

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CIENCIAS FORESTALES  
UNACIFOR**

**ESCUELA DE AMBIENTE Y DESARROLLO**



**TESIS DE GRADO**

**EVALUACIÓN DE LA BIOMASA AÉREA Y FACTORES DE EXPANSIÓN DE  
BIOMASA DE TRES ESPECIES: *Ilex tectonica*, *Terminalia superba*, y *Hyeronima  
alchorneoides* EN EL MUNICIPIO DE LA MASICA, ATLÁNTIDA, HONDURAS.**

**NOMBRE DEL TESISISTA:**

**EMILY JOHANA GIRÓN PERALTA**

**ASESOR DE TESIS**

**PhD MENELIO BARDALES DOMIGUEZ**

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

**INGENIERO EN ENERGÍA RENOVABLE**

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

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CIENCIAS FORESTALES  
UNACIFOR**

**ESCUELA DE AMBIENTE Y DESARROLLO**



**TESIS DE GRADO**

**EVALUACIÓN DE LA BIOMASA AÉREA Y FACTORES DE EXPANSIÓN DE BIOMASA DE TRES ESPECIES: *Ilex tectonica*, *Terminalia superba*, y *Hyeronima alchorneoides* EN EL MUNICIPIO DE LA MASICA, ATLÁNTIDA, HONDURAS.**

**NOMBRE DEL TESISISTA:**

**EMILY JOHANA GIRÓN PERALTA**

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

**INGENIERO EN ENERGÍA RENOVABLE**

**APROBADO POR**

---

**PhD MENELIO BARDALES DOMINGUEZ  
ASESOR DE TESIS**

---

**MSc. FRANCY NOHEMY CASTAÑEDA  
DIRECTOR DE ESCUELA**

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

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CIENCIAS FORESTALES  
UNACIFOR**

**TESIS DE GRADO**

**EVALUACIÓN DE LA BIOMASA AÉREA Y FACTORES DE EXPANSIÓN DE  
BIOMASA DE TRES ESPECIES: *Ilex tectonica*, *Terminalia superba*, y *Hyeronima  
alchorneoides* EN EL MUNICIPIO DE LA MASICA, ATLÁNTIDA, HONDURAS.**

**NOMBRE DEL TESISISTA**

**EMILY JOHANA GIRÓN PERALTA**

**APROBADO POR**

---

**PhD MENELIO BARDALES DOMINGUEZ  
ASESOR DE TESIS**

---

**MSc. FARAH MARCELA GIRÓN CANO  
REPRESENTANTE DE ESCUELA**

---

**MSc. MARIO FRANCISCO UMANZOR SIERRA  
REPRESENTANTE DE LA COMISIÓN DE TESIS**

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

## AUTORIZACIÓN

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

Nombre del investigador que proporcionó la idea: **MSc. Óscar Arnulfo Ramírez**

Nombre y firma del estudiante: **Emily Johana Girón Peralta**

Lugar y fecha: **Siguatepeque, Comayagua. Noviembre 2025**

## DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen María por brindarme fortaleza, sabiduría y perseverancia en cada etapa de este camino, y por permitir que personas valiosas me apoyen y acompañen en este viaje.

A mi madre, Ana Peralta, quién nunca ha dudado de mí y me ha apoyado incondicionalmente desde el día que llegué a la Tierra. Quién me ha dado el mejor ejemplo de superación y me ha motivado a ser resiliente en cada cosa que hago. Sin ella todo esto nunca habría sido posible. Este logro es más tuyo que mío, te amo.

A mis amigos de la Universidad Nacional de Ciencias Forestales, por su amistad, cariño y apoyo incondicional durante estos años de formación académica.

## AGRADECIMIENTO

A la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) por todo el valioso apoyo y asistencia técnica brindada durante el proceso de investigación.

Al Ingeniero Óscar Arnulfo Ramírez por su asistencia y respaldo brindado desde el inicio de este proceso de investigación.

