

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CIENCIAS FORESTALES  
UNACIFOR**

**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**



**TESIS DE GRADO**

**DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y DE  
TRABAJABILIDAD DE LA MADERA DE LA ESPECIE *Ilex tectonica* W. Hahn  
EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO EN LA MASICA,  
ATLÁNTIDA, HONDURAS**

**NOMBRE DEL TESISISTA:**

**WILMAN ONVANY DIAZ FLORES**

**ASESOR DE TESIS**

**Ing. RENÉ FERNANDO BENÍTEZ RAMOS**

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

**INGENIERO EN CIENCIAS FORESTALES**

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

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CIENCIAS FORESTALES  
UNACIFOR

ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES



TESIS DE GRADO

DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y DE  
TRABAJABILIDAD DE LA MADERA DE LA ESPECIE *Ilex tectonica* W. Hahn  
EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO EN LA MASICA,  
ATLÁNTIDA, HONDURAS

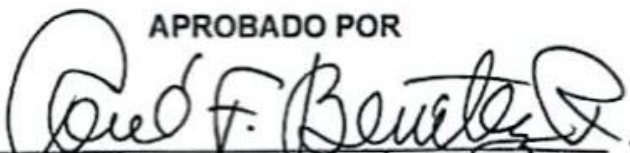
NOMBRE DEL TESISISTA:

WILMAN ONVANY DIAZ FLORES

TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN CIENCIAS FORESTALES

APROBADO POR



---

Ing. RENÉ FERNANDO BENÍTEZ RAMOS

ASESOR DE TESIS



---

PhD. JOSÉ FIDEL ALVARADO SÁNCHEZ  
VICERRECTOR ACADÉMICO

SIGUATEPEQUE, COMAYAGUA, HONDURAS C.A  
NOVIEMBRE, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CIENCIAS FORESTALES

UNACIFOR

TESIS DE GRADO

DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y DE  
TRABAJABILIDAD DE LA MADERA DE LA ESPECIE *Ilex tectonica* W. Hahn  
EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO EN LA MASICA,  
ATLÁNTIDA, HONDURAS

NOMBRE DEL TESISISTA:

WILMAN ONVANY DIAZ FLORES

APROBADO POR

MIEMBROS INTEGRANTES DE LA TERNA EVALUADORA:



Ing. RENÉ FERNANDO BENÍTEZ RAMOS

ASESOR DE TESIS



MSc. JOSUÉ OMAR FLORES PINEDA  
REPRESENTANTE DE LA ESCUELA



MSc. ANDREA LETICIA AGUILAR MARTÍNEZ  
REPRESENTANTE DE LA COMISIÓN DE TESIS

SIGUATEPEQUE, COMAYAGUA, HONDURAS C.A  
NOVIEMBRE, 2025

## AUTORIZACIÓN

El autor, **Wilman Onvany Diaz Flores** cede a la UNACIFOR los derechos patrimoniales sobre esta obra en la medida necesaria para sus actividades habituales en la época de creación, incluyendo su potencial publicación del artículo científico en la Revista TATASCAN, lo que implica, igualmente, la autorización para su divulgación con fines académicos. Es entendido que la publicación o copiado de esta tesis para ganancia económica no es permitido sin el permiso por escrito del tesista y del investigador que proporcionó la idea original del tema la **Fundación Hondureña de Investigación Agrícola** que proporcionó la idea

Nombre y firma del estudiante:

Wilman Onvany Diaz Flores

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'W. Onvany D. Flores', written in a cursive style.

Lugar y fecha:

Siguetepeque, Comayagua, noviembre de 2025

## DEDICATORIA

Le dedico este gran esfuerzo a mis pilares fundamentales, que son mis padres; ellos han constituido un esfuerzo constante hacia mi preparación profesional y, por lo tanto, ellos siempre han destacado significativamente en el trayecto de mi vida. He contado con el gran apoyo de mis hermanos; ellos han intervenido en este proceso de formación académica de una manera muy primordial. Gracias a ellos soy la una persona destacada y un profesional de gran categoría; es un honor contar con personas tan especiales en mi vida, donde cada día elevo una oración suplicándole a mi Dios que los proteja y los cubra con su manto.

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, quiero agradecerle a mi Dios por haberme permitido seguir este camino y haberlo culminado, siendo mi guía en este trayecto académico.

Le agradezco a mis padres por haberme brindado ese apoyo tan esencial; deseo reconocer mi agradecimiento a mis hermanos Norman y Alens por ser personas que siempre están presentes para mí en cualquier situación. Ellos han formado parte muy importante de mi formación académica.

Le agradezco al Ing. Rene Benítez por el gran apoyo hacia esta investigación, agradecerle de antemano por todas sus instrucciones y conocimientos brindados. Gracias por habernos ayudado de una manera muy amable y servicial.

A mis colegas Dunia, Milton, Yahir, Melissa, Oscar, Alejandra y Nazareth, por ser buenos compañeros de investigación y por todo el apoyo brindado durante esta exploración.

A la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola por la ayuda significativa para la realización de este estudio, brindando los medios necesarios para su ejecución.

## RESUMEN

El objetivo principal de este estudio es determinar las propiedades físico-mecánicas de la especie *Ilex tectonica* W. Hahn de un sistema agroforestal para establecer una comparación con estudios seleccionados de la especie en su entorno natural, con el propósito de ver si hay diferencias significativas en cuanto a sus propiedades evaluadas. Esta comparación permitirá determinar la viabilidad del sistema agroforestal, catalogándolo como una alternativa de uso productivo o limitando su potencial. Para la determinación de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad se utilizaron las normas estandarizadas ASTM D143-94 y ASTM D1666. Los resultados obtenidos de las pruebas físicas muestran diferencias, pero no significativas. Según los resultados, esta especie posee una densidad ligera con contracciones de nivel bajo; esto indica que posee un comportamiento dimensional estable. Las propiedades mecánicas, en compresión paralela y perpendicular muestra diferencias, pero no están alejadas de los estudios previamente seleccionados. En esta situación, se mostró que las compresiones paralelas y perpendiculares a la fibra muestra un rango bajo, mientras que en flexión estática mostró un elevado MOR en relación al estudio de la especie en su hábitat natural. Esto modifica el uso potencial de la especie, indicando que esta madera tiene un buen desempeño en esfuerzos de flexión, pero tiene una baja capacidad para resistir fuerzas directas debido a su baja compresión. Los resultados de pruebas de trabajabilidad mostraron que la especie es muy fácil para trabajar y excelente para el uso de herramientas eléctricas y manuales. La especie *Ilex tectonica* W. Hahn muestra una buena viabilidad para los usos potenciales; esto caracteriza que los sistemas agroforestales potencializan la especie debido al manejo silvícola proporcionado y hace ver la importancia de la integración de estos sistemas productivos como alternativas que sustentan y contribuyen al desarrollo rural.

**Palabras clave:** Propiedades físicas, propiedades mecánicas, trabajabilidad sistemas agroforestales, normas ASTM.

## ABSTRACT

The main objective of this study is to determine the physical and mechanical properties of the species *Ilex tectonica* W. Hahn from an agroforestry system in order to compare them with selected studies of the species in its natural environment, with the aim of seeing if there are significant differences in terms of the properties evaluated. This comparison will allow the viability of the agroforestry system to be determined, classifying it as an alternative for productive use or limiting its potential. The standardized ASTM D143-94 and ASTM D1666 standards were used to determine the physical-mechanical and workability properties. The results obtained from the physical tests show differences, but these are not significant. According to the results, this species has a low density with low shrinkage, indicating that it has stable dimensional behavior. The mechanical properties, in parallel and perpendicular compression, show differences, but they are not far from the previously selected studies. In this situation, it was shown that compression parallel and perpendicular to the grain showed a low range, while static bending showed a high MOR in relation to the study of the species in its natural habitat. This modifies the potential use of the species, indicating that this wood performs well under bending stress but has a low capacity to resist direct forces due to its low compression. The results of workability tests showed that the species is very easy to work with and excellent for the use of power and hand tools. The species *Ilex tectonica* W. Hahn shows good viability for potential uses; this characterizes that agroforestry systems enhance the species due to the silvicultural management provided and highlights the importance of integrating these productive systems as alternatives that sustain and contribute to rural development.

**Keywords:** Physical properties, mechanical properties, workability, agroforestry systems, ASTM standards.

## ÍNDICE GENERAL

<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>i</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>v</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO II. OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos .....	3
<b>CAPÍTULO III: REVISIÓN DE LA LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
3.1. Antecedentes.....	4
3.2. Bases teóricas .....	6
3.2.1. Descripción de la especie.....	6
3.3. Conceptos claves.....	8
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA</b> .....	<b>11</b>
4.1. Enfoque de la investigación .....	11
4.2. Alcance de la investigación.....	11
4.3. Hipótesis .....	11
4.4. Diseño de la investigación .....	11
4.5. Descripción del área de estudio.....	12
4.6. Población, muestreo y muestra.....	17
4.7. Operacionalización / categorización de variables .....	<b>18</b>
4.8. Procedimientos por objetivo.....	20
<b>CAPÍTULO V: RESULTADOS</b> .....	<b>32</b>
5.1. Propiedades físicas.....	<b>32</b>
5.1.1. Densidad.....	<b>32</b>
5.1.2. Contracción.....	<b>33</b>

5.1.2.1. Contracción volumétrica.....	34
5.1.2.2. Relación T/R .....	34
5.1.2.3. Contracción radial y tangencial .....	35
5.1.2.4. Coeficiente de contracción volumétrico.....	35
5.1.3. Contenido de humedad.....	36
5.2. Pruebas Mecánicas.....	38
5.2.1. Flexión estática .....	38
5.2.2. Compresión.....	39
5.2.2.1. Compresión paralela a la fibra .....	39
5.2.2.2. Compresión perpendicular .....	39
5.3. Pruebas de trabajabilidad .....	40
5.3.1. Perforado .....	41
5.3.2. Escopleado .....	42
5.3.3. Cepillado.....	42
5.3.4. Torneado.....	43
5.3.5. Moldurado .....	44
5.3.6. Clavado.....	45
5.3.7. Lijado .....	45
5.4. Usos potenciales de la especie <i>Ilex tectonica</i> W. Hahn según sus propiedades físicas .....	46
5.5. Usos potenciales de la madera <i>Ilex tectonica</i> W. Hahn según las propiedades mecánicas: .....	47
5.6. Usos potenciales de la madera <i>Ilex tectonica</i> W. Hahn según sus pruebas de trabajabilidad:.....	47
5.7. Comparación de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la especie <i>Ilex tectonica</i> W. Hahn basada en antecedentes investigativos de su entorno natural, con información recopilada de la especie establecida en sistema agroforestal.....	47
5.7.1. Comparación de propiedades físicas.....	47
5.7.2. Comparación de propiedades mecánicas .....	49
5.7.3. Comparación de propiedades de trabajabilidad.....	53

5.8. Otros resultados.....	54
5.8.1. Características Macroscópica de la especie <i>Ilex tectonica</i> W. Hahn.....	54
5.8.1.2. Anillos de crecimiento .....	56
5.5.1.3. Radios.....	57
5.8.1.4. Características organolépticas.....	57
5.8.1.4.1. Veteado.....	58
5.8.1.4.5. Color de la madera.....	58
5.8.1.4.7. Dureza .....	60
5.8.1.4.8. Brillo.....	60
<b>CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN .....</b>	<b>61</b>
<b>CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>65</b>
7.1. Conclusiones.....	65
7.2. Recomendaciones.....	67
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>69</b>
<b>DECLARACIÓN .....</b>	<b>80</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

Ilustración 1: Árboles de Ilex tectonica W. Hahn .....	12
Ilustración 2. Croquis del experimental y Demostrativo de Cacao- Jesús Alfonso Sánchez .....	14
Ilustración 3. Descripción de lotes establecidos.....	15
Ilustración 4. Mapa de Ubicación del SAF de Ilex tectonica W. Hahn .....	16
Ilustración 5: Mapa de Ubicación del Laboratorio de Madera y Carpintería de la UNACIFOR .....	16
Ilustración 6: Árbol a corta de la especie Ilex tectonica W. Hahn.....	20
Ilustración 7: Madera aserrada de Ilex tectonica W. Hahn .....	21
Ilustración 8: Secado de la madera al aire libre .....	21
Ilustración 9: Dimensiones de probetas físicas .....	22
Ilustración 10: Probetas para determinar la flexión estática Ilex tectonica W. Hahn	25
Ilustración 11: Preparación de la madera para la fabricación de probetas utilizadas para ensayos de trabajabilidad .....	27
Ilustración 12: Instrumentos utilizados para la realización de pruebas físicas (Horno, Balanza digital).....	28
Ilustración 13: Maquina HOYTOM para determinación de las propiedades mecánicas.....	29
Ilustración 14: Tamaño de brocas utilizados para las pruebas de perforado (1/2, 3/4, 3/8).....	29
Ilustración 15: Poros múltiples Ilex tectonica W. Hahn.....	55
Ilustración 16: Poro solitario Ilex tectonica W. Hahn .....	55
Ilustración 17: Porosidad difusa Ilex tectonica W. Hahn .....	56
Ilustración 18: Anillos de crecimiento de Ilex tectonica W. Hahn.....	56
Ilustración 19: Presencia de radios leñosos Ilex tectonica W. Hah .....	57
Ilustración 20: Color de la madera Ilex tectonica W. Hahn.....	58
Ilustración 21: Presencia del hilo o dirección de la fibra Ilex tectonica W. Hahn	59
Ilustración 22: Identificación de la dureza de la Ilex tectonica W. Hahn.....	60
Ilustración 23: Deteccion de brillo Ilex tectonica W. Hahn.....	60

Ilustración 24: Parcela agroforestal Ilex tectonica W, Hahn. ....	<b>75</b>
Ilustración 25: Medición de la madera aserrada del Ilex tectonica W. Hahn .....	<b>75</b>
Ilustración 26: Marcación y sumersión de probetas para pruebas físicas.....	<b>76</b>
Ilustración 27: Medición de probetas para pruebas físicas .....	<b>76</b>
Ilustración 28: Uso de la maquina HOYTON y medición de la probeta para ensayo mecánico (Compresión paralela).....	<b>77</b>
Ilustración 29: Ejecución de prueba mecánica (Flexión estática).....	<b>77</b>
Ilustración 30: Preparación de madera para ejecución de pruebas de trabajabilidad.....	<b>78</b>
Ilustración 31: Realización de pruebas de perforado y torneado .....	<b>78</b>
Ilustración 32: Grafica de prueba flexión estática .....	<b>79</b>
Ilustración 33: Datos de pruebas mecánicas (Flexión estática y compresión perpendicular y paralela).....	<b>79</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Información de los árboles de Ilex tectonica W. Hahn a aprovechar ...	17
Tabla 2: Fórmulas para propiedades físicas.....	23
Tabla 3: Fórmulas de propiedades mecánicas.....	26
Tabla 4: Resultados de densidad del Ilex tectonica W. Hahn.....	32
Tabla 5: Resultado de contracciones del Ilex tectonica W. Hahn.....	33
Tabla 6: Tabla para la clasificación de contracción volumétrica .....	34
Tabla 7: Clasificación de la madera según su relación T/R.....	34
Tabla 8: Clasificación de la madera según su porcentaje de contracción radial y tangencial.....	35
Tabla 9: Clasificación de madera según el Ccv.....	35
Tabla 10: Resultado de contenido de humedad del Ilex tectonica W. Hahn.....	36
Tabla 11: Tabla resumen de propiedades físicas.....	38
Tabla 12: Resultados principales de la flexión estática en Ilex tectonica W. Hahn	38
Tabla 13: Resultados de pruebas de compresión paralela a la fibra Ilex tectonica W. Hahn .....	39
Tabla 14: Resultados de pruebas de compresión perpendicular a la fibra Ilex tectonica W. Hahn.....	40
Tabla 15: Resultados de pruebas de trabajabilidad de la madera Ilex tectonica W. Hahn .....	40
Tabla 16: Tabla de comparación de propiedades mecánicas de la especie Ilex tectonica W. Hahn, Norma ASTM D143-94.....	49
Tabla 17: Tabla de relación de propiedades mecánicas de Ilex tectonica W. Hahn	50
Tabla 18: Tabla de relación de propiedades mecánicas de Ilex tectonica W. Hahn	51
Tabla 19: Clasificación de características mecánicas según antecedentes investigativos y propiedades determinadas condición verde .....	52
Tabla 20: Comparación de pruebas de trabajabilidad CUPROFOR VS Propiedades determinadas Ilex tectonica W. Hahn.....	53

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La madera es un material orgánico de utilidad múltiple, que se emplea para diferentes usos o aplicaciones; cada especie posee características únicas; por lo tanto, es empleada en diferentes ámbitos según el comportamiento de sus propiedades físicas y mecánicas (Suirezs & Berger, 2009). Además, es un elemento anisotrópico que se refiere a los diferentes comportamientos de la madera según sus planos estructurales (radial, axial y tangencial). Esto significa que sus propiedades físicas-mecánicas varían de acuerdo a sus condiciones de crecimiento o posición del plano estructural sometido a carga. Esta relación implica que el comportamiento físico y mecánico pueda variar según la dirección del eje, al que está sujeta la aplicación de fuerzas externas.

