



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

**CARRERA: INGENIERÍA FORESTAL**

**INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN  
CURRICULAR, MODALIDAD PROYECTOS DE  
INVESTIGACIÓN**

**TEMA:**

**“Determinación de características anatómica, propiedades físicas y mecánicas de  
*Ochroma pyramidale* (Cav.) Urb. y *Gmelina arborea* Roxb., de la provincia de  
Esmeraldas, Choco Ecuatorial.”**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Forestal**

**Línea de investigación: Desarrollo agropecuario y forestal sostenible**

**Autor: Martínez Mafla Karina Lizbeth**

**Director: Ing. Paredes Rodríguez Hugo Orlando, Msc**

**Ibarra junio – 2025**



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100520572-7		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Martínez Mafla Karina Lizbeth		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ibarra		
<b>EMAIL:</b>	klmartinezm@utn.edu.ec / martikary.01@gmail.com		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>		<b>TELF. MOVIL</b>	0992420204
<b>DATOS DE LA OBRA</b>			
<b>TÍTULO:</b>	"Determinación de características anatómica, propiedades físicas y mecánicas de <i>Ochroma pyramidale</i> (Cav.) Urb. y <i>Gmelina arborea</i> Roxb., de la provincia de Esmeraldas, Choco Ecuatorial."		
<b>AUTOR (ES):</b>	Martínez Mafla Karina Lizbeth		
<b>FECHA: AAAAMMDD</b>	2025/06/04		
<b>SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN</b>			
<b>CARRERA/PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO	<input type="checkbox"/> POSGRADO	
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniera Forestal		
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. Hugo Orlando Paredes Rodríguez M.Sc		

**CONSTANCIAS**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 04 días del mes de Junio de 2025

**EL AUTOR: Martínez Mafla Karina Lizbeth**

(Firma) .....

Nombre: Martínez Mafla Karina Lizbeth



## CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTERGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 04 de Junio de 2025

Ing. Hugo Orlando Paredes Rodríguez M.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

1600285702  
HUGO ORLANDO  
PAREDES  
RODRIGUEZ  
Firmado digitalmente por  
1600285702 HUGO  
ORLANDO PAREDES  
RODRIGUEZ  
Fecha: 2025.06.04 12:25:25  
-05'00'

f) .....  
Ing. Paredes Rodríguez Hugo Orlando, Msc.  
C.C.: 1600285702



## APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del Trabajo de Integración Curricular “Determinación de características anatómica, propiedades físicas y mecánicas de *Ochroma pyramidale* (Cav.) Urb. y *Gmelina arborea* Roxb., de la provincia de Esmeraldas, Choco Ecuatorial” elaborado por Martínez Mafla Karina Lizbeth ., previo a la obtención del título del Ingeniera Forestal , aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

1600285702 HUGO PAREDES RODRIGUEZ  
Firmado digitalmente por  
1600285702 HUGO ORLANDO  
PAREDES RODRIGUEZ  
Fecha: 2025.06.04 12:26:38  
-05'00'

(f):.....  
Ing. Hugo Orlando, Paredes Rodríguez M.Sc.  
C.C.: 1600285702



Firmado electrónicamente por:  
JOSE GABRIEL  
CARVAJAL BENAVIDES  
Validar únicamente con FirmaRC

(f):.....  
Ing. José Gabriel Carvajal Benavides M.Sc.  
C.C.: 1002412052



## **DEDICATORIA**

Dedico mi trabajo a Dios por darme la fuerza en todo este proceso de crecimiento, así mismo a mi familia que han sido el motor para seguir adelante.

Mi padre Marcel y mi madre Amparito, quien con su trabajo, amor y sacrificio me han brindado la oportunidad de perseguir mis sueños siendo fundamental en el apoyo de mi proceso de formación profesionalmente.

Mi hermano Michael con su apoyo incondicional que ha podido brindarme, siendo una pieza fundamental en mi etapa de formación académica, permitiéndome lograr mi objetivo y cumplir con mis metas.

Karina Lizbeth Martínez Mafla



## AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que he conocido y me han me han acompañado en este transcurso por la Universidad Técnica del Norte, que de una u otra manera me ayudaron a terminar esta etapa en mi vida.

En primer lugar, agradezco a mi familia por su apoyo incondicional y por siempre haber creído en mí. Su amor y sacrificio me han permitido llegar hasta aquí y así poder conseguir un título profesional.

A mi director de tesis, el Msc. Hugo Paredes, a mi asesor Msc. Gabriel Carvajal y demás docentes les agradezco por su invaluable orientación y por motivarme a alcanzar la excelencia.

Su paciencia y conocimientos han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A mi amiga Joseline y compañeros de estudio, gracias por los momentos compartidos, por las largas noches de estudio y por estar siempre dispuestos a ayudar. Su amistad ha hecho este viaje mucho más llevadero.

Karina Lizbeth Martínez Mafla



## RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio aborda la falta de información sobre las propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de la madera de las especies *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea* de San Lorenzo, Ecuador. Su objetivo es describir estas características para ofrecer datos que faciliten su utilización adecuada en la construcción y otras aplicaciones industriales. Para ello, se recolectaron muestras de madera de las dos especies forestales, las cuales fueron sometidas a un análisis exhaustivo. Se evaluaron propiedades físicas como el contenido de humedad, que resultó ser del 60.48% para *Ochroma pyramidale* y del 64.30% para *Gmelina arborea*, así como la densidad básica, que es 0.183 g/cm<sup>3</sup> para *Ochroma pyramidale* y 0.558 g/cm<sup>3</sup> para *Gmelina arborea*. En términos de propiedades mecánicas, el módulo de rotura (MOR) se registró en 44,57 kg/cm<sup>2</sup> para *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea* exhibe un MOR considerablemente más alto, con valores de 95,37 kg/cm<sup>2</sup>. En conclusión, las características anatómicas, físicas y mecánicas de la madera de *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea* son diferentes, lo que sugiere que la selección de cada especie debe basarse en las necesidades específicas de cada aplicación en la industria maderera. Esto resalta la importancia de la gestión sostenible y la necesidad de continuar investigando las propiedades de otras especies maderables para optimizar su uso.

**Palabras clave:** *Ochroma pyramidale*, *Gmelina arborea*, propiedades anatómicas, propiedades físicas, propiedades mecánicas, madera.



## ABSTRACT

The present study addresses the lack of information on the anatomical, physical and mechanical properties of wood of the species *Ochroma pyramidale* and *Gmelina arborea* from San Lorenzo, Ecuador. Its objective is to describe these characteristics in order to provide data that will facilitate their appropriate use in construction and other industrial applications. For this purpose, wood samples of the two forest species were collected and subjected to an exhaustive analysis. Physical properties were evaluated, such as moisture content, which was 60.48% for *Ochroma pyramidale* and 64.30% for *Gmelina arborea*, as well as basic density, which was 0.183 g/cm<sup>3</sup> for *Ochroma pyramidale* and 0.558 g/cm<sup>3</sup> for *Gmelina arborea*. In terms of mechanical properties, the modulus of rupture (MOR) was recorded at 44.57 kg/cm<sup>2</sup> for *Ochroma pyramidale* and *Gmelina arborea* exhibits a considerably higher MOR, with values of 95.37 kg/cm<sup>2</sup>. In conclusion, the anatomical, physical and mechanical characteristics of *Ochroma pyramidale* and *Gmelina arborea* wood are different, suggesting that the selection of each species should be based on the specific needs of each application in the wood industry. This highlights the importance of sustainable management and the need to continue researching the properties of other timber species to optimize their use.

**Keywords:** *Ochroma pyramidale*, *Gmelina arborea*, anatomical properties, physical properties, mechanical properties, wood.



## LISTA DE SIGLAS

**COA.** Código Orgánico del Ambiente

**MAATE.** Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica

**FAO.** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

**ISTA.** International Seed Testing Association

**ASTM.** American Society Test of Materials

**INEN.** Servicio Ecuatoriano de Normalización

**COPANT.** Comisión Panamericana de Normas Técnicas

**IRAM.** Instituto Argentino de Racionalización de Materiales

**PNUMA.** Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente



## ÍNDICE DE CONTENIDO

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	ii
CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTERGRACIÓN CURRICULAR.....	iii
APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR.....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
RESUMEN EJECUTIVO .....	vii
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE SIGLAS .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>Justificación .....</b>	<b>3</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>4</b>
<b>Objetivo general .....</b>	<b>4</b>
<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>4</b>
<b>Preguntas de investigación .....</b>	<b>4</b>
CAPÍTULO I .....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
<b>1.1 Madera .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2 <i>Ochroma pyramidale</i>.....</b>	<b>6</b>
<b>1.3 <i>Gmelina arborea</i> .....</b>	<b>6</b>
<b>1.4 Características anatómicas.....</b>	<b>7</b>
<b>1.4.1 Porosidad .....</b>	<b>8</b>
<b>1.4.2 Platinas.....</b>	<b>8</b>



<b>1.4.3 Radios</b> .....	8
<b>1.4.4 Fibras</b> .....	9
<b>1.4.5 Parénquima</b> .....	9
<b>1.5 Propiedades físicas</b> .....	9
<b>1.5.1 Contenido de humedad</b> .....	10
<b>1.5.2 Densidad</b> .....	11
<b>1.5.2.1 Densidad verde (DV)</b> .....	11
<b>1.5.2.2 Densidad seca al aire (DSA)</b> .....	12
<b>1.5.2.3 Densidad anhidra (DA)</b> .....	12
<b>1.5.2.4 Densidad básica (DB)</b> .....	13
<b>1.5.3 Comportamiento en contracción de la madera</b> .....	13
<b>1.5.3.1 Contracción Longitudinal Total</b> .....	13
<b>1.5.3.2 Contracción Radial Total</b> .....	14
<b>1.5.3.3 Contracción Tangencial Total</b> .....	15
<b>1.5.3.4 Relación Tangencial Radial</b> .....	16
<b>1.6 Propiedades mecánicas</b> .....	17
<b>1.6.1 Resistencia a flexión</b> .....	18
<b>1.6.2 Cizallamiento</b> .....	18
<b>1.6.3 Dureza</b> .....	18
<b>1.6.4 Compresión en paralela y perpendicular a la fibra</b> .....	18
<b>1.6.5 Tracción perpendicular a la fibra</b> .....	19
<b>1.7. Procedimiento y análisis de datos</b> .....	19
<b>CAPÍTULO II</b> .....	20
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	20
<b>2.1 Tipo de investigación según los siguientes criterios:</b> .....	20



<b>2.2 Ubicación del lugar</b> .....	20
<b>2.3 Caracterización edafoclimática del lugar</b> .....	21
<b>2.4 Materiales, equipos y software</b> .....	21
<b>2.5 Métodos, técnicas e instrumentos</b> .....	22
<b>CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	27
3.1. Características anatómicas de la madera de <i>Ochroma pyramidale</i> y <i>Gmelina arborea</i> .....	27
3.2. Propiedades físicas tiene la madera de <i>Ochroma pyramidale</i> y <i>Gmelina arborea</i> .....	36
<b>3.2.1 Contenido de humedad</b> .....	36
<b>3.2.2 Densidad</b> .....	37
<b>3.2.3 Comportamiento en contracción de la madera</b> .....	39
3.3. Comportamiento mecánico de la madera <i>Ochroma pyramidale</i> y <i>Gmelina arborea</i> .....	41
<b>3.3.1. Resistencia a flexión</b> .....	41
<b>3.3.2. Cizallamiento</b> .....	42
<b>3.3.3. Dureza</b> .....	44
<b>3.3.4 Comprensión paralela y perpendicular a la fibra</b> .....	45
<b>3.3.5 Tracción perpendicular a la fibra</b> .....	47
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	48
CONCLUSIONES .....	48
RECOMENDACIONES .....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
ANEXOS .....	59



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Materiales, equipos y software a emplear en la investigación.....	22
<b>Tabla 2.</b> Número de probetas o placas por característica y propiedad.....	23
<b>Tabla 3.</b> Características macroscópicas (Organolépticas).....	27
<b>Tabla 4.</b> Estructuras macroscópica de la madera 10 x.....	28
<b>Tabla 5.</b> Estructuras microscópicas de la madera.....	32
<b>Tabla 6.</b> Contenido de humedad.....	36
<b>Tabla 7.</b> Densidad.....	38
<b>Tabla 8.</b> Contracción de la madera.....	39
<b>Tabla 9.</b> Módulo de elasticidad.....	41
<b>Tabla 10.</b> Tensión de corte.....	43
<b>Tabla 11.</b> Dureza.....	44
<b>Tabla 12.</b> Módulo de rotura de comprensión.....	46
<b>Tabla 13.</b> Datos de las probetas en verde y de la primera evaluación de secado en la estufa de Ochroma pyramidale.....	62
<b>Tabla 14.</b> Datos de la segunda y tercera evaluación de secado en la estufa de Ochroma pyramidale.....	63
<b>Tabla 15.</b> Datos de la cuarta y última evaluación de secado en la estufa de Ochroma pyramidale.....	64
<b>Tabla 16.</b> Datos de las probetas en verde y de la primera evaluación de secado en la estufa de Gmelina arborea.....	65
<b>Tabla 17.</b> Datos de la segunda y tercera evaluación de secado en la estufa de Gmelina arborea.....	66
<b>Tabla 18.</b> Datos de la cuarta y última evaluación de secado en la estufa de Gmelina arborea.....	67



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de ubicación del laboratorio de anatomía de la madera en el Campus Yuyucocha .....	21
<b>Figura 2.</b> Micrótopo .....	24
<b>Figura 3.</b> Probetas de Gmelina arborea y Ochroma pyramidale .....	25
<b>Figura 4.</b> LabVIEW2019 para ensayos de pruebas mecánicas .....	26
<b>Figura 5.</b> Características microscópicas de Balsa Ochroma pyramidale (Cav.) Urb.....	32
<b>Figura 6.</b> Características microscópicas de Melina Gmelina arborea Roxb. ....	33



## INTRODUCCIÓN

### Problema

La poca información específica de las propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de la madera de dos especies forestales de procedencia de San Lorenzo conlleva a una falta de comprensión sobre su comportamiento y potenciales usos en la construcción y otras industrias. En el cantón de San Lorenzo en Ecuador, la escasez de investigación y estudios ha contribuido a este vacío de conocimiento sobre las propiedades de las especies forestales y su aplicabilidad. La ausencia de registros de información dificulta aún más la evaluación precisa de las características de la madera, considerando además la influencia significativa de las condiciones climáticas, topográficas y del suelo en su estructura interna.

La madera puede variar notablemente de un lugar a otro debido a diversos factores que influyen en su composición y características físicas. Ya que en las diferentes regiones tienen distintas especies arbóreas predominantes, lo que resulta en maderas con propiedades físicas y químicas diferentes. Las condiciones climáticas, como la temperatura, humedad y precipitación, pueden impactar en el crecimiento y densidad de los árboles, afectando así la calidad y características de la madera. La composición del suelo, incluyendo los nutrientes y estructura, puede influir en el crecimiento y salud de los árboles, y por ende en la calidad de la madera producida.

La altitud puede afectar la compactación de la madera y la tasa de desarrollo de los árboles, lo cual puede influir en su resistencia y otras propiedades. La incidencia de la luz del sol y la interacción con el viento pueden moldear el crecimiento de los árboles y, por consiguiente, la calidad de la madera obtenida.

Este desconocimiento de las propiedades de la madera, particularmente en especies como *Ochroma pyramidale* (Cav.) Urb. y *Gmelina arborea* Roxb., limita su aprovechamiento



óptimo tanto en la construcción como en otras industrias. Para asegurar el futuro de los bosques, es esencial comprender adecuadamente las propiedades físicas y mecánicas de la madera, así como sus posibles usos. La falta de este conocimiento puede resultar en la selección inadecuada de especies para ciertas aplicaciones, lo que a su vez conlleva la pérdida de oportunidades de desarrollo y comercialización de productos.

El uso ineficiente de la madera, impulsado por este desconocimiento, puede tener un impacto ambiental negativo al aumentar la demanda de madera de otras especies o de materiales alternativos menos sostenibles, para satisfacer las necesidades del mercado. En este sentido, es imperativo impulsar la indagación y el análisis de las características de la madera para fomentar una utilización más eficaz y sustentable de los recursos forestales.

La información generada sobre las especies forestales *Ochroma pyramidale* (Cav.) Urb. y *Gmelina arborea* Roxb, provenientes de plantaciones en la provincia de Esmeraldas, carece de detalles sobre sus características anatómicas, propiedades físicas y mecánicas, así como su comportamiento en diversas condiciones. Dado que la madera es anisotrópica (diferente) y presenta variaciones según la zona de crecimiento, incluso dentro de la misma especie y en distintos sitios, es crucial realizar una descripción anatómica y detallar sus propiedades físico-mecánicas específicamente para el área de estudio. La información obtenida en San Lorenzo se compara con estudios realizados en otros sitios pero de las mismas especies las cuales serían *Ochroma pyramidale* (Cav.) Urb. y *Gmelina arborea* Roxb, siendo esto crucial para compartir la información con la industria de la madera, de la edificación y para las personas que se dedican a la carpintería ya que estas especies son de uso comercial debido a su gran solicitud en el mercado.



## Justificación

La investigación permite presentar información en función de las características anatómicas, propiedades físicas y mecánicas de las especies forestales *Ochroma pyramidale* (Cav.) Urb. y *Gmelina arborea* Roxb, con lo cual estas especies pueden ser utilizadas y aprovechadas de una manera adecuada debido a que son especies comunes y de importancia económica.

