.54% respectivamente) resultaron por debajo de los reportados por Tello (2009), de las cuales resulta una relación T/R de 1.56, más significativo para la estabilidad dimensional. Esta relación demuestra una baja tendencia a deformaciones, lo cual favorece las posibilidades de uso para artículos que requieren acabados finos. El coeficiente de contracción volumétrica ( $C_{cv}=0.22$ ), robustece esta condición, ya que la clasifica como muy estable. Mediante este ensayo la especie presenta un buen comportamiento frente a cambios de humedad, y es apta para diferentes aplicaciones que requieren estabilidad, como muebles e interiores.

De acuerdo a Bárcenas (1985), la madera de cedro de la India puede usarse en: muebles, recubrimientos, pisos, instrumentos musicales, aparatos científicos, puertas, ventanas deslizantes, acabados finos, construcción de interior y chapas.

Con relación a las propiedades mecánicas, las diferencias observadas entre la especie en sistema agroforestal y la especie proveniente en ambiente naturales resultan más significativa que las pruebas físicas. En la prueba de flexión estática, el esfuerzo al límite proporcional calculado fue de  $623.74 \text{ kg/cm}^2$ , clasificado como alto, mientras que Tello (2009) lo clasificó como medio. En la compresión paralela, el esfuerzo al límite proporcional fue de  $196.41 \text{ kg/cm}^2$ , clasificado como medio, sin embargo, es inferior a los resultados de Tello (2009),

pero semejante al De Oliveira *et al.* (2021), lo que refleja que esta propiedad varía significativamente según el sitio de procedencia y contenido de humedad. Estas diferencias permiten determinar que la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* en sistemas agroforestales muestra un desempeño mecánicamente aceptable, aunque con condicionantes en comprensión paralela contra otras investigaciones.

En lo que respecta a las pruebas de trabajabilidad, la madera demostró un buen comportamiento de las pruebas realizadas. En el lijado, alcanzó el 90% en muy bueno. Lo que indicó que para esta madera es recomendable lijas de grano fino. En cuanto a la prueba de perforado, el diámetro de broca 7/8" presentó el mejor desempeño. La especie responde satisfactoriamente al maquinado, ya que en las pruebas de moldurado y escopleado los resultados se clasificaron como buenos y muy buenos. Para la prueba de clavado se recomienda que haya pre-taladrado para los clavos de 3" de esta forma no produzcan rajaduras abiertas, mientras que las longitudes de 1" y 2" no presentaron defectos.

En cepillado y torneado, los resultados fueron positivos de buenos a excelentes, enfatizando que con un buen afilado de herramientas se pueden lograr acabados satisfactorios. Esta investigación se observa que tiene mejor comportamiento en perforado al comparar con el ensayo de Bárcenas & Ordoñez (2008), pero resultados similares en cepillado y moldurado. La hace una especie que presenta ventajas en procesos de trabajabilidad.

En general, la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* demostró propiedades físicas y mecánicas aceptables, con una trabajabilidad adecuada, lo que la destaca como una especie con potencial para ser utilizada en la elaboración de muebles, acabados interiores, recubrimientos, pisos, ebanistería y elementos constructivos ligeros.

## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones

Se analizaron las propiedades físicas de la madera de *Acrocarpus fraxinifolius*, se determinó la densidad básica, las contracciones y el contenido de humedad, lo que favoreció para analizar el comportamiento de la especie frente a estas pruebas y su estabilidad dimensional. Los resultados obtenidos mostraron que es una madera estable por su coeficiente de contracción y que tiene poca tendencia a deformaciones.

Se evaluaron las propiedades mecánicas que permiten conocer hasta que fuerza la madera soporta antes de presentar incidencia a fallas. En flexión estática, el esfuerzo al límite proporcional se clasificó como alta, y en la prueba de compresión paralela se clasificó como media para su esfuerzo al límite proporcional. Lo que afirma que la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* procedente de sistemas agroforestales es resistente. En general, los valores mecánicos obtenidos muestran que este tipo de madera presenta un desempeño o comportamiento aceptable.

Se examinaron las pruebas de trabajabilidad que se llevaron a cabo, como lijado, perforado, escopleado, cepillado, torneado y clavado, mediante las cuales la madera presentó resultados positivos, predominando los parámetros de muy bueno y bueno. Se observó un buen comportamiento en los diferentes procesos de trabajabilidad y se puede potenciar y utilizar esta madera.

También se determinaron los usos potenciales que se le pueden dar a esta madera, siendo muebles, recubrimientos, pisos, instrumentos musicales, aparatos científicos, puertas, ventanas deslizantes, acabados finos, construcción de interior y chapas.