El análisis de las propiedades tecnológicas de la madera de las especies forestales es un aspecto indispensable para la determinación de su uso óptimo y potencial, esto con el fin de lograr procesos de industrialización o mecanización a través de la transformación de la madera (Tamarit Urias et al., 2021). Pero, además, puede ocurrir que, debido a estas propiedades y a su nivel de crecimiento, la recomendación más pertinente sea su conservación en su hábitat natural.

Según el autor Winandy (1994), las propiedades físicas son características que proporcionan información sobre el comportamiento de la madera frente a condiciones adversas en el entorno ambiental; esto también incluye el impacto de factores externos. Estas propiedades son de suma importancia, ya que afectan de manera directa a la madera cuando esta es utilizada. En cambio, las propiedades mecánicas son las que definen de una manera directa el comportamiento, estabilidad y capacidad que tiene la madera a la hora de soportar fuerzas físicas o cargas externas. Estos factores determinan el potencial de la madera, aplicando a usos estructurales dependiendo de la capacidad de soporte; esto va a variar según el dimensionado de las piezas de

madera y al plano dimensional sujeto a fuerzas externas, creando estados de resistencia o deformaciones (Mercedes & Darío, 2012).

Los sistemas agroforestales, según Borel (1988), son aquellos que establecen la combinación de la producción y la utilización de árboles y arbustos con cultivos agrícolas. Este sistema o diseño secuencial crea una asociación fundamental entre los componentes, con el propósito de aprovechar los recursos de manera sostenible y utilizar racionalmente el suelo.

El campo experimental de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA)<sup>1</sup>, que está ubicado en La Masica, Atlántida, ha implementado un conjunto de sistemas agroforestales en asocio con cacao. La especie a estudiar en esta investigación es la *Ilex tectonica* W. Hahn, conocida comúnmente como “San Juan Areno”. La plantación posee una edad de 28 años, se estableció con un espaciamiento inicial de 9 m x 9 m; después de diversos tratamientos silviculturales, la plantación conserva un espacio final de 9 m x 18 m.

Los tratamientos silviculturales son un conjunto de herramientas que tratan de conservar la productividad y rendimiento de los bosques, que afecta de manera secuencial a las especies, considerando la conservación y a la cosecha futura (Valverde et al., 2020). Los diferentes métodos y aplicaciones para el mantenimiento de la plantación, como fertilizaciones, podas, raleos, control de plaga y maleza, promueven un entorno propicio para el bienestar y el desarrollo óptimo de la plantación.

El propósito principal de esta investigación es realizar diversas pruebas físicas, mecánicas y de trabajabilidad de la especie *Ilex tectonica* W. Hahn, a fin de comparar los resultados con investigaciones previas realizadas en su ambiente natural e identificar diferencias o afinidades, para determinar: ¿Cuál es la calidad de la madera y qué usos potenciales se le puede emplear mediante las pruebas realizadas?

---

<sup>1</sup> FHIA. (2023). Informe Técnico 2023 Programa de Cacao y Agroforestería (Centro de Comunicación Agrícola de la FHIA). FHIA.

## CAPÍTULO II. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

2.1.1. Determinar las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la madera de la especie *Ilex tectónica* W. Hahn, en sistemas agroforestales con cacao en La Masica, Atlántida, Honduras.

### 2.2. Objetivos específicos

2.2.1. Determinar las propiedades físicas en la madera de la especie *Ilex tectónica* W. Hahn, originaria de una plantación agroforestal.

2.2.2. Determinar las propiedades mecánicas en la madera de la especie *Ilex tectónica* W. Hahn, originaria de una plantación agroforestal.

2.2.3. Analizar los usos potenciales mediante las pruebas de trabajabilidad de la especie *Ilex tectónica* W. Hahn, procedente de una plantación agroforestal.

2.2.4. Establecer la comparación de las propiedades físico-mecánicas de la especie *Ilex tectónica* W. Hahn establecida en un sistema agroforestal, con resultados de antecedentes investigativos de su desarrollo en su entorno natural.

## CAPÍTULO III: REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 3.1. Antecedentes

Benítez & Montesinos, (1988), en el Catálogo de cien especies forestales de Honduras: Distribución, propiedades y usos, en este libro se reporta la caracterización y propiedades de la especie *Ilex tectonica* W. Hahn conteniendo información acerca de las propiedades físicas-mecánicas y usos potenciales de la madera, mostrando la siguiente información:

En las propiedades físicas incluye una gravedad específica de 0.57 gr/cm<sup>3</sup>, en ciertas ocasiones 0.64 gr/cm<sup>3</sup> (pesada). Las contracciones son intermedias, rango de la relación contracción tangencial/radial entre 1.7 y 2.30, lo que indica que requiere un control adecuado en el proceso de secado. Sus propiedades mecánicas en comparación con el holly (*Ilex*) americano o europeo; el san juan areno o arenillo es una madera más fina y más pesada. En su trabajabilidad la madera es muy fácil de aserrar, ya sea con herramientas manuales o de carpintería; al ser taladrada, esta presenta un buen corte con un fino acabado. Es de baja resistencia al clavado y atornillado.

Su durabilidad es moderada debido a la resistencia al ataque de insectos y no es recomendable para uso en exteriores debido a su baja resistencia a la degradación. Su secado al aire es rápido y requiere un buen control del proceso mediante una adecuada ventilación, preferentemente bajo sombra. Sus usos principales son para construcciones rurales, enchapados y contrachapados, muebles, cajas y embalajes, madera aserrada, palillos de fósforos, ruedas y ejes para carretas, remos, soleras y travesaños.

CUPROFOR (2004), realizó estudios sobre las propiedades físico-mecánicas y usos potenciales de varias especies del litoral atlántico, entre ellas se encuentra la especie *Ilex tectónica* W. Hahn, con el propósito de promover la

investigación y promoción de las especies con programas de asistencia técnica y transferencias de nuevas tecnologías.

En sus propiedades físicas muestra una densidad anhidra de  $0.53 \text{ g/cm}^3$  y una densidad básica de  $0.46 \text{ g/cm}^3$ . En su contracción volumétrica total contiene un porcentaje de 13.28 % y una relación de contracción de 2.34, con un punto de saturación de fibras de 28.09 %. En cuanto a las propiedades mecánicas en su condición verde, el módulo de ruptura de la flexión estática es de  $481.7 \text{ kg/cm}^2$ . La resistencia máxima en su compresión paralela es de  $24.5 \text{ kg/cm}^2$  y el esfuerzo al límite proporcional en su compresión perpendicular es de  $25.23 \text{ kg/cm}^2$ .

Esta información tiene la implicación de ser un factor base para establecer diferencias o afinidades en este estudio. A través de estos factores se podrán establecer diferencias y nos mostrarán la variación respecto a los resultados, esto nos permitirá catalogar el comportamiento de la madera mediante los parámetros presentados.

CUPROFOR (2004), también estableció características del secado y trabajabilidad de la madera; estos parámetros aportan de una manera significativa a la condición de la madera para usos de ebanistería o carpintería, midiendo la capacidad y el comportamiento mediante requerimientos técnicos.

El secado de la madera es moderadamente rápido de secar al aire libre y presenta defectos moderados, especialmente grietas y torceduras. Dentro de sus características de trabajabilidad, el cepillado muestra un buen comportamiento, tendiendo a presentar un bajo porcentaje de grano rasgado; en el moldurado es libre de grano velloso, grano rasgado y grano rústico, demostrando un excelente comportamiento. El taladrado de esta madera es excelente; presenta grano velloso, rasgado y suavidad general en el corte y es muy buena para el escopleado; en su mayoría libre de defectos. Para el torneado tiene un buen comportamiento; generalmente no presenta grano velloso y en el clavado es muy fácil de clavar y perforar, con cierta presencia de deficiencias como ser fisuras y rajaduras. Preferible perforar antes de clavar o atornillar.

El catálogo “Principales maderas tropicales utilizadas en España de Santiago Peña”, (Peña, 2014) describe la especie *Ilex* spp. con sus características y aplicaciones de su madera, mostrando cualidades técnicas y descripciones específicas en cuanto a su resistencia y trabajabilidad.

Dentro de sus propiedades físicas muestra que la especie tiene una relación contracción tangencial/radial entre 1,7 y 2,3; este es un indicador clave para el buen manejo del secado. Madera pesada (Peso específico 0,57-0,8 gr/cm<sup>3</sup>).

Para la transformación de la madera, esta presenta un fácil aserrado sin dificultad a la hora de trabajar con herramientas de carpintería. Su clavado es de baja resistencia, posee acabados finos y sus principales usos potenciales son para enchapados y contrachapados, muebles, cajas, embalajes, madera aserrada, palillos de fósforos, carpintería, ebanistería y tornería.

## **3.2. Bases teóricas**

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

Para la descripción de la especie *Ilex tectonica* W. Hahn, se apoyará en investigaciones ya realizadas acerca de las generalidades de la especie, como ser el catálogo de cien especies forestales en Honduras (Benítez & Montesinos, 1988) y el manual de dendrología para 146 especies forestales del litoral atlántico de Honduras (Thirakul, 1998).

#### **3.2.1.1. Nomenclatura:**

- Nombres comunes: San Juan Areno, Areno blanco, Arenillo
- Nombre científico: *Ilex tectonica* W. Hahn.
- Familia: AQUIFOLIACEAE

#### **3.2.1.2. Hábitat General.**

Crece en Honduras, Nicaragua y Costa Rica.

### **3.2.1.3. Hábitat Local.**

Es una especie de bosques húmedos y semidecíduos de los trópicos de Centro América, normalmente se encuentran en las regiones costeras y en altitudes cerca de los 800 m. Se le reporta en los Dptos. De Atlántida, Colón, F. Morazán, Olancho. Durante esta investigación es relevante mencionar que la especie *Ilex tectonica* W. Hahn fue encontrada en el Departamento del El Paraíso, específicamente en el municipio de Danlí, aldea de Villa Santa.

### **3.2.1.4. Árbol.**

Es un árbol grande que alcanza los 35 m de altura y 100 cm de diámetro. Tiene una copa umbelada largamente o redondeada, follaje verde oscuro y moderadamente denso con ramas oblicuas ascendentes.

### **3.2.1.5. Corteza.**

Gris blancuzca o grisácea es moderadamente áspera, fisurada longitudinal y finalmente, desprendiendo en piezas irregulares.

### **3.2.1.6. Hojas.**

Simple, enteras, en espiral, canaliculado y ligeramente retorcido, tiene una lámina obovada a elíptica obovada, márgenes ligeramente revolutos, el haz de color verde oscuro y opaco, el envés de color verde lustroso.

### **3.2.1.7. Frutos.**

Son drupas clipsoides o subglobosas cerca de 0.5 cm en diámetro, son glabras rojas tornándose a negras cuando llegan a madurar.

### **3.2.1.8. Flores.**

Tiene fascículos axilares, son flores blancas pequeñas con un olor fragante. Sus flores empiezan a ser vistas en la época de febrero y marzo.

### **3.2.1.9. Madera.**

Su madera es blanca rosácea a blanco amarillo; normalmente es suave y liviana con un grano fino.

#### **3.2.1.10. Mercado de la madera**

El mercado de la madera del San Juan Areno se da en las regiones forestales de Fco. Morazán, Nor-Occidente, Yoro y Atlántida teniendo un consumo anual de 301,448 Pt (Perdomo, 2002).

#### **3.2.1.11. Usos.**

Se utiliza para la construcción de interiores, chapas y plywood, tornería de componentes para muebles y acabados en interiores.

#### **3.2.2. Evaluación del crecimiento y manejo del Sistema agroforestal *Ilex tectonica* W. Hahn**

La fecha del establecimiento de la parcela agroforestal fue en los años 1997 en el CEDEC-JAS (Centro Experimental y Demostrativo de Cacao-Jesús Alfonso Sánchez), donde la procedencia de la semilla fue del Jardín Botánico Lancetilla. Esta especie maderable recibió poda de formación a los 12 años, en cuanto al raleo se hizo por el método selectivo o sistemático.

El crecimiento de la especie presento un comportamiento normal con un tallo único y sin requerir cuidados más rigurosos para su desarrollo óptimo. Se caracteriza por alcanzar un diámetro mínimo de igual o mayor a 20 cm, esto lo posiciona como una especie de valor comercial viable. La especie *Ilex tectonica* contiene un volumen de 1.19 m<sup>3</sup>/árbol y un VC de 141 m<sup>3</sup>/ha, equivalente a 8.3 m<sup>3</sup>/ha/año y con un promedio de crecimiento anual de la altura mayor de 1.0 m (FHIA, 2021). De las 12 especies que se encuentran en los sistemas agroforestales el san juan areno se encuentra en la tercera categoría con mejor comportamiento de crecimiento.

### **3.3. Conceptos claves**

#### **3.3.1. Densidad o peso específico.**

La densidad es la relación entre la masa en gr y el volumen en  $\text{cm}^3$  ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ). La densidad indica la cantidad de materia leñosa por unidad de volumen, el peso y la masa se determina por medio de balanzas. En la práctica sirve para clasificarlas mediante sus pesos, las más pesadas son más resistente elásticas y duras que las madera livianas (Suirezs & Berger, 2009).

### **3.3.2. Escopleado:**

Es una operación de perforado que se realiza en la madera, se puede ejecutar con herramientas sencillas como ser el taladro o equipos industriales llamados escopladoras. La perforación es de forma alargada que sirve como elemento de unión entre dos piezas de madera (Guevara & Espinoza, 2013).

### **3.3.3. Madera.**

La madera es un tejido exclusivo de los vegetales leñosos, está formado por células que se asemejan a tubos huecos compuesto por paredes celulares y lumen de células. Su distribución se forma mediante otros elementos anatómicos como los radios leñosos, canales resiníferos o vasos, se caracteriza por ser anisótropo e higroscópico (AITIM, 2024)

### **3.3.4. Módulo de elasticidad:**

Indica la relación que existe entre la tensión y el alargamiento en una pieza de madera, se utiliza para el cálculo de la deflexión elástica. Esta condición evalúa la deformación elástica cuando es sometida a presiones o tensiones (BETTERWOOD, 2024).

### **3.3.5. Norma ASTM D143**

Son métodos de ensayo representan un procedimiento para evaluar las diferentes propiedades físicas y mecánicas, en este caso la evaluación de factores de temperatura, contenido de humedad y la velocidad de carga que se ejerce en las pruebas (D07 Committee, 2025).

### **3.3.6. Perforado:**

Este enfoque tiene como objetivo principal la determinación de la dureza del material y su resistencia haciendo uso de fuerzas externas aplicadas en la estructura interna (Arévalo, 2016).

### **3.3.7. Probetas de ensayo.**

Generalmente, es una pieza con dimensiones normalizadas que están constituidas por un determinado material cuyos atributos se desean analizar (Sánchez et al., 2018).

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

Según UNSE (2022), es aquella que puede determinarse sin alterar el estado de la muestra sometida a diferentes ensayos; esto compromete la no alteración de la composición química, la cual se puede definir como la evaluación o determinación de aspectos como ser peso, medición y secado.

### **3.3.9. Propiedades mecánicas de la madera.**

Definen el comportamiento, aptitud y capacidad que tiene la madera para resistir fuerzas externas. Los valores de resistencia tienen gran importancia en la aplicación de la madera en la construcción, especialmente en el dimensionado de las piezas según su resistencia o deformación (Mercedes & Darío, 2012).

### **3.3.10. Sistemas agroforestales.**

Los sistemas agroforestales son espacios de uso y manejo de los recursos naturales, en los cuales se utilizan especies de diferentes propiedades, ya sean por su estructura, tamaño y características, que crecen en asociación con plantas herbáceas en el mismo terreno, de manera simultánea o en una secuencia temporal (Montagnini et al., 2015).

### **3.3.11. Trabajabilidad.**

Es un conjunto de cualidades o características que cuenta con determinada madera en relación a su respuesta de trabajo manual o a la acción de herramientas manuales o eléctricas (Maldonado, 2024).

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA**

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

El enfoque de la investigación es mixto. En el aspecto cualitativo se hizo una recopilación y un análisis de datos para realizar una comparación de las propiedades físico-mecánicas de la especie *Ilex tectónica* W. Hahn, en relación a sus diferentes entornos: sistema agroforestal y medio natural; por otro lado, tiene un enfoque cuantitativo ya que se determinó variables numéricas aplicando comparaciones estadísticas. El propósito es determinar la diferencia ya sea significativa o similar según el espacio donde se desarrolla, con el fin de establecer criterios técnicos que ayuden a mejorar la decisión sobre el uso potencial que se le puede dar a la madera de esta especie.

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

El estudio tiene un enfoque descriptivo ya que se realizó una comparación de las propiedades físicas-mecánicas. Se logro observar el comportamiento de la madera en los diferentes ensayos y se obtuvo los datos necesarios para la realización de la investigación.