Proporcionar la información obtenida aclarara la información desconocida a quienes tienes estas especies en sus plantaciones o la venden ya que por las condiciones tanto de suelo y clima pueden afectar en su estructura interna.

Ya que la madera varía según la región debido a factores como especies de árboles, clima, suelo, altitud, factores geográficos y ambientales determinan las propiedades físicas y químicas de la madera en distintas regiones. Por lo tanto, la madera extraída del cantón San Lorenzo nos dará resultados que difieran con otros sitios geográficos.

A nivel regional el conocer la estructura interna de especies forestales recolectadas en el cantón de San Lorenzo permite a la localidad adquirir la información desconocida para aprovechar estas especies de manera sostenible ayudando en el ámbito económico.

El disponer de la materia prima para esta investigación permite realizar su estudio apto de manera eficaz, junto con los instrumentos y equipos del Campus Yuyucocha para obtener los datos sobre las particularidades anatómicas, cualidades físicas y mecánicas para su análisis.



## Objetivos

### Objetivo general

Determinar las características anatómicas, físicas y mecánicas de las especies maderables *Ochroma pyramidale* (Cav.) Urb. y *Gmelina arborea* Roxb. de la provincia de Esmeraldas, Choco Ecuatorial

### Objetivos específicos

- Describir las características anatómicas de las especies *Ochroma pyramidale* (Cav.) Urb. y *Gmelina arborea* Roxb.
- Calcular las propiedades físicas de las especies *Ochroma pyramidale* (Cav.) Urb. y *Gmelina arborea* Roxb.
- Evaluar las propiedades mecánicas de las especies *Ochroma pyramidale* (Cav.) Urb. y *Gmelina arborea* Roxb.

### Preguntas de investigación

- ¿Cuáles son las características anatómicas de la madera de *Ochroma pyramidale* (Cav?) Urb. y *Gmelina arborea* Roxb.?
- ¿Qué propiedades físicas tiene la madera de *Ochroma pyramidale* (Cav?) Urb. y *Gmelina arborea* Roxb.?
- ¿Cómo es el comportamiento mecánico de la madera *Ochroma pyramidale* (Cav?) Urb. y *Gmelina arborea* Roxb.?



# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Madera

La madera, es un material renovable constituido por celulosa y lignina, la cual contiene propiedades que la hacen necesaria para múltiples aplicaciones (Pozzer & Guzowski, 2011).

Desde la prehistoria, la humanidad ha utilizado la madera en herramientas, al igual que en refugios y construcción naval, facilitando con esto la supervivencia y el comercio. Su uso data de la Edad de la Madera, siendo de gran importancia para diversas culturas como Egipto y Mesopotamia. A lo largo de la historia ha habido registro de técnicas de carpintería; así, para el siglo XVIII se empezó a gestionar sistemáticamente y luego en el XIX hubo avances tecnológicos en su transformación y construcción (Ávila & Quezada, 2014).

Su explotación intensiva, en combinación con el cambio climático y la deforestación (FAO & MAATE, 2014), han generado la necesidad de una gestión más sostenible de los recursos forestales.

Los árboles son importantes no solo por producir oxígeno en un ecosistema, sino también por proporcionar refugio para numerosas especies y realizar la regulación del clima. Según, Sandi (2019) el entendimiento de la biología de los árboles, incluyendo la estructura y funciones de sus partes, es importante para la conservación del medio ambiente y la sostenibilidad de los bosques.

La FAO (2018), explica que renovar la biodiversidad y preservar los bosques hace parte de la estrategia para proteger el entorno, haciendo así necesario implementar manejo forestal sostenible.

Sin embargo, poniendo en riesgo el equilibrio, la gestión incontrolada de recursos



hace que los bosques pierdan su función como eliminadores de carbono, aumentando el cambio climático ((PNUMA), 2019).

Destacando su versatilidad en recursos maderables, sus capacidades de crecimiento hacen que *Ochroma pyramidale* (Cav.) Urb. y *Gmelina arborea* Roxb. sean dos especies de interés comercial. A diferencia de *Gmelina arborea*, que es originario del sudeste asiático, *Ochroma pyramidale* es nativo de la zona tropical estadounidense y ha sido introducido por diversas regiones, incluyendo Ecuador.

### 1.2 *Ochroma pyramidale*

La madera de *Ochroma pyramidale* es muy valorada por su bajo peso y sus propiedades mecánicas, su uso también ha aumentado en la energía eólica, siendo ideal para componentes de turbinas eólicas. Como se señala en Bravo, Yáñez & Bonilla (2021), la creciente utilización de la madera de esta especie, sin embargo, ha llevado a una explotación indebida de los bosques ecuatorianos, lo que plantea preocupaciones sobre la sostenibilidad y la preservación del ecosistema.

Por otro lado, las industrias madereras ecológicas que sustentan millones de empleos y emergen como una fuente clave de ingresos luchan por lograr una armonía entre el desarrollo económico y la conservación del entorno natural.

### 1.3 *Gmelina arborea*

Es un árbol de rápido crecimiento nativo de Asia Tropical, se cultiva extensamente en América Latina y en particular en Ecuador. Su madera se valora por ser ligera, resistente y utilizada en muchas industrias (Rodríguez et al, 2004).

Esta especie *Gmelina arborea*, de la familia Lamiaceae, ha sido introducida en las regiones más tropicales de África, América y el Pacífico (Dvorak, 2004). Puede crecer hasta 30 metros de altura y 80 cm de diámetro. Su tolerancia a una amplia gama de condiciones



climáticas y de suelo hace que esta especie sea muy adecuada para programas de reforestación y producción de madera (Moya, 2004).

#### 1.4 Características anatómicas

La anatomía de la madera es muy importante en la ciencia forestal porque ayuda a analizar las características estructurales de las especies de árboles y sus respuestas a varios factores ambientales.

La anatomía de la madera significa la disposición de los elementos de las células que impactan las propiedades mecánicas y físicas de la madera. Como señala Aisalla (2019), la caracterización anatómica de la madera de las diferentes especies comerciales ayuda a desentrañar su comportamiento y utilidad en la industria forestal y de la madera.

Como argumentan Briceño & Cofrep (2023), la tecnología moderna hace posible evaluar económicamente la importancia de la anatomía y las técnicas básicas de trabajo de la madera. Basándose en características estructurales, es posible determinar la utilidad de cualquier especie de madera, para ingeniería avanzada, fabricación de muebles u otros propósitos. Estos autores explican que comprender el alcance de la anatomía es esencial para la gestión eficiente y sostenible de los bienes forestales, ya que la variabilidad en estas características impacta la durabilidad, trabajabilidad y comercialización de los productos de madera.

Además, comprender las propiedades organolépticas de la madera, como el color, olor, textura y veta, son necesarias para su clasificación. El estudio anatómico incluye la delimitación de poros, fibras y parénquima, así como el análisis de los anillos de crecimiento que indican la vitalidad y salud del árbol (Guanotuña, 2021).

La madera se compone por diferentes tipos de células que forman tejidos, cuya disposición varía según la especie y las condiciones de crecimiento, lo que influye en sus



propiedades y comportamiento en procesos industriales como el secado y la transformación (Gimenez, Moglia, Hernandez, & Gerez, 2005).

#### 1.4.1 Porosidad

Según Acosta (2024), la porosidad de la madera se define por la cantidad y distribución de sus poros, que son cruciales para el transporte de agua y nutrientes. Esta característica se clasifica en porosidad difusa y en anillos, dependiendo de la disposición de los poros. Además, la porosidad influye en propiedades como la resistencia, durabilidad, estabilidad y capacidad de absorción de humedad. Rodríguez & Sibille (2020) también destacan la importancia de estas propiedades anatómicas en el comportamiento de diversas especies maderables.

#### 1.4.2 Platinas

Las platinas son aberturas ubicadas en las paredes extremas de los elementos vasculares se conocen como platinas o placas de perforación, y son esenciales para la conducción vertical de agua y sales minerales. Estas estructuras suelen presentar diferentes características en las secciones tangencial y radial. Según Gimenez & Moglia (2005), las platinas son capas de células que forman parte de los vasos en la madera, y su forma y tipo de perforación varían entre especies, lo que influye en las propiedades físicas del material.

#### 1.4.3 Radios

Los radios son células parenquimáticas radiales que pueden tener formas cuadradas o rectangulares, y tienen una función fundamental en la conducción de sustancias entre el xilema y el floema. Estos pueden ser uniseriados o multiseriados, y su tamaño afecta la capacidad de almacenamiento de la madera (Montaño, Rosillo, Zhinín, & Pucha-Cofrep, 2019)

Según Chamba & Andrés (2013), las fibras son células alargadas con extremos puntiagudos y paredes gruesas que proporcionan soporte mecánico a la madera. Su longitud y grosor varían entre especies, y son esenciales para la resistencia a la compresión y tracción.

#### **1.4.5 Parénquima**

Basado con Megías, Molist, & Pombal (2023) el parénquima es un tejido vivo y activo que se extiende desde el centro del tronco hacia la corteza, influyendo en la retención de humedad y desempeñando un papel crucial en la regeneración y crecimiento de la madera, así como en el almacenamiento de nutrientes y agua.

#### **1.5 Propiedades físicas**

Las propiedades físicas de la madera, como el contenido de humedad, la densidad y la contracción, son fundamentales para entender su comportamiento en diversas condiciones ambientales y su idoneidad para usos específicos (Pérez, Valenzuela, Diaz & Ananías, 2011).

La humedad, en particular, es un factor crítico que afecta la resistencia y durabilidad de la madera se define como la relación entre la cantidad de agua y el peso seco, expresada en porcentaje, y se clasifica en madera verde, húmeda, seca al aire y seca en cámara, cada una con características que influyen en su aplicación (Yacelga, Cotacio, Wilson, & Martinez, 2022).

El contenido de humedad también afecta las propiedades mecánicas y la trabajabilidad de la madera asimismo es un indicador clave de calidad; un alto contenido puede generar defectos durante el secado y afectar el rendimiento estructural. Baradit, Niemz, & Fernández-Pérez (2013), destacan que el nivel de saturación de fibras es crítico, ya que superar este umbral provoca deformaciones y defectos.

La densidad de la madera, que se describe como la proporción entre su peso y su



volumen, es otro factor determinante en su clasificación y uso. Según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (2011), la madera se clasifica según su densidad, lo que influye en su resistencia y durabilidad.

Además, la densidad de la madera es un factor determinante en su clasificación y uso, como se menciona en el estudio de Ribas (2017), donde se discute la clasificación de la madera según su densidad.

Las maderas de alta densidad son más resistentes y adecuadas para aplicaciones estructurales, mientras que las de baja densidad son preferibles para usos decorativos o en la fabricación de muebles (Méndez, 2005).

Martínez (2022), discute cómo la variación en el contenido de humedad puede influir en la expansión y contracción de la madera, lo que a su vez afecta su estabilidad dimensional. Este fenómeno es especialmente relevante en climas cambiantes, donde la madera puede experimentar ciclos de humedad que comprometen su integridad estructural. Por lo tanto, el manejo de la humedad es fundamental para garantizar la longevidad de los productos de madera.

Las características físicas y mecánicas de la madera son determinantes en su uso en la construcción. Suirezs & Berger (2009) describen cómo la resistencia, la densidad y la durabilidad de diferentes tipos de madera afectan su desempeño en aplicaciones estructurales, lo que es esencial para ingenieros y arquitectos.

### **1.5.1 Contenido de humedad**

Se refiere a la cantidad de agua presente en la madera, expresada como un porcentaje del peso de la madera seca. Este factor es fundamental, ya que influye en las propiedades mecánicas, la durabilidad y el comportamiento de la madera en diversas condiciones ambientales, de acuerdo con la norma COPANT 460 (Barrios, 2015).

Se calculó el contenido de humedad en base la ecuación [1]:

$$CH\% = \frac{PV - PSH}{PSH} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

### 1.5.2 Densidad

De acuerdo con la guía para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera, (2024) se define como la cantidad de materia en un volumen dado y puede evaluarse en distintos estados. De acuerdo con la norma INEN 1162, la densidad se define como la conexión entre la masa y el volumen de una sustancia., y constituye una propiedad esencial que afecta el conducta física y mecánica de la madera.

Se evaluó la densidad a partir de la ecuación [2].

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Masa (kg)}}{\text{Volúmen (m}^3\text{)}} \quad \text{Ec. 2}$$

#### 1.5.2.1 Densidad verde (DV)

La guía para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera, (2024) lo define como la conexión entre su masa y el volumen cuando se encuentra en estado fresco o saturado, es decir, con un nivel de humedad mayor al 30%. Esto implica que la madera debe estar recién cortada y retener toda su humedad natural para que se pueda calcular correctamente su densidad verde.

Se determinó la densidad verde “DV” utilizando la ecuación [3]

$$DV = \frac{PV}{VV} \text{ g/cm}^3 \quad \text{Ec. 3}$$

Dónde:

DV= densidad de la probeta en verde expresada en g/cm<sup>3</sup>

PV= peso de la probeta en verde expresado en (g)

VV= volumen de la probeta en verde expresada en cm<sup>3</sup> .



### 1.5.2.2 Densidad seca al aire (DSA)

La guía para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera (2024), lo define como la relación entre el peso seco al aire y el volumen seco al aire, lo que implica que la madera tiene aproximadamente un 30% de contenido de humedad. Esta densidad se determina una vez que la madera ha sido secada al aire y presenta un contenido de humedad equilibrado, generalmente alrededor del 12%.

La densidad seca al aire (DSA) fue calculado según la ecuación [4].

$$DSA = \frac{PSA}{VSA} \text{ g/cm}^3 \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

DSA= Densidad de la probeta en condición seca al aire expresada en g/cm<sup>3</sup>

PSA= Es el peso de la probeta en estado seco al aire expresado en gramos (g)

VSA= Volumen de la probeta en estado seco al aire expresado en g/cm<sup>3</sup>

### 1.5.2.3 Densidad anhidra (DA)

Es la relación entre el peso seco al horno y el volumen seco al horno, lo que sugiere que la madera presenta alrededor del 12% de contenido de humedad. Esta densidad refleja la condición de la madera completamente seca, sin ningún rastro de humedad, según lo indicado en la guía para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera (2024).

Se estimó la densidad anhidra “DA” con base en la ecuación [5].

$$DSH = \frac{PSH}{VSH} \text{ g/cm}^3 \quad \text{Ec. 5}$$

Dónde:

DA= Densidad anhidra expresada en g/cm<sup>3</sup>

PSH= Peso en estado seco al horno expresado en gramos (g).

VSH= Volumen en estado seco al horno expresado en cm<sup>3</sup>



#### 1.5.2.4 Densidad básica (DB)

Se define como la conexión entre el peso seco tras pasar por el horno y el volumen fresco. Esta densidad es la más baja de las previamente mencionadas y refleja la densidad de la madera en su estado natural, sin considerar el contenido de humedad. Se presenta en función de su volumen con un contenido de humedad específico, que suele ser del 12%, de acuerdo con la guía para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera (2024).

Se realizó el cálculo de la densidad básica “DB” empleando la ecuación [6].

$$DB = \frac{PSH}{VV} \text{ g/cm}^3 \quad \text{Ec. 6}$$

Dónde:

DB= Densidad básica expresada g/cm<sup>3</sup>

PSH= Peso de la probeta en estado seco al horno expresado en gramos (g)

VV= Volumen de la probeta en estado seco, verde expresado en cm<sup>3</sup>

#### 1.5.3 Comportamiento en contracción de la madera

Se refiere a cómo su volumen disminuye al perder humedad, un proceso esencial para comprender su estabilidad en diversas condiciones ambientales. La contracción no es uniforme y varía según la dirección: longitudinal, radial y tangencial (Acosta, 2025). Este fenómeno se evalúa de acuerdo con la norma INEN 1164.

##### 1.5.3.1 Contracción Longitudinal Total

Implica la disminución de su longitud a medida que se deshidrata. Este tipo de contracción es generalmente menor en comparación con las contracciones radial y tangencial, lo que indica que la madera conserva una estabilidad considerable en la dirección de las fibras, incluso ante variaciones en la humedad (Acosta, 2025). La contracción se cuantifica como la diferencia total en la longitud del material desde su estado original hasta su estado final.



Se calculó la contracción longitudinal normal aplicando la ecuación [7].

$$CLN(\%) = \frac{(DLV - DLSA)}{DLV} \times 100 \quad \text{Ec. 7}$$

Dónde:

CLN%= Contracción longitudinal normal de la probeta y expresado en porcentaje.

DLV= Dimensión longitudinal de la probeta en estado verde expresada en milímetros (mm)

DLSA= Dimensión longitudinal de la probeta en condición seca al ambiente, expresado en milímetros.

Se realizó el cálculo de la contracción longitudinal total conforme a la ecuación [8].

$$CLT(\%) = \frac{(DLV - DLSH)}{DLV} \times 100 \quad \text{Ec. 8}$$

Dónde:

CLT%= Contracción longitudinal total de la probeta de estado verde a estado anhidro expresada en (%).

DLV= Dimensión longitudinal de la probeta en estado verde expresada, en milímetros (mm).

DLSH= Dimensión longitudinal de la probeta en estado anhidro, expresado en milímetros (mm)

### 1.5.3.2 Contracción Radial Total

Consiste en la reducción en el diámetro en la dirección radial, es decir, desde el centro hacia el exterior del tronco. Este tipo de contracción es más significativa que la longitudinal, lo que puede afectar la forma de la madera al secarse (Acosta, 2025). La disminución en el tamaño o diámetro ocurre en todas las direcciones radiales y se mide como el cambio total desde el estado inicial hasta el estado final del material.