A la empresa CONFOAS por las gestiones brindadas para el desarrollo de esta investigación.

A Choloma Electric Power Corporation por su contribución en la ejecución de pruebas de laboratorio para esta investigación.

A mis amigos dasónomos quienes han sido un apoyo incondicional tanto académicamente como personalmente.

A mis colegas de Ingeniería en Energía Renovable por los lazos creados durante nuestra formación profesional.

A todos los catedráticos que compartieron sus conocimientos y experiencias para formar profesionales con ética, valores y conocimientos.

Mi sincero agradecimiento a mi asesor, PhD Menelio Bardales Domínguez por su tiempo, dedicación y paciencia en la trayectoria de este estudio, así como sus valiosos aportes y orientaciones que fueron esenciales para la finalización de esta investigación.

A la terna evaluadora que dedico de su tiempo y conocimiento para lograr un trabajo de calidad y profesional.

Finalmente, agradezco a todas las personas que de una u otra manera han contribuido a mi formación como persona, las que han creído y confiado en mí, los que estuvieron siempre en el proceso y me motivaron a cumplir mis metas y sembrar muchos más sueños.

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la biomasa aérea y los factores de expansión de biomasa (FEB) en ramas con un diámetro superior a una pulgada de *Ilex tectonica*, *Terminalia superba* y *Hyeronima alchorneoides* en La Másica, Atlántida, Honduras. Se aplicaron métodos de muestreo destructivo para cuantificar la biomasa en metros cúbicos y toneladas por hectárea, y se desarrolló un modelo de regresión lineal para su estimación, además de analizar las propiedades energéticas mediante la determinación del poder calorífico, contenido de humedad y cenizas.

*Terminalia superba* presentó la mayor producción de biomasa aérea (14.78 kg base seca en promedio con un contenido de humedad de 13.86%), seguida de *Hyeronima alchorneoides* y *Ilex tectonica*. Los FEB fueron más altos en *Ilex tectonica* (3.43 kg/m<sup>3</sup>), mientras que el modelo de regresión alcanzó un R<sup>2</sup> ajustado de 0.912, destacando el volumen de ramas como la variable más influyente. En las características energéticas, *T. superba* mostró el mayor poder calorífico (PCS = 4165.36 kcal/kg; PCI = 3819.61 kcal/kg) y menor contenido de humedad (13.86%), con valores de cenizas entre 1.08% y 1.74% en todas las especies.

En conclusión, *T. superba* evidenció el mayor potencial bioenergético por su alta productividad y calidad energética, mientras que *I. tectonica* y *H. alchorneoides* aportaron mayor eficiencia volumétrica. La combinación de estas especies podría optimizar la producción y calidad de biomasa en los sistemas forestales de La Másica.

## ABSTRACT

This study aimed to evaluate aboveground biomass and biomass expansion factors (BEF) in branches with a diameter greater than one inch from *Ilex tectonica*, *Terminalia superba*, and *Hyeronima alchorneoides* in La Másica, Atlántida, Honduras. Direct destructive sampling methods were applied to quantify biomass in cubic meters and tons per hectare. A linear regression model was developed to estimate branch biomass, and energy characteristics were analyzed through the determination of calorific value, moisture content, and ash content.

Results indicated that *Terminalia superba* showed the highest aboveground biomass production (14.78 kg dry basis on average), followed by *Hyeronima alchorneoides* and *Ilex tectonica*. Regarding BEF, *Ilex tectonica* obtained the highest value (3.43), followed by *Hyeronima alchorneoides* (2.74) and *Terminalia superba* (1.9). The regression model achieved an adjusted coefficient of determination ( $R^2$  adj. = 0.912), identifying branch volume as the most influential variable in biomass estimation. Concerning energy properties, *Terminalia superba* recorded the highest calorific values (PCS = 4165.36 kcal/kg and PCI = 3819.61 kcal/kg) and the lowest moisture content (13.86%), while ash content remained low across all three species (1.08%–1.74%).