Por último, se compararon los resultados de esta investigación con los resultados de investigaciones anteriores acerca de *Acrocarpus fraxinifolius*, en la

que se demostró que hay diferencias en madera de sistemas agroforestales con cacao con las de especie de diferentes investigaciones.

Dichas diferencias pueden estar relacionado con factores como las condiciones calidad de sitio del área de crecimiento, clima y contenido de humedad al realizar las pruebas y sitio de procedencia de la madera. El origen de la especie influye en sus características, porque el crecimiento rápido en volumen que es superior a  $0.7 \text{ m}^3/\text{árbol}$  entre los 14 y 22 años (FHIA, 2023b). Con esto se puede concluir que la madera de *Acrocarpus fraxinifolius* en sistemas agroforestales con cacao presenta un desempeño semejante, pero no igual, a la de las otras investigaciones.

## 7.2. Recomendaciones

Es recomendable seguir investigando con un mayor número de árboles, también realizar una investigación con madera procedente de un ambiente natural. Construir una base más amplia de datos permitirá establecer con mayor veracidad el potencial de la especie en diferentes condiciones.

Se sugiere que en futuras investigaciones se realicen pruebas de análisis más específicos de las propiedades mecánicas, especialmente del módulo de elasticidad (MOE) y del módulo de ruptura (MOR) en las diferentes pruebas como la de flexión estática, comprensión paralela y comprensión perpendicular. Estos parámetros robustecerán la información y la base de datos para este tipo de madera.

Se debe considerar que esta investigación se realizó con un porcentaje de humedad de 18.38%, lo que significa que se trabajó con madera en estado seca al aire y en condiciones ambientales propias de la ciudad de Siguatepeque, Comayagua, Honduras; por lo tanto, los resultados pueden variar. Es importante normalizar o ajustar los resultados mecánicos a un contenido de humedad del 12% o también realizar pruebas en diferentes niveles de humedad, de esta manera se facilitarían la comparación directa con investigaciones.

Con respecto con la trabajabilidad, se aconseja el uso de herramientas apropiadas con buen filo, Se obtuvo un buen resultado con el proceso de lijado que para tener mejores acabados se utilicen lijas de grano fino. Particularmente en la prueba de clavado, se utilicen tornillos en lugar de clavos, ya que este método permitirá una mejor apreciación del comportamiento de la madera en aplicaciones de carpintería y ensamble.

Asimismo, se aconseja que, una vez la madera haya sido aserrada, se tomen precauciones ante su susceptibilidad al ataque de insectos barrenadores.

Se recomienda realizar una investigación dentro de un período de aproximadamente diez años, con el propósito de evaluar la evolución de las propiedades físicas, mecánicas y de trabajabilidad de la madera *Acrocarpus fraxinifolius* establecida en sistemas agroforestales. Este seguimiento permitiría determinar como influyen el crecimiento, la edad del árbol y las condiciones ambientales a largo plazo en la calidad tecnológica de la madera.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM International. (2014). *ASTM DE143-14: Standard test methods for small clear specimens of timber*. <https://doi.org/10.1520/D0143-14>
- ASTM International. (2017). *ASTM D1666-17: Standard test methods for conducting machining tests of wood and wood -based panel materials*.
- ASTM International. (2020). <https://la.astm.org/es/standards/translations/>
- Bárcenas, G. (1985). *Recomendaciones para el uso de 80 maderas de acuerdo con su estabilidad dimensional* (No. (Nota Técnica No. 11).).
- Bárcenas, G., & Ordoñez, V. (2008). Calidad de la madera de los árboles de sombra. En *AGROECOSISTEMAS CAFETALEROS DE VERACRUZ BIODIVERSIDAD, MANEJO Y CONSERVACIÓN*.
- Becerra, V., Alberca, E., Díaz, J., & Diaz, K. (2023). (PDF) *Evaluación de la trabajabilidad de la madera de Columbrina glandulosa*. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/373923984\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_trabajabilidad\\_de\\_la\\_madera\\_de\\_Columbrina\\_glandulosa](https://www.researchgate.net/publication/373923984_Evaluacion_de_la_trabajabilidad_de_la_madera_de_Columbrina_glandulosa)
- Benítez, R., & Montesinos, J. (1988). *Catálogo de las cien especies forestales de Honduras: Distribución, Propiedades y Uso*.
- Coronel, E. (1994). *Coronel—Maderas I | PDF*. Scribd. <https://www.scribd.com/document/603394960/Coronel-Maderas-i>
- De Oliveira, K. A., Barros Oliveira, C. A., & Molina, J. C. (2021). Physical, chemical and mechanical characterization of *Acrocarpus fraxinifolius* cultivated in Sao Paulo. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 24. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2022000100409>