Se estableció la contracción radial normal utilizando la ecuación [9].



$$CRN (\%) = \frac{(DRV - DRSA)}{DRV} \times 100$$

Ec. 9

Dónde:

CNR%= Contracción en sentido radial normal de la probeta en condiciones verde y también seco al ambiente expresada en porcentaje (%).

DVR= Dimensión radial en estado verde de la probeta expresada en mm

DRSA= Dimensión radial de la probeta en seco al ambiente, expresado en mm.

Se determinó la contracción radial total siguiendo la ecuación [10].

$$CRT (\%) = \frac{(DRV - DRSH)}{DRV} \times 100$$

Ec. 10

Dónde:

CRT%= Contracción radial total de la probeta de estado verde al estado anhidro.

DVR= Dimensión radial de la probeta en verde expresada en mm.

DRSH= Dimensión radial de la probeta anhidra expresada en mm.

### 1.5.3.3 Contracción Tangencial Total

Acosta (2025), lo manifiesta como la reducción en el diámetro a lo largo del anillo de crecimiento. Este tipo de contracción es la más significativa de las tres, afectando la madera en un ángulo recto con respecto a las fibras. Puede provocar deformaciones y grietas si no se maneja adecuadamente, especialmente en condiciones de baja humedad. La reducción en el tamaño se mide como el cambio total desde el estado inicial hasta el estado final.

Se calculó la contracción tangencial normal de acuerdo con la fórmula [11].

$$CTN (\%) = \frac{(DTV - DTSA)}{DTV} \times 100$$

Ec. 11

CTN%= contracción en sentido tangencial normal de la probeta en verde en estado al ambiente.

DTV= Dimensión tangencial de la probeta en estado verde en mm.

DTSA= Dimensión tangencial de la probeta en condición seca al aire, expresado en mm.

Se evaluó la contracción tangencial total de acuerdo con la fórmula [12].

$$CTT (\%) = \frac{(DTV - DTSA)}{DTV} \times 100 \quad \text{Ec. 12}$$

Dónde:

CTT%= Contracción tangencial total de la probeta de verde a anhidra.

DTV= Dimensión tangencial de la probeta en verde expresada en mm.

DTSA= Dimensión tangencial de la probeta anhidra expresado en mm.

#### 1.5.3.4 Relación Tangencial Radial

Acosta (2025), indica que es la anisotropía de la madera, evidenciando que la reducción a lo largo del tangente es superior a la radial. Esta diferencia es crucial para entender el comportamiento de la madera en aplicaciones estructurales, ya que puede influir en la durabilidad y la apariencia de los productos de madera. Se trata de la relación entre las contracciones o expansiones que ocurren en dos direcciones perpendiculares entre sí.

Se obtuvo la contracción volumétrica total de acuerdo con la fórmula [13].

$$CVT = CRT + CTT - \frac{CRT \times CTT}{100} \quad \text{Ec. 13}$$

Dónde:

CVT= Contracción volumétrica total de la probeta de estado verde al estado anhidro en (%).

CRT= Contracción radial total de la probeta, dado en (%).

CTT= Contracción tangencial total de la probeta, dado en (%)

Se realizó el cálculo de la relación tangencial radial conforme a la ecuación [14].



$$T/R = \frac{CTT}{CRT}$$

Ec. 14

Dónde:

T/R= Relación tangencial radial.

CTT= Contracción tangencial total de la probeta, en (%).

CRT= Contracción radial total de la probeta en (%).

## 1.6 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas son fundamentales para medir el desempeño de la madera en condiciones de carga. Soledispa (2021), destaca que la resistencia a la flexión de la madera varía con el contenido de humedad, lo que implica que un adecuado manejo del agua en la madera puede optimizar su rendimiento estructural. Esto se debe a la naturaleza higroscópica de la madera, que le permite absorber y liberar humedad, afectando sus propiedades mecánicas.

La contracción de la madera, que implica cambios en sus dimensiones por variaciones en el contenido de humedad, es un aspecto crítico en su manejo. Dudek & Werner (1978), señalan que la contracción puede ser radial, tangencial o volumétrica, y su magnitud varía según la especie y las condiciones de crecimiento. La relación entre la contracción tangencial y radial (T/R) indica la estabilidad dimensional de la madera, siendo valores altos un signo de mayor inestabilidad (Moya-Roque et al., 2012).

En cuanto a las características mecánicas, la flexión estática, el límite de rotura (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE) son esenciales para evaluar la resistencia de la madera ante diferentes cargas. Benetti (2015), explica que la flexión estática mide la resistencia a la ruptura bajo carga, mientras que el MOR y el MOE ofrecen datos acerca de la dureza y la habilidad de deformación, respectivamente.



## 1.6.1 Resistencia a flexión



Es la habilidad de la madera para soportar cargas aplicadas en un plano perpendicular a su longitud sin fracturarse. Este parámetro, que se mide comúnmente a través del módulo de ruptura (MOR), es un indicador esencial de la capacidad de la madera para resistir fuerzas de flexión (Mamani, 2021). Para llevar a cabo los ensayos de trabajabilidad, es necesario seguir la norma ASTM D198-20, y los resultados se expresan en  $\text{TM}/\text{cm}^2$  o  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

## 1.6.2 Cizallamiento

Cruz (2022), menciona que el cizallamiento es la habilidad de la madera para resistir presiones que buscan deslizar sus capas entre sí. Para medir esta variable, se ejerce una fuerza en dirección tangencial sobre una muestra de madera hasta que se produce deformación o ruptura, utilizando el software LabVIEW201, conforme a la norma ASTM D143-94.

## 1.6.3 Dureza

La dureza según Rivas (2025), se relaciona con su habilidad para aguantar la penetración y el deterioro, y se mide frecuentemente a través de la prueba de dureza de Shore, que evalúa la fuerza necesaria para insertar una esfera de acero en la madera. Esta característica es esencial en aplicaciones donde la madera puede estar sujeta a abrasión o impactos. La prueba consiste en aplicar una carga controlada sobre una punta dura y registrar la profundidad de la marca resultante, expresándose en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  (Rivas, 2025).

## 1.6.4 Compresión en paralela y perpendicular a la fibra

Simmons (2025), menciona que la compresión en paralelo a la fibra se refiere a la habilidad de la madera para soportar peso a lo largo de la dirección de sus fibras, mientras que la compresión perpendicular a la fibra mide su resistencia a cargas aplicadas en ángulo recto. Ambas propiedades son fundamentales para evaluar la adecuación de la madera en distintos usos estructurales.



En la compresión perpendicular se aplica la norma ASTM D143-785 la madera se comporta como tubos alargados que se aplastan bajo presión. En la compresión paralela se utiliza la regla ASTM D143-784, la madera actúa de manera elástica, recuperando su forma original al retirar la carga.

### **1.6.5 Tracción perpendicular a la fibra**

Según Maderea (2017), esta variable se define como la carga máxima que puede resistir la madera cuando es sometida a dos fuerzas en direcciones opuestas. Esta propiedad muestra una gran fortaleza en la dirección que va a lo largo de las fibras. No obstante, esta característica tiende a reducirse en la madera estructural debido a las imperfecciones que presenta.

La resistencia a la tracción en dirección perpendicular a las fibras es un 10% inferior a la resistencia a la fuerza que actúa en dirección paralela a las fibras. Esta propiedad es de poca relevancia en la producción de mobiliario y en la edificación de espacios internos. Para llevar a cabo este ensayo, se pueden utilizar las Normas ASTM D143, COPANT 30:1-016 y AFNOR B51-003 (Suirezs & Berger, 2009).

### **1.7. Procedimiento y análisis de datos.**

Las variables cuantitativas dentro de las que están el contenido de humedad, densidad, contracción, etc., se debe realizar un análisis estadístico utilizando la medida aritmética desviación estándar, límites de confianza, coeficientes de variación. En las variables cualitativas se requiere un análisis descriptivo.



## CAPÍTULO II

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1 Tipo de investigación según los siguientes criterios:

La investigación adoptó un enfoque mixto, que combinó tanto elementos cuantitativos como cualitativos. Su principal aspiración es resolver problemas prácticos inmediatos, sin embargo, su contribución al conocimiento teórico es secundaria. Se centra en descripciones, interpretaciones, con la posibilidad de realizar generalizaciones, utilizando métodos de recopilación de datos.

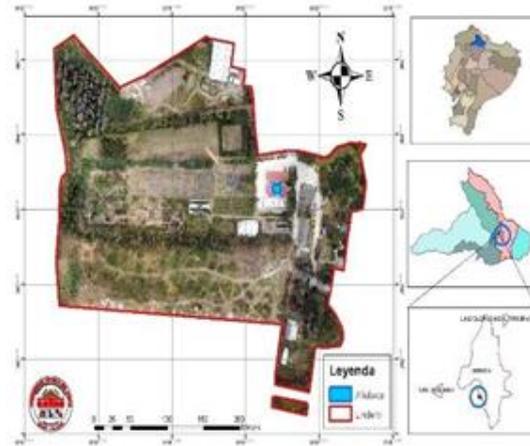
Se trató de una investigación no experimental, que se fundamentó en la vigilancia de eventos tal como ocurren en su medio natural, sin manipular deliberadamente variables. Se llevó a cabo de manera transversal o sincrónica, estudiando variables simultáneas en un momento específico y recopilando datos en un único periodo. Además, se realizó en un entorno de laboratorio, utilizando instrumentos modernos y equipos para llevar a cabo investigaciones específicas.

#### 2.2 Ubicación del lugar

- Política: Caranqui, Ibarra, Imbabura
- Política de las trozas de madera: Esmeraldas, San Lorenzo, San Francisco
- Geografía del sitio investigación: coordenadas: N°19'43.5828'',  
W78°7'53.3456''

**Figura 1.**

*Mapa de ubicación del laboratorio de anatomía de la madera en el Campus Yuyucocha*



Fuente: Varela, G. (2024).

- Límites: Al norte Marco Tulio Hidrovo, al este Pje F, al sur Armando Hidrovo, al oeste Lahar del Imbabura.

### 2.3 Caracterización edafoclimática del lugar

- Suelo: Según el Catálogo de Datos - Metadatos – (Ministerio de Agricultura y Ganadería) nos dice que el Instituto geográfico militar hay dos tipos de suelos los cuales son de textura franco arcilloso y franco, entre el 3 y 5% de materia orgánica (Instituto Geográfico militar, 2024).
- Clima: Precipitación datos de instituto geográfico militar se encuentran Isoyetas precipitación anualmente entre 500 y 750 mm de lluvia (Instituto Geográfico militar, 2024).
- Isoyetas 12 a 14° C con información del instituto geográfico militar 2024.

### 2.4 Materiales, equipos y software

Los materiales de campo, materiales de laboratorio, equipos y software que se emplearon en el desarrollo de la investigación están descritos en la tabla 1.

**Tabla 1.**

*Materiales, equipos y software a emplear en la investigación.*

<b>Materiales de campo</b>	<b>Materiales de laboratorio</b>	<b>Equipos</b>	<b>Software</b>
Machete	Agua destila	Estufa	Microsoft Excel
Motosierra	Safranina	Prensa	LabVIEW2019
Cinta métrica		Microscopio	
		Estereomicroscopio	
		Micrótomo	
		Calibrador	
		Balanza	

## **2.5 Métodos, técnicas e instrumentos.**

Para las investigaciones no experimentales.

### **2.5.1 Universo-población.**

Según la norma 1159, se requiere tres árboles para especies conocidas, se considera como población a los tres árboles de la especie *Ochroma pyramidale* (Cav.) Urb. y tres individuos de *Gmelina arborea* Roxb. ubicados en el cantón San Lorenzo provincia de Esmeraldas.

### **2.5.2 Tamaño de la muestra. Fórmula para aplicar con la sustentación correspondiente. muestras de especies.**

Para el estudio de las características anatómicas se utilizará seis muestras de Xiloteca y diez cubos de madera tomando como referencia la norma NTE INEN 1157:1984 (Servicio Ecuatoriano de Normalización [NTE INEN], 1984).

**Tabla 2.**

*Número de probetas o placas por característica y propiedad*

<b>Propiedad / características</b>	<b>Norma</b>	<b>Dimensión (cm)</b>	<b>Nº de probetas/placas</b>
<b>Características anatómicas</b>			
Macroscópicas	INEN, COPANT	15x10x2	10
Microscópicas	INEN, COPANT	1,5x1,5x1,5	10
<b>Propiedades físicas</b>			
Contenido de Humedad	COPANT	10x5x5	30
Densidad	INEN, COPANT	10x5x5	30
Contracción	INEN, COPANT	10x5x5	30
<b>Propiedades mecánicas</b>			
Resistencia a flexión	IRAM	36x2x2	30
Cizallamiento	ASTM	6,3x5x2	30
Dureza	ASTM	10x5x5	30
Comprensión en paralela y perpendicular a la fibra	IRAM	6x2x2	30
Tracción perpendicular a la fibra	IRAM	6,3x2,5	30

### **2.5.3 Muestreo: Método y procedimiento a aplicar para la selección de los individuos-objetos.**

Para la selección y colección de muestras de madera se utilizó la norma NTE INEN 1158:1984. Para llevar a cabo la medición y el cálculo de las probetas, se aplicó la Norma NTE INEN 1159:1984.

### **2.5.4 Metodología para cada uno de los objetivos planteados**

Objetivo 1: Describir las características anatómicas de las especies *Ochroma pyramidale* (Cav.) Urb. y *Gmelina arborea* Roxb

La metodología para determinar el análisis de las propiedades anatómicas de las muestras de madera se llevó a cabo en la ubicada en el Campus Yuyucocha, donde se llevó a

cabo este proceso siguiendo las normas COPANT N.º 30:1-019 y NTE INEN 1163, que establecen procedimientos para la exposición de las cualidades tanto a simple vista como a nivel microscópico de la madera.

Inicialmente, se realizó una observación macroscópica de las muestras, registrando aspectos como el color, olor, textura, vetado, grano, peso, brillo. Posteriormente, se prepararon cortes transversales de la madera de *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea* utilizando un micrótopo como se refleja en la figura 2, y en la especie de *Gmelina arborea*, se aplicó un proceso de ablandamiento para facilitar el corte.

## Figura 2.

### *Micrótopo*



Para mejorar la visibilidad de las estructuras celulares, se utilizaron tintes como la safranina como se puede observar en la ilustración 5. Las muestras fueron observadas al microscopio, donde se identificaron diferentes tipos de células, incluyendo poros, radios, fibras y parénquima, analizando su tamaño, forma y disposición.

Finalmente, se documentaron las observaciones y se registraron las características anatómicas de cada especie, utilizando tablas para facilitar la comparación con otras investigaciones.

Objetivo 2: Calcular las propiedades físicas de las especies *Ochroma pyramidale* (Cav.) Urb. y *Gmelina arborea* Roxb.

Las pruebas de las características físicas se llevaron a cabo siguiendo la norma COPANT 459.

Obteniendo probetas de las dos especies, en los diferentes planos orientados de forma longitudinal, transversal y radial obteniendo cortes transversales, tangenciales y radiales, como se observan en la figura 3.

### Figura 3.

*Probetas de Gmelina arborea y Ochroma pyramidale*



Posteriormente, se debe seguir una metodología estructurada que incluya la preparación de muestras representativas conforme a la norma COPANT 460, controlando el contenido de humedad, ya que este influye en las propiedades mecánicas. Para calcular el contenido de humedad, se pesó la probeta, se midió en los diferentes planos y se secó en la estufa hasta obtener un peso constante, y con ello tener el valor del porcentaje de humedad.

La densidad se determinó, siguiendo la norma INEN 1162, se evaluaron los diferentes tipos de densidad: verde, seca al aire, anhidra y básica, calculando cada una según las condiciones específicas de la muestra. Además, se analizó el comportamiento en contracción de la madera, evaluando las contracciones longitudinales, radiales y tangenciales, conforme a la norma INEN 1164, utilizando fórmulas específicas para cada tipo de contracción y determinando la relación tangencial-radial para entender la anisotropía de la madera en aplicaciones estructurales.

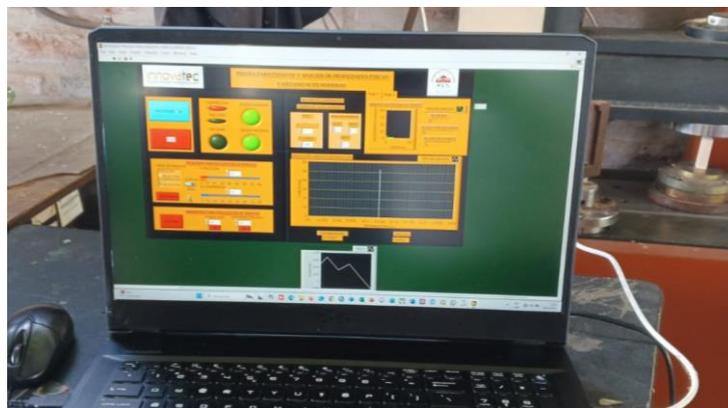
Objetivo 3: Evaluar las propiedades mecánicas de las especies *Ochroma pyramidale* (Cav.) Urb. y *Gmelina arborea* Roxb.

Para analizar las características mecánicas de la madera, se utilizó un método que incluye varias etapas, comenzando con la preparación de las muestras como se muestran en la ilustración 11, cortando las muestras en dimensiones específicas y teniendo en cuenta la dirección de las fibras y la eliminación de defectos.