In conclusion, *Terminalia superba* stands out as the most suitable species for bioenergy purposes due to its higher biomass production and energy quality, whereas *Ilex tectonica* and *Hyeronima alchorneoides* contribute higher volumetric efficiency through their BEF values. These findings suggest that the combined use of the three species could enhance biomass production and utilization in the region.

## Tabla de Contenido

<b>DEDICATORIA</b> .....	i
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	ii
<b>RESUMEN</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO II. OBJETIVOS</b> .....	3
2.1    Objetivo general .....	3
2.2    Objetivos específicos .....	3
<b>CAPÍTULO III: REVISIÓN DE LA LITERATURA</b> .....	4
3.1    Antecedentes de investigaciones.....	4
3.2    Bases teóricas.....	5
3.1.1    El bosque.....	6
3.1.2    Importancia de los ecosistemas forestales .....	6
3.1.3    Sistemas agroforestales .....	6
3.1.4    Dinámica de los sistemas agroforestales .....	6
3.1.5    Especies maderables .....	7
3.1.6    Aprovechamiento forestal .....	7
3.1.7    Inventarios Forestales .....	7
3.1.8    Clasificación de individuos según su desarrollo .....	7
3.1.9    Cuantificación de la biomasa aérea.....	8
3.1.10    Productividad de la Biomasa .....	8
3.1.11    Residuos forestales .....	8
3.1.12    Descripción de la especie <i>Hyeronima alchorneoides</i> Fr. All. ....	8
3.1.13    Descripción de la especie <i>Ilex tectónica</i> W. Hahn .....	9
3.1.14    Descripción de la especie <i>Terminalia superba</i> Engl. & Diels .....	9
3.3    Conceptos claves de la investigación .....	9
3.3.1    FHIA: .....	9
3.3.2    Sistemas Agroforestales: .....	10
3.3.3    Altura Total:.....	10

3.3.4	Altura Comercial: .....	10
3.3.5	Altura del Fuste: .....	10
3.3.6	Componentes de la biomasa arbórea.....	11
3.3.7	Dendroenergía:.....	12
3.3.8	Biomasa:.....	12
3.3.9	Biomasa Forestal:.....	13
3.3.10	Biomasa Aérea: .....	13
3.3.11	Cuantificación de la Biomasa: .....	13
3.3.12	Toneladas por Hectárea:.....	13
3.3.13	Factor de Expansión de Biomasa .....	14
3.3.14	Variables energéticas .....	14
3.3.15	Contenido de Humedad.....	14
3.3.16	Contenido de Cenizas .....	14
3.3.17	Poder Calorífico Inferior (PCI) .....	14
3.3.18	Poder Calorífico Superior (PCS).....	15
3.3.19	Densidad de la madera.....	15
3.3.20	Modelos Causales .....	15
3.3.21	Relaciones alométricas:.....	15
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA.....</b>		<b>16</b>
4.1	Enfoque de la investigación .....	16
4.2	Alcance de la investigación .....	16
4.3	Hipótesis .....	16
4.4	Diseño de la investigación.....	17
4.5	Descripción del área de estudio .....	17
4.5.1	Geología .....	18
4.5.2	Suelos.....	18
4.5.3	Clima .....	18
4.5.4	Temperatura .....	18
4.5.5	Precipitación .....	19
4.5.6	Hidrografía.....	19
4.6	Población, muestreo y muestra.....	24
4.6.1	Población.....	25