### **4.3. Hipótesis**

De acuerdo a su carácter, la investigación no contiene hipótesis.

### **4.4. Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación es no experimental, ya que no se alteró ninguna de las variables. Se determinaron las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la especie “San Juan Areno”, sin causar ninguna modificación en estas.

#### 4.5. Descripción del área de estudio

La madera que se utilizó para la investigación fue colectada del sistema agroforestal de la especie “San Juan Areno”, ubicado en la estación experimental de FHIA, municipio de La Masica, Atlántida. Según UNAH (2022), esta ubicación se encuentra en las coordenadas 15.63 Latitud Norte y -87.16 Longitud Oeste, respecto al del meridiano de Greenwich. El clima de La Masica es muy variado; las temperaturas oscilan entre 18 y 32 °, con una precipitación anual de 3500 mm por año. Está constituido por el 79 % de montañas que son parte de la cordillera Nombre de Dios y se caracteriza por tener una superficie quebrada y microcuencas que llevan sus aguas a los ríos más importantes que son río cuero y río santiago (Municipalidad La Masica, 2022).

##### Ilustración 1:

*Árboles de Ilex tectonica W. Hahn*



La humedad relativa en el municipio de La Masica oscila entre los 83 y el 88 %. En este municipio existen cuatro tipos de clima entre ellos están, clima muy lluvioso con precipitaciones predominantes, clima muy lluvioso con una distribución regular de lluvia, clima con lluvia de poca transición y el más característico es el clima lluvioso tropical. La topografía de este municipio se caracteriza por ser muy variada encontrándose áreas planas, onduladas,

quebradas y boscosas, teniendo un promedio que va de 30 a 85 % de pendiente (MAMUCA, 2020).

Basada en la información de FHIA (2009), esta organización estableció el Centro Experimental y Demostrativo de Cacao (CEDEC) para llevar a cabo actividades relacionadas con la investigación y transferencia en el cultivo del cacao en sistemas agroforestales, encontrando soluciones a dicho cultivo de interés y logrando crear nuevas soluciones sostenibles para emplear y fomentar una producción más significativa con el ambiente.

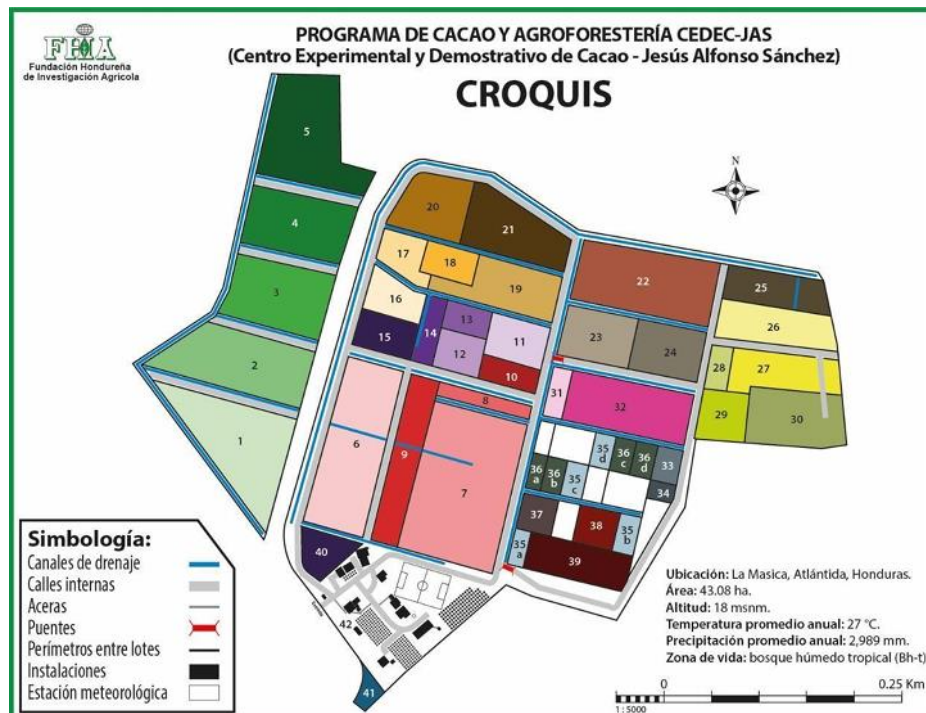
Según el informe técnico de la FHIA (2022), muestra que los niveles de pH en el Centro Experimental y Demostrativo de Cacao (CEDEC) son entre 6.13 y 5.05 lo que indica que son suelos ligeramente ácidos. El tipo de suelo del sistema agroforestal es aluvial, que son suelos formados por el arrastre de sedimentos con una variedad de texturas como ser franco arenoso, franco arcilloso, arcilloso, limoso, arenoso. Los tratamientos silviculturales aplicados a esta especie son las podas para regular su crecimiento y crear niveles óptimos de luminosidad y el manejo de malezas sincronizado con el cacao

Para la determinación de las pruebas físico-mecánicas, se llevó a cabo en el laboratorio de madera de la UNACIFOR; se utilizó los instrumentos y maquinaria especializada para la ejecución de los ensayos planificados. En cuanto a las pruebas de trabajabilidad, fueron realizadas en la carpintería de la misma institución bajo la Normas ASTM 1666-87

A continuación, se presentará un croquis general de la ubicación geográfica de los sistemas agroforestales establecidos en el Centro Experimental y Demostrativo de Cacao (CEDEC), con sus divisiones y sus respectivas descripciones.

## Ilustración 2.

*Croquis del experimental y Demostrativo de Cacao- Jesús Alfonso Sánchez*



**Fuente:** Tomado del “Informe Técnico 2023 Programa de Cacao y Agroforestería”, por FHIA (2023)

La siguiente ilustración muestra las descripciones correspondientes a las divisiones del croquis del Centro Experimental y Demostrativo de Cacao (CEDEC)

### Ilustración 3.

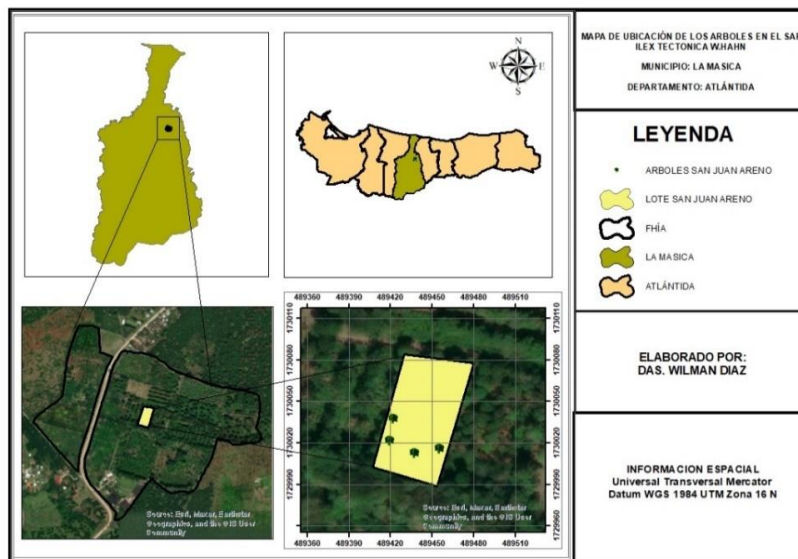
*Descripción de lotes establecidos en el Centro Experimental y Demostrativo de Cacao (CEDEC).*

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

**Fuente:** Tomado del “Informe Técnico 2023 Programa de Cacao y Agroforestería”, por FHIA, 2023.

**Ilustración 4.**

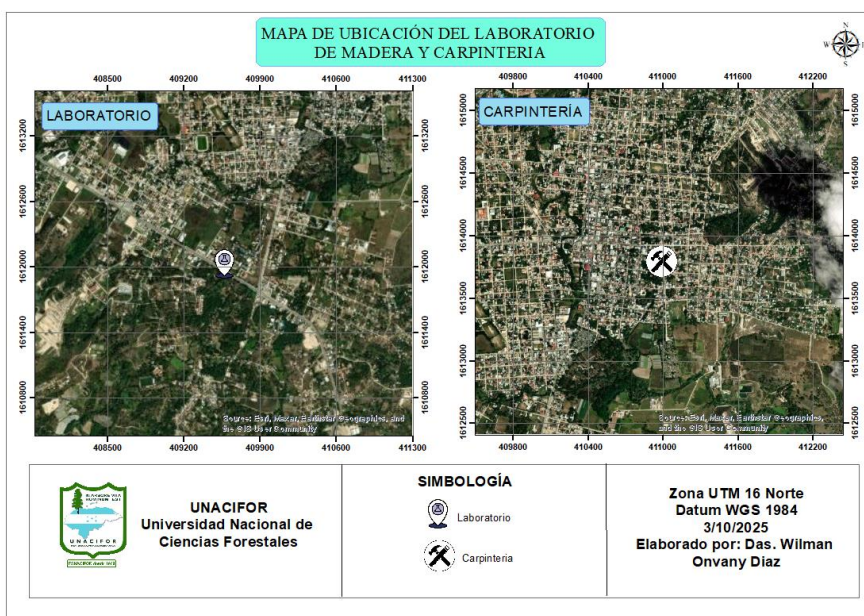
*Mapa de Ubicación del SAF de Ilex tectonica W. Hahn*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Ilustración 5:**

*Mapa de Ubicación del Laboratorio de Madera y Carpintería de la UNACIFOR*



**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.6. Población, muestreo y muestra

Población: La población será el sistema agroforestal (véase anexo 1) de la especie de “San Juan Areno” (*Ilex tectonica* W. Hahn).

Muestreo: El método de selección de árboles se realizó de manera aleatoria, donde se seleccionarán los árboles más representativos del sistema agroforestal.

Muestra: Se seleccionaron 4 árboles de *Ilex tectonica* W. Hahn de la parcela agroforestal donde posteriormente se llevarán a cabo las actividades correspondientes (aserrado, secado), para la elaboración de las probetas que utilizaremos en las pruebas (30 probetas por prueba). Las especificaciones de las probetas serán establecidas bajo las normas ASTM.

**Tabla 1:**

*Información de los árboles de Ilex tectonica W. Hahn a aprovechar*

<b>Nombre científico</b>	<b>N° Árbol</b>	<b>N° Árbol FHIA</b>	<b>DAP (cm)</b>	<b>Alt. Comercial (m)</b>	<b>Volumen (m³)</b>
<i>Ilex tectonica</i> W. Hahn	1	18	59	10.7	1.84
<i>Ilex tectonica</i> W. Hahn	2	22	56	15	2.30
<i>Ilex tectonica</i> W. Hahn	3	4	39.5	10	0.83
<i>Ilex tectonica</i> W. Hahn	4	2	54.5	20	2.87
<i>Promedio</i>			52.3	13.9	
<i>Total</i>					7.84

## 4.7. Operacionalización / categorización de variables

La siguiente tabla muestra la cantidad de variables que se estudiarán, siendo este un enfoque descriptivo y comparativo. Es de gran importancia el establecimiento de la categorización de variables para una evaluación y medición de los componentes; lo cual nos brindará una mejor precisión y ordenamiento de cada variable establecida.

<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Subdimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala de medición</b>
Propiedades físicas	Según UNSE (2022), Son aquellas que puede determinarse sin alterar el estado de la muestra sometida a diferentes ensayos, esto compromete la no alteración de la composición química, en el cual se puede definir como la evaluación o determinación de aspectos como ser peso, medición y secado.	Métodos de pruebas para la determinación de propiedades físicas de la madera por medio de ensayos de muestras pequeñas.	Densidad		Estado de humedad de la madera	Masa y volumen de la probeta de ensayo (gr/cm <sup>3</sup> )
					Contracción radial y tangencial en estado anhidro y saturado.	Dimensión tangencial y radial de la probeta anhidra y saturada (mm)
					Humedad relativa	Contenido de humedad %
					Temperatura ambiente	Peso húmedo (gr)
					Nivel de humedad de las fibras completamente saturadas y lúmenes celulares libres de agua.	Peso seco (gr)
						Contracción volumétrica total (de saturado a anhidro) (%)
						Contenido de humedad seco al aire (%)
						Contracción volumétrica seca al aire (saturado a seco al aire) (%)



## 4.8. Procedimientos por objetivo

### 4.8.1. Actividades a realizar por objetivos:

#### 4.8.1.1. Objetivo 1:

##### Selección de árboles a cortar

Los árboles seleccionados para la corta cumplieron con ciertas características fenotípicas aceptables y fueron los más representativos de la parcela agroforestal.

##### Ilustración 6:

*Árbol a corta de la especie Ilex tectonica W. Hahn*



##### Extracción de la madera

Se extrajo 15 piezas de madera de San Juan Areno (véase anexo 2) con una dimensión de 2"x 6"x 8', presentando un incremento adicional para compensar posibles pérdidas. El tamaño de las piezas se adoptó en función al diámetro del árbol.

**Ilustración 7:**

*Madera aserrada de Ilex tectonica W. Hahn*

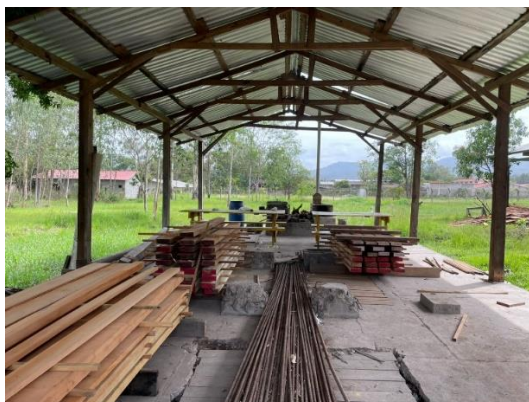
**Secado de la madera**

El método empleado para el procesamiento del secado fue al aire libre; se buscó un lugar que cumpliera con las condiciones estructurales aceptables como ser optima ventilación, espacio amplio, superficie nivelada y con una cobertura que brindo protección de precipitaciones y de radiación solar directa.

La madera se colocó con palillos separadores que tienen un dimensionado de 1"x1"x4', los separadores se ubicaron entre capas mientras las tablas de una sola capa quedaron con un espaciamiento de 1" entre ellas. Esta técnica ayudo a que el nivel del secado de la madera fuera más eficiente y controlado.

**Ilustración 8:**

*Secado de la madera al aire libre*

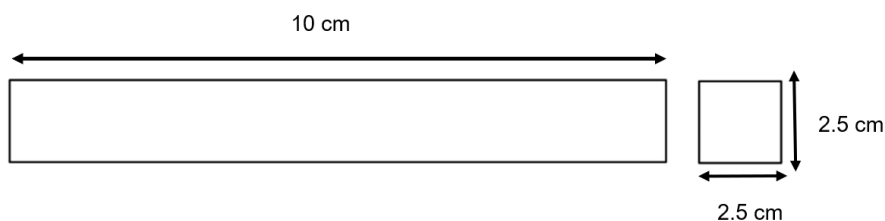


## Elaboración de probetas

Las probetas fueron elaboradas bajo las especificaciones de las Normas ASTM D143-94<sup>2</sup>, donde se emplearon 30 para cada prueba. Las probetas cuentan con una dimensión de 2.5 cm de espesor en cada lado y un largo de 10 cm.

### Ilustración 9:

*Dimensiones de probetas físicas*



**Fuente:** Extraído de “Variabilidad y anisotropía en compresión transversal de ocho maderas” Castellanos et al., (2018).

## Desarrollo de las pruebas físicas en la madera

La siguiente tabla indica las fórmulas o conceptos de las pruebas físicas realizadas, donde muestra la propiedad evaluada y su respectiva formula con sus componentes incluidos.