A continuación, se realizan ensayos de resistencia para evaluar la flexión, compresión, tracción, dureza y cizallamiento, siguiendo normas como ASTM D198-20 para la resistencia a flexión, ASTM D143-94, para cizallamiento ASTM D143-785 para la compresión paralela y perpendicular a la fibra. Durante los ensayos se utilizó el programa LabVIEW2019 como se observa en la figura 4, y se obtuvieron los datos de tiempo, de deformación y carga utilizada para deformar o romper a las piezas de madera y con ello poder hacer los cálculos respectivos de acuerdo con cada norma correspondiente.

**Figura 4.**

*LabVIEW2019 para ensayos de pruebas mecánicas*



Finalmente, se lleva a cabo un análisis de resultados, donde se calculan valores utilizando normas: ASTM y COPAN de acuerdo con la variable a calcular para obtener el promedio y comparar con los valores característicos de la especie de madera en otras investigaciones.

## CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Características anatómicas de la madera de *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea*.

Los resultados obtenidos de la investigación: El material de campo recolectado ingresó a formar parte las probetas en el laboratorio de la Xiloteca y maderas de la UTN, en la Tabla 3 se presentan los datos y códigos de las muestras y probetas de cada especie.

**Tabla 3.**

*Características macroscópicas (Organolépticas)*

Especie	<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav.) Urb	<i>Gmelina arborea</i> Roxb.
<b>Probeta Tangencial</b>		
<b>Color</b>	Grupo I. Blanco	Grupo II. Amarillo
<b>Olor</b>	Ausente o no distintivo	Leve fermentado
<b>Sabor</b>	Ausente o no distintivo	Ausente o no distintivo
<b>Grano</b>	Recto	Recto
<b>Brillo</b>	Medio - Opaco	Medio - Opaco
<b>Textura</b>	Fina	Fina
<b>Veteado</b>	Jaspeado, suave	Jaspeado
<b>Peso</b>	Liviana	Pesada

La Tabla 4 muestra las estructuras macroscópicas de la madera de *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea* en diferentes tipos de cortes permitiendo destacar las diferencias en las características visuales y estructurales de ambas especies, lo que es crucial para su uso en el sector industrial maderera.

*Estructuras macroscópica de la madera 10 x*

NOMBRE COMÚN NOMBRE CIENTÍFICO	PLANO MACROSCÓPICO O TANGENCIAL	CORTE TRANSVERSAL	CORTE TANGENCIAL	CORTE RADIAL
Balsa <i>Ochroma pyramidale</i> (Cav.) Urb				
Melina <i>Gmelina arborea</i> Roxb.				

***Ochroma pyramidale* (Cav.) Urb**

**Corte Transversal**

En el corte transversal los anillos de crecimiento no presentan diferenciación, lo que sugiere un crecimiento homogéneo. La porosidad es difusa, con poros ovalados y de tamaño pequeño. Se observan pocos poros, dispuestos principalmente de forma radial, con escasos oblicuos. La agrupación de los poros es variada, con radiales cortos de 3, muy pocos de 4 y algunos arracimados. Además, el contenido de los poros carece de inclusiones. El parénquima es apotraqueal y difuso, mientras que los radios son no estratificados y las células son procumbentes, lo que contribuye a la ligereza y blandura de la madera.



En el corte transversal Briceño & Cofrep (2023), mencionan que la falta de diferenciación en los anillos de crecimiento indica un crecimiento uniforme, lo que contribuye a su ligereza, gracias a la porosidad difusa con poros ovalados y pequeños como lo obtenido en la presente investigación. Esto sugiere que, aunque la homogeneidad de *Ochroma pyramidale* puede ser una ventaja para aplicaciones que requieren ligereza, su menor resistencia en comparación con maderas de crecimiento heterogéneo podría limitar su uso en estructuras que necesitan mayor durabilidad.

### **Corte Tangencial**

En el corte tangencial, se aprecia un vetado en arcos superpuestos, donde se alternan tonalidades oscuras y nítidas en los anillos de crecimiento, que se pueden observar en áreas concretas. Esta variabilidad en el color es particularmente visible en secciones específicas de la madera, lo que no solo resalta su belleza estética, sino que también puede influir en su elección para aplicaciones decorativas. Los vasos son finos y continuos, dejando segmentos de color amarillento verdoso en la superficie de la madera, lo que añade un atractivo visual.

El vetado como lo menciona Feijoó et al., (2019) se caracteriza por arcos superpuestos y una alternancia de colores que añade atractivo visual, es decir presenta similitud con el trabajo realizado. Lo que refuerza la idea de que esta especie no solo es funcional, sino también estéticamente agradable

### **Corte Radial**

El corte radial exhibe un vetado en líneas paralelas, resultado de los anillos de crecimiento. Aunque este patrón no es muy distintivo, proporciona una indicación referente a la composición interna de la madera, mostrando uniformidad en el crecimiento.

El corte radial según Abarca (2022), muestra un patrón de vetado en líneas paralelas, indicando uniformidad en el crecimiento. Por lo tanto, aunque ambos estudios coinciden en la



observación del veteado, Abarca (2022), ofrece una perspectiva más completa sobre la relación entre la uniformidad del crecimiento y las propiedades mecánicas, lo que podría ser relevante para la selección de maderas en la industria.

### ***Gmelina arborea* Roxb.**

#### **Corte Transversal**

En el corte transversal los anillos de crecimiento están claramente definidos, lo que indica una diferenciación notable entre los períodos de crecimiento. La porosidad también es difusa, pero los poros son redondos y de tamaño mediano, con una cantidad moderadamente abundante. Se disponen radialmente, algunos en posición oblicua, y se agrupan en conjuntos de 2 a 5, lo que sugiere una estructura robusta. A diferencia de *Ochroma pyramidale*, se observan inclusiones de resina en los poros lo que puede contribuir a su resistencia y durabilidad.

El parénquima es apotraqueal y difuso, con áreas de almacenamiento, y los radios son estratificados, mostrando células de diferentes tamaños, lo que incrementa la durabilidad de la madera. En comparación Rodríguez & Vergara (2008) destacan que esta característica de los anillos de crecimiento bien definidos y poros redondos de tamaño mediano, sugieren una mayor resistencia estructural

#### **Corte Tangencial**

En el corte tangencial, el veteado es más pronunciado, con una alternancia de colores claros y oscuros que refleja la variabilidad en la densidad de los anillos de crecimiento. Los vasos son más abundantes y presentan un patrón de coloración uniforme, lo que resalta la belleza de la madera de *Gmelina arborea*.



Según ADMIN (2012), el patrón de coloración uniforme y la abundancia de vasos en este corte hacen que *Gmelina arborea* sea una opción popular en la industria del diseño y la construcción.

### **Corte Radial**

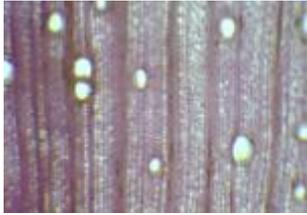
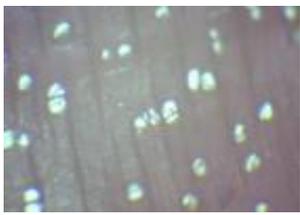
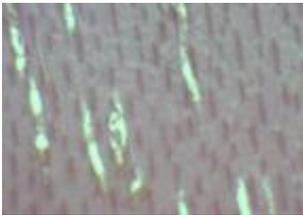
El corte radial es más distintivo, mostrando un veteado en líneas que refleja la estructura interna de la madera. Este patrón es más regular en comparación con el de *Ochroma pyramidale*, lo que facilita la identificación de la especie y su calidad.

Huang, Gong, Chui, & Chan (2020) enfatizan que esta regularidad es crucial para su clasificación y uso en la industria, ya que una identificación precisa puede influir en la selección de la madera para diferentes aplicaciones.

Las diferencias en las características estructurales de *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea* pueden ser influenciadas por factores ambientales, como la clase de tierra, la accesibilidad del agua y las condiciones climáticas durante su crecimiento, lo que afecta la densidad, la porosidad y la resistencia de la madera

La Tabla 5 muestra las estructuras microscópicas de la de *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea* en cortes microscópicos: plano tangencial, transversal, tangencial y radial. Estos datos permiten analizar las características celulares de ambas especies, fundamentales para su uso en la industria maderera

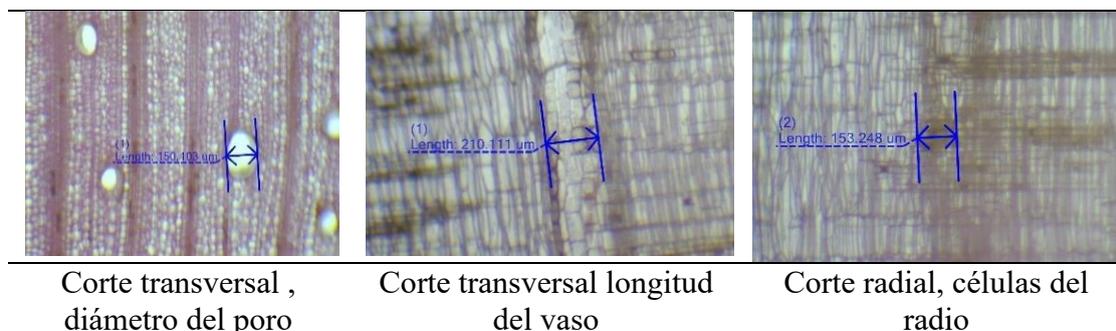
*Estructuras microscópicas de la madera*

NOMBRE COMÚN NOMBRE CIENTÍFICO	PLANO MICROSCÓPICO O TANGENCIAL	CORTE MICROSCÓPICO TRANSVERSAL	CORTE MICROSCÓPICO TANGENCIAL	CORTE MICROSCÓPICO RADIAL
Balsa <i>Ochroma pyramidale</i> (Cav.) Urb				
Melina <i>Gmelina arborea</i> Roxb.				

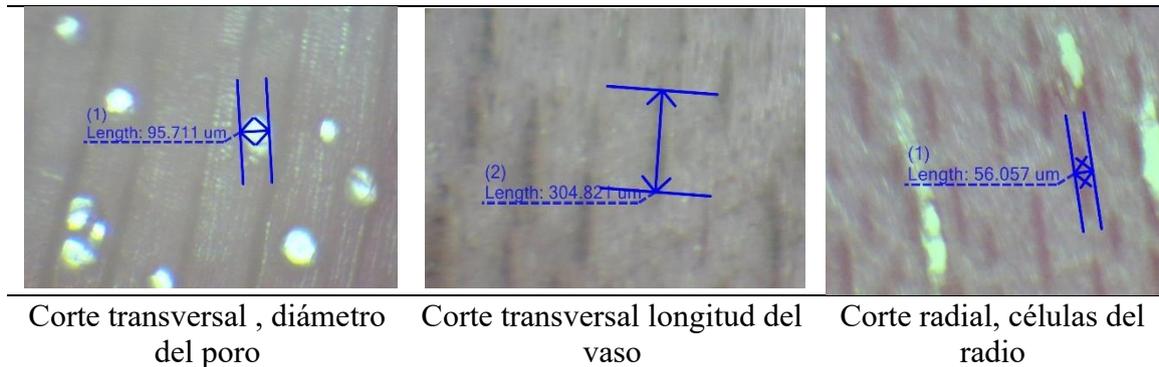
Las Figuras 5 y 6 ilustran las características microscópicas de la de *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea*, destacando las medidas de variables clave. Se presentan el diámetro del poro y la longitud del vaso los diferentes cortes. Estas mediciones son fundamentales para evaluar las propiedades estructurales de cada especie, lo que influye en su comportamiento y aplicaciones en la industria maderera

**Figura 5.**

*Características microscópicas de Balsa *Ochroma pyramidale* (Cav.) Urb*



*Características microscópicas de Melina Gmelina arborea Roxb.*



*Ochroma pyramidale* se caracteriza por sus poros grandes y bien definidos, que se encuentran en alta cantidad, lo que contribuye a la ligereza de la madera. Estos poros son predominantemente redondeados y presentan diámetros amplios, facilitando la circulación de fluidos. El espesor de la pared del vaso es delgado, lo que no solo permite una eficiente conducción de agua, sino que también reduce el peso total de la madera. La longitud promedio del vaso es considerablemente larga, alcanzando los 210.111 µm, lo que mejora aún más la eficiencia en el transporte de nutrientes.

Respecto al parénquima, este se especializa en el almacenamiento y está compuesto por series de células cortas con un diámetro tangencial moderado. La cantidad de radios es moderada, y las células de estos radios presentan una altura que varía de baja a media, así como un grosor delgado, lo que contribuye a la flexibilidad de la madera.

Las fibras de *Ochroma pyramidale* tienen un diámetro delgado y un lumen amplio, lo que favorece la circulación de agua y nutrientes. Además, su longitud es generalmente larga, lo que puede mejorar la resistencia estructural de la madera. En el análisis del corte transversal, se observa que el diámetro del poro es de 150.130 µm, lo que indica una adecuada capacidad para el transporte de fluidos. En el corte radial, las células del radio miden 153.248 µm, lo que sugiere una buena organización celular.



Por otro lado, *Gmelina arborea* presenta poros de tipo intermedio, que están bien distribuidos a lo largo de su estructura. Estos poros tienen una cantidad moderada y una forma ovalada, con diámetros que son variables, aunque generalmente más pequeños que de *Ochroma pyramidale*. El espesor de la pared del vaso es moderado, lo que contribuye a la resistencia de la madera, mientras que la longitud promedio del vaso se sitúa en 304,821  $\mu\text{m}$ , lo que sugiere una adecuada capacidad de conducción.

El parénquima cumple funciones tanto de almacenamiento como de conducción. Se observan series de células más largas, con un diámetro tangencial mayor, lo que puede mejorar la efectividad en el traslado de nutrientes y agua. Además, la cantidad de radios en el corte transversal es superior a la de *Ochroma pyramidale*, lo que indica una mayor complejidad estructural. Las células de los radios tienen una altura media y un grosor moderado, contribuyendo a la estabilidad de la madera.

Las fibras presentan un diámetro intermedio y un lumen más estrecho, con un espesor de pared moderado. En el análisis del corte transversal, se registra que el diámetro del poro es de 95.711  $\mu\text{m}$ , lo que refleja una estructura adecuada para la circulación de fluidos. En el corte radial, las células del radio miden 56,057  $\mu\text{m}$ , lo que también sugiere una buena organización celular.

### **Corte Microscópico Transversal**

La madera de *Ochroma pyramidale* exhibe un grano recto y una textura fina, lo que facilita su trabajabilidad Montaño (2019). Esta característica es especialmente valiosa en aplicaciones donde se requiere un acabado estético y una manipulación eficiente, como en la fabricación de muebles y elementos decorativos.

Por otro lado, *Gmelina arborea* presenta fibras largas y rectas, lo que contribuye a su resistencia y durabilidad Candelaria & Sotelo (1996). Esta estructura fibrosa no solo mejora la



habilidad de la madera para resistir fuerzas, sino que también la hace más adecuada para aplicaciones estructurales donde la resistencia es crucial, la longitud y rectitud de las fibras permiten una mayor cohesión interna.

La longitud del vaso en la de *Gmelina arborea* (304,821  $\mu\text{m}$ ) es considerablemente mayor que en la de *Ochroma pyramidale*, lo que sugiere una mejor capacidad para conducir agua y nutrientes.

Las diferencias en la medida y el grosor de las fibras también son significativas. Las fibras de *Ochroma pyramidale*, aunque delgadas y con un lumen amplio, pueden no ofrecer la misma resistencia estructural que las fibras de *Gmelina arborea*, que son más largas y rectas. Esta estructura fibrosa de *Gmelina arborea* no solo mejora su capacidad para soportar cargas, sino que también la hace menos susceptible a la deformación y al desgaste, lo que es esencial en aplicaciones donde la resistencia es crucial, como en la producción de mobiliario y en el sector de la edificación.

### **Corte Microscópico Tangencial y Radial**

La comparación entre *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea* en términos de sus características estructurales y funcionales revela diferencias significativas que impactan su uso en aplicaciones madereras. En el corte tangencial, *Ochroma pyramidale* se distingue por sus poros grandes y bien definidos, lo que favorece su ligereza y facilita la circulación de fluidos. Hidayati y otros (2017), dicen que *Gmelina arborea* presenta poros de tipo intermedio, que son más pequeños y están bien distribuidos, lo que puede influir en su resistencia y durabilidad

El parénquima de *Ochroma pyramidale* se especializa en el almacenamiento con células cortas, mientras que en la melina cumple funciones tanto de almacenamiento como de conducción, con células más largas, lo que mejora la eficiencia en el transporte de nutrientes

Tenorio, Moya, & Muñoz (2011). Por otro lado, el parénquima de *Gmelina arborea* cumple funciones tanto de almacenamiento como de conducción, con células más largas que optimizan la eficacia en el traslado de nutrientes

Las diferencias en las estructuras microscópicas de ambas maderas son relevantes para su uso en la industria. *Ochroma pyramidale* resulta ideal para aplicaciones que requieren ligereza y facilidad de manipulación, mientras que *Gmelina arborea* es más adecuada para aquellas que demandan resistencia y durabilidad.

Además, es importante considerar que las variaciones en los resultados pueden estar influenciadas por las condiciones de crecimiento de cada especie, como el tipo de suelo, la disponibilidad de agua y las condiciones climáticas. Estas condiciones pueden afectar la anatomía de la madera, resultando en diferencias en la densidad, la estructura celular y, en última instancia, en las propiedades mecánicas de la madera.