4.6.2	Muestreo.....	25
4.6.3	Muestra.....	25
4.7	Operacionalización de variables .....	25
4.8	Procedimientos por objetivo .....	28
4.8.1	Listado de actividades desarrolladas por objetivo .....	28
4.8.2	Técnicas e instrumentos para la recolección de información .....	31
4.8.3	Programas a utilizados en el procesamiento de la información .....	32
<b>CAPÍTULO V: RESULTADOS .....</b>		<b>32</b>
5.1	Evaluación de las ramas con un diámetro superior a una pulgada .....	32
5.1.1	Cuantificación de la biomasa aérea de las especies Ilex tectonica, Terminalia superba y Hyeronima alchorneoides. ....	32
5.1.2	Desarrollo del modelo causal. ....	36
5.2	Factores de expansión de biomasa asociados a las especies Ilex tectonica, Terminalia superba y Hyeronima alchorneoides. ....	40
5.3	Características energéticas de las especies Ilex tectonica, Terminalia superba y Hyeronima alchorneoides. ....	44
5.3.1	Poder Calorífico.....	44
5.3.2	Contenido de Humedad.....	50
5.3.3	Contenido de Cenizas .....	55
5.4	Resumen de características energéticas por especie.....	59
<b>CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN .....</b>		<b>61</b>
<b>CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>67</b>
7.1	Conclusiones.....	67
7.2	Recomendaciones .....	68
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>69</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>77</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Representación de conceptos claves en árbol en pie.</i> .....	11
<b>Figura 2</b> <i>Dibujo esquemático de los componentes de un árbol.</i> .....	11
<b>Figura 3</b> <i>Croquis del Centro experimental y Demostrativo de Cacao- Jesús Alfonso Sánchez.</i> .....	19
<b>Figura 4</b> <i>Descripción de los lotes establecidos en CEDEC-JAS.</i> .....	20
<b>Figura 5</b> <i>Ubicación del sistema agroforestal de Cacao y Hyeronima alchorneoides.</i> ...	22
<b>Figura 6</b> <i>Ubicación del sistema agroforestal de Cacao e Ilex tectónica</i> .....	23
<b>Figura 7</b> <i>Ubicación del sistema agroforestal de Cacao y Terminalia superba.</i> .....	24
<b>Figura 8</b> <i>Variación en PCS y PCI en submuestreo de Ilex tectonica.</i> .....	45
<b>Figura 9</b> <i>Variación de PCS y PCI en submuestras de Terminalia superba.</i> .....	46
<b>Figura 10</b> <i>Variación de PCS y PCI en submuestreo de Hyeronima alchorneoides.</i> ....	48
<b>Figura 11</b> <i>Comparación entre el valor de poder calorífico superior y poder calorífico inferior correspondientes a las especies: Ilex tectonica, Terminalia superba y Hyeronima alchorneoides.</i> .....	49
<b>Figura 12</b> <i>Contenido de humedad en muestras de la especie Ilex tectonica.</i> .....	51
<b>Figura 13</b> <i>Contenido de humedad (%) en Terminalia superba.</i> .....	52
<b>Figura 14</b> <i>Contenido de humedad en submuestreo Hyeronima alchorneoides.</i> .....	53
<b>Figura 15</b> <i>Comparación de Contenido de Humedad (%) en las especies: Ilex tectonica, Terminalia superba y Hyeronima alchorneoides.</i> .....	54
<b>Figura 16</b> <i>Variación en el contenido de ceniza para la especie Ilex tectonica.</i> .....	56
<b>Figura 17</b> <i>Contenido de cenizas en el submuestreo Terminalia superba.</i> .....	57
<b>Figura 18</b> <i>Submuestreo contenido de cenizas en la especie Hyeronima alchorneoides.</i> .....	58
<b>Figura 19</b> <i>Comparación de CC (%) en las especies: I. tectonica, T. superba y H. alchorneoides.</i> .....	59
<b>Figura 20</b> <i>Comparación de biomasa aérea en las tres especies.</i> .....	61
<b>Figura 21</b> <i>Comparación de FEB en las tres especies.</i> .....	62
<b>Figura 22</b> <i>PCS y PCI de las tres especies vs Pino y Eucalipto.</i> .....	63
<b>Figura 23</b> <i>Comparación del contenido de humedad en las tres especies.</i> .....	64
<b>Figura 24</b> <i>Contenido de cenizas en las especies estudiadas.</i> .....	65