- Delgado, S. P. S. (2019). *JIPIJAPA- MANABÍ- ECUADOR*.
- FAO. (2014). *Los Sistemas Agroforestales, una contribución para la Seguridad Alimentaria y el Cambio Climático | Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA) Centroamérica | Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Los Sistemas Agroforestales, una contribución para la Seguridad Alimentaria y el Cambio Climático. <https://www.fao.org/in-action/pesa-centroamerica/noticias/detail-events/en/c/277565/>
- FAO PESA Centroamérica. (2021). *Establecimiento de sistemas agroforestales | FAO*. <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1619492/>
- FHIA. (2023a). *Fundación Hondureña de Investigación Agrícola*. [http://www.fhia.org.hn/descargas/informes\\_tecnicos/inf\\_Programa\\_de\\_Cacao\\_y\\_Agroforesteria-2023.pdf](http://www.fhia.org.hn/descargas/informes_tecnicos/inf_Programa_de_Cacao_y_Agroforesteria-2023.pdf)
- FHIA. (2023b). *Programa de Cacao y Agroforestería: Informe Técnico 2023* (p. 44). Fundación Hondureña de la Investigación Agrícola. [https://fhia.org.hn/wp-content/uploads/inf\\_Programa\\_de\\_Cacao\\_y\\_Agroforesteria-2023.pdf](https://fhia.org.hn/wp-content/uploads/inf_Programa_de_Cacao_y_Agroforesteria-2023.pdf)
- Figuroa, A. (2007). *Variación de densidad básica en la madera de Pinus taeda L.* <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fiff475v/doc/fiff475v.pdf>
- Fuentes-Talavera, F. J., Silva-Guzmán, J. A., Lomelí-Ramírez, M. G., Richter, H. G., & Sanjuán-Dueñas, R. (2002). COMPORTAMIENTO HIGROSCÓPICO DE LA MADERA DE. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*.

- Israel Gómez Sánchez, & Omar Trujillo Santos, Arturo García Valencia, Rafael Rodríguez Mesa. (2019). *FICHAS DE PROPAGACIÓN DE ÁRBOLES CLAVE PARA LA RESTAURACIÓN*.  
[https://revivemx.org/Recursos/Fichas\\_propagacion/FichaPropagacion\\_F4\\_Acrocarpus\\_fraxinifolius\\_CedroRosado.pdf](https://revivemx.org/Recursos/Fichas_propagacion/FichaPropagacion_F4_Acrocarpus_fraxinifolius_CedroRosado.pdf)
- Maderero, D. D. F. (2012, marzo 23). El Cedro Rosado de la India. *Forestal Maderero*. <https://www.forestmaderero.com/articulos/item/el-cedro-rosado-de-la-india.html>
- Martínez, J., & Martínez, E. (1994). *Vista de Características de maquinado de 32 especies de madera*.  
<https://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/1392/1560>
- Mier Simental, D. (2013). *Aplicaciones de la madera en ingeniería y métodos de su preservación* [Instituto Politécnico Nacional].  
<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/16921/1/25-1-16554.pdf>
- Mvondo, R., Meukam, P., Jeong, J., Meneses, D., & Nkeng, G. (2017). Influence of water content on the mechanical and chemical properties of tropical wood species. *Results in Physics*, 7.  
<https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.06.025>
- Navar, J. (2016). Methods of Assessment of Aboveground Tree Biomass. *Biomass*. <https://doi.org/10.5772/9768>
- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R., & Anthony. (2009). *Acrocarpus fraxinifolius*.

[https://apps.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Acrocarpus\\_fraxinifolius.PDF](https://apps.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Acrocarpus_fraxinifolius.PDF)

Pimentel, D. (2021). *VARIABILIDAD DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE "SHALLUCHE" (Miconia minutiflora (Blonpl.) DC, MELASTOMATACEAE) PROVENIENTES DEL CASERÍO DE MACORA, CHINCHAO-HUÁNUCO.*

<https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/72f7bf75-c6fb-48b1-8da9-ae025dc6eb32/content>

Roja, M., & Yayselin, S. (2024). *PROPIEDADES FÍSICAS DE DOS ESPECIES Cecropia utcumbambana y Cecropia engelerina, (CETICO), LEONCIO PRADO.*