### 3.2. Propiedades físicas tiene la madera de *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea*

#### 3.2.1 Contenido de humedad

A continuación, se encuentran los resultados del contenido de humedad de dos especies de madera: *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea*. Estos datos son relevantes para evaluar las características de cada especie y su idoneidad para diferentes aplicaciones en la industria maderera. En la Tabla 6 se detallan los valores obtenidos para cada especie.

**Tabla 6.**

*Contenido de humedad*

Especie	Contenido de Humedad
<i>Ochroma pyramidale</i>	60,484
<i>Gmelina arborea</i>	64,302



El contenido de humedad en la madera de *Ochroma pyramidale* es de 60,484%, mientras que en *Gmelina arborea* es de 64,302%. Estos valores son significativos, ya que el contenido de humedad influye en las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Según Moncayo, Muñoz, Villacís, & Melo (2018), la madera de *Ochroma pyramidale* presenta un rango de contenido de humedad de 8% a 12% en condiciones de equilibrio, lo que indica su capacidad para retener humedad en condiciones ambientales. Estos resultados presenten una variación por su procedencia del lugar de recolección, condiciones climáticas y los años de los árboles.

Por otro lado, Hidayati y otros (2017) mencionan que *Gmelina arborea* tiene un rango de 10% a 15%, lo que sugiere que, aunque ambas especies tienen un contenido de humedad relativamente alto, *Ochroma pyramidale* tiende a ser más susceptible a cambios en la humedad ambiental, afectando su estabilidad dimensional y resistencia.

Aunque ambos valores son relativamente altos, la mayor capacidad de *Gmelina arborea* para mantener un contenido de humedad más bajo en condiciones de equilibrio puede contribuir a su estabilidad y durabilidad en aplicaciones estructurales. Esto sugiere que, a pesar de que ambas especies presentan un contenido de humedad elevado, *Gmelina arborea* podría ser más adecuada para entornos donde se requiere una mayor resistencia a la deformación y al deterioro.

### 3.2.2 Densidad

En esta parte se muestran los resultados de la densidad de dos especies de madera: *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea*. Los datos, que se detallan en la Tabla 7, incluyen la densidad verde, la densidad seca al aire, la densidad anhidra y la densidad básica para cada especie, lo que facilita una comparación directa entre ellas.

*Densidad*

<b>Especie</b>	<b>Densidad verde</b>	<b>Densidad seca al aire</b>	<b>Densidad anhidra</b>	<b>Densidad básica o peso específico</b>
<i>Ochroma pyramidale</i>	0,294 g/cm <sup>3</sup>	0,226 g/cm <sup>3</sup>	0,201 g/cm <sup>3</sup>	0,183 g/cm <sup>3</sup>
<i>Gmelina arborea</i>	0,916 g/cm <sup>3</sup>	0,866 g/cm <sup>3</sup>	0,582 g/cm <sup>3</sup>	0,558 g/cm <sup>3</sup>

La densidad de la madera representa un elemento crucial que afecta su resistencia y durabilidad. Los datos de densidad de las especies de madera *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea* muestran que esta última presenta una densidad significativamente mayor en todas las categorías analizadas: densidad verde, seca al aire, anhidra y básica. En particular, *Gmelina arborea* tiene una densidad verde de 0,916 g/cm<sup>3</sup> frente a 0,294 g/cm<sup>3</sup> de *Ochroma pyramidale*, lo que indica que su estructura es más robusta y densa.

Estas diferencias sugieren que *Gmelina arborea* es más apropiada para usos que necesitan fortaleza y longevidad, mientras que *Ochroma pyramidale* podría ser preferible en situaciones donde se necesite una madera más ligera.

Según Moncayo, Muñoz, Villacís, & Melo (2018), la madera de *Ochroma pyramidale* tiene una densidad promedio de aproximadamente 160 kg/m<sup>3</sup> (0,16 g/cm<sup>3</sup>), lo que la hace ligera y adecuada para aplicaciones donde se requiere un material liviano. En la presente investigación se obtuvo 0,183 g/cm<sup>3</sup> valor calculado luego del proceso de secado, siendo esto un dato aceptable a lo mencionado por Moncayo, Muñoz, Villacís, & Melo (2018), ya que esto varía debido a la procedencia y edad de la madera.

Hidayati y otros (2017), indican que la densidad de *Gmelina arborea* varía entre 400 kg/m<sup>3</sup> (0,4 g/cm<sup>3</sup>), y 600 kg/m<sup>3</sup> (0,6 g/cm<sup>3</sup>), lo que le confiere una mayor resistencia a la compresión y flexión, haciéndola más adecuada para la construcción y fabricación de muebles.

Según la norma INEN (2011), la densidad básica de *Gmelina arborea* se clasifica como media, con valores que oscilan entre 0,40 y 0,54 g/cm<sup>3</sup>, lo que la hace adecuada para diversas aplicaciones en la industria maderera Méndez (2005).

*Gmelina arborea* obtuvo una densidad en verde de 0,916 g/cm<sup>3</sup> resultado de los cálculos de las probetas de madera al inicio de la investigación las cuales se tomaron los datos antes de ser sometidas al proceso de secado, posteriormente al tener un peso constante se obtuvo su densidad básica de 0,558 g/cm<sup>3</sup> valor que entre en el rango de clasificación de la norma y de otras bibliografías comparadas.

### 3.2.3 Comportamiento en contracción de la madera

En este apartado se presentan los resultados de la contracción de la madera de las especies: *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea*. La Tabla 8 muestra las cifras de contracción longitudinal, radial y tangencial, junto con la relación entre la contracción tangencial y radial para cada especie. Estos datos son relevantes para comprender el comportamiento dimensional de la madera en diferentes condiciones de humedad.

**Tabla 8.**

*Contracción de la madera*

Especie	Contracción longitudinal Total		Contracción radial total		Contracción tangencial total		Relación tangencial radial	
	CLN (%)	CLT (%)	CRN (%)	CRT (%)	CTN (%)	CTT (%)	CVT	T/R
	<i>Ochroma pyramidale</i>	0,258	0,941	1,045	3,704	1,090	4,256	7,802
<i>Gmelina arborea</i>	0,146	0,263	0,696	1,765	1,575	2,251	3,976	1,276

El comportamiento en contracción de la madera es un aspecto crucial para su aplicación en estructuras. Los datos de la Tabla 8 sugieren que *Ochroma pyramidale* tiene una mayor tendencia a la reducción en las direcciones radial y tangencial en comparación con



*Gmelina arborea*, lo que podría influir en su estabilidad dimensional bajo condiciones de variación de humedad como lo menciona.

Según Ribas (2017), estas características son fundamentales para la selección de maderas en proyectos de construcción, donde la estabilidad dimensional es fundamental para asegurar la resistencia y la efectividad de las estructuras.

La relación tangencial/radial obtenido en el presente documento para *Ochroma pyramidale* es de 1,149 en comparación a lo presentado por Ecuador forestal, (2010), muestran variaciones significativas ya sea por el método de medición además, las condiciones ambientales, como la humedad y temperatura, pueden afectar la contracción, ya que la madera puede absorber o liberar humedad, alterando sus propiedades. En el caso de *Ochroma pyramidale*, la contracción radial total reportada es de 0,941, mientras que la contracción tangencial total es de 4,256, lo que indica una relación tangencial-radial (T/R) de 1,149. Esta relación puede variar según el origen de la madera, ya que factores como el tipo de y la cantidad de agua disponible influyen en su crecimiento.

Mientras que los datos obtenidos de *Gmelina arborea* con los de Gonzáles & Serrano, (2012) muestran que la discrepancia en los datos de contracción puede atribuirse a la diversidad genética dentro de la especie, ya que diferentes poblaciones pueden exhibir características morfológicas y fisiológicas distintas, ya que *Gmelina arborea* presenta una contracción radial total de 0,263% y una contracción tangencial total de 2,251%, lo que indica que la madera puede reaccionar de manera diferente a cambios en el entorno. La relación tangencial-radial (T/R) de 1,276 sugiere que la contracción tangencial es más pronunciada, lo que puede variar según el origen de la madera, ya que factores como el tipo de suelo y la disponibilidad de agua influyen en su crecimiento.

Esto indica que, *Gmelina arborea* es relativamente más resistente a la deformación en

condiciones de humedad variable, lo que la convierte en una opción más idónea para usos que necesitan alta estabilidad dimensional. En contraste, la mayor susceptibilidad de *Ochroma pyramidale* a la contracción puede limitar su uso en entornos donde la variabilidad de la humedad es un factor crítico.

### 3.3. Comportamiento mecánico de la madera *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea*

#### 3.3.1. Resistencia a flexión

Seguidamente, se presenta una tabla que muestra los valores del Módulo de Elasticidad (MOE) para las dos especies de madera: *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea*. Este parámetro es fundamental para evaluar la resistencia a flexión de las maderas, proporcionando información clave para la selección adecuada de especies en aplicaciones estructurales. En la Tabla 9 se detallan los valores obtenidos para cada especie.

**Tabla 9.**

*Módulo de elasticidad*

Especie	Módulo de elasticidad (MOE)
<i>Ochroma pyramidale</i>	308,15
<i>Gmelina arborea</i>	620,16

La comparación de las propiedades mecánicas de las especies de madera, específicamente el Módulo de Elasticidad (MOE), revela diferencias significativas entre *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea*. Según la literatura, el MOE de *Ochroma pyramidale* se reporta en 308,15 kg/cm<sup>2</sup>, lo que indica que esta especie, aunque ligera y fácil de trabajar, presenta una menor rigidez en comparación con la melina, que tiene un MOE de 620,16 kg/cm<sup>2</sup>. Esta diferencia en el MOE sugiere que *Gmelina arborea* es más adecuada para aplicaciones estructurales donde se requiere mayor resistencia y durabilidad.



Los estudios sobre *Ochroma pyramidale* según Maderea (2019), destacan su uso en la construcción de embarcaciones y en la industria del modelismo, donde su bajo peso es una ventaja

Sin embargo, Villacis, Moncayo, Muñoz, & Melo (2018), presentan valores similares a los obtenidos en la presente investigación, además dice que su menor MOE limita su uso en aplicaciones que requieren una mayor resistencia a la flexión, lo que refuerza la idea de que, aunque esta madera tiene aplicaciones específicas, su uso en estructuras que soportan cargas significativas es limitado.

Por otro lado, *Gmelina arborea*, con su mayor MOE, es valorada en la industria maderera por su versatilidad y resistencia, siendo utilizada en la fabricación de muebles y en la construcción (Sondelcauca, 2021). Estos hallazgos resaltan la importancia de seleccionar la especie adecuada según las necesidades específicas del proyecto, considerando tanto las propiedades mecánicas como los usos potenciales de cada tipo de madera.

### 3.3.2. Cizallamiento

Como se indica a continuación, los resultados obtenidos para la tensión de corte, así como los valores de cizallamiento radial y tangencial en las dos especies de madera:

*Ochroma Pyramidale* y *Gmelina arborea*. Estos parámetros son esenciales para comprender el comportamiento mecánico de las maderas bajo diferentes condiciones de carga, lo que resulta crucial para su aplicación en el diseño estructural. En la Tabla 10 se presentan los resultados conseguidos para cada especie

*Tensión de corte*

Especie	Tensión de corte	
	Cizallamiento radial	Cizallamiento tangencial
<i>Ochroma pyramidale</i>	2,59	2,08
<i>Gmelina arborea</i>	2,47	2,10

En la presente investigación se ha evaluado la resistencia al corte de dos especies de madera, *Ochroma pyramidale* presenta una tensión de corte de 2,59 kg/cm<sup>2</sup>, para el cizallamiento radial y 2,08 kg/cm<sup>2</sup>, para el cizallamiento tangencial, como se reporta en estudios presentados por Anchundia (2021), que caracterizan sus propiedades mecánicas, siendo una madera más ligera, tiene una menor densidad que *Gmelina arborea*, lo que puede resultar en una menor resistencia al corte en ciertas direcciones

En comparación, *Gmelina arborea* muestra una tensión de corte de 2,47 kg/cm<sup>2</sup>, en cizallamiento radial y 2,10 kg/cm<sup>2</sup> en cizallamiento tangencial, cuyos resultados se contrastan con datos de investigaciones previas como la de Sondelcauca, (2021). Con una mayor densidad y una estructura celular más robusta, tiende a ofrecer una mayor resistencia al cizallamiento, especialmente en situaciones donde se necesita una resistencia superior y resistencia mecánica.

Estos resultados indican que *Gmelina arborea* tiene una mayor resistencia al corte que *Ochroma pyramidale*, lo que puede ser atribuido a su mayor densidad y estructura celular más compacta. Además, es importante considerar que las diferencias en los métodos de evaluación y las condiciones experimentales pueden influir en los resultados obtenidos. Factores como la humedad de la madera, la preparación de las muestras en este caso el

ensayo utilizo muestras que no pasaron por un proceso de secado y la técnica de medición pueden generar variaciones en los datos reportados.

### 3.3.3. Dureza

Posteriormente, se encuentra una tabla que muestra los valores de dureza radial y tangencial para las especies de madera analizadas: *Ochroma Pyramidale* y *Gmelina arborea*. La dureza es un indicador clave de la resistencia de la madera a la penetración y al desgaste, lo que influye directamente en su durabilidad y desempeño en aplicaciones prácticas. En la Tabla 11 se detallan los valores obtenidos

**Tabla 11.**

*Dureza*

Especie	Dureza	
	Radial	Tangencial
<i>Ochroma pyramidale</i>	21,72	22,03
<i>Gmelina arborea</i>	44,93	45,43

La madera de *Ochroma pyramidale* presenta una dureza radial de 21,72 kg y una dureza tangencial de 22,03 kg, dado que ambos valores son inferiores a 25 kg según la tabla de clasificación de dureza de Shore, se clasificaría como madera blanda, ya que los valores que son significativamente más bajos en comparación con los reportados para *Gmelina arborea*, que muestra una dureza radial de 44,93 kg y una dureza tangencial de 45,43 kg que representan valores superiores a 40 kg, lo que clasifica como madera dura . .

Esta diferencia en la dureza puede atribuirse a la estructura celular y la densidad de las maderas. *Ochroma pyramidale* siendo una madera de baja densidad, tiene una estructura más ligera y menos compacta, lo que resulta en una menor resistencia al desgaste (Vinueza, 2012).

Esta característica según Vinueza (2012), es crucial para aplicaciones donde se



requiere durabilidad y resistencia, como en la construcción y fabricación de muebles. Por lo tanto, mientras que *Gmelina arborea* es más adecuada para usos que exigen mayor resistencia, *Ochroma pyramidale* podría ser preferida en contextos donde la ligereza y facilidad de manejo son más valoradas.

La variación en los resultados puede ser atribuida a varios factores que afectan las características físicas de las maderas. En primer lugar, la diferencia en la dureza radial y tangencial se puede relacionar con la estructura celular de cada especie. *Ochroma pyramidale*, conocida por su baja densidad, presenta una anatomía que incluye células más grandes y menos compactas, lo que contribuye a su menor resistencia al desgaste y, por ende, a su clasificación como madera blanda.

Por otro lado, *Gmelina arborea*, con los datos obtenidos de dureza puede deberse a una mayor densidad ya una estructura celular más compacta, que le otorgan propiedades mecánicas superiores. La densidad de la madera es un factor crítico que influye en su dureza, ya que una mayor densidad generalmente se asocia con una mayor resistencia y durabilidad.

Además, es importante considerar que las condiciones de crecimiento, el tipo de suelo, la disponibilidad de agua y otros factores ambientales pueden afectar las características físicas de la madera. Estos hallazgos subrayan la importancia de seleccionar la especie de madera adecuada en función de las propiedades mecánicas requeridas para aplicaciones específicas en la industria de la construcción y el diseño de muebles.

### **3.3.4 Compresión paralela y perpendicular a la fibra**

A continuación, se presenta una tabla que detalla los valores del Módulo de Rotura de Compresión (MOR) para las especies de madera estudiadas: *Ochroma Pyramidale* y *Gmelina arborea*. Este parámetro es fundamental para evaluar la capacidad de las maderas para soportar cargas de compresión, tanto en dirección paralela como perpendicular a las fibras.

En la Tabla 12 se muestran los valores obtenidos para cada orientación, lo que facilita una mayor comprensión del comportamiento de la estructura de estas especies.

**Tabla 12.**

*Módulo de rotura de compresión*

Especie	Módulo de rotura de compresión (MOR)	
	Paralela	Perpendicular
<i>Ochroma pyramidale</i>	44,57	42,14
<i>Gmelina arborea</i>	95,37	59,27

*Ochroma pyramidale* cuyos resultados revelan diferencias significativas en sus propiedades mecánicas. Los datos obtenidos muestran que esta especie presenta un MOR paralelo de 44,57 kg/cm<sup>2</sup> y un MOR perpendicular de 42,14 kg/cm<sup>2</sup>. Moncayo Galárraga, (2017), menciona que *Ochroma pyramidale*, siendo una madera de baja densidad, tiene una estructura más ligera y menos compacta, lo que se traduce en una menor capacidad para resistir fuerzas de compresión

*Gmelina arborea* exhibe un MOR considerablemente más alto, con valores de 95,37 kg/cm<sup>2</sup> en la dirección paralela y 59,27 kg/cm<sup>2</sup> en la dirección perpendicular. Moreno (2004), dice que la diferencia en el MOR puede explicarse por la variación en la densidad y la estructura celular de ambas especies debido a una similitud en los datos obtenidos con la presente investigación, el MOR paralelo de *Gmelina arborea* es más del doble que el de *Ochroma pyramidale*, lo que indica su superioridad en aplicaciones que requieren alta resistencia estructural.