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Cuantificación de Biomasa Aérea en Ramas para la Especie <i>Ilex tectonica</i> ....	33
<b>Tabla 2</b> Cuantificación de la Biomasa Aérea de la Especie <i>Terminalia superba</i> . .....	34
<b>Tabla 3</b> Cuantificación de la biomasa aérea en ramas de la especie <i>Hyeronima alchorneoides</i> .....	35
<b>Tabla 4</b> Datos Recolectados y Utilizados para la Regresión.....	36
<b>Tabla 5</b> Estadísticas de la Regresión.....	37
<b>Tabla 6</b> Resultados Análisis ANOVA. ....	38
<b>Tabla 7</b> Coeficientes de Regresión. ....	39
<b>Tabla 8</b> Volumen comercial para individuos de la especie <i>Ilex tectonica</i> . ....	40
<b>Tabla 9</b> Volumen comercial de <i>Terminalia superba</i> .....	41
<b>Tabla 10</b> Volumen comercial <i>Hyeronima alchorneoides</i> . ....	41
<b>Tabla 11</b> Factores de Expansión de Biomasa en la especie <i>Ilex tectonica</i> .....	42
<b>Tabla 12</b> Factores de Expansión de Biomasa en la especie <i>Ilex tectonica</i> . ....	42
<b>Tabla 13</b> Factores de Expansión de Biomasa para <i>Hyeronima alchorneoides</i> . ....	43
<b>Tabla 14</b> Valores PC SUP y PC INF (kcal/kg) en la especie <i>Ilex tectonica</i> . ....	44
<b>Tabla 15</b> Poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI) en submuestra de <i>Terminalia superba</i> . ....	45
<b>Tabla 16</b> Poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI) de la especie <i>Hyeronima alchorneoides</i> .....	47
<b>Tabla 17</b> Poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI) correspondiente a las especies <i>Ilex tectonica</i> , <i>Terminalia superba</i> y <i>Hyeronima alchorneoides</i> .....	48
<b>Tabla 18</b> Contenido de humedad (%) en <i>Ilex tectonica</i> .....	50
<b>Tabla 19</b> Contenido de humedad (%) en <i>Terminalia superba</i> . ....	51
<b>Tabla 20</b> Contenido de humedad en <i>Hyeronima alchorneoides</i> . ....	52
<b>Tabla 21</b> Contenido de humedad promedio en las especies: <i>Ilex tectonica</i> , <i>Terminalia superba</i> , y <i>Hyeronima alchorneoides</i> . ....	53
<b>Tabla 22</b> Contenido de cenizas (%) de la especie <i>Ilex tectonica</i> . ....	55
<b>Tabla 23</b> Contenido de cenizas en la especie <i>Terminalia superba</i> .....	56

<b>Tabla 24</b> Contenido de cenizas en la especie <i>Hyeronima alchorneoides</i> . .....	57
<b>Tabla 25</b> Contenido de cenizas (%) para las especies: <i>Ilex tectonica</i> , <i>Terminalia</i> <i>superba</i> y <i>Hyeronima alchorneoides</i> . .....	58
<b>Tabla 26</b> Características energéticas de <i>Ilex tectonica</i> . .....	59
<b>Tabla 27</b> Características energéticas de la especie <i>Terminalia superba</i> . .....	60
<b>Tabla 28</b> Propiedades energéticas de la especie <i>Hyeronima alchorneoides</i> . .....	60