---

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

Tabla 2:

## Fórmulas para propiedades físicas

Propiedad	Formula	Elemento
Densidad saturada:	$D_s = \frac{P_s}{V_s}$	Ds: Densidad saturada (gr/cm <sup>3</sup> ) Ps: Peso de la muestra saturada (cm <sup>3</sup> ) Vs: Volumen de la muestra saturada (cm <sup>3</sup> )
Densidad normal o peso específico	$P_n = \frac{P_{CH}}{V_{CH}}$	Pn: Densidad normal PCH: Peso a un % de contenido de humedad VCH: Volumen a un % de contenido de humedad
Densidad básica:	$W_{e(o,s)} = \frac{P_o}{V_s}$	We (o,s): Peso básico Po: Peso a 0 % del contenido de humedad Vs: Volumen saturado al PSF
Densidad comercial:	$S_c = \frac{K F_{SA}}{V_{SA}}$	Sc: Densidad comercial (gr/cm <sup>3</sup> ) 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> )
Densidad anhidra:	$S = \frac{KF}{V}$	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 (gr) K: Constante valor es determinado por las unidades usadas en la medición de peso y volumen (para g/cm <sup>3</sup> K=1.00)
Contenido de humedad	$CH\% = \frac{(A - B)}{B} \times 100$	CH%: Contenido de humedad (%) A: Peso saturado (gr) B: Peso anhidro (gr)

---

Volumen	Para la de terminación del volumen se hará uso del método de Arquímedes que consiste en la inmersión de las probetas en agua, donde el desplazamiento del líquido será el volumen de la probeta (UAEH, 2024).	
Contracción radial	$CR = \left( \frac{drs - dra}{drs} \right) \times 100$	<p>CR: Contracción radial (%)</p> <p>Drs: Dimensión radial de la probeta saturada (mm)</p> <p>Dra: Dimensión radial de la probeta anhidra (mm)</p>
Contracción tangencial	$Ct = \left( \frac{dts - dta}{drs} \right) \times 100$	<p>CT: Contracción en el sentido tangencial (%)</p> <p>Dts: Dimensión tangencial de la probeta saturada (mm)</p> <p>Dta: Dimensión tangencial de la probeta anhidra (mm)</p>
Contracción volumétrica total	$CV_T = \left( \frac{Vs - Va}{Vs} \right) \times 100$	<p>Cvt: Contracción volumétrica total (%)</p> <p>Vs: Volumen saturado de la probeta (cm<sup>3</sup>)</p> <p>Va: Volumen anhidro de la probeta (cm<sup>3</sup>)</p>
Punto de saturación de fibras	$PSF = \left( \frac{CV_T \times CH_{SA}}{CV_T - CV_{SA}} \right) \times 100$	<p>PSF: Punto de saturación de la fibra (%)</p> <p>CVT: Contracción volumétrica total (de saturado a anhidro) (%)</p> <p>CHSA: Contenido de humedad seco al aire (%)</p> <p>CvSA: Contracción volumétrica seca al aire (saturado a seco al aire) (%)</p>
Coeficiente de contracción volumétrica	$Ccv = \frac{CV}{PSF}$	<p>Ccv: Coeficiente de contracción volumétrica total (%)</p> <p>CV: Contracción volumétrica total (%)</p> <p>PSF: Punto de saturación de la fibra.</p>

---

#### 4.8.1.2. Objetivo 2:

##### Elaboración de probetas

Estas probetas fueron elaboradas bajo las Normas ASTM D 143-94<sup>3</sup>; se utilizaron 30 probetas para cada propiedad. Las pruebas realizadas fueron la flexión estática que cuentan con una dimensión de 1" x 1" x 16" (25 x 25 x 410 mm) y la compresión perpendicular y paralela cuentan con una dimensión de 2" x 2" x 8" pulgadas (50 x 50 x 200 mm).

##### Ilustración 10:

*Probetas para determinar la flexión estática Ilex tectonica W. Hahn*



##### Ejecución de las pruebas mecánicas en la madera

La siguiente tabla representa las pruebas mecánicas realizadas, donde muestra la propiedad evaluada con su variable y su respectiva fórmula con sus componentes incluidos.

---

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

Tabla 3:

## Fórmulas de propiedades mecánicas

Propiedad	Variable	Formula	Elemento
Flexión estática.	Esfuerzo límite proporcional	$ELPF = \frac{(3P'L)}{(2bh^2)}$	ELPF: (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)
	Módulo de ruptura (MOR)	$MOR = \frac{(3PmaxL)}{(2bh^2)}$	Pmax: Carga máxima sostenida por la viga (kg) b: Ancho de la probeta (mm) h: Altura de la probeta (mm) L: Luz del ensayo (mm)
	Módulo de elasticidad (MOE)	$MOE = \frac{(P \times L^3)}{(4bh^3\Delta)}$	P: Incremento de la carga aplicada LP (kg) B: Ancho de la probeta (mm) H: Altura de la probeta (mm) L: Luz del ensayo (mm)
Compresión paralela y perpendicular a las fibras.	Esfuerzo de las fibras al límite proporcional (ELP)	$ELP = \frac{P'}{A}$	ELP: Esfuerzo al límite proporcional. P': Carga aplicada al límite proporcional (kg) A: Área de la sección cruzada (cm <sup>2</sup> )
	Módulo de ruptura (MOR)	$MOR = \frac{P}{A}$	MOR: Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> ) P: Incremento de la aplicación de la carga bajo el límite proporcional (kg) A: Área de la sección cruzada (cm <sup>2</sup> )

---

Módulo de elasticidad (MOE)	$MOE = \frac{P'}{(A \epsilon)}$	MOE: Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> ) P': Carga aplicada al límite proporcional (kg) A: Área de la sección cruzada (cm <sup>2</sup> ) ε: Esfuerzo al límite proporcional (mm/mm)
-----------------------------	---------------------------------	--

---

#### 4.8.1.3. Objetivo 3:

##### Elaboración de probetas

Para la realización de las pruebas de trabajabilidad, se utilizó las normas ASTM 1666-87<sup>4</sup>.

##### Ilustración 11:

*Preparación de la madera para la fabricación de probetas utilizadas para ensayos de trabajabilidad*



##### Ejecución de pruebas de trabajabilidad

Las pruebas de trabajabilidad realizadas fueron perforado, escopleado, cepillado, torneado, moldurado, clavado y lijado (véase anexo 5).

---

<sup>4</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>

#### 4.8.1.4. Objetivo 4

Para la comparación de las propiedades físico-mecánicas de la especie *Ilex tectonica* W. Hahn proveniente de una plantación agroforestal, se utilizaron antecedentes investigativos de la especie proveniente de su entorno natural.

#### 4.8.2. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

##### 4.8.2.1. Objetivo 1

Para la determinación de las propiedades físicas (véase anexo 3), se utilizó equipamiento del laboratorio de madera, compuesto por la balanza digital, caliper vernier y horno de secado. Este equipo permitió la evaluación de las mediciones físicas dependiendo del tipo de prueba.

##### Ilustración 12:

*Instrumentos utilizados para la realización de pruebas físicas (Horno, Balanza digital)*



##### 4.8.2.2. Objetivo 2

En la determinación de las propiedades mecánicas, se utilizó maquinaria y equipo especializado (véase anexo 4) que determina las características mecánicas (Hoytom) para cada una de las pruebas.

**Ilustración 13:**

*Maquina HOYTOM para determinación de las propiedades mecánicas*

**4.8.2.3. Objetivo 3**

Para determinación de las pruebas de trabajabilidad, se necesitó equipo y maquinaria dependiendo del tipo de ensayo (cepillado, lijado, perforado, moldurado, entre otras). Cada prueba realizada se evaluó en base al comportamiento observado.

**Ilustración 14:**

*Tamaño de brocas utilizados para las pruebas de perforado (1/2, 3/4, 3/8)*



#### **4.8.2.4. Objetivo 4**

Se revisaron documentos investigativos, como ser antecedentes, historiales y catálogos especializados de las propiedades físicas-mecánicas de la especie *Ilex tectonica* W. Hahn.

#### **4.8.3. Programas usados para el procesamiento de la información**

Para el procesamiento de datos se utilizó el programa de Microsoft Excel, donde se utilizaron herramientas de análisis estadístico. Para las pruebas físicas se utilizó el cálculo de promedios; mientras que para los resultados de pruebas mecánicas (véase anexo 6) se empleó el cálculo de desviación estándar, coeficiente de variación y cálculo de promedios.

En las pruebas físicas y de trabajabilidad se realizó una interpretación de datos utilizando gráficas de barras para establecer la relación y comportamiento de cada propiedad evaluada. Además, se aplicó el uso de cuadros comparativos para identificar diferencias o relaciones comunes en cada propiedad investigada.

#### **4.8.4. Análisis o modelos para la interpretación de la información que se emplearon**

##### **4.8.4.1. Objetivo 1**

Para la interpretación de la información de las pruebas físicas, se utilizó cuadros comparativos y gráficos de barras, este método interpretativo nos brindó un sistema para poder identificar las diferencias existentes de cada propiedad y establecer el análisis descriptivo con los antecedentes investigativos.

##### **4.8.4.2. Objetivo 2**

Para la interpretación de la información de las propiedades mecánicas, se utilizaron cuadros comparativos para establecer las diferencias existentes y la relación que existe entre las propiedades mecánicas de los antecedentes investigativos. Este método nos proporcionó el desarrollo del análisis descriptivo de cada propiedad.

#### **4.8.4.3. Objetivo 3**

Para la interpretación de las pruebas de trabajabilidad se utilizaron matrices de registro y gráficos de barras, los cuales nos proporcionaron el nivel de trabajabilidad y el comportamiento que tiene la madera durante el proceso de transformación. Estos métodos interpretativos nos proporcionaron parámetros para evaluar y definir el uso potencial de la madera.

#### **4.8.4.4. Objetivo 4**

La comparación de las propiedades físico-mecánicas se hizo mediante un análisis comparativo y descriptivo, donde se utilizaron los resultados de las propiedades determinadas de la especie *Ilex tectonica* W. Hahn en su sistema agroforestal y las propiedades de los antecedentes investigativos existentes de la especie en su entorno natural.

## CAPÍTULO V: RESULTADOS

### 5.1. Propiedades físicas

#### 5.1.1. Densidad

Se calculo la densidad básica, anhidra y saturada. A continuación, se mostrarán los resultados.

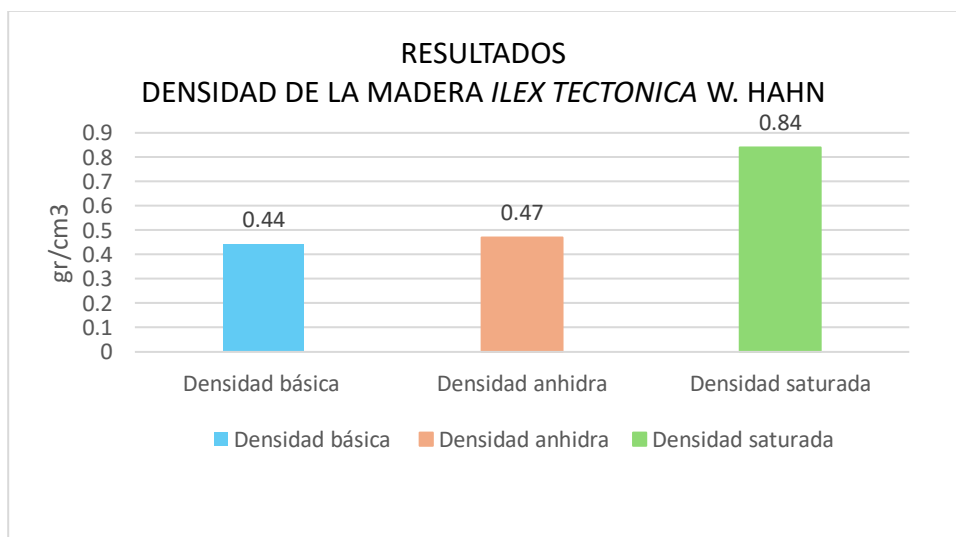
**Tabla 4:**

*Resultados de densidad del Ilex tectonica W. Hahn*

Propiedad	Promedio
Densidad básica	0.44 gr/cm <sup>3</sup>
Densidad anhidra	0.47 gr/cm <sup>3</sup>
Densidad saturada	0.84 gr/cm <sup>3</sup>

**Gráficas 1:**

*Representación gráfica de la densidad del Ilex tectonica W. Hahn*



El resultado de la densidad básica y anhidra es de 0.44 gr/cm<sup>3</sup> y 0.47 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente. La densidad saturada que muestra es de 0.84 gr/cm<sup>3</sup>,

tiene una elevada capacidad para el almacenamiento de agua, la cual puede implicar problemáticas en cuanto a la presencia de patógenos y hongos. Según Peña & Martínez (2006), proponen una clasificación mediante una escala aparente de acuerdo a sus densidades, según esta clasificación la densidad básica y anhidra calculada corresponde a una madera ligera.

### 5.1.2. Contracción

A continuación, se presentarán los resultados de contracción correspondiente a las propiedades físicas determinadas.

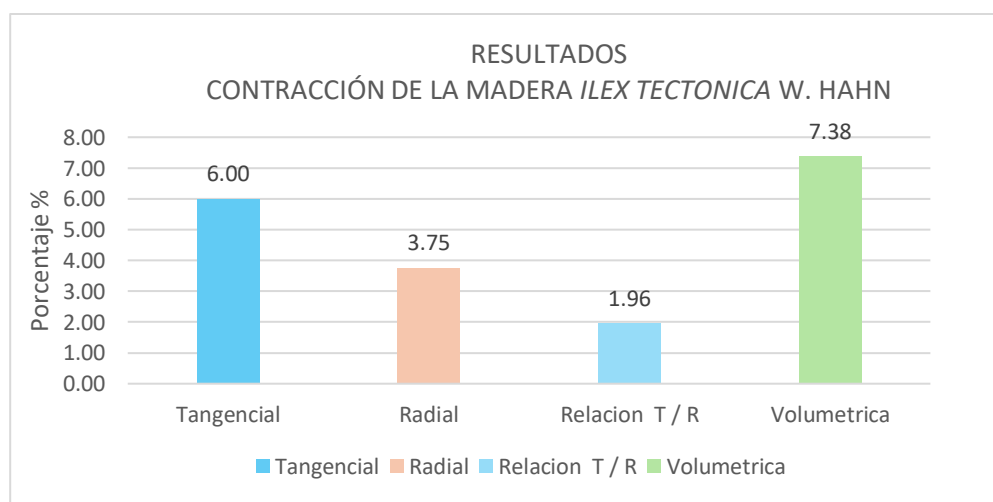
**Tabla 5:**

*Resultado de contracciones del Ilex tectonica W. Hahn*

Propiedad	Promedio (%)
Contracción Tangencial	6.00
Contracción Radial	3.75
Contracción Relación T / R	1.96
Contracción Volumétrica	7.38

**Gráficas 2:**

*Representación gráfica de las contracciones del Ilex tectonica W. Hahn.*



### 5.1.2.1. Contracción volumétrica

La contracción volumétrica obtenido fue de 7.38 % que según la clasificación de Escobar (2016), la posiciona en el rango de < de 9 %, eso significa que se encuentra en un estado muy bajo.

**Tabla 6:**

*Tabla para la clasificación de contracción volumétrica*

Grupo	Rango	Clasificación
I	< de 9	Muy Baja (MB)
II	9.1-11	Baja (B)
III	11.1-13	Media (M)
IV	13.1-15	Alta (A)
V	> 15.1	Muy Alta (MA)

**Fuente:** Extraído del “Evaluación de las propiedades físicas de *Zanthoxylum riedelianum* Engl (Hualaja)” por Escobar, 2016.

### 5.1.2.2. Relación T/R

La relación de contracción T/R fue de 1.96 %, en este caso entra en el rango de baja; por lo tanto, demuestra que posee una estabilidad estable.

**Tabla 7:**

*Clasificación de la madera según su relación T/R*

Grupo	Rango (T/R) %	Clasificación	Estabilidad
I	Menor de 1.5	Muy baja (MB)	Muy estable (ME)
II	1.51 – 2.0	Baja (B)	Estable (E)
III	2.1 – 2.5	Media (M)	Moderadamente estable (M)
IV	2.51 – 3.0	Alta (A)	Inestable (I)
V	Mayor de 3.1	Muy alta (MA)	Muy inestable (MI)

**Fuente:** Extraído del “Evaluación de las propiedades físicas de *Zanthoxylum riedelianum* Engl (Hualaja)” por Escobar, 2016.

### 5.1.2.3. Contracción radial y tangencial

La contracción tangencial y radial fue de 6.00 y 3.75 % respectivamente. Para su clasificación se utilizó el cuadro comparativo propuesto por ONF-COSTA RICA (2015), mostro que las contracciones tangenciales y radiales se encuentra entre el rango de medio a bajo.

**Tabla 8:**

*Clasificación de la madera según su porcentaje de contracción radial y tangencial*

Contracciones (%)	Clasificación
1 – 4 %	Bajo
5 – 7 %	Media
Mayor a 8 %	Alta

**Fuente:** Extraído de “Ingeniería de la madera” por ONF-COSTA RICA, 2015

### 5.1.2.4. Coeficiente de contracción volumétrico

El coeficiente de contracción volumétrica de la especie es de 0.21 %, lo que determina que se encuentra en una clase de madera muy estable; por lo tanto, define que se puede usar para ebanistería o muebles de interiores.

**Tabla 9:**

*Clasificación de madera según el Ccv*

Clases de maderas	Ccv	Interpretación
Muy estables	< 0.35	Ebanistería
Estables	0.35 - 0.45	Carpintería y muebles
Medianamente nerviosas	0.45 - 0.50	construcción

Nerviosas	0.50 - 0.60	Construcción de despiece radial
Muy Nerviosas	> 0.60	Para medios de humedad constante

**Fuente:** Extraído de “Tecnología de la Madera” por Peña, 2006

### **Resultados finales de las contracciones *Ilex tectonica* W. Hahn.**

<b>Contracción</b>	<b>Clasificación</b>
Contracción volumétrica	Muy Bajo
Relación T/R	Bajo
Contracción Radial/Tangencial	Bajo

Según los resultados demostrados, se puede definir como una madera muy estable dimensionalmente, lo que implica que sus contracciones son moderadamente bajas.