Además, el MOR perpendicular de *Gmelina arborea*, que es 17,13 kg/cm<sup>2</sup> más alto que el de *Ochroma pyramidale*, sugiere que esta especie es más adecuada para soportar cargas en direcciones transversales, lo que es crucial en la construcción de estructuras donde

Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar las propiedades mecánicas específicas de cada especie al seleccionar materiales para aplicaciones en la industria de la construcción y el diseño de productos de madera, donde la resistencia y durabilidad son factores clave.

### 3.3.5 Tracción perpendicular a la fibra

Al realizar los ensayos se obtuvo valores bajos para las especies de madera: *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea*, esto se debe a que la resistencia a la tracción se determina por el esfuerzo que ejerce la adherencia entre las fibras de la madera cuando se enfrenta a cargas externas que intentan separarlas.

Según, Vaca (2021) la tracción perpendicular a las fibras de la madera *Ochroma pyramidale* del Oriente presenta una resistencia promedio de aproximadamente 30 y 50 kg/cm<sup>2</sup>, lo que es considerablemente inferior a la resistencia a la tracción paralela a las fibras, que puede alcanzar hasta 120 kg/cm<sup>2</sup>. Esta diferencia en los valores de resistencia se debe a la disposición longitudinal de las fibras, que proporciona una mayor adherencia en la dirección paralela, mientras que en la dirección perpendicular, la capacidad de la madera para soportar cargas es notablemente reducida.

La Universidad Técnica de Ambato (2023), presenta valores de la tracción perpendicular a las fibras de la madera de *Gmelina arborea* que varía entre 100 y 150 kg/cm<sup>2</sup>, lo que indica una capacidad limitada para soportar cargas en esta dirección. En contraste, la resistencia a la tracción paralela a las fibras puede alcanzar hasta 500 kg/cm<sup>2</sup>, lo que resalta la importancia de la orientación de las fibras en el rendimiento estructural de esta especie.



## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES

- Las diferencias anatómicas entre *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea* son notables y tienen implicaciones significativas para su uso en diversas aplicaciones. *Ochroma pyramidale* con su una porosidad difusa y ligera, la hace ideal para la fabricación de modelos y embarcaciones, donde la carga es un elemento fundamental. En contraste, *Gmelina arborea*, con su estructura más densa y robusta, se convierte en la elección preferente para la producción de muebles y elementos que requieren mayor resistencia y durabilidad.
- Los análisis sobre las características físicas de *Ochroma pyramidale*, se caracteriza por su baja densidad, lo que la hace más susceptible a la deformación y contracción. Esta característica la hace adecuada para aplicaciones ligeras, aunque puede comprometer su estabilidad en condiciones de humedad variable. Por otro lado, *Gmelina arborea* ofrece mayor resistencia a la deformación y estabilidad dimensional, lo que la convierte en una opción preferida para usos que demandan durabilidad y resistencia a factores ambientales.
- La evaluación de las propiedades mecánicas de las especies de ambas especies es significativa para su aplicación en la construcción. *Gmelina arborea* se destaca por su alta resistencia, lo que la convierte en idónea para usos en estructuras exigentes, mientras que *Ochroma pyramidale*, es más ligera y fácil de trabajar, sus propiedades mecánicas son inferiores, limitando su uso en situaciones que necesitan una mayor capacidad de carga y resistencia a la compresión.



## RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar prácticas sostenibles en la recolección y uso de *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea* para conservar recursos forestales y promover un manejo responsable del medio ambiente. Además, es fundamental fomentar la investigación sobre las propiedades anatómicas y mecánicas de otras especies maderables para ampliar el conocimiento en este campo
- Con base en los hallazgos sobre las propiedades físicas de *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea*, se sugiere a los expertos en el sector de la madera que deben seleccionar la especie de madera según las necesidades del proyecto, monitorear las condiciones ambientales y de almacenamiento, y realizar investigaciones sobre el comportamiento de estas maderas en diversas condiciones de uso.
- Los diseñadores y arquitectos deben considerar las propiedades mecánicas al seleccionar los materiales. *Gmelina arborea* es preferible para alta resistencia y durabilidad, mientras que *Ochroma pyramidale* es viable para proyectos livianos. Se sugiere realizar estudios adicionales sobre el comportamiento de estas maderas en condiciones específicas para optimizar su aplicación y garantizar resultados satisfactorios en el uso de estos recursos.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (FAO), O. d., & (MAE), M. d. (2014). Propiedades Anatómicas, Físicas y Mecánicas de 93 Especies Forestales. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/items/94ea9e95-72f6-4e9e-b77d-3f4fb26d6c55>
- (PNUMA), r. d. (2019). Global environment outlook 6: Healthy planet, healthy people. Obtenido de Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente: <https://www.unep.org/es/resources/perspectivas-del-medio-ambiente-mundial-6>
- Abarca Abarca, H. M. (2022). CARACTERIZACIÓN DE LA MADERA DE CUATRO ESPECIES FORESTALES COMERCIALES EN LA PARROQUIA TIPUTINI CANTÓN AGUARICO, PROVINCIA ORELLANA. Obtenido de ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/18212/1/33T00417.pdf>
- Acosta, I. (5 de Septiembre de 2024). MADERIA.es. Obtenido de ¿Cuál es la relación entre la porosidad y la permeabilidad de la madera?: [https://maderia.es/cual-es-la-relacion-entre-la-porosidad-y-la-permeabilidad-de-la-madera/?expand\\_article=1](https://maderia.es/cual-es-la-relacion-entre-la-porosidad-y-la-permeabilidad-de-la-madera/?expand_article=1)
- Acosta, I. (2025). Cuál es la relación entre la contracción radial y tangencial de la madera. Obtenido de MADERIA.es: [https://maderia.es/cual-es-la-relacion-entre-la-contraccion-radial-y-tangencial-de-la-madera/?expand\\_article=1](https://maderia.es/cual-es-la-relacion-entre-la-contraccion-radial-y-tangencial-de-la-madera/?expand_article=1)
- ADMIN. (26 de Julio de 2012). Ficha Técnica N° 3: MELINA. Obtenido de Promadera sustentable: <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-3-melina/>
- Aisalla Tixe, E. P. (2019). Caracterización anatómica de la madera de cinco especies comerciales mediante tinciones procedentes del cantón Tena, provincia de Napo. Obtenido de Superior Politécnica de Chimborazo.:



<http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/10755>

Ambato, L. U. (2023). MELINA. Obtenido de

[http://maderas.ut.edu.co/transformacion/pagina\\_tra\\_especie.php?especie=MELINA](http://maderas.ut.edu.co/transformacion/pagina_tra_especie.php?especie=MELINA)

Anchundia García, J. J. (2021). Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de ochroma pyramidale (cav. ex lam.) urb. (balsa) de tres años de edad.

Obtenido de Universidad técnica Estatal de Quevedo:

<https://repositorio.uteq.edu.ec/items/6d12f240-08b9-4cdc-8f1a-e3b1107e8a2d>

Ávila, L. E., & Quezada, Y. d. (2014). Estudio de los derivados de la madera y rediseño de una cocina del edificio “Fresnos 3” utilizando resinas para lograr ambientes translúcidos. Obtenido de

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjPmuzsiNOLAxUIRzABHQXJO\\_kQFnoECBgQAQ&url=https%3A%2F%2Fdspace.ucuenca.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F20400%2F1%2FTESIS.pdf&usg=AOvVaw3HH63ybdb\\_X2rkbis9IRM7&opi=89978449](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjPmuzsiNOLAxUIRzABHQXJO_kQFnoECBgQAQ&url=https%3A%2F%2Fdspace.ucuenca.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F20400%2F1%2FTESIS.pdf&usg=AOvVaw3HH63ybdb_X2rkbis9IRM7&opi=89978449)

Baradit, E., Niemz, P., & Fernández-Pérez, A. (2013). PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE ALGUNAS MADERAS NATIVAS CHILENAS CONÍFERAS Y LATIFOLIADAS POR ULTRASONIDO. Obtenido de Maderas. Ciencia y Tecnología, 15(2), 235-244. : <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48527705009>

Barrios, P. (5 de Junio de 2015). Normas copant. Obtenido de Scribd:

<https://es.scribd.com/doc/267729920/NormasCopant>

Benetti, F. (2015). Estudio de la durabilidad natural y de las propiedades tecnológicas de la madera de Ligustrum lucidum W. T. Aiton. Obtenido de Universidad Nacional de La Plata: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/70851>

Bravo, E., Yáñez, I., & Bonilla, F. (2021). ENERGÍA MUNDO. Obtenido de ENERGÍA



EQUIDAD: [https://co.boell.org/sites/default/files/2021-12/E\\_y\\_E\\_2021-N3\\_Energia\\_Mundo.pdf](https://co.boell.org/sites/default/files/2021-12/E_y_E_2021-N3_Energia_Mundo.pdf)

Briceño, E. F., & Cofrep, D. A. (2023). Cambios microscópicos en la madera de 10 especies forestales de la ciudad de Loja, Ecuador. Obtenido de CEDAMAZ:

<https://doi.org/10.54753/cedamaz.v13i2.1847>

Candelaria, V. R., & Sotelo, R. D. (1996). Ajuste de las propiedades mecánicas de la madera estructural por cambios del contenido de humedad. Obtenido de MADERA y

BOSQUES: <https://doi.org/10.21829/myb.1996.221385>

Chamba, H. M., & Andrés, P. T. (2013). Estudio de la estructura anatómica y propiedades físico-mecánicas de cinco especies maderables en bosques secundarios del cantón Zamora. Obtenido de Repositorio Digital - Universidad Nacional de Loja:

<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/5218>

Cruz, E. (11 de Febrero de 2022). Astm d143-94 en Español. Obtenido de SCRIBF:

<https://es.scribd.com/document/558299633/Astm-d143-94-en-Espanol>

Dudek, J., & Werner, T. (1978). New parameters of the deformed Woods-Saxon. Obtenido de Journal of Physics G: Nuclear Physics, 4(10), 1543.:

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0305-4616/4/10/006>

Dvorak, W. (Septiembre de 2004). World view of Gmelina arborea: opportunities and challenges. Obtenido de New Forests, 28(2), 111-126.:

<https://link.springer.com/article/10.1023/B:NEFO.0000040940.32574.22>

Ecuadorforestal. (2010). *Ficha Técnica No. 5 Balsa*. Obtenido de

<https://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2010/08/BALSA.pdf>

FAO. (2018). State of the world's forests 2018: Forest pathways to sustainable development.

Obtenido de Food and Agriculture Organization of the United Nations.:



<https://openknowledge.fao.org/items/28896bfc-567c-4e4e-a1b2-d28e78867028>

Feijoo, C., Espinoza, F., Cueva, M., Hidalgo, F., Ramón, D., Jumbo, J., . . . Pucha-Cofrep, D.

(2019). Propiedades físicas y características anatómicas de la madera de *Cinchona officinalis* (L.) Ruiz y *Cinchona macrocalyx* Pav. ex DC en relictos boscosos al sur de Ecuador. Obtenido de <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/590>

Gimenez, A. M., Moglia, J. G., Hernandez, P., & Gerez, R. (2005). ANATOMÍA DE MADERA. Obtenido de <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/sd-1-anatomia-de-madera.pdf>

González Trejos, G., & Serrano Montero, J. R. (30 de Noviembre de 2012). *Propiedades y utilizaciones de la madera de melina (Gmelina arborea Roxb) procedente de árboles plantados en Costa Rica*. Obtenido de Tecnológico de Costa Rica:  
<https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/598>

Guanotuña Guanotuña, E. A. (Septiembre de 2021). Caracterización de las propiedades físicas y químicas de la madera de cinco especies forestales procedentes de la parroquia Multitud, cantón Alausí, provincia de Chimborazo. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo:  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15880>

GUÍA PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA. (21 de Mayo de 2024). Obtenido de Xiloteca Ec.:  
[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjY\\_Ke1\\_fuMAxVLTjABHTEdCMAQFnoECBUQAQ&url=https%3A%2F%2Fxiloteca.unl.edu.ec%2Fmedia%2Fprotocolos%2F2024%2F05%2F21%2FGUIA\\_PARA\\_DETERMINAR\\_LAS\\_PROPIEDADES\\_F%25C3%258DSIC](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjY_Ke1_fuMAxVLTjABHTEdCMAQFnoECBUQAQ&url=https%3A%2F%2Fxiloteca.unl.edu.ec%2Fmedia%2Fprotocolos%2F2024%2F05%2F21%2FGUIA_PARA_DETERMINAR_LAS_PROPIEDADES_F%25C3%258DSIC)

Hidayati, F., Ishiguri, F., Makino, K., Tanabe, J., Aiso, H., Prasetyo, V. E., . . . Yokota, S.



- (2017). The effects of radial growth rate on wood properties and anatomical characteristics and an evaluation of the xylem maturation process in a tropical fast-growing tree species, *Gmelina arborea*. Obtenido de *Forest Products Journal*, 67(3-4), 297-303.: <https://doi.org/10.13073/fpj-d-16-00027>
- Huang, C., Gong, M., Chui, Y., & Chan, F. (2020). Mechanical behaviour of wood compressed in radial direction - part I. New method of determining the yield stress of wood on the stress-strain curve. Obtenido de *Mechanical behaviour of wood compressed in radial direction - part I. New method of determining the yield stress of wood on the stress-strain curve. Journal of Bioresources and Bioproducts*, 5(3), 186-195.: <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.07.004>
- INEN. (2011). Instituto Ecuatoriano de Normalización (1158, 1159, 1160, 1161, 1162, 1164). Obtenido de [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/LOTAIP2015\\_reglamento-tecnico-ecuatoriano-rte-inen-004-1-2011.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/LOTAIP2015_reglamento-tecnico-ecuatoriano-rte-inen-004-1-2011.pdf)
- Maderea. (10 de Julio de 2019). maderea. Obtenido de <https://www.maderea.es/la-madera-de-balsa-sus-usos-y-aplicaciones/>
- maderea, M. (31 de Julio de 2017). Propiedades y especies para madera estructural II: Propiedades mecánicas de la madera. Obtenido de maderea: <https://www.maderea.es/propiedades-y-especies-para-madera-estructural-ii-propiedades-mecanicas-de-la-madera/>
- Mamani, H. (4 de Enero de 2021 ). Astm D 198 Editable. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/489750685/ASTM-D-198-EDITABLE>
- Martínez, L. V. (2022). HUMEDAD EN LA MADERA.pptx.pdf. Obtenido de SlideShare.: <https://es.slideshare.net/slideshow/humedad-en-la-maderapptxpdf/253061865>



Megías, M., Molist, P., & Pombal, M. A. (2023). Tejidos vegetales PARÉNQUIMA.

Obtenido de Atlas de histología vegetal y animal.: [https://mmegias.webs.uvigo.es/1-vegetal/guiada\\_v\\_parenquima.php](https://mmegias.webs.uvigo.es/1-vegetal/guiada_v_parenquima.php)

Méndez, P. P. (2005). Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de madera de *Nothofagus glauca* (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes. Obtenido de Universidad de Talca.: [http://dspace.otalca.cl/retrieve/6282/diaz\\_mendez.pdf](http://dspace.otalca.cl/retrieve/6282/diaz_mendez.pdf)

Moncayo Galárraga, G. A. (2017). TEMA: CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE Balsa (*Ochroma pyramidale*) ECUATORIANA. Obtenido de ESPE Universidad de las Fuerzas Armadas: <https://repositoriobe.espe.edu.ec/server/api/core/bitstreams/c145ce01-d3db-42ea-9da6-d2764baa11c4/content>

Moncayo, G., Muñoz, C. N., Villacís, N., & Melo, J. (2018). Caracterización de las propiedades mecánicas de la madera de balsa (*Ochroma pyramidale*) Ecuatoriana. Obtenido de Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjQqd-vnueLaxVsTDABHWKJFnwQFnoECBwQAQ&url=https%3A%2F%2Fjournal.espe.edu.ec%2Foj%2Findex.php%2Fcienciaytecnologia%2Farticle%2Fview%2F788%2F602&usg=AOvVaw0ONBUI\\_jg36COzZRgKVNBB&opi=8](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjQqd-vnueLaxVsTDABHWKJFnwQFnoECBwQAQ&url=https%3A%2F%2Fjournal.espe.edu.ec%2Foj%2Findex.php%2Fcienciaytecnologia%2Farticle%2Fview%2F788%2F602&usg=AOvVaw0ONBUI_jg36COzZRgKVNBB&opi=8)

Montaño, A. R. (2019). “EVALUACIÓN ANATÓMICA DE 50 ESPECIES FORESTALES EN EL SUR DEL ECUADOR”. Obtenido de Universidad Nacional de Loja: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewiRrIzEk-eLaxWZQzABHXVmNqMQFnoECBQQAQ&url=https%3A%2F%2Fdspace.unl.edu>



[u.ec%2Fjspui%2Fbitstream%2F123456789%2F22194%2F1%2FAndr%25C3%25A9  
s%2520Roosevelt%2520Armijos%2520Monta%25C3%25B1o](https://www.studocu.com/latam/document/universidad-nacional-autonoma-de-cordoba/ingenieria-forestal/propiedades-fisico-mecanicas-de-gmelina-arborea-roxb-y-tectona-grandis-linn-f)

Montaño, J., Rosillo, E., Zhinín, H., & Pucha-Cofrep, D. (2 de Junio de 2019). Características anatómicas y propiedades físicas de la madera de *Ilex guayusa* Loes. Obtenido de Bosques Latitud Cero : <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/583>