## Índice de Anexos

<b>Anexo 1</b> <i>Medición de DAP en ejemplares de Ilex tectonica, Terminalia superba y Hyeronima alchorneoides</i> .....	77
<b>Anexo 2</b> <i>Medición de ramas en las distintas especies</i> .....	78
<b>Anexo 3</b> <i>Toma de datos de fuste comercial</i> .....	78
<b>Anexo 4</b> <i>Pesado de ramas</i> .....	78
<b>Anexo 5</b> <i>Resultados de análisis de laboratorio para la especie Terminalia superba</i> ....	79
<b>Anexo 6</b> <i>Resultados de laboratorio para la especie Hyeronima alchorneoides</i> .....	79
<b>Anexo 7</b> <i>Resultados de análisis de laboratorio para la especie Ilex tectonica</i> .....	80

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, los bosques han sido una fuente primordial de recursos naturales y servicios ecosistémicos fundamentales, como la regulación climática, conservación de la biodiversidad y protección de los suelos. Además, juegan un rol importante en la industria, pues frecuentemente se utilizan para muchos productos, incluyendo madera, combustible, y forraje. Determinar la biomasa de los bosques es una forma útil de estimar la cantidad de estos componentes. Típicamente, la cantidad de madera aserrada se ha evaluado mediante estimaciones de volumen, pero esto ignora otros componentes útiles, como la madera de menor tamaño, como las ramas para uso como combustible (Brown, 1997).

La biomasa forestal, según la (FAO, 2013) , se define como los restos procedentes de los tratamientos y aprovechamientos de las masas vegetales para la defensa y mejora de éstas, obtenidos tras las operaciones de saca, corta y transporte a pista. La biomasa en los ecosistemas forestales se divide en biomasa aérea (fuste, ramas y follaje) y biomasa subterránea (raíces) (Gárate & Blanco, 2014).

La biomasa aérea de un árbol se define como la suma de la cantidad total de materia orgánica de hojas, ramas, tronco y corteza (Garzuglia & Saket, 2003a) y puede calcularse con métodos directos e indirectos (Vásquez & Arellano, 2012). De ellos el primero es el más empleado (Díaz-Franco, 2007). Cuando la estimación corresponde a un bosque, la muestra debe considerar variables dasométricas, edad, calidad de sitio, composición de especies, y condiciones climáticas, edáficas y (Avendaño Hernández et al., 2009), o el tipo de clones establecidos en las plantaciones forestales, para mejorar la estimación por cada condición específica.

Gran parte de la incertidumbre en las estimaciones de la cantidad y la variación espacial de la biomasa en los bosques se debe a la falta de ecuaciones alométricas (Návar, 2010).

Por tanto, el desarrollo de ecuaciones específicas para especies o grupos de especies para condiciones locales o del sitio es importante para mejorar la precisión en la estimación no destructiva de la biomasa en la vegetación arbórea. Las relaciones alométricas con frecuencia incorporan variables dasométricas, como el diámetro normal y la altura total del árbol, como variables predictoras (Solano et al., 2014), porque presentan una correlación alta con la biomasa y son fáciles de medir directamente en campo.

En este contexto, se ha generado una interrogante: ¿Cuál es la biomasa aérea y los factores de expansión de biomasa de las especies: *Ilex tectonica*, *Terminalia superba* y *Hyeronima alchorneoides*, establecidas en un sistema agroforestal con cacao en el municipio de La Música, Atlántida, Honduras?

## CAPÍTULO II. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

**2.1.1** Evaluar la biomasa aérea y factores de expansión de biomasa de tres especies: *Ilex tectonica*, *Terminalia superba*, y *Hyeronima alchorneoides* en el municipio de la Masica, Atlántida, Honduras.

### 2.2 Objetivos específicos

**2.2.1** Evaluar las ramas con un diámetro superior a una pulgada para la cuantificación de la biomasa aérea, expresada en metros cúbicos y toneladas por hectárea, de las especies *Ilex tectonica*, *Terminalia superba* y *Hyeronima alchorneoides*.

**2.2.2** Utilizar métodos directos para el establecimiento de los factores de expansión de biomasa asociados a las especies *Ilex tectonica*, *Terminalia superba* y *Hyeronima alchorneoides*.