### **5.1.3. Contenido de humedad**

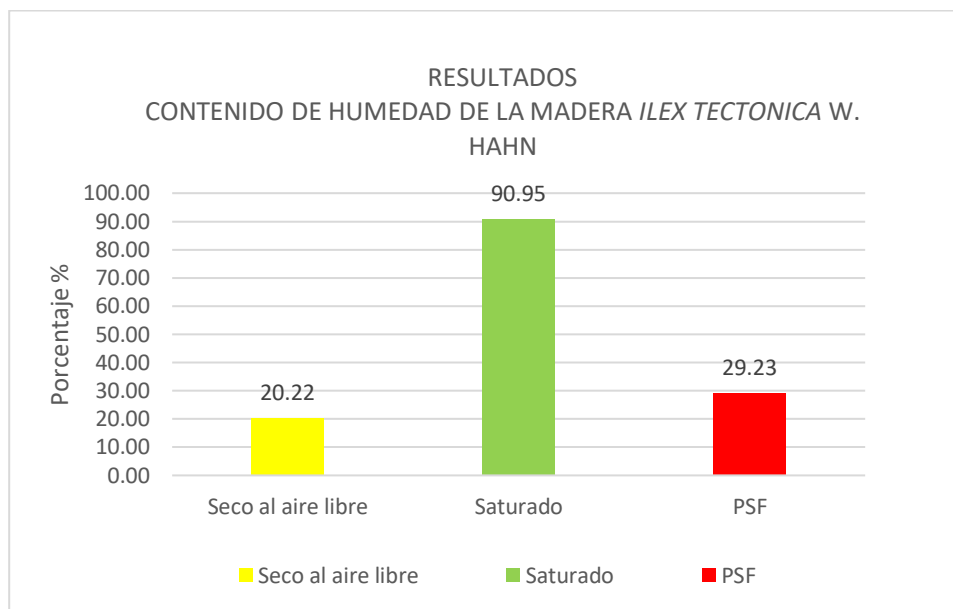
**Tabla 10:**

*Resultado de contenido de humedad del *Ilex tectonica* W. Hahn*

<b>Propiedad</b>	<b>Promedio (%)</b>
Seco al aire libre	20.22
Saturado	90.95
PSF	29.23

**Gráficas 3:**

Representación gráfica de contenido de humedad del *Ilex tectonica* W. Hahn



El porcentaje de contenido de húmedo seco al aire libre es de 20.22 %; mientras, que el contenido de humedad saturado es de 90.95 %, esta acción se realizó con el peso de probetas saturadas, anhidras y secas al aire libre. El punto de saturación de fibras que mostro la especie es de 29.23 %. EL PSF se determinó mediante el contenido de humedad de las probetas en sus tres estados; saturado, anhidro y seco al aire libre. Además, se necesita la contracción volumétrica total y la seca al aire libre.

De acuerdo con Samuel (2010), menciona que el contenido de humedad saturada puede variar aproximadamente desde el 30 % hasta el 200 %; de igual manera, esto depende mucho de la especie. En este sentido, la especie *Ilex tectonica* W. Hahn entra en el rango aceptable establecido.

Esto puede demostrar que tiene una notable capacidad para la adsorción de agua y se puede determinar cómo moderadamente higroscópica. De igual manera, el punto de saturación, según Samuel (2010), siempre se establece en rangos promedios de 30 % de humedad; aunque se puede presentar en algunas

especies ciertos porcentajes variados con respecto al valor establecido. El valor del PSF de la especie *Ilex tectonica* W. Hahn es de 29.23 %; este se sitúa en el intervalo proporcionado de acuerdo a los parámetros establecidos.

**Tabla 11:**

*Tabla resumen de propiedades físicas*

Propiedad	Resultado	Unidad	Clasificación
Densidad Básica	0.44	gr/cm <sup>3</sup>	Ligera
Relación T/R	1.96	Coeficiente	Baja-Estable
C. Volumétrica	7.38	%	Muy baja
Ccv	0.21	Coeficiente	Muy estable

## 5.2. Pruebas Mecánicas

### 5.2.1. Flexión estática

A continuación, se presentan los resultados de flexión estática correspondientes a las propiedades mecánicas determinadas; estos datos muestran la capacidad de resistencia a esfuerzos de flexión.

**Tabla 12:**

*Resultados principales de la flexión estática en Ilex tectonica W. Hahn*

Propiedad Flexión estática	Promedios	Desv. estándar (s)	CV %
ELP (MPa)	33.98	4.58	13.47
ELP (kg/cm <sup>2</sup> )	346.53	46.67	13.47
MOE (Kg/cm <sup>2</sup> )	44425.08	5521.55	12.43
MOE Mpa	4356.68	541.49	12.43
MOR (MPa)	70.24	9.03	12.86
MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	716.27	92.08	12.86

## 5.2.2. Compresión

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas de compresión perpendicular y paralela a la fibra; estos datos muestran la resistencia de la madera a soportar fuerzas externas en dirección transversal y longitudinal.

### 5.2.2.1. Compresión paralela a la fibra

La importancia de la prueba depende significativamente del área de la probeta en  $\text{cm}^2$ , la longitud y la carga en el límite proporcional aplicada. Esta prueba se realizó en base al posicionamiento de la probeta de forma paralela a la fibra.

**Tabla 13:**

*Resultados de pruebas de compresión paralela a la fibra Ilex tectonica W. Hahn*

<b>Propiedad compresión paralela</b>	<b>Promedios</b>	<b>Desv. estándar (s)</b>	<b>CV %</b>
ELP (MPa)	15.20	1.25	8.22
E <sub>max</sub> (MPa)	19.46	0.43	2.19
ELP (kg/cm <sup>2</sup> )	155.04	12.74	8.22
E <sub>max</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	198.40	4.34	2.19
MOE (Kg/cm <sup>2</sup> )	22308.55	4610.61	20.67
MOE Mpa	2187.71	452.15	20.67

### 5.2.2.2. Compresión perpendicular

La importancia de la prueba depende significativamente del área de la probeta en  $\text{cm}^2$ , la longitud y la carga en el límite proporcional aplicada. Esta prueba se realizó en base al posicionamiento de la probeta de forma perpendicular a la fibra.

Tabla 14:

*Resultados de pruebas de compresión perpendicular a la fibra Ilex tectonica W. Hahn*

<b>Propiedad compresión perpendicular</b>	<b>Promedios</b>	<b>Desv. estándar (s)</b>	<b>CV %</b>
ELP (MPa)	3.30	0.89	27.07
E <sub>max</sub> (MPa)	4.72	0.29	6.18
ELP (kg/cm <sup>2</sup> )	33.60	9.10	27.07
E <sub>max</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	48.12	2.98	6.18
MOE Kg/cm <sup>2</sup>	1769.90	634.48	35.85
MOE Mpa	173.57	62.22	35.85

### 5.3. Pruebas de trabajabilidad

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas de trabajabilidad evaluadas, con su clasificación y porcentaje correspondiente, los cuales muestran el grado de facilidad que tiene la madera a la hora de su modificación.

Tabla 15:

*Resultados de pruebas de trabajabilidad de la madera Ilex tectonica W. Hahn*

<b>Prueba de Trabajabilidad</b>	<b>Estado</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Perforado	Muy bueno	26.7
	Bueno	60.0
	Regular	13.3
Escopleado	Bueno	80.0
	Regular	20.0
Cepillado	Excelente	75.0
	Bueno	25.0
Torneado	Excelente	85.0
	Bueno	15.0
Moldurado	Excelente	84.2

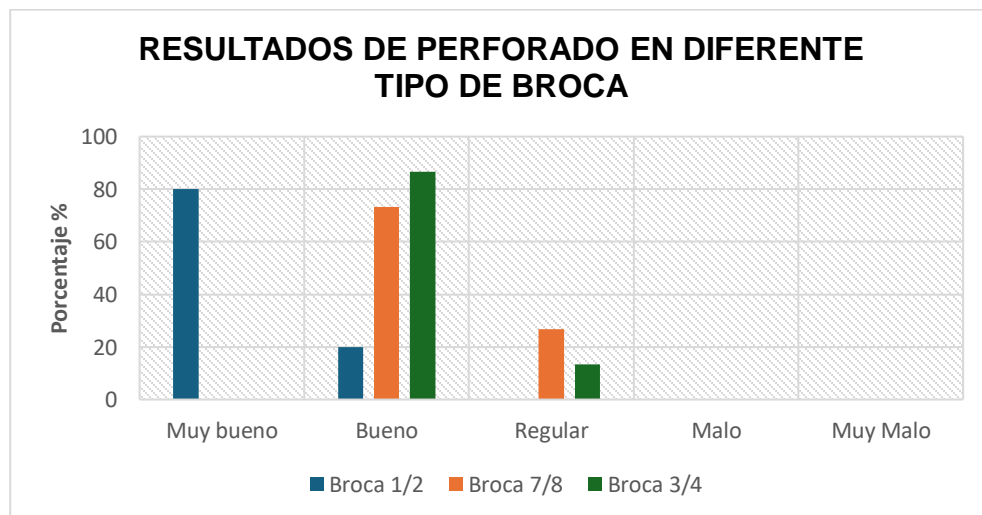
	Bueno	15.8
Clavado	Sin defectos por clavado	87.7
	Fisuras más del 50 %	12.3
	Muy Bueno	40
Lijado	Bueno	22.5
	Regular	37.5

### 5.3.1. Perforado

Para la prueba de perforado se utilizaron 3 tipos de brocas (1/2, 7/8, 3/4); con cada broca se utilizaron 15 probetas donde se controló y se verificó el comportamiento de la fibra. Los resultados mostraron que la perforación hecha con la broca de 1/2 es muy buena y fácil de perforar debido a que el tamaño de la broca brinda un mejor acabado. La broca de 3/4 se considera buena; las perforaciones realizadas con este tipo de dimensión muestran algunas irregularidades en el acabado, como ser fibras sueltas, y la broca de 7/8 mostró resultados buenos; se logra percibir mayor presencia de fibras sueltas, pero es muy fácil de perforar; por lo tanto, se considera que esta madera cumple con los estándares de un buen perforado.

#### Gráficas 4:

*Resultados de perforación*

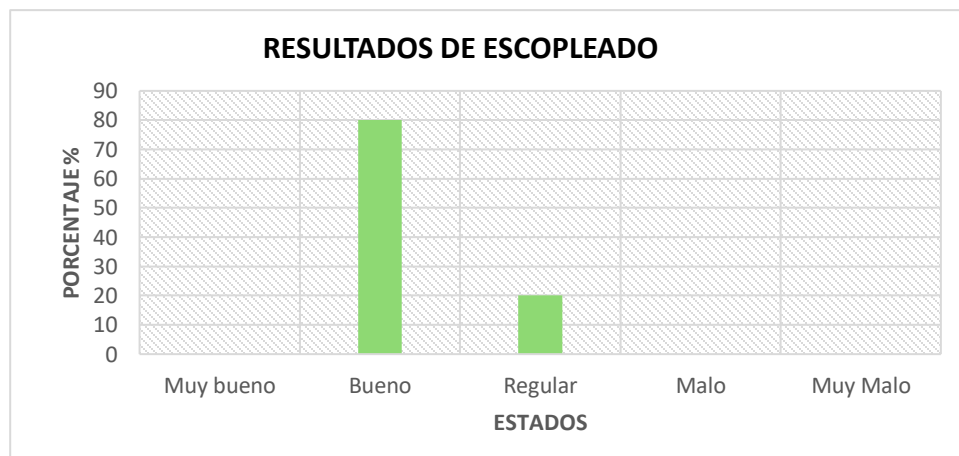


### 5.3.2. Escopleado

La prueba de escopleado se realizó con una broca 3/8, con un motor que contiene una velocidad de 2400 rpm; en estas pruebas se utilizaron 20 probetas debido a la disponibilidad de material y la selección de probetas en buen estado. Los resultados demostraron que el 80 % de las probetas obtiene un buen estado a la hora de escopleado y un 20 % de las probetas demuestran un estado regular. Esto es debido a que algunos escopleados tienen presencia de fibras sueltas y algunas irregularidades en el acabado de la mortaja.

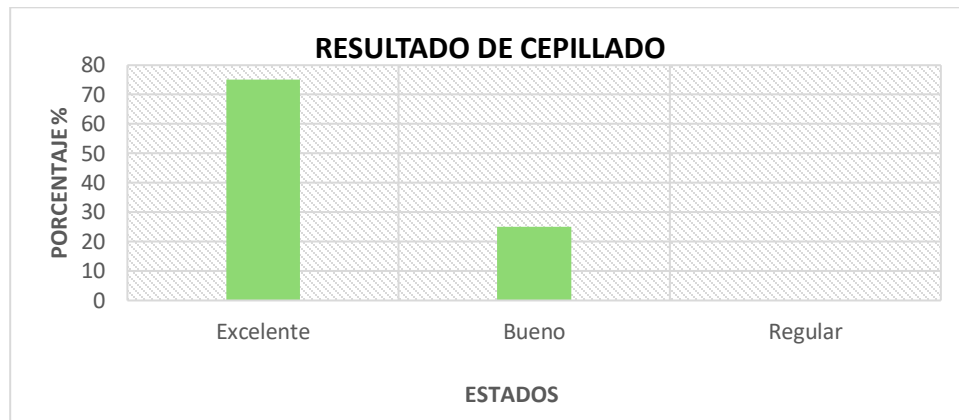
#### Gráficas 5:

*Resultado de escopleado*

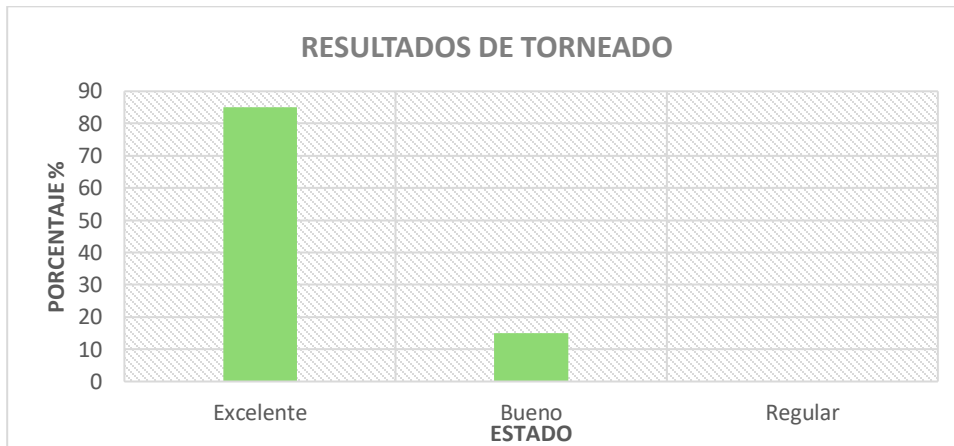


### 5.3.3. Cepillado

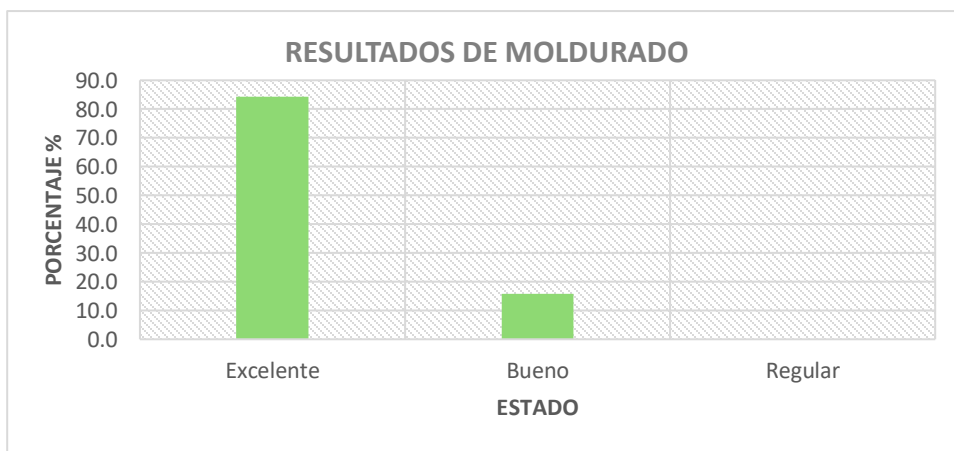
Se utilizó una cepilladora de 13 pulg con 27,000 rpm. Para este proceso se utilizaron 20 ensayos, donde se obtuvo un resultado de 75 % de pruebas con un excelente acabado y el 25 % restante consiguió un estado bueno. El cepillado de esta madera es excelente, cumple con la función de un buen acabado, pero en ciertas circunstancias presenta fibras sueltas que pueden interferir en el acabado final.