Rural, S. de A. y D. (2020). *Sistemas Agroforestales, alternativa multifuncional de vida.* gob.mx. <http://www.gob.mx/agricultura/articulos/sistemas-agroforestales-alternativa-multifuncional-de-vida?idiom=es>

Santos, A., Silva, D., Pereira, A., Farinassi, R., & Marin, L. (2019). Physical-mechanical Properties of Plywood Produced with *Acrocarpus fraxinifolius* and *Pinus oocarpa*. *Floresta e Ambiente.*

Sotomayor, J. (1987). *CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y CLASIFICACIÓN DE LA MADERA DE 150 ESPECIES MEXICANAS.* Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Suirezs, T., & Berger, G. (2009). *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](https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos_digitales/f5_978-950-579-154-5.pdf)

Tello, J. C. C. (2009). *CARACTERIZACION FISICO MECANICA DE LA MADERA DE ACROCARPUS FRAXINIFOLIUS*.

Umlandt, M., Jiménez, V., Benítez, F., Pan, E., Medina, J., Ruiz, A., Fernández, L., & Ludueña, Á. (2022). *FUNDAMENTOS TEÓRICOS-PRÁCTICOS DE LAS 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>

Whitmore, J. L., & Otárola T, A. (1976). *Acrocarpus fraxinifolius Wight, especie de rápido crecimiento inicial, buena forma y madera de usos múltiples*.  
<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/12601>

Wielemaker, W. G. (1992). *Generación y aplicación de la información de suelos de la Zona Atlántica de Costa Rica*. Bib. Orton IICA / CATIE.

Zepeda, R. F. (2008). Construcción sostenible y madera: Realidades, mitos y oportunidades. *Tecnología en Marcha*, 21(4), 92-101.

## ANEXOS

**Anexo 14:** Árboles del sistema agroforestal *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn y Cacao.



**Anexo 15.** Madera aserrada en tablas de la especie de *Acrocarpus fraxinifolius*



**Anexo 16** Marcación y sumersión de probetas para pruebas físicas.



**Anexo 17.** Medición de probetas para pruebas físicas.



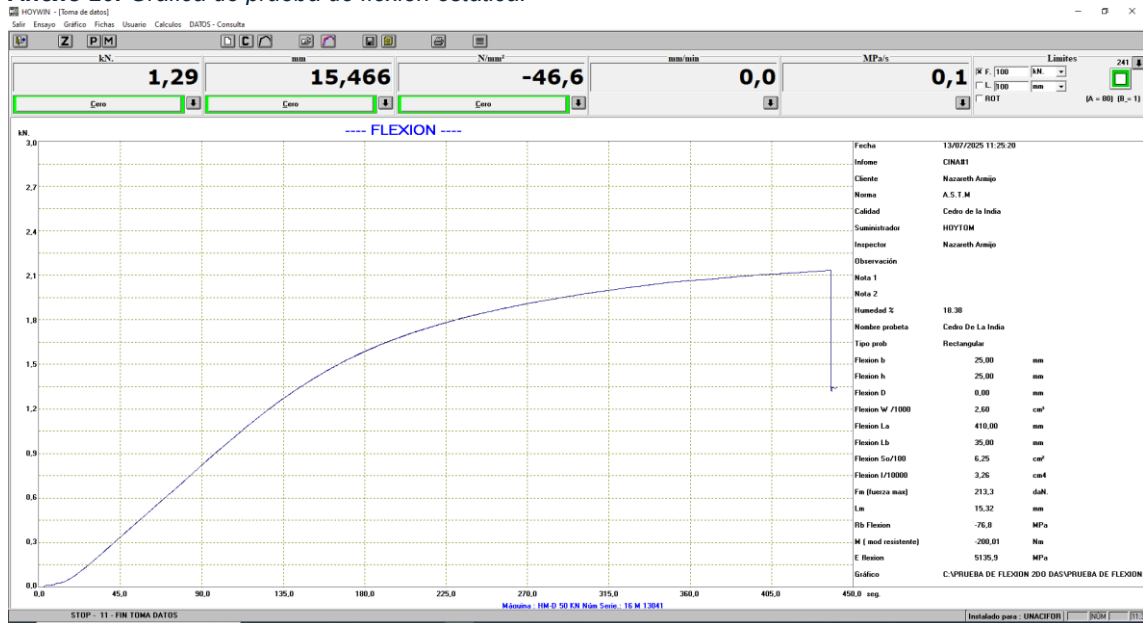
**Anexo 18.** Marcación de probetas para la ejecución de prueba mecánica.