**2.2.3** Conocer las características energéticas de las especies *Ilex tectonica*, *Terminalia superba* y *Hyeronima alchorneoides* mediante la determinación del poder calorífico, contenido de humedad y el contenido de cenizas.

## CAPÍTULO III: REVISIÓN DE LA LITERATURA

Las siguientes investigaciones han sido base y marcan una guía para la realización del estudio propuesto:

### 3.1 Antecedentes de investigaciones

Para la especie *Terminalia superba*, el estudio realizado por (Kanninen, 2002), evaluó tres tratamientos de espaciamiento, para los cuales en un lapso de diez años, el espaciamiento de 2,5 m x 2,5 m (1.600 árboles/ha) demostró ser el más eficiente, consolidándose como la densidad óptima para producción sostenible. La gravedad específica de la madera fue de 0,70 g/cm<sup>3</sup>, y el Factor de Expansión de Biomasa (FEB) alcanzó valores de 1,3 por árbol y 1,2 por hectárea. Los modelos alométricos explicaron el 93% de la variabilidad en biomasa, con una fracción de carbono promedio de 0,48 en fustes.

Así mismo, el estudio de (Hernández-Ramos et al., 2017) tuvo como objetivo estimar la biomasa aérea total y por componente estructural a partir de modelos alométricos y factores de expansión de biomasa (FEB), y evaluar la aplicabilidad en inventarios forestales para clones de *Eucalyptus urophylla* de plantaciones forestales comerciales en Tabasco, México.

Mediante un muestreo al azar en siete plantaciones, (Rodríguez-Ortiz et al., 2019) seleccionaron 93 árboles, de uno a siete años de edad, y determinaron la biomasa total

y de los componentes estructurales. Dos sistemas de modelos alométricos ajustados se propusieron como ecuaciones aparentemente no relacionadas para estimar la biomasa aérea. El porcentaje promedio de biomasa de fuste ( $B_f$ ), ramas ( $B_r$ ) y follaje ( $B_h$ ) fue 91.42, 5.54 y 2.03 respecto a la biomasa total ( $B_t$ ).

En el estudio realizado por (Soriano-Luna et al., 2015) se estableció que la proporción de biomasa de fuste aumenta con las dimensiones del árbol y biomasa de ramas y biomasa de hojas disminuyen desde los tres años de edad. El FEB promedio de  $B_t$  y  $B_f$  fue  $510.09 \text{ kg m}^{-3}$  y  $472.56 \text{ kg m}^{-3}$  de volumen de fuste y el factor de conversión biomasa de fuste a biomasa total fue 1.17. Con datos de un inventario forestal se estimaron en promedio  $156.08 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de volumen maderable y  $80 \text{ Mg ha}^{-1}$  de biomasa aérea en las plantaciones. Los estadísticos de ajuste, sesgo y diferencia agregada en porcentaje indicaron que los sistemas propuestos son confiables para la estimación de biomasa aérea.

En el contexto local, (Ramirez, 2021) evaluó sistemas agroforestales (SAF) cacao-maderables en la zona atlántica de Honduras, destacando el desempeño de *Hyeronima alchornoides* e *Ilex tectonica*. *H. alchornoides* mostró un crecimiento notable con 44 cm de DAP, 23 m de altura total,  $1,61 \text{ m}^3$  de volumen comercial y 0,95 t de biomasa, además de una distribución equilibrada de ingresos entre cacao y madera. Por su parte, *I. tectonica* destacó por su alto ingreso maderable. Aunque el incremento en la cobertura arbórea afectó negativamente los rendimientos de cacao, no influyó significativamente en la incidencia de monilia y mazorca negra.