**Gráficas 6:***Resultados de cepillado***5.3.4. Torneado**

Esta madera es muy buena para tornear, tiene un buen comportamiento a la hora de aplicar acabados. Se realizaron 20 ensayos donde los resultados demostraron que el 85 % de las probetas tuvieron un comportamiento excelente, donde no se presenciaron defectos físicos. El 15 % de los demás ensayos obtuvieron un buen estado, debido a ciertas alteraciones como ser la presencia de pequeñas fibras sueltas que sobresalen de la superficie. Se logró observar que se pueden aplicar buenos diseños de torneado debido a la fibrosidad y color de la madera.

**Gráficas 7:***Resultado de torneado***5.3.5. Moldurado**

Para la prueba de moldurado se utilizó un Reuters para moldura de 27,000 rpm con  $\frac{1}{2}$  HP. Se utilizaron 20 probetas donde se determinó que el 84.2 % de los ensayos obtuvieron un excelente estado y el 15.8 % mostró un estado bueno. Esta madera para el moldurado es excelente; cumple con un acabado suave y muy definido.

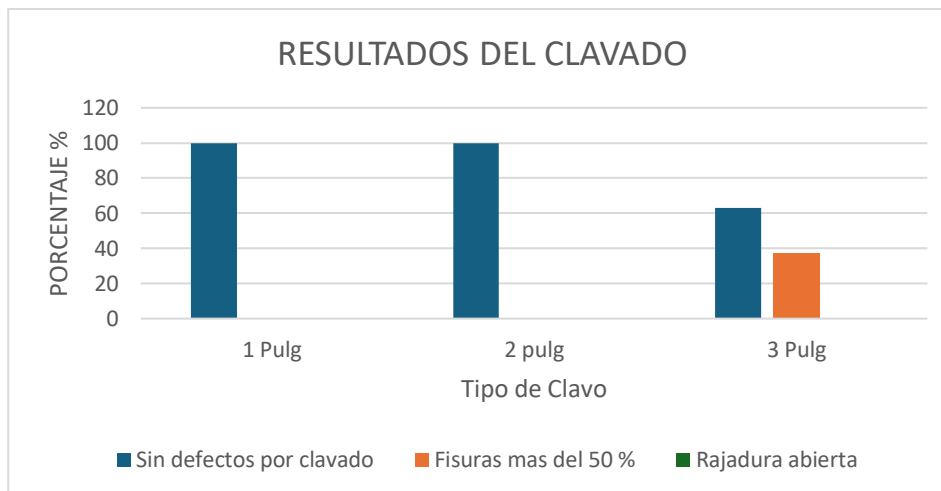
**Gráficas 8:***Resultados de moldurado*

### 5.3.6. Clavado

Para el clavado se manejó tres tipos de clavos (1", 2", 3"); se utilizaron 10 probetas donde cada clavo se colocó a un distanciamiento de 1 pulg. Los resultados demostraron que en los clavos de 1 y 2 pulg se obtuvo un resultado de 100 %, donde no hubo fisuras y defectos en la fibra de la madera. En el clavo de 3 pulg se obtuvo un resultado del 63 % sin defectos o irregularidades en la fibra y el 37 % restante demostró fisuras más del 50%.

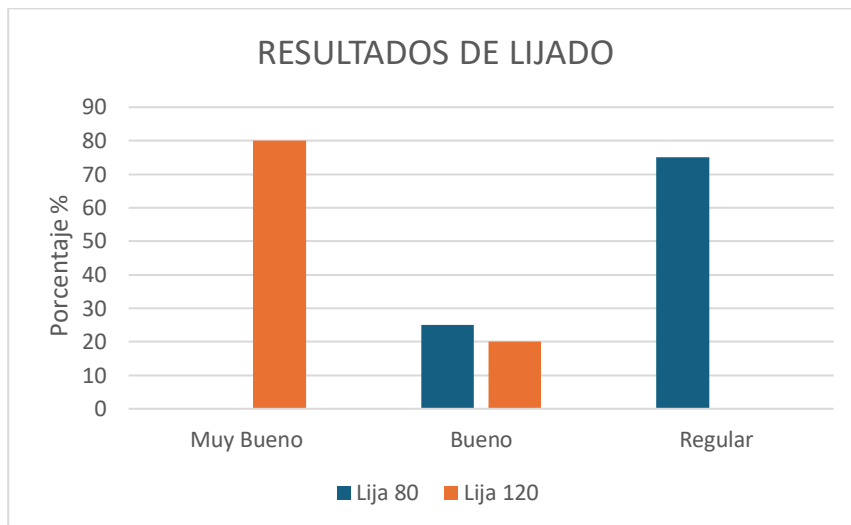
#### Gráficas 9:

*Resultado de clavados*



### 5.3.7. Lijado

En el lijado se emplearon las mejores 20 probetas, donde se usaron lijas de número 80 (grano grueso) y 120 (grano fino). Los datos reflejan que la lija número 80 muestra un 25 % de estado bueno y un 75 % de estado regular. En la lija 120, los análisis muestran un 80 % de un estado muy bueno y el 20 % en un estado bueno. Se debe utilizar lija fina para definir muy bien los acabados de esta madera; la lija gruesa crea líneas profundas que dañan el hilo de la madera.

**Gráficas 10:***Resultado de lijados*

#### **5.4. Usos potenciales de la especie *Ilex tectonica* W. Hahn según sus propiedades físicas**

- Bárcenas (1985) determina que la madera de *Ilex tectonica* W. Han se puede utilizar para piezas de ebanistería, puertas, ventanas, mangos, herramientas, molduras, lápices, cajas, estuches, recubrimientos de interiores, duelas, juguetes, artesanías, artículos torneados y chapas decorativas.
- Peña & Martínez (2006) la establecen como una madera muy estable; por lo tanto, la consideran como una especie que se desenvuelve bien en artículos como muebles u otros productos derivados de la carpintería.
- Yao (2022) las clasifica como madera para construcciones ligeras y fabricación de artículos pequeños; también las establece en gran medida para incrustaciones y torneado.

### 5.5. Usos potenciales de la madera *Ilex tectonica* W. Hahn según las propiedades mecánicas:

Según CUPROFOR (2004), en cuanto a su resistencia mecánica, debe ser utilizada en la elaboración de productos, como ser pisos de residencias, peldaños de escaleras y pasamanos, puertas, ventanas y sus respectivos contramarcos, soleras. También puede ser utilizada para la elaboración de cajas, palillos de fósforos y artesanías.

### 5.6. Usos potenciales de la madera *Ilex tectonica* W. Hahn según sus pruebas de trabajabilidad:

Esta madera CUPROFOR (2004) la define con excelentes características de trabajabilidad; se puede utilizar para ebanistería, como ser muebles con acabados muy finos y gabinetes.

### 5.7. Comparación de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la especie *Ilex tectonica* W. Hahn a partir de antecedentes investigativos de su entorno natural, con información recopilada de la especie establecida en sistema agroforestal.

#### 5.7.1. Comparación de propiedades físicas

- Benítez & Montesinos (1988), en el catálogo de cien especies forestales de Honduras: distribución, propiedades y usos.

Propiedades físicas <i>Ilex tectonica</i> W. Hahn (Catálogo de cien especies forestales de Honduras)	Propiedades físicas <i>Ilex tectonica</i> W. Hahn en sistema agroforestal
Relación contracción radial/tangencial	Relación contracción radial/tangencial
1.7 - 2.30	1.96

- CUPROFOR (2004), en su propiedades físico-mecánicas y usos potenciales de la especie *Ilex tectonica* W. Hahn.

<b>Propiedad</b>	<b>Promedio</b>	<b>Promedio de las propiedades determinadas</b>
Densidad anhidra	0.53 g/cm <sup>3</sup>	0.47 g/cm <sup>3</sup>
Densidad básica	0.46 g/cm <sup>3</sup>	0.44 g/cm <sup>3</sup>
Contracción volumétrica total	13.28%	7.38 %
Relación de contracción	2.34	1.96
Punto de saturación de fibras	28.09%	29.23 %

- Shupe (2004), en Propiedades de la Madera de Especies Maderables Menos Utilizadas Seleccionadas en Honduras.

<b>Propiedad</b>	<b>Promedio</b>	<b>Promedio de las propiedades determinadas</b>
Contracción radial	5.9 %	3.75 %
Contracción tangencial	2.5 %	6 %
Contracción volumétrica	8.4 %	7.32 %
Punto de saturación de fibras	28.01 %	29.23 %

En comparación de los árboles desarrollados en el entorno natural con los árboles establecidos en el sistema agroforestal, demuestran una similitud en los datos, las propiedades físicas determinadas entran en el rango establecido de la especie. Las densidades, según la tabla de Peña & Martínez (2006), se encuentran en los rangos de ligera a semiligera; las relaciones de contracciones se posicionan en categorías estables; las contracciones volumétricas radiales y tangenciales se establecen de baja a media.

Esto significa que la especie, de acuerdo a su entorno de desarrollo, comparte una anisotropía de valor bajo a medio, en este caso sus direcciones (radial, longitudinal, tangencial) cambian, pero no son muy afectadas; esto contrasta con un valor dimensional estable. Las pequeñas diferencias pueden

ser debido a las circunstancias de la zona como ser actividades silviculturales o presencia de madera joven en el sistema agroforestal

### 5.7.2. Comparación de propiedades mecánicas

Para la comparación de las propiedades mecánicas solo se hará exclusivamente con la Norma ASTM D143-94<sup>5</sup>, debido a que hay antecedentes investigativos que emplearon otra norma y esto puede generar variaciones significativas en las comparaciones debido a las dimensiones de las probetas proporcionadas por la norma.

En el antecedente investigativo de Shupe (2004), muestra propiedades mecánicas de la especie *Ilex tectonica* W. Hahn, que fueron realizadas bajo las Norma ASTM D143-94.

**Tabla 16:**

*Tabla de comparación de propiedades mecánicas de la especie Ilex tectonica W. Hahn, Norma ASTM D143-94.*

Propiedad	Medición	Promedios de Antecedentes	Promedios determinados
Flexión estática	MOR	479.73 kg/cm <sup>2</sup>	716.27 kg/cm <sup>2</sup>
Compresión paralela a la fibra	Esfuerzo máximo	244.73 kg/cm <sup>2</sup>	198.40 kg/cm <sup>2</sup>
Compresión perpendicular a la fibra	ELP	40.79 kg/cm <sup>2</sup>	33.60 kg/cm <sup>2</sup>

Esta comparación muestra que hay un incremento en el módulo de ruptura (MOR); esto significa que esta madera soporta mayor fuerza de flexión antes de

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

llegar a su punto de quiebre. La compresión paralela a la fibra muestra que hay una disminución de la resistencia máxima; esto demuestra que hay una menor resistencia en el eje longitudinal, y la compresión perpendicular a la fibra evidencia que el esfuerzo límite proporcional se reduce y provoca que se presenten mayores deformaciones a la hora de aplicar fuerzas o esfuerzos transversales.

Por otra parte, se encuentran los resultados de los antecedentes de las propiedades mecánicas de CUPROFOR (2004), los cuales fueron calculados con las Normas COPANT considerando un contenido de humedad de 109 %.

**Tabla 17:**

*Tabla de relación de propiedades mecánicas de Ilex tectonica W. Hahn*

<b>Propiedad</b>	<b>Medición</b>	<b>Promedios de antecedentes Norma COPANT</b>	<b>Promedios determinados Norma ASTM D143-94</b>
Flexión estática	Módulo de ruptura	481.7 kg/cm <sup>2</sup>	716.27 kg/cm <sup>2</sup>
Compresión paralela	Resistencia máxima	124.5 kg/cm <sup>2</sup>	198.40 kg/cm <sup>2</sup>
Compresión perpendicular	Esfuerzo límite proporcional	25.23 kg/cm <sup>2</sup>	33.60 kg/cm <sup>2</sup>

No podemos adaptar un modelo comparativo debido a que las pruebas fueron realizadas con diferentes metodologías, pero para fines de conocimiento

solo se mostrará una relación entre las Normas ASTM D143-94<sup>6</sup> y Normas COPANT<sup>7</sup>.

El catálogo de las Cien especies forestales por Benítez & Montesinos (1988) establece que las propiedades mecánicas del género *Ilex* son similares al holly (*Ilex*) americano europeo. De acuerdo con Peterson (2021), establece propiedades mecánicas en estado verde del holly, específicamente la compresión perpendicular y paralela a la fibra. No se estableció un modelo comparativo debido a que utiliza diferente normativa; en este caso solo se hará una relación de los resultados.

**Tabla 18:**

*Tabla de relación de propiedades mecánicas de Ilex tectonica W. Hahn*

<b>Propiedades Mecánicas de Holly (Ilex) americano</b>		
Propiedades	Valor (MPa)	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )
Compresión paralela a la fibra (Esfuerzo máximo)	18.2 MPa	185 kg/cm <sup>2</sup>
Compresión perpendicular a la fibra (Esfuerzo máximo)	4.2 MPa	43 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Propiedades Mecánicas de la <i>Ilex tectonica</i> W. Hahn</b>		
Compresión paralela a la fibra (Esfuerzo máximo)	19.46 MPa	198.40 kg/cm <sup>2</sup>
Compresión perpendicular a la fibra (Esfuerzo máximo)	4.72 MPa	48.12 kg/cm <sup>2</sup>

Para la verificación de los resultados de las pruebas mecánicas se utilizó la clasificación de características mecánicas de maderas mexicanas en condición verde de Dávalos & Bárcenas (2016). Para esta clasificación se utilizarán los

<sup>6</sup> D07 Committee. (s. f.). Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D0143-94>.

<sup>7</sup> CUPROFOR. (2004). Propiedades y Usos de la Madera de San Juan Areño (No. Informe Técnico 10; Número Informe Técnico 10, p. 24). Centro de Utilización y Promoción de Productos Forestales.

antecedentes investigativos de Shupe (2004) y las propiedades determinadas de esta investigación.

**Tabla 19:**

*Clasificación de características mecánicas según antecedentes investigativos y propiedades determinadas condición verde*

Propiedades Mecánicas	Propiedades	Variable	Clasificación de características mecánicas de maderas mexicanas en condición verde			
			Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto
Propiedades Mecánicas determinadas <i>Ilex tectorica</i> W. Hahn	Flexión estática	MOR				x
	Compresión perpendicular	ELP		x		
	Compresión paralela	E. Máximo		x		
Propiedades mecánicas <i>Ilex tectorica</i> W. Hahn Shupe (2004)	Flexión estática	MOR		x		
	Compresión perpendicular	ELP		x		
	Compresión paralela	E. Maximo		x		

En la clasificación de pruebas mecánicas, se logra observar que las propiedades de flexión estática, según el antecedente de Shupe (2004), mantienen un MOR bajo. Mientras que el MOR de la flexión estática del *Ilex tectorica* W. Hahn determinada del sistema agroforestal muestra un resultado más alto que el del antecedente investigativo. De igual forma, la comprensión paralela y perpendicular que muestra el san juan areno en los antecedentes y en el sistema agroforestal se mantiene en un rango bajo; por lo tanto, podemos definir que la única diferencia significativa que surge en base a los datos proporcionados son las propiedades de la flexión estática. Esto implica que la madera soporta un poco más las cargas que son sometidas a esfuerzo de flexión,

pero debido a su bajas compresiones perpendiculares y paralelas a las fibras, no soporta cargas verticales directamente.

### 5.7.3. Comparación de propiedades de trabajabilidad

Para fines interpretativos de los resultados, se hizo una comparación complementaria de las pruebas de trabajabilidad; en este caso utilizaremos las pruebas realizadas por CUPROFOR (2004), que se realizaron en base a las normas ASTM D1666-87<sup>8</sup>, en las cuales se establecieron rangos aceptables de cómo se comporta la madera a la hora de trabajarla.

**Tabla 20:**

*Comparación de pruebas de trabajabilidad CUPROFOR VS Propiedades determinadas Ilex tectonica W. Hahn.*

<b>Prueba de trabajabilidad</b>	<b>Comportamiento <i>Ilex tectonica</i> W. Hahn CUPROFOR 2004 ASTM D1666-87</b>	<b>Comportamiento de <i>Ilex tectonica</i> W. Hahn ASTM D1666-87</b>
Cepillado	Buen comportamiento en el cepillado con un poco grano rasgado	Cepillado de la madera es excelente, suele presentar fibras sueltas
Moldurado	Libre de grano vellosa, demostrando un excelente comportamiento	Es excelente para moldurado cumple con un acabado suave y definido
Perforado	Es excelente para el taladro	Es muy fácil para el perforado acabado bien definido con un poco de fibras sueltas
Escopleado	Esta madera es excelente para el escopleado	Es buena para el escopleado con presencia de fibras.
Torneado	Buen comportamiento para el torneado	Es muy buena para torneado, se comporta de una buena manera
Clavado	Moderadamente fácil para torneado, presenta un cierto porcentaje de fisuras y rajaduras	Es buena para el clavado, suele presentar fisuras abiertas y rajaduras con clavos de mayor dimensión
Lijado	Excelente comportamiento en el lijado con textura fina a media.	Muy bueno para lijado, con lija fina presenta excelente textura

<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>

Según las comparaciones brindadas, se logra observar que las especificaciones por los dos enunciados comparativos establecen una verificación aceptable de que la madera de *Ilex tectonica* W. Hahn, es excelente para trabajabilidad. Muestra ciertas capacidades que hacen que la madera se comporte de una manera factible en trabajos que requieran usos de carpintería. Es importante tomar en cuenta el valor agregado que es su color, definido como un color blanco crema que es muy atractivo para elaborar diseños como torneados o incrustaciones.