Moreno, J. R. (2004). Propiedades Físico-Mecánicas de *Gmelina arborea* Roxb. y *Tectona grandis* Linn. F. Obtenido de Academia: [https://www.academia.edu/59078275/Propiedades\\_Físico\\_Mecánicas\\_de\\_Gmelina\\_arborea\\_Roxb\\_y\\_Tectona\\_grandis\\_Linn\\_F](https://www.academia.edu/59078275/Propiedades_Físico_Mecánicas_de_Gmelina_arborea_Roxb_y_Tectona_grandis_Linn_F)

Moya Roque, R. (2004). *Gmelina arborea* in Costa Rica. Obtenido de Instituto Tecnológico de Costa Rica: [https://www.researchgate.net/publication/276277090\\_Gmelina\\_arborea\\_in\\_Costa\\_Rica](https://www.researchgate.net/publication/276277090_Gmelina_arborea_in_Costa_Rica)

Moya-Roque, R., Muñoz-Acosta, F., Salas-Garita, C., Berrocal-Jiménez, A., Leandro-Zúñiga, L., & Esquivel-Segura, E. (23 de Septiembre de 2012). Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas. Obtenido de Instituto Tecnológico de Costa Rica: <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/383>

Pérez-Peña, N., Valenzuela, L., Diaz-vaz, J. E., & Ananías, R. A. (2011). Predicción del contenido de humedad de equilibrio de la madera en función del peso específico de la pared celular y variables ambientales. Obtenido de Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, 43(1), 1-10.:

[https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-221X2011000300002](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2011000300002)

Pozzer, J. A., & Guzowski, E. (2011). Materiales y materias primas. Obtenido de studocu : [https://www.studocu.com/latam/document/universidad-nacional-autonoma-de-](https://www.studocu.com/latam/document/universidad-nacional-autonoma-de-cordoba/ingenieria-forestal/materiales-y-materias-primas)



[honduras/introduccion-a-la-historia-de-la-arquitectura/madera/63547122](#)

Ribas. (2017). Clasificación de la madera por su densidad. Obtenido de

<https://instalaciondetarimas.com/blog/2017/04/21/la-clasificacion-de-la-madera-por-su-densidad/>

Rivas, M. (17 de Enero de 2025). ¿Cómo se mide la dureza de la madera? Obtenido de

maderea: <https://www.maderea.es/medicion-dureza-de-la-madera/>

Rodríguez, C., & Vergara, E. (2008). Propiedades físicas y mecánicas de la madera de Pinus canariensis crecido en el secano de la Región del Maule, Chile. Obtenido de Bosque, vol. 29, núm. 3, 2008, pp. 192-196:

<https://www.redalyc.org/pdf/1731/173113297002.pdf>

Rodríguez, F. R., Aguilar, D. A., Roque, R. M., Montoya, A. M., Gamboa, O. M., &

Gamboa, M. A. (2004). MANUAL PARA PRODUCTORES DE MELINA Gmelina arborea EN COSTA RICA . Obtenido de

<https://www.fonafifo.go.cr/media/1334/manual-para-productores-de-melina.pdf>

Rodríguez, M. R., & Sibille, A. (2020). FAO. Obtenido de Rodríguez, M R & A Sibille,;

[https://www.google.com/url?sa=t&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUK](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjyhZ_f-)

[PGMAxVmSDABHUywFs0QFnoECBcQAQ&url=https%3A%2F%2Fopenknowledge.fao.org%2Fserver%2Fapi%2Fcore%2Fbitstreams%2Ffe38440e9-a137-43cb-bdcf-f8fa1c8c6dce%2Fcontent&usg=AOvVaw36yhzavlAMs](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKPGMAxVmSDABHUywFs0QFnoECBcQAQ&url=https%3A%2F%2Fopenknowledge.fao.org%2Fserver%2Fapi%2Fcore%2Fbitstreams%2Ffe38440e9-a137-43cb-bdcf-f8fa1c8c6dce%2Fcontent&usg=AOvVaw36yhzavlAMs)

Sandi, D. A. (2019). ¿Qué es un árbol?. Obtenido de

<https://scholar.archive.org/work/kctp2upf7rco3curcd4kacss2e/access/wayback/https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/download/37682/38539/>

Simmons, B. (2025). COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA. Obtenido de



Academia.edu:

[https://www.academia.edu/7258736/COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA](https://www.academia.edu/7258736/COMPRESIÓN_PERPENDICULAR_A_LA_FIBRA)

Soledispa, E. S. (2021). La resistencia a la flexión es máxima a un contenido de humedad, y desde el índice del porcentaje de humedad hasta el punto de saturación de la fibra.

¿Cuál o cuáles serían las dimensiones de resistencia?. Obtenido de

[https://www.researchgate.net/publication/353274561\\_La\\_resistencia\\_a\\_la\\_flexion\\_en\\_la\\_madera - Trabajo de investigacion recopilatorio](https://www.researchgate.net/publication/353274561_La_resistencia_a_la_flexion_en_la_madera_-_Trabajo_de_investigacion_recopilatorio)

Sondelcauca. (2021). PROPIEDADES MECÁNICAS y FÍSICAS MELINA. Obtenido de

SONDELCAUCA CÍTRICOS-MADERA-PALMA: <https://sondelcauca.com/wp-content/uploads/2021/11/Propiedades-Madera-Melina.pdf>

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

[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)

Tenorio, C., Moya, R., & Muñoz, F. (2011). Comparative study on physical and mechanical properties of laminated veneer lumber and plywood panels made of wood from fast-growing Gmelina arborea trees. Obtenido de Journal of Wood Science, 57(2), 134-139.: <https://doi.org/10.1007/s10086-010-1149-7>

Vaca, D. (8 de Septiembre de 2021). Compresión y Tracción en Madera. Obtenido de

SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/523924503/Compresion-y-Traccion-en-Madera>

Villacis, C. N., Moncayo, G., Muñoz, C. N., & Melo, J. G. (Junio de 2018). Caracterización de las propiedades mecánicas de la madera de balsa (Ochroma Pyramidale) Ecuatoriana. Obtenido de

[https://www.researchgate.net/publication/325958635\\_Caracterizacion\\_de\\_las\\_propiedades\\_mecanicas\\_de\\_la\\_madera\\_de\\_balsa\\_Ochroma\\_Pyramidale\\_Ecuatoriana](https://www.researchgate.net/publication/325958635_Caracterizacion_de_las_propiedades_mecanicas_de_la_madera_de_balsa_Ochroma_Pyramidale_Ecuatoriana)

Vinueza, M. (26 de Julio de 2012). Ficha Técnica N° 3: MELINA. Obtenido de ECUADORFORESTAL: <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-3-melina/>

Yacelga Narvaez, N., Cotacio Vasquez, K., Wilson, W., & & Martinez, L. V. (2022). HUMEDAD EN LA MADERA.pptx.pdf. Obtenido de Universidad de Ibagué.: <https://es.slideshare.net/slideshow/humedad-en-la-maderapptxpdf/253061865>

## ANEXOS



Ilustración 1. Recolección de madera de *Gmelina arbolera*



Ilustración 2. Recolección de madera de *Ochroma pyramidale*



Ilustración 4. Probetas para las



Ilustración 3. Aserrado de la madera



Ilustración 5. Preparación de placas para las características anatómicas

propiedades físicas



Ilustración 6. Observación de las placas en el microscopio



Ilustración 7. Probetas de *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea* para las propiedades físicas



Ilustración 8. Medición en todos los planos, y peso de probetas



Ilustración 9. Peso de probetas



Ilustración 10. Secado en estufa de las probetas para las propiedades físicas



Ilustración 11. Probetas de madera de *Ochroma pyramidale* y *Gmelina arborea* para pruebas mecánicas



Ilustración 12. Ensayo de compresión perpendicular a la fibra.



Ilustración 13. Ensayo de flexión



Ilustración 14. Ensayo de cizallamiento



Ilustración 15. Ensayo de dureza



Ilustración 16. Ensayo de tracción perpendicular a la fibra

*Datos de las probetas en verde y de la primera evaluación de secado en la estufa de Ochroma pyramidale*

		VERDE							SECO AL HORNO - EVALUACIÓN 1 - 30 c						
Especie	Probeta	Longitudinal		Radial		Tangencial		PESO	Longitudinal		Radial		Tangencial		PESO
		L1	L2	R1	R2	T1	T2		L1	L2	R1	R2	T1	T2	
<i>Ochroma pyramidale</i>	PB1	10,05	9,96	5,35	5,32	5,26	5,25	78	9,98	9,84	5,19	5,19	5,1	5,09	62
	PB2	10,15	10,1	5,3	5,32	5,23	5,28	78	10,14	10,1	5,28	5,29	5,16	5,19	62
	PB3	10,21	10,12	5,31	5,32	5,34	5,33	72	10,19	10,1	5,26	5,29	5,25	5,29	56
	PB4	10,13	9,98	5,33	5,34	5,32	5,3	86	10,11	9,96	5,31	5,3	5,28	5,29	64
	PB5	10,11	10,24	5,33	5,31	5,3	5,36	88	10,09	10,21	5,27	5,28	5,19	5,22	62
	PB6	10,11	9,89	5,26	5,28	5,29	5,31	52	10,03	9,85	5,21	5,22	5,24	5,24	38
	PB7	10,1	9,93	5,3	5,3	5,29	5,29	50	10,07	9,91	5,27	5,26	5,27	5,26	36
	PB8	9,98	10,07	5,31	5,3	5,31	5,34	86	9,95	10,07	5,27	5,28	5,22	5,27	66
	PB9	10,14	10,26	5,3	5,31	5,34	5,32	48	10,12	10,22	5,27	5,28	5,28	5,26	36
	PB10	10,17	10,02	5,3	5,3	5,3	5,33	48	10,14	9,97	5,24	5,25	5,23	5,24	36
	PB11	10,1	10,22	5,31	5,28	5,29	5,29	48	10,08	10,18	5,25	5,23	5,26	5,25	36
	PB12	10,22	10,13	5,34	5,35	5,28	5,29	86	10,21	10,1	5,32	5,29	5,19	5,2	64
	PB13	10,2	10,12	5,3	5,29	5,3	5,32	78	10,19	10,07	5,2	5,14	5,29	5,28	56
	PB14	10,06	9,96	5,3	5,32	5,32	5,33	50	10,04	9,93	5,26	5,26	5,24	5,27	36
	PB15	10,13	10,11	5	5	5,09	5,1	124	10,1	10,10	4,93	4,93	4,97	5	86
	PB16	10,22	10,25	5,03	5,03	5,02	5,02	44	10,16	10,22	4,98	4,97	4,99	4,98	28
	PB17	10,08	10,08	4,96	4,98	5,01	5	114	10,06	10,06	4,95	4,94	4,94	4,96	82
	PB18	10,04	10,19	4,93	4,93	4,98	4,99	100	10,03	10,13	4,91	4,9	4,98	5	78
	PB19	10,04	10,01	5,13	5,11	5,06	5,07	54	10,03	9,99	5,09	5,08	5,03	5,04	44
	PB20	10,4	10,35	5,01	5,01	5,03	5,03	104	10,38	10,32	4,94	4,96	4,99	4,98	78
	PB21	10,43	10,49	5,00	4,99	5,00	4,99	114	10,41	10,48	4,92	4,95	4,95	4,98	90
	PB22	10,49	10,46	4,99	4,98	4,94	4,94	108	10,46	10,44	4,94	4,97	4,91	4,92	82
	PB23	10,21	10,22	5,10	5,10	5,07	5,03	38	10,20	10,18	5,03	5,03	5,03	5,01	28
	PB24	10,32	10,32	5,07	5,07	4,99	4,98	108	10,31	10,30	5,00	5,04	4,94	4,95	84
	PB25	10,14	10,13	4,94	4,92	5,04	5,03	106	10,13	10,11	4,90	4,89	4,95	4,93	78
	PB26	10,34	10,33	5,07	5,06	5,02	5,02	40	10,31	10,32	4,95	4,96	5,00	4,98	30
	PB27	10,41	10,42	4,99	4,99	5,00	5,01	120	10,40	10,41	4,91	4,95	4,95	4,96	88
	PB28	10,45	10,40	4,94	4,95	5,10	5,09	120	10,43	10,38	4,91	4,92	5,03	5,04	92
	PB29	10,13	10,03	5,12	5,13	5,05	5,05	38	10,08	10,00	5,04	5,07	5,04	5,03	28
	PB30	10,33	10,31	4,97	4,96	4,97	4,99	108	10,31	10,28	4,89	4,90	4,91	4,93	84
<b>Promedio</b>		10,20	10,17	5,15	5,15	5,15	5,16	79,6	10,17	10,14	5,10	5,10	5,09	5,10	59,67
<b>Promedio</b>		10,18		5,15		5,15			10,16		5,10		5,10		
<b>Volumen</b>					270,398	cm <sup>3</sup>						263,97	cm <sup>3</sup>		

*Datos de la segunda y tercera evaluación de secado en la estufa de Ochroma pyramidale*

EVALUACION 2 - 50 c							EVALUACION 3 - 70 ° C						
Longitudinal		Radial		Tangencial		PESO	Longitudinal		Radial		Tangencial		PESO
L1	L2	R1	R2	T1	T2		L1	L2	R1	R2	T1	T2	
10,02	9,88	5,23	5,27	5,1	5,1	58	9,97	9,88	5,22	5,22	5,04	5,03	52
10,13	10,08	5,23	5,23	5,08	5,08	58	10,08	10,02	5,18	5,16	4,99	5,01	54
10,18	10,09	5,25	5,25	5,2	5,27	52	10,13	10,03	5,17	5,17	5,11	5,13	50
10,1	9,94	5,21	5,22	5,18	5,16	56	10,06	9,91	5,19	5,2	5,08	5,07	58
10,08	10,19	5,23	5,24	5,05	5,09	54	10,02	10,14	5,17	5,16	5,03	5,04	64
10,02	9,82	5,16	5,18	5,2	5,19	36	9,99	9,79	5,11	5,12	5,12	5,14	32
10,05	9,9	5,23	5,23	5,21	5,18	34	9,99	9,84	5,18	5,18	5,15	5,13	32
9,94	10,05	5,23	5,27	5,17	5,2	60	9,92	10	5,17	5,16	5,07	5,06	56
10,11	10,21	5,25	5,24	5,22	5,2	36	10,05	10,15	5,19	5,19	5,17	5,16	32
10,13	9,96	5,18	5,19	5,19	5,21	32	10,07	9,92	5,13	5,13	5,16	5,16	34
10,07	10,17	5,21	5,21	5,22	5,24	34	10,02	10,1	5,15	5,13	5,13	5,14	34
10,2	10,09	5,27	5,25	5,1	5,15	60	10,14	10,05	5,23	5,21	4,99	4,99	60
10,19	10,07	5,08	5,13	5,23	5,26	52	10,12	10,03	5,01	4,99	5,21	5,18	54
10,03	9,91	5,26	5,25	5,22	5,24	34	9,97	9,84	5,19	5,2	5,15	5,15	34
10,09	10,09	4,89	4,89	4,86	4,9	80	10,05	10,04	4,79	4,81	4,78	4,79	80
10,15	10,21	4,93	4,96	4,97	4,98	28	10,1	10,16	4,86	4,85	4,9	4,9	26
10,06	10,06	4,9	4,92	4,89	4,95	76	9,96	10,02	4,82	4,87	4,78	4,78	70
10,02	10,12	4,87	4,9	4,91	4,96	74	9,98	10,08	4,88	4,78	4,79	4,81	68
10,02	9,97	5,09	5,08	5,02	5,05	42	9,93	9,93	5,02	4,98	4,94	4,94	40
10,37	10,32	4,94	4,89	4,97	4,96	74	10,32	10,25	4,08	4,79	4,86	4,85	70
10,41	10,47	4,87	4,91	4,90	4,93	84	10,35	10,42	4,78	4,79	4,82	4,83	82
10,44	10,43	4,87	4,91	4,86	4,90	76	10,37	10,35	4,79	4,80	4,79	4,79	68
10,19	10,17	4,98	4,97	5,00	4,97	26	10,13	10,10	4,91	4,92	4,91	4,90	24
10,30	10,30	4,92	4,98	4,86	4,92	76	10,23	10,23	4,78	4,78	4,78	4,83	72
10,12	10,11	4,86	4,86	4,84	4,85	72	10,07	10,03	4,79	4,81	4,75	4,73	70
10,29	10,31	4,91	4,94	4,94	4,95	26	10,23	10,26	4,85	4,86	4,89	4,89	24
10,40	10,41	4,86	4,85	4,92	4,92	82	10,35	10,32	4,76	4,77	4,82	4,82	84
10,43	10,38	4,90	4,92	4,94	4,96	84	10,35	10,32	4,79	4,79	4,82	4,80	76
10,07	9,99	4,97	4,99	5,00	5,02	26	9,99	9,93	4,93	4,92	4,90	4,96	24
10,31	10,27	4,84	4,84	4,88	4,91	78	10,22	10,23	4,79	4,76	4,97	4,85	74
10,16	10,13	5,05	5,07	5,04	5,06	55,33	10,11	10,09	4,96	4,98	4,96	4,96	53,27



Tabla 15. Datos de la cuarta y última evaluación de secado en la estufa de *Ochroma pyramidale*