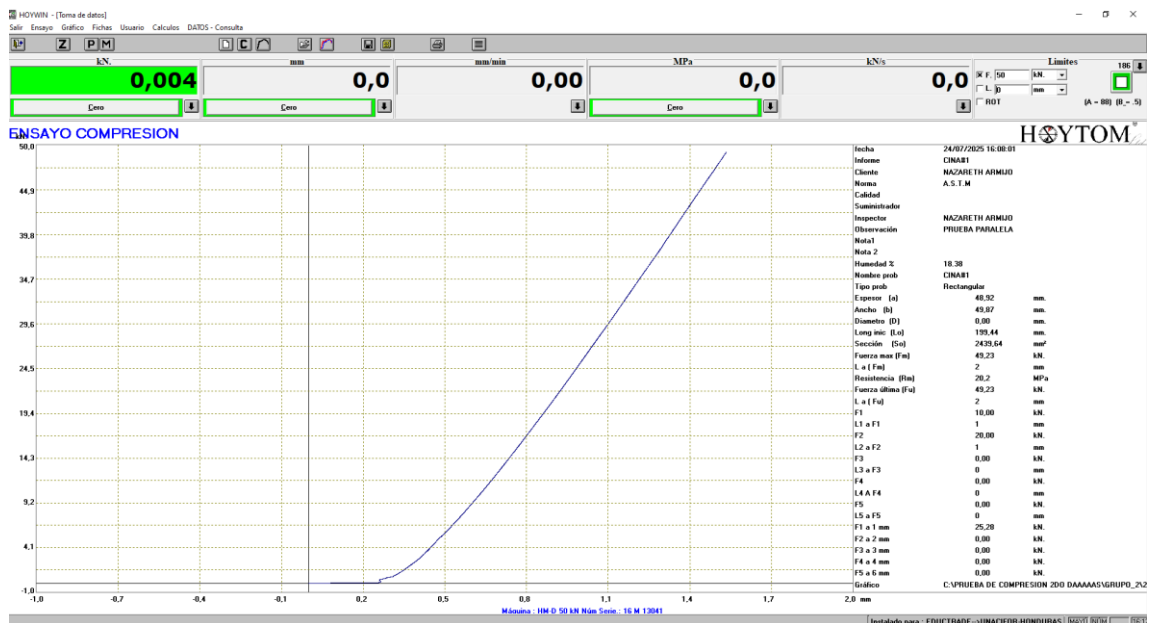
Anexo 19. Ejecución de pruebas físicas y mecánicas.



Anexo 20. Gráfica de prueba de flexión estática.



**Anexo 21. Gráfica de prueba de compresión paralela.**



**Anexo 22. Marcación y ejecución de prueba de trabajabilidad de clavado.**



*Anexo 23. Marcación y ejecución de prueba de torneado.*



**Anexo 24.** Ejecución de pruebas de perforado.



**Anexo 25.** Ejecución de prueba de escopleado.



**Anexo 26.** Ejecución de prueba de moldurado.



**Anexo 27.** Prueba de lijado.



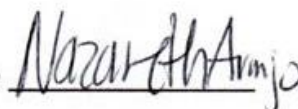
**Anexo 28.** Tabla de las normas ASTM utilizadas para la realización de las pruebas.

<b>Categoría</b>	<b>Norma ASTM</b>	<b>Descripción</b>
<b>Pruebas físicas</b>	ASTM D143-94	D07 Committee. (s. f.). Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. ASTM International. <a href="https://doi.org/10.1520/D0143-94">https://doi.org/10.1520/D0143-94</a> .
	ASTM D4442	<i>Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Based Materials.</i> Métodos para determinar el contenido de humedad.
<b>Pruebas mecánicas</b>	ASTM D143	<i>Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber.</i> Incluye compresión paralela y perpendicular, flexión estática, cizalladura, tensión y dureza en probetas pequeñas claras. (ASTM International, 2014).
	ASTM D4761	<i>Standard Test Methods for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material.</i> Ensayos de flexión, compresión, tensión y módulo de elasticidad en piezas estructurales.
<b>Pruebas de trabajabilidad</b>	ASTM D1666	<i>Standard Test Methods for Conducting Machining Tests of Wood and Wood-Based Panel Materials.</i> Ensayos de cepillado, moldurado, taladrado, torneado y lijado para evaluar maquinado y calidad de superficie. (ASTM International, 2017)

## DECLARACIÓN

Yo, Nazareth Ibeth Armijo Romero, 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 Y ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MADERA DE LA ESPECIE *Acrocarpus fraxinifolius* Wight et Arn., 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.

Nombre y firma del estudiante: Nazareth Ibeth Armijo Romero



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