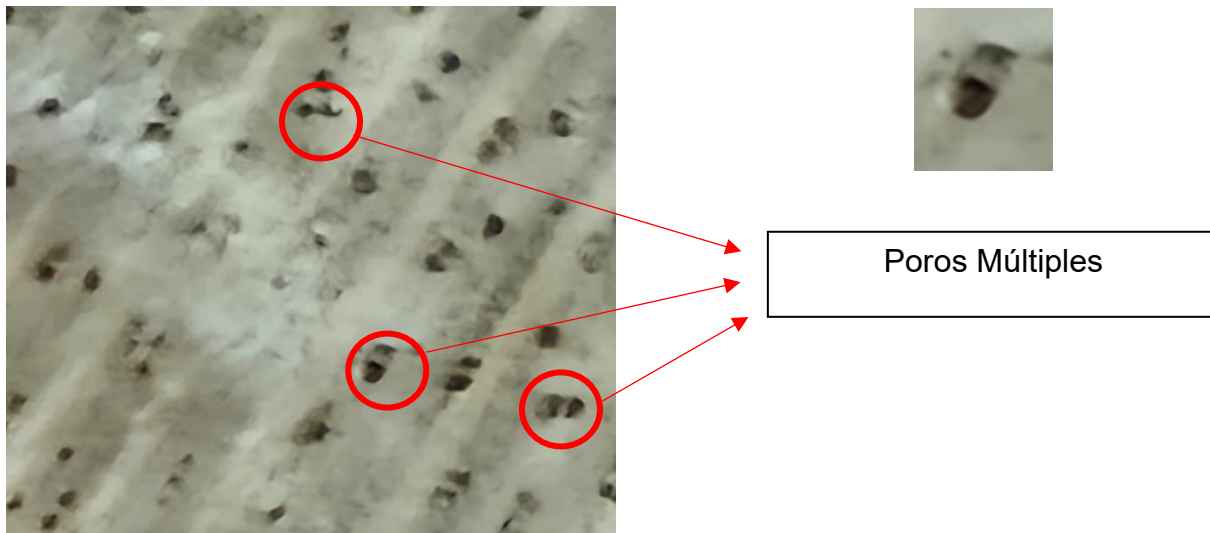
## **5.8. Otros resultados**

### **5.8.1. Características Macroscópica de la especie *Ilex tectonica* W. Hahn**

La cantidad de poros que presenta esta madera es muy numerosa; posee poros solitarios y múltiples con una formación difusa. Los anillos de crecimiento de esta especie no se suelen ver; son poco marcados debido a su porosidad; esto dificulta su visualización. Tiene presencia de radios leñosos gruesos y repartidos que se posicionan a través de los anillos de crecimiento. No contiene olor distintivo y su sabor es levemente amargo; el veteado se presenta de una forma semipronunciada debido a las líneas vasculares y tamaños de los radios. Su textura es de media a fina y su color es blanco hueso o blanco crema con un hilo recto; dureza media con poco desprendimiento de brillo.

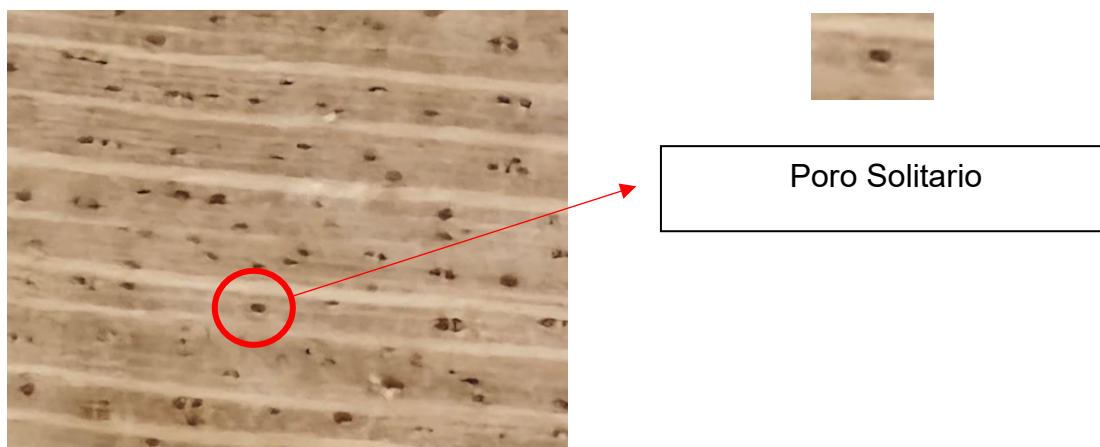
**Ilustración 15:**

*Poros múltiples Ilex tectonica W. Hahn*



**Ilustración 16:**

*Poros solitario Ilex tectonica W. Hahn*



**Ilustración 17:**

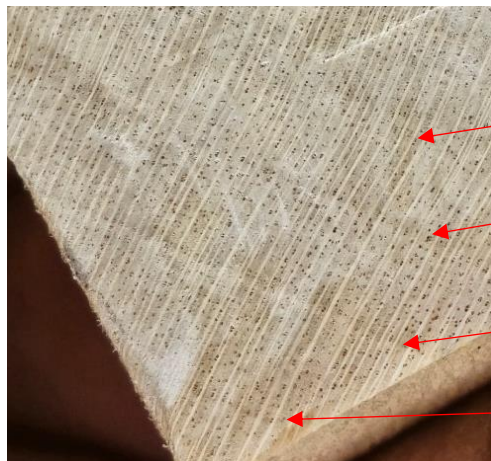
*Porosidad difusa Ilex tectonica W. Hahn*



Porosidad Difusa

**5.8.1.2. Anillos de crecimiento****Ilustración 18:**

*Anillos de crecimiento de Ilex tectonica W. Hahn*

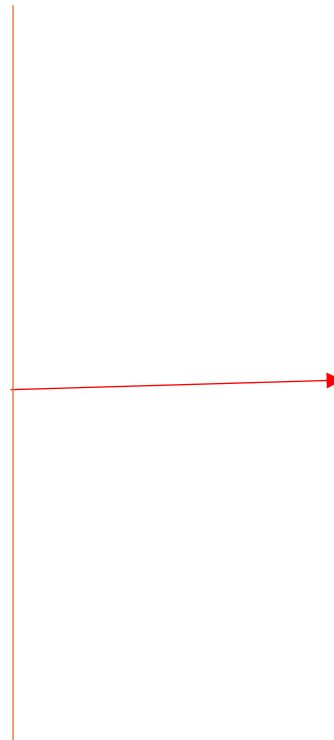


Anillos de Crecimientos (*Ilex tectonica* W. Hahn)

### 5.5.1.3. Radios

#### Ilustración 19:

*Presencia de radios leñosos Ilex tectonica W. Hah*

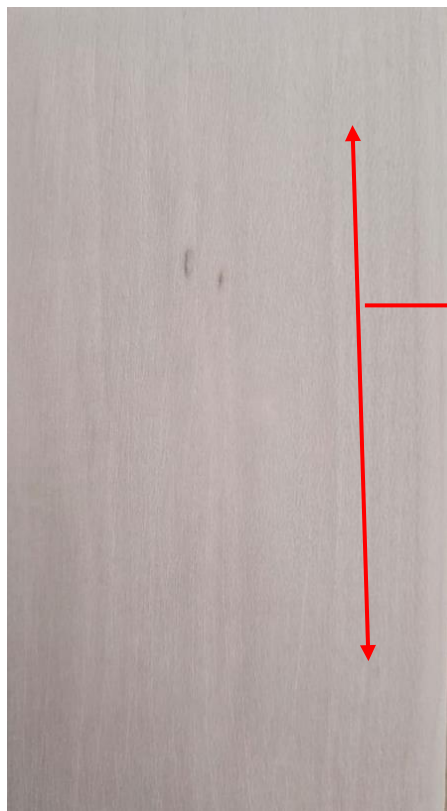


Radios leñosos gruesos y repartidos

### 5.8.1.4. Características organolépticas

A continuación, se presentarán las características organolépticas para determinar e identificar el estado de la madera, donde se evaluaron propiedades como ser el veteado, color, olor, sabor, textura, brillo e hilo de la madera.

#### 5.8.1.4.1. Veteado



Veteado leve suave y  
uniforme

#### 5.8.1.4.5. Color de la madera

Ilustración 20:

*Color de la madera Ilex tectonica W. Hahn*



FEFF2

Su color se basa en un blanco crema o color blanco hueso

- **Código HTML:** FEFF2
- **RGB:** 254, 255, 242

#### 5.8.1.4.6. Hilo Grano o Fibra

Ilustración 21:

*Presencia del hilo o dirección de la fibra Ilex tectonica W. Hahn*



**Hilo Recto:** Esto presenta una facilidad para la trabajabilidad.

#### 5.8.1.4.7. Dureza

##### Ilustración 22:

*Identificación de la dureza de la Ilex tectonica W. Hahn*



**Dureza media:** Se logra observar una marca poco distinguida realizada con la uña

#### 5.8.1.4.8. Brillo

##### Ilustración 23:

*Detección de brillo Ilex tectonica W. Hahn*



Contiene poco brillo, suele ser muy opaca.

## CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

El estudio generado añade un valor agregado a los sistemas agroforestales en asociación a esta especie; según los resultados mostrados, se logra observar que las alternativas de uso de maderas provenientes de este sistema agroforestal son viables para su uso. La *Ilex tectonica* W. Hahn mostró ser una especie con gran capacidad de utilidad; conforme a las comparaciones con estudios de referencia en bosques naturales, esta especie se desarrolla de igual manera que en su hábitat natural. El manejo silvícola proporcionado a la especie es adecuado y cumple con los requerimientos necesarios para un desarrollo óptimo; la madera muestra una buena estabilidad dimensional, puede aplicarse para esfuerzos medios y tiene un buen comportamiento en el proceso de transformación; esto nos ofrece un producto uniforme y de calidad. Además, es una alternativa sostenible, ya que potencializa y contribuye a la diversificación de cultivos, creando sistemas más productivos e impulsando los beneficios económicos del productor.

Las pruebas físicas fueron aceptables en cuanto a su comparación; determino una densidad básica de  $0.44 \text{ g/cm}^3$ ; esto representa  $440 \text{ Kg/m}^3$ . Según la clasificación propuesta por Peña y Martínez (2006), la cataloga como una densidad ligera. Las contracciones de la especie se encuentran en intervalos bajos, como sus contracciones radiales y tangenciales, que son de 3.75 - 6.00 %, respectivamente, y su contracción volumétrica, que es de 7.38 %. Tomando en cuenta la clasificación de la organización ONF-COSTA RICA (2015), plantea que las propiedades resultantes están en un rango de bajo a medio.

CUPROFOR (2004) define que, la madera de *Ilex tectonica* W. Hahn, los coeficientes de contracción son bajos, lo que indica que esta especie no presentará cambios dimensionales significativos al finalizar el secado; además, la categorización de una densidad ligera indica que las contracciones no deben presentarse en rangos altos.

De manera comparativa, podemos establecer el análisis relativo de la especie en cuanto a su zona de desarrollo (entorno natural, sistema agroforestal). Se visualiza que las diferencias en cuanto a sus propiedades físicas no son de mucha variabilidad; según los antecedentes propuestos, demuestran que la especie se encuentra en rangos estables de bajo a medio y que ciertos resultados se mantienen en el intervalo aceptable; por lo tanto, es una especie de densidad ligera y estable, lo cual la hace muy propicia para usos que requieran de una estabilidad dimensional.

Para las propiedades mecánicas solo se utilizó una variable para su comparación, ya que los demás estudios utilizan una norma distinta y esto puede dificultar la comparación directa y precisa. En las propiedades mecánicas de la especie según los trabajos comparativos, se logra verificar que, en efecto, sí hay diferencias significativas, pero no están muy alejadas de los estudios previamente seleccionados. Los resultados comparativos de compresión paralela y perpendicular a la fibra muestran que el esfuerzos máximo y el esfuerzo límite proporcional se acercan a los valores proporcionados por la literatura, en la cual según Dávalos & Bárcenas (2016), los clasifican mediante rangos definidos muy bajos, bajos, medios y altos; en este caso, ubica a la compresiones paralela y perpendicular en el rango “bajo”.

La compresión paralela al grano, proporciona una menor resistencia de la madera en la dirección longitudinal, mientras que la compresión perpendicular tiene una menor resistencia a cargas o fuerzas en el eje transversal. Esto es un indicativo resulta del crecimiento acelerado, que se puede asociar con el manejo silvícola adecuado que se le dio a la especie. Por otro lado, la flexión estática es la que muestra diferencias significativas, mostrando valores superiores en comparación con los estudios de referencia; esto puede indicar que se puede utilizar para aptos de flexibilidad. La relación observada entre la flexión estática y las compresiones paralelas y perpendiculares indica que esta madera tiene un buen desempeño en esfuerzos de flexión. Por otro lado, la baja capacidad en sus compresiones la hace menos adecuada para fuerzas o presiones directas, esta

característica hace que la madera sea apropiada para construcciones de interiores o partes de muebles.

Las pruebas físicas tienen una relación muy directa con las propiedades mecánicas; según Sánchez (2018), él establece que las especies que presentan una menor resistencia en pruebas de compresión son aquellas que tienen una densidad ligera. En este caso, la especie *Ilex tectonica* W. Hahn establecida en el sistema agroforestal contiene una densidad ligera con compresiones bajas; esta observación afirma la relación que existe entre las propiedades mecánicas y físicas.

Las pruebas de trabajabilidad mostraron resultados muy satisfactorios en cuanto al comportamiento de la madera; el nivel de desempeño se evaluó en base a porcentajes, midiendo la capacidad y clasificando la madera a partir del uso de herramientas manuales y eléctricas.

En las pruebas de perforado, clavado y lijado se utilizaron brocas, clavos y lijas de distinto tamaño y espesor, con el propósito de obtener mejores resultados a la hora de la evaluación de desempeño en la madera. En este caso, se obtuvo datos más factibles debido a las dimensiones utilizadas y se logró confirmar especificaciones en la madera, como ser fibras sueltas según el tipo de broca utilizada, rajaduras abiertas de acuerdo al tipo de clavo y presencia de fibras libres en el lijado.

La comparación fue muy similar con los estudios de referencia; en sus generalidades, esta madera proveniente de un sistema agroforestal es muy fácil de trabajar. Esta madera es muy fácil para su aserrado y excelente para utilizarla con herramientas de carpintería (Peña, 2014). Los acabados como son la moldura, el torneado y el lijado presentan acabados muy buenos, lo que hace referencia a que estas pruebas demuestran que para el uso de ebanistería o carpintería son muy aceptables.

Las propiedades macroscópicas de *Ilex tectonica* W. Hahn arrojaron resultados que enriquecen la finalidad de la investigación. En esta parte se logró

visualizar la porosidad de la madera, la cual se cataloga con una porosidad difusa con presencia de poros múltiples y solitarios; esto significa que esta característica suele dar una textura más uniforme y homogénea, lo que la hace una madera más fácil para poder trabajar. En este tipo de porosidad ocurre una característica específica: los anillos de crecimiento no suelen percibirse de una manera fácil; además, hay que agregar la consistencia del color de la madera de la *Ilex tectonica* W. Han.

Se puede hacer una relación con datos obtenidos en las evaluaciones de las propiedades de la madera con los aspectos silviculturales. La especie presentó un crecimiento moderado, presentando un IMA de 8.3 m<sup>3</sup>/ha/año esto puede reflejar de manera directa su densidad ligera y su bajo indicador de compresión. La presencia de fustes uniformes a través de podas constantes mejora la calidad del tronco, promoviendo menos defectos en las fibras y mejorando la calidad de la flexión. La especie *Ilex tectonica* W. Hahn del sistema agroforestal muestra que es muy viable para usos estructurales que requieran de esfuerzos medios, como ser usos en carpinterías, ebanistería y usos en interiores.

## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones

Se realizaron las propiedades físicas donde se determinaron las densidades, contracciones y contenido de humedad de la madera de *Ilex tectonica* W. Hahn. Esto estableció que la madera presenta una densidad ligera con contracciones de estado de bajo a medio, lo que significa que la madera posee una buena estabilidad dimensional; esto indica que la madera es propicia para usos que requieran construcciones de interiores, como ser muebles livianos o algunas artesanías decorativas.

Se realizaron las propiedades mecánicas, donde se estableció la resistencia de la madera en cuanto a las fuerzas externas. La madera de *Ilex tectonica* W. Hahn, establecida en un sistema agroforestal, demostró un comportamiento a la compresión paralela y perpendicular de nivel bajo con una flexión predominante. Esto demuestra que el comportamiento de la especie no es bueno para usos exteriores, pero se puede emplear para productos sometidos a esfuerzos medios, como ser pisos, escaleras o construcciones de interiores.