EVALUACION 4 - 90 ° C							EVALUACION FINAL - 102±3° C						
Longitudinal		Radial		Tangencial		PESO	Longitudinal		Radial		Tangencial		PESO
L1	L2	R1	R2	T1	T2		L1	L2	R1	R2	T1	T2	
9,96	9,85	5,2	5,18	5,01	4,99	52	9,96	9,85	5,18	5,16	5,01	4,99	52
10,07	10,01	5,18	5,16	4,94	4,94	52	10,07	10	5,17	5,15	4,94	4,94	52
10,13	10,01	5,19	5,16	5,07	5,09	48	10,13	10,01	5,18	5,15	5,07	5,09	48
10,05	9,9	5,18	5,19	5,07	5,05	52	10,05	9,9	5,17	5,18	5,07	5,05	52
10,01	10,14	5,16	5,16	5,02	5,02	52	10,01	10,14	5,16	5,16	5,01	5,02	52
9,99	9,79	5,1	5,11	5,1	5,11	32	9,99	9,79	5,1	5,1	5,1	5,11	32
9,99	9,8	5,18	5,17	5,13	5,12	32	9,99	9,8	5,17	5,16	5,13	5,12	32
9,91	10,02	5,14	5,13	5,02	5	52	9,91	10,02	5,14	5,12	5,02	5	52
10,04	10,13	5,18	5,18	5,14	5,13	30	10,04	10,13	5,18	5,17	5,14	5,13	30
10,07	9,91	5,11	5,11	5,11	5,14	30	10,07	9,91	5,11	5,1	5,11	5,14	30
10,02	10,09	5,12	5,09	5,11	5,13	32	10,02	10,09	5,12	5,09	5,11	5,13	32
10,13	10,02	5,19	5,21	4,97	5,02	54	10,13	10,02	5,19	5,2	4,95	5	52
10,11	10,01	5,01	4,97	5,16	5,17	50	10,11	10,01	5,01	4,96	5,16	5,17	50
9,97	9,81	5,2	5,2	5,14	5,12	32	9,97	9,81	5,19	5,19	5,14	5,12	30
10,04	10,03	4,78	4,77	4,76	4,75	76	10,04	10,03	4,77	4,76	4,76	4,75	74
10,09	10,14	4,84	4,84	4,92	4,9	24	10,09	10,14	4,83	4,83	4,91	4,9	24
9,99	10,02	4,81	4,81	4,76	4,76	66	9,99	10,02	4,81	4,81	4,76	4,76	66
9,99	10,06	4,77	4,76	4,75	4,77	62	9,99	10,06	4,77	4,75	4,75	4,77	62
9,95	9,92	5,04	4,99	4,92	4,94	38	9,95	9,92	5,03	4,98	4,92	4,94	38
10,35	10,26	4,79	4,78	4,83	4,8	64	10,35	10,26	4,78	4,77	4,83	4,8	64
10,37	10,42	4,77	4,78	4,77	4,79	76	10,35	10,42	4,76	4,77	4,77	4,79	76
10,38	10,36	4,76	4,78	4,79	4,77	64	10,37	10,36	4,76	4,77	4,78	4,77	64
10,12	10,12	4,89	4,91	4,92	4,91	24	10,12	10,12	4,88	4,91	4,92	4,91	24
10,23	10,24	4,74	4,76	4,76	4,77	68	10,23	10,24	4,74	4,75	4,76	4,77	68
10,06	10,04	4,78	4,78	4,71	4,70	66	10,06	10,04	4,77	4,78	4,71	4,70	66
10,21	10,23	4,82	4,84	4,88	4,89	24	10,21	10,23	4,81	4,83	4,88	4,88	24
10,34	10,36	4,74	4,75	4,80	4,82	74	10,33	10,35	4,74	4,74	4,80	4,82	74
10,35	10,32	4,78	4,78	4,78	4,76	74	10,35	10,32	4,77	4,77	4,78	4,76	74
9,98	9,94	4,90	4,93	4,95	4,93	24	9,98	9,93	4,89	4,92	4,94	4,93	24
10,23	10,23	4,74	4,74	4,78	4,79	70	10,23	10,23	4,74	4,74	4,78	4,79	70
10,10	10,07	4,97	4,97	4,94	4,94	49,80	10,10	10,07	4,96	4,96	4,93	4,94	49,60
10,09		4,97		4,94			10,09		4,96		4,93		
		247,41	cm <sup>3</sup>						246,96	cm <sup>3</sup>			

*Datos de las probetas en verde y de la primera evaluación de secado en la estufa de Gmelina arborea*

Especie	Probeta	VERDE							SECO AL HORNO - EVALUACIÓN 1 - 30 c						
		Longitudinal		Radial		Tangencial		PESO	Longitudinal		Radial		Tangencial		PESO
		L1	L2	R1	R2	T1	T2		L1	L2	R1	R2	T1	T2	
<i>Gmelina arborea</i>	PB1	10,45	10,36	4,91	4,93	4,9	4,92	246	10,42	10,35	4,9	4,88	4,9	4,88	210
	PB2	10,44	10,57	4,94	4,98	4,94	4,94	236	10,44	10,56	4,93	4,93	4,93	4,93	228
	PB3	10,02	10	5,08	5,09	5,09	5,07	236	10,01	9,99	5,08	5,09	5,08	5,09	218
	PB4	10,41	10,53	4,93	4,94	4,93	4,91	234	10,39	10,52	4,91	4,9	4,91	4,9	214
	PB5	10,38	10,3	4,95	4,96	5,02	5,01	236	10,35	10,26	4,8	4,8	4,95	4,96	210
	PB6	10,38	10,53	4,99	4,99	4,96	4,93	224	10,36	10,51	4,95	4,93	4,95	4,93	210
	PB7	9,94	9,82	4,9	4,92	5,21	5,23	212	9,94	9,84	4,87	4,88	4,9	4,92	198
	PB8	10,43	10,56	4,97	4,97	4,91	4,93	240	10,42	10,55	4,93	4,96	4,93	4,96	218
	PB9	10,41	10,52	4,94	4,93	4,94	4,94	238	10,38	10,5	4,86	4,86	4,94	4,93	218
	PB10	10	10,05	5,22	5,23	5,24	5,23	216	9,97	10,04	5,18	5,19	5,22	5,23	194
	PB11	10,54	10,44	4,98	4,96	4,93	4,93	248	10,51	10,44	4,92	4,95	4,92	4,95	206
	PB12	10,44	10,55	4,97	4,96	4,78	4,81	242	10,42	10,55	4,76	4,81	4,76	4,81	224
	PB13	10,07	10,08	5,16	5,15	4,92	4,98	240	10,04	10,06	4,89	4,93	4,89	4,93	224
	PB14	10,06	10,08	5,15	5,11	5,12	5,11	252	10,03	10,05	5,08	5,08	5,08	5,08	228
	PB15	10,54	10,47	4,9	4,9	4,93	4,92	198	10,51	10,44	4,76	4,76	4,9	4,9	156
	PB16	10,06	10,09	4,9	4,88	4,83	4,82	220	10,05	10,04	4,8	4,81	4,8	4,81	204
	PB17	10,52	10,41	4,9	4,9	4,93	4,92	248	10,5	10,41	4,9	4,9	4,9	4,92	238
	PB18	10,07	10,07	5,08	5,08	5,13	5,11	238	10,09	10,06	5,05	5,05	5,08	5,08	232
	PB19	9,75	9,93	5,09	5,09	5,09	5,09	238	9,73	9,94	5,07	5,06	5,07	5,06	236
	PB20	10,15	10,11	5,04	5,03	4,86	4,91	234	10,13	10,08	4,82	4,83	4,82	4,83	218
	PB21	10,08	10,06	4,93	4,96	4,84	4,85	232	10,06	10,07	4,8	4,85	4,8	4,85	210
	PB22	10,3	10,39	4,98	4,96	4,97	4,98	252	10,3	10,38	4,95	4,95	4,95	4,95	242
	PB23	10,39	10,45	4,93	4,93	4,97	4,96	248	10,39	10,43	4,92	4,92	4,93	4,93	236
	PB24	10,56	10,45	4,97	5,02	4,89	4,95	228	10,55	10,41	4,86	4,92	4,86	4,92	220
	PB25	10,43	10,6	4,95	4,96	4,94	4,93	236	10,43	10,58	4,88	4,9	4,88	4,9	218
	PB26	10,44	10,47	4,98	4,99	4,99	4,98	248	10,4	10,48	4,97	4,95	4,98	4,95	210
	PB27	10,53	10,44	4,94	4,96	4,95	4,94	242	10,52	10,39	4,91	4,9	4,91	4,9	234
	PB28	10,47	10,39	4,94	4,96	4,94	4,95	240	10,47	10,37	4,9	4,92	4,9	4,92	230
	PB29	10,01	9,9	5,22	5,23	4,88	4,88	220	9,99	9,89	4,84	4,85	4,84	4,85	210
	PB30	10,07	9,93	5,26	5,24	5,26	5,24	220	10,07	9,93	5,18	5,15	5,18	5,15	198
<b>Promedio</b>		10,28	10,29	5,00	5,01	4,98	4,98	234,73	10,26	10,27	4,92	4,93	4,94	4,95	216,40
<b>Promedio</b>		10,28		5,01		4,98			10,27		4,93		4,94		
<b>Volumen</b>					256,154	cm <sup>3</sup>					250,00	cm <sup>3</sup>			

*Datos de la segunda y tercera evaluación de secado en la estufa de Gmelina arborea*

EVALUACION 2 - 50 c							EVALUACION 3 - 70 ° C						
Longitudinal		Radial		Tangencial		PESO	Longitudinal		Radial		Tangencial		PESO
L1	L2	R1	R2	T1	T2		L1	L2	R1	R2	T1	T2	
10,42	10,35	4,92	4,9	4,9	4,9	196	10,41	10,33	4,86	4,86	4,86	4,84	172
10,44	10,56	4,96	4,97	4,94	4,93	212	10,43	10,55	4,91	4,91	4,86	4,87	190
10,01	9,99	4,97	4,99	5,08	5,06	206	10	9,99	4,91	4,99	4,97	4,96	184
10,39	10,52	4,92	4,94	4,93	4,91	200	10,39	10,52	4,86	4,86	4,85	4,86	174
10,34	10,26	4,82	4,81	4,99	4,99	200	10,35	10,29	4,74	4,74	4,94	4,94	178
10,36	10,5	4,99	4,99	4,95	4,93	194	10,37	10,51	4,95	4,95	4,87	4,85	176
9,94	9,81	4,75	4,74	5,21	5,22	182	9,93	9,83	4,76	4,74	5,2	5,18	170
10,41	10,55	4,98	4,98	4,9	4,93	206	10,4	10,57	4,94	4,93	4,85	4,88	186
10,38	10,5	4,86	4,87	4,95	4,95	208	10,39	10,5	4,8	4,82	4,86	4,86	184
9,96	10,04	4,81	4,87	5,23	5,24	188	9,95	10,02	4,73	4,77	5,14	5,16	162
10,52	10,41	4,97	4,97	4,92	4,9	192	10,52	10,41	4,91	4,9	4,89	4,88	176
10,42	10,54	4,96	4,96	4,79	4,8	216	10,42	10,54	4,89	4,91	4,73	4,74	198
10,04	10,06	5,14	5,14	4,94	4,97	218	10,05	10,05	5,09	5,1	4,87	4,88	198
10,03	10,05	5,1	5,06	5,1	5,1	218	10,03	10,05	5,04	5,01	5,05	5,03	202
10,51	10,44	4,76	4,74	4,81	4,81	150	10,5	10,43	4,68	4,68	4,86	4,88	138
10,03	10,04	4,87	4,85	4,82	4,81	196	10,03	10,04	4,83	4,8	4,73	4,71	164
10,5	10,41	4,9	4,9	4,93	4,92	230	10,49	10,39	4,86	4,84	4,85	4,85	194
10,08	10,06	5,03	5,01	5,08	5,1	224	10,04	10,04	4,96	4,96	5,04	5,02	208
9,73	9,93	5,08	5,08	5,09	5,08	228	9,69	9,9	5,04	5,03	4,99	4,99	204
10,13	10,08	5,04	5,02	4,84	4,85	204	10,13	10,07	4,97	4,95	4,81	4,8	184
10,06	10,06	4,92	4,96	4,81	4,82	202	10,05	10,05	4,86	4,89	4,76	4,76	190
10,29	10,38	4,98	4,96	4,97	4,98	230	10,28	10,37	4,91	4,93	4,91	4,91	208
10,38	10,42	4,92	4,92	4,96	4,95	226	10,36	10,43	4,86	4,86	4,9	4,86	204
10,55	10,41	4,97	5	4,89	4,94	210	10,54	10,43	4,89	4,94	4,82	4,86	186
10,43	10,58	4,94	4,95	4,92	4,92	204	10,41	10,58	4,86	4,9	4,83	4,85	172
10,4	10,48	4,98	4,97	4,98	4,98	202	10,41	10,45	4,91	4,9	4,91	4,9	182
10,52	10,39	4,94	4,96	4,93	4,93	222	10,5	10,39	4,89	4,9	4,86	4,85	202
10,46	10,36	4,94	4,95	4,93	4,94	218	10,42	10,36	4,87	4,87	4,86	4,89	190
9,99	9,88	5,22	5,23	4,85	4,85	196	9,99	9,87	5,15	5,16	4,79	4,78	174
10,07	9,94	4,58	4,58	5,26	5,24	192	10,03	9,92	4,48	4,5	5,1	5,09	172
10,26	10,27	4,94	4,94	4,96	4,97	205,67	10,25	10,26	4,88	4,89	4,90	4,90	184,07

*Datos de la cuarta y última evaluación de secado en la estufa de Gmelina arborea*

EVALUACION 4 - 90 ° C							EVALUACION FINAL - 102±3° C						
Longitudinal		Radial		Tangencial		PESO	Longitudinal		Radial		Tangencial		PESO
L1	L2	R1	R2	T1	T2		L1	L2	R1	R2	T1	T2	
10,39	10,29	4,89	4,86	4,85	4,85	150	10,41	10,35	4,84	4,87	4,83	4,84	130
10,42	10,49	4,93	4,94	4,88	4,89	174	10,43	10,55	4,9	4,94	4,85	4,87	146
10,01	9,93	4,93	4,98	4,95	4,95	168	10	9,98	4,9	4,97	4,95	4,95	148
10,38	10,46	4,92	4,9	4,85	4,85	156	10,39	10,51	4,87	4,9	4,84	4,84	134
10,35	10,23	4,77	4,76	4,94	4,94	164	10,35	10,28	4,76	4,76	4,9	4,92	138
10,37	10,45	4,98	4,99	4,9	4,88	164	10,37	10,51	4,97	4,97	4,89	4,87	148
9,92	9,76	4,74	4,73	5,18	5,2	150	9,93	9,81	4,72	4,68	5,16	5,17	132
10,4	10,49	4,95	4,95	4,87	4,89	168	10,4	10,55	4,94	4,93	4,84	4,86	136
10,39	10,45	4,83	4,84	4,89	4,89	164	10,39	10,5	4,83	4,83	4,86	4,85	136
9,94	9,96	4,72	4,78	5,08	5,08	134	9,95	10,02	4,71	4,77	5,09	5,09	120
10,52	10,37	4,96	4,96	4,87	4,89	160	10,52	10,42	4,95	4,96	4,82	4,83	136
10,41	10,47	4,94	4,97	4,77	4,8	188	10,42	10,53	4,91	4,94	4,76	4,79	154
10,05	10	5,08	5,11	4,91	4,95	188	10,05	10,05	5,09	5,09	4,92	4,94	160
10,04	9,99	5,1	5,08	5,09	5,09	190	10,03	10,04	5,04	5	5,06	5,06	166
10,51	10,38	4,71	4,72	4,91	4,91	132	10,5	10,43	4,7	4,7	4,88	4,9	114
10,03	9,98	4,86	4,84	4,77	4,76	160	10,03	10,04	4,86	4,87	4,75	4,75	140
10,49	10,34	4,89	4,9	4,91	4,91	182	10,49	10,39	4,88	4,89	4,89	4,9	152
10,04	9,99	5,04	5	5,05	5,07	192	10,04	10,04	5,03	4,99	5,05	5,05	172
9,7	9,86	5,06	5,06	5,05	5,06	188	9,69	9,91	5,08	5,06	4,98	5	158
10,13	10,02	4,96	4,95	4,83	4,81	160	10,13	10,07	4,93	4,92	4,78	4,78	134
10,05	9,99	4,87	4,9	4,72	4,73	166	10,05	10,04	4,84	4,87	4,66	4,68	142
10,31	10,32	4,97	5	4,94	4,97	188	10,28	10,36	4,97	4,95	4,9	4,92	154
10,37	10,37	4,92	4,91	4,93	4,95	188	10,36	10,43	4,87	4,87	4,88	4,88	150
10,54	10,38	4,92	4,99	4,86	4,93	170	10,54	10,42	4,87	4,91	4,85	4,9	142
10,43	10,52	4,88	4,88	4,83	4,83	156	10,41	10,57	4,86	4,87	4,79	4,8	136
10,41	10,41	4,95	4,96	4,91	4,92	168	10,41	10,44	4,94	4,97	4,89	4,89	144
10,51	10,32	4,93	4,98	4,88	4,89	184	10,5	10,38	4,92	4,96	4,87	4,87	152
10,42	10,3	4,89	4,88	4,83	4,86	170	10,42	10,36	4,87	4,87	4,8	4,83	144
9,99	9,83	5,15	5,18	4,77	4,78	154	9,99	9,87	5,15	5,16	4,75	4,75	134
10,03	9,87	4,43	4,49	5,11	5,09	150	10,03	9,91	4,42	4,46	5,07	5,05	134
10,25	10,21	4,91	4,92	4,91	4,92	167,53	10,25	10,26	4,89	4,90	4,89	4,89	142,87
10,23		4,91		4,92			10,25		4,89		4,89		
		246,96	cm <sup>3</sup>						245,32	cm <sup>3</sup>			