Se establecieron los usos de la madera de acuerdo a las propiedades físicas y mecánicas y de trabajabilidad, como ser pisos de residencias, peldaños de escaleras y pasamanos, puertas, ventanas y sus respectivos contramarcos, soleras. También puede ser utilizada para la elaboración de cajas, palillos de fósforos y artesanías, recubrimientos de interiores, duelas, juguetes, artesanías, artículos torneados y chapas decorativas; además, es muy importante tomar en cuenta el color de la madera, que puede ser utilizado para aplicación de teñidos de colores.

Se ejecutaron las pruebas de trabajabilidad donde se demostraron acabados excelentes, muy buenos, buenos y algunos regulares. Esta madera es muy fácil para trabajar con herramientas manuales y eléctricas; se suelen

presentar algunas irregularidades, como ser pequeñas fibras sueltas y quemaduras ejercidas por la máquina. Se puede catalogar como una madera muy buena para trabajabilidad.

Se realizó la comparación de las propiedades físicas y mecánicas de la especie *Ilex tectonica* W. Hahn, de acuerdo a su entorno de desarrollo, lo cual demostró que, las diferencias no son muy significativas en las propiedades físicas, en cuanto a las propiedades mecánicas de la compresión tanto de los antecedentes como del sistema agroforestal se mantienen bajos, pero el módulo de ruptura de la flexión estática aumenta, lo que se sugiere que la madera puede utilizarse para esfuerzos medios como ser piso o partes de muebles.

## 7.2. Recomendaciones

Se recomienda utilizar esta especie para usos decorativos que requieran de incrustaciones o procesos de teñidos; el color blanco de esta madera hace que se puedan aplicar bruñidos o impregnados de color. Esta estrategia mejora la calidad de diseño y aumenta el interés comercial del mercado.

Esta especie no debe utilizarse para usos de exteriores, ya que es muy susceptible a plagas y humedad. La madera utilizada para esta investigación sufrió afecciones a través de la presencia de hongos denominados “mancha azul”. De igual forma, se recomienda utilizarla para usos de interiores con condiciones reguladas para mantener mejor sus cualidades.

Esta madera se sugiere emplear para esfuerzos medios, siempre y cuando sea para aplicaciones de interiores. Algunos de estos usos pueden ser muebles de noche, estantes, revestimiento de paredes, pisos, gabinetes, partes de muebles, escaleras, marcos de puertas y ventanas, chineros de cocinas, entre otros.

Se deben potencializar más los sistemas agroforestales como alternativas viables de producción, siendo una solución integral en el manejo de recursos naturales y en la disponibilidad económica, mejorando la estabilidad social en comunidades o zonas rurales.

Es recomendable realizar catálogos de especies forestales que dispongan de información puntual, referente a la identificación herbaria y potencialidades de la madera, con el propósito de generar información sobre sus posibles aplicaciones, ya sea en sectores productivos, económicos o medicinales.

Se recomienda realizar xilotecas de especies forestales para el reconocimiento de maderas, con el propósito de fomentar los conocimientos tecnológicos de la madera, impulsando la educación y mejorando la formación técnica de la sociedad.

Es necesario disponer de información o antecedentes investigativos de fechas más actualizadas, con el propósito de brindar resultados de mayor validez y credibilidad. Esta investigación ofrece una actualización referente a las propiedades físico-mecánicas y a los usos potenciales de la especie *Ilex tectonica* W. Hahn.

Es fundamental promover el uso potencial de esta especie como una alternativa en la sustitución de maderas que cuenta con un mayor flujo de demanda en el mercado. Los resultados de la investigación muestran la eficiencia de la madera en diferentes aplicaciones que requieran de esfuerzos medios, incluyendo el factor estético, siendo el color un valor estratégico para el posicionamiento en el mercado ya sea a nivel nacional o internacional.

Se debe disponer de un equipo especializado para el estudio tecnológico de la madera. Es necesario contar con implementos necesarios que permitan una trazabilidad en los métodos o ensayos planificados, con el fin de obtener una mayor credibilidad a la hora de realizar las actividades establecidas. Además, esto crea una posibilidad de impulsar o crear beneficios al establecer un servicio público sobre la determinación de propiedades físico-mecánicas, proporcionando una ventaja significativa a la sociedad.

Las probetas utilizadas en los ensayos físicos y mecánicos deben contener dimensiones muy exactas de acuerdo a la norma establecida. La exactitud de los resultados depende en gran medida de las dimensiones establecidas; esto promueve la fiabilidad y veracidad de los resultados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITIM - Asociación de Investigación Técnica de la Madera. (2024). *Madera Generalidades*.

[https://infomadera.net/uploads/productos/informacion\\_general\\_2\\_Madera\\_general.pdf](https://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_2_Madera_general.pdf)

Arévalo, A. (2016). *Comparación de las Técnicas no Destructivas de Tomografía Ultrasónica y Resistencia en la Perforación en la Evaluación de Discos de la Madera* [Universidad Politécnica de Madrid E.T.S.I. Montes, Forestal y del Medio Natural (UPM)].

[https://oa.upm.es/44444/1/PFC\\_MAR\\_AINHOA\\_BASTERRECHEA\\_AREVALO.pdf](https://oa.upm.es/44444/1/PFC_MAR_AINHOA_BASTERRECHEA_AREVALO.pdf)

Bárcenas, P. (1985). *Recomendaciones para el uso de 80 maderas de acuerdo con su estabilidad dimensional*. <https://biblat.unam.mx/es/revista/nota-tecnica-instituto-nacional-de-investigaciones-sobre-recursos-bioticos/articulo/recomendaciones-para-el-uso-de-80-maderas-de-acuerdo-con-su-estabilidad-dimensional>

Benítez, R., & Montesinos, J. (1988). *Catálogo de Cien Especies Forestales de Honduras* (Escuela Nacional de Ciencias Forestales ESNACIFOR).

BETTERWOOD. (2024). *Términos Técnicos- MOE* [Web Comercial]. Madera EcoTropical. <https://betterwood.es/lexico/m%C3%B3dulo-de-elasticidad/>

Castellanos, J., Adachi, Koji, Iida, Ryuichi, & Hayashi, T. (2018). *Variabilidad y anisotropía en compresión transversal de ocho maderas mexicanas.: Vol. Volumen 14* (No. Numero 1). [https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-a-Probeta-de-madera-solida-b-Probeta-de-madera-laminada-R-Direccion\\_fig6\\_324830509](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-a-Probeta-de-madera-solida-b-Probeta-de-madera-laminada-R-Direccion_fig6_324830509)

- CUPROFOR. (2004). *Propiedades y Usos de la Madera de San Juan Areno* (No. Informe Técnico 10; p. 24). Centro de Utilización y Promoción de Productos Forestales.
- D07 Committee. (2025). *Test Methods for Small Clear Specimens of Timber*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D0143-25>
- Dávalos, R., & Bárcenas, G. M. (2016). Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición “verde”. *Madera y Bosques*, 4(1), 65-70. <https://doi.org/10.21829/myb.1998.411368>
- Escobar, Q. (2016). *Evaluación de las propiedades físicas de Zanthoxylum riedelianum Engl (Hualaja) a tres niveles, tres secciones transversales y dos orientaciones del fuste, provenientes de la zona de Tournavista – Huánuco*. <https://repositorio.unia.edu.pe/bitstreams/63ea04cd-63b6-41a0-bca5-a8ce27c534a3/download>
- FHIA. (2009). *Centro Agroforestal y Demostrativo del Trópico Húmedo (CADETH)* (p. 14). Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. [https://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/Cacao\\_y\\_agroforesteria.PDF](https://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/Cacao_y_agroforesteria.PDF)
- FHIA. (2021). *Informe Técnico 2021 Programa de Cacao y Agroforestería* (Centro de Comunicación Agrícola de la FHIA). FHIA. [https://fhia.org.hn/wp-content/uploads/inf\\_Programa\\_de\\_Cacao\\_y\\_Agroforesteria-2021.pdf](https://fhia.org.hn/wp-content/uploads/inf_Programa_de_Cacao_y_Agroforesteria-2021.pdf)
- FHIA. (2022). *Informe Técnico 2022 Programa de Cacao y Agroforestería* (Centro de Comunicación Agrícola de la FHIA). FHIA. [https://fhia.org.hn/wp-content/uploads/inf\\_Programa\\_de\\_Cacao\\_y\\_Agroforesteria-2022.pdf](https://fhia.org.hn/wp-content/uploads/inf_Programa_de_Cacao_y_Agroforesteria-2022.pdf)

- FHIA. (2023). *Informe Técnico 2023 Programa de Cacao y Agroforestería* (Centro de Comunicación Agrícola de la FHIA). FHIA. [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)
- Guevara, C., & Espinoza, M. (2013). *Manual de transformación de la madera* (AIDER-Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral). Organización Internacional de las Maderas Tropicales-OIMT. [https://www.itto.int/files/itto\\_project\\_db\\_input/2929/Technical/Technical%20report%20-%20Manual%20de%20transformacion%20de%20la%20madera.pdf](https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2929/Technical/Technical%20report%20-%20Manual%20de%20transformacion%20de%20la%20madera.pdf)
- Maldonado, R. (2024). *Trabajabilidad de La Madera*. <https://es.scribd.com/doc/174949868/TRABAJABILIDAD-DE-LA-MADERA-docx>
- MAMUCA. (2020). *Plan de Desarrollo Municipal con Enfoque de Ordenamiento Territorial*. <https://es.scribd.com/document/630017246/PDM-2020-2025-La-Masica-pdf>
- Mercedes, M., & Darío, G. (2012). *Importancia y determinación de las propiedades mecánicas de la madera* (Contacto Rural). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/62492>
- Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., & Eibl, B. (2015). *Sistemas Agroforestales Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales* (1 ed). CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). <http://cipav.org.co/wp-content/uploads/2020/08/sistemas-agroforestales-funciones-productivas-socioeconomicas-y-ambientales.pdf>

Municipalidad La Masica. (2022). *Municipio de La Masica* (p. 17 pg).  
[https://portalunico.iaip.gob.hn/ver\\_archivo/MTcyOTI1Nw==](https://portalunico.iaip.gob.hn/ver_archivo/MTcyOTI1Nw==)

ONF-COSTA RICA. (2015). *PROPIEDADES DE LA MADERA DE MADERAS MENOS USADAS SELECCIONADAS ESPECIES DE MADERA HONDUREÑAS*. ONF. <https://onfcr.org/ingenieria-de-la-madera>

Peña, S. (2014). *Principales Maderas Tropicales Utilizadas en España, Características, Tecnología y Aplicaciones* (Universidad Politécnica de Madrid). <https://oa.upm.es/32468/1/maderasTROPICALESmundo.pdf>

Peña, S., & Martínez, I. (2006). *Tecnología de la Madera* (3.<sup>a</sup> ed.). Ediciones Mundi-Prensa. <https://tecno1di.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/03/madera.pdf>

Perdomo, J. (2002). *Diagnostico Industrial de la Madera en las Zonas Norte y Centro de Honduras* (Departamento Industrias Forestales del Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA)). Organización Internacional de Maderas Tropicales OIMT. [http://www.itto.int/files/itto\\_project\\_db\\_input/2286/Technical/pd47-94-3%20rev3\(1\)%20s\\_Diagonistico%20Industrial%20de%20la%20Madera\\_S.pdf](http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2286/Technical/pd47-94-3%20rev3(1)%20s_Diagonistico%20Industrial%20de%20la%20Madera_S.pdf)

Peterson, J. (2021). VirginiaTech-Dendrology. *Virginia Polytechnic Institute and State University*. <https://dendro.cnre.vt.edu/DENDROLOGY/woodtech/ilex.pdf?>

Samuel, G. (2010). *Relaciones de humedad y propiedades físicas de la madera* (Edición del centenario). Departamento de Agricultura de EE. UU., Servicio Forestal, Laboratorio de Productos Forestales. <https://research.fs.usda.gov/treesearch/37428>

- Sánchez, Y., Gallardo, Á., & Delgado, R. (2018, mayo). Comparación de la resistencia de comprensión en maderas nativas. *Portal de Revistas Académicas* UTP. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/download/1820/2630>
- Shupe, Aguilar, & Vlosky. (2004). WOOD PROPERTIES OF SELECTED LESSER-USED HONDURAN WOOD SPECIES. *Centro Agrícola de la Universidad Estatal de Luisiana, Baton Rouge*. p. 352, 355.
- Suirezs, T., & Berger, G. (2009). *Descripciones de las Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera* (1 ed). Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones. [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)
- Tamarit Urias, J. C., Aguilar Sánchez, P., Velazquez, R. F., & Fuentes López, M. E. (2021). Aportes de investigación del INIFAP en tecnología de la madera y sus procesos de industrialización. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales, Especial-1*, p. 178. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12iEspecial-1.1086>
- Thirakul, S. (1998). *Manual de Dendrología Para 146 Especies Forestales del Litoral Atlántico de Honduras* (2. ed). Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal, Proyecto de Desarrollo del Bosque Latifoliado (Honduras), Programa Forestal Honduras Canada. <https://zdocs.mx/download/manual-de-dendrologias-rpq7q2oodq12?hash=ca42e11312923bffb421cc69c044a94a>
- UAEH. (2024). *Principio de Arquímedes* [Boletines Científicos]. Universidad Autónoma Del Estado De Hidalgo. <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n3/m4.html>

- UNAH. (2022). *Perfil Sociodemográfico de La Masica, Atlántida 2022*.  
<https://oee.unah.edu.hn/assets/Perfiles-Sociodemograficos/Atlantida-01/Reporte-de-0105-Atlantida-La-Masica.pdf>
- UNSE. (2022). *Fundamentos teóricos-prácticos de las propiedades físicas y mecánicas de la madera* (Faculta de Ciencias Forestales).  
<https://fcf.unse.edu.ar/wp-content/uploads/2014/07/sd-47-prop-fisicas-y-mecanicas-madera-HUMBLANDT.pdf>
- Valverde, P., Picado, V., & Gamboa, J. (2020). *Evaluación de tratamientos silviculturales en la sostenibilidad de bosques tropicales en la Región Huetar Norte, Costa Rica: Vol. vol.54*.  
[https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2215-38962020000100140#B16](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-38962020000100140#B16)
- Winandy, J. (1994). *Wood Properties* (Informe General Técnico No. FPL-GTR-76; Mechanical Properties of Wood, p. 45). USDA Forest Service, Forest Products Laboratory. <https://www.eximcorp.co.in/pdf/wood-properties-forest-product-lab-usa.pdf>
- Yao, X., Zhang, F., & Corlett, R. T. (2022). Utilization of the Hollies (*Ilex L. spp.*): A Review. *Forests*, 13(1), p. 8. <https://doi.org/10.3390/f13010094>

## ANEXOS

### Anexo 1: Identificación de la parcela agroforestal y selección de los árboles a corta de *Ilex tectonica* W. Hahn

#### Ilustración 24:

*Parcela agroforestal Ilex tectonica* W, Hahn.



### Anexo 2: Aserrado de la madera proveniente del sistemas agroforestal del *Ilex tectonica* W. Hahn

#### Ilustración 25:

*Medición de la madera aserrada del Ilex tectonica* W. Hahn



### Anexo 3: Desarrollo de las pruebas físicas de la madera *Ilex tectonica* W. Hahn

#### Ilustración 26:

*Marcación y sumersión de probetas para pruebas físicas*



#### Ilustración 27:

*Medición de probetas para pruebas físicas*



## Anexo 4: Desarrollo de las pruebas mecánicas de la madera *Ilex tectonica* W. Hahn

### Ilustración 28:

*Uso de la maquina HOYTON y medición de la probeta para ensayo mecánico (Compresión paralela)*



### Ilustración 29:

*Ejecución de prueba mecánica (Flexión estática)*



## Anexo 5: Desarrollo de las pruebas de trabajabilidad de la madera *Ilex tectonica* W. Hahn

### Ilustración 30:

*Preparación de madera para ejecución de pruebas de trabajabilidad*



### Ilustración 31:

*Realización de pruebas de perforado y torneado*





## DECLARACIÓN

Yo, **Wilman Onvany Diaz Flores**, por este medio declaro que la idea original de este tema fue proporcionada por **Fundación Hondureña de Investigación investigación Agrícola (FHIA)** y el titulado del estudio: **Determinación de propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad de la madera de la especie *Ilex tectonica* W. Hahn en sistemas agroforestales con cacao en La Masica, Atlántida, Honduras** ha sido elaborado a través de mi propia iniciativa, y realizando la revisión de literatura de las referencias citadas. Es de mi conocimiento que este estudio de investigación no es un duplicado de ningún trabajo previamente presentado a una universidad, institución o casa de estudios superiores.



Wilman Onvany Diaz Flores

Siguetepeque, Comayagua, noviembre de 2025