### 3.2 Bases teóricas

### **3.1.1 El bosque**

El bosque, según Edwell (2020), es una unidad de superficie continua terrestre que se caracteriza por una alta densidad de árboles y vegetación leñosa, compuesto por diferentes estratos como el dosel dominante, sotobosque y un estrato herbáceo, los cuales varían dependiendo de varios factores ambientales como la temperatura, el tipo de suelo, la ubicación y el clima

### **3.1.2 Importancia de los ecosistemas forestales**

Las poblaciones se benefician de los ecosistemas forestales de diferentes maneras. De acuerdo a Aldrin & Coveage (2020), indirectamente, los ecosistemas forestales mantienen los recursos hídricos, la conservación del suelo y la biodiversidad. Así mismo, directamente proveen recursos económicos al aprovecharse su madera.

### **3.1.3 Sistemas agroforestales**

La degradación de los suelos producto de la expansión de la frontera agrícola, las disputa por el uso de los suelos y el aprovechamiento forestal no sostenible, han creado la necesidad de una alternativa de desarrollo sostenible que facilite el aprovechamiento de los recursos naturales y mejore las condiciones de los suelos, surgiendo así los sistemas agroforestales, integraciones simultáneas y continuas de cultivos agrícolas y forestales en una misma superficie de terreno. (Montagnini et al., 2015)

### **3.1.4 Dinámica de los sistemas agroforestales**

Andres et al., (2016), establecieron que, “Los factores como el tipo de manejo, las especies utilizadas, y las condiciones del sitio producen cambios estructurales y funcionales que afectan a los componentes del sistema. Estos componentes interactúan entre sí mediante el reciclaje, competencia y facilitación de nutrientes. Así mismo, los intereses ecológicos y económicos influyen en las decisiones del productor en cuanto a su manejo óptimo.”

### **3.1.5 Especies maderables**

Las especies maderables son todas aquellas plantas que producen tejido leñoso, y que, por sus características anatómicas, físicas o mecánicas son susceptibles de su uso (CONABIO, 2020).

### **3.1.6 Aprovechamiento forestal**

La FAO (2016), definió el aprovechamiento forestal como el conjunto de prácticas de corta o utilización integral eficiente de los recursos forestales, que procuren la conservación, funciones, diversidad biológica, procesos ecológicos y potencial productivo del ecosistema forestal a largo plazo.

### **3.1.7 Inventarios Forestales**

Los inventarios forestales consisten en la recolección sistemática de datos sobre los recursos forestales de una zona determinada. De acuerdo con Gambetta & Tineo (2014), también permite la evaluación del estado actual y asienta las bases del análisis y la planificación, que constituyen el punto de partida de una gestión forestal sostenible.

### **3.1.8 Clasificación de individuos según su desarrollo**

Con los parámetros establecidos en la revista de desarrollo forestal, Forest Development (2015), los individuos de un bosque, rodal, plantación o cualquier unidad de cultivo se clasifican en tres categorías de acuerdo a su desarrollo, individuos que tienen desarrollo menos a 30 cm de altura y DAP inferior a 5cm se denominan brinzales, latizales si los individuos tienen entre 5 y 10 cm de DAP y fustales si su DAP es superior a 10 cm pero menor a 25 cm (Forest Development, 2015).

### **3.1.9 Cuantificación de la biomasa aérea**

Se refiere a los métodos que se utilizan para medir la cantidad de energía que se almacena en un segmento determinado de una unidad biológica (puede ser un árbol, una fruta, etc.) (Arana , 2013).

### **3.1.10 Productividad de la Biomasa**

Es la biomasa de cultivo producida y extraída de ecosistemas. Schauenbaum en (2017), expresó que, “generalmente su cálculo es más preciso en plantaciones debido a que todos los individuos tienen exactamente la misma edad, mientras que en los rodales la variación de edad es más compleja” (p. 73).

### **3.1.11 Residuos forestales**

Los residuos forestales engloban todos aquellos desechos resultantes de actividades de aprovechamiento como el aserrío, la corta y aprovechamiento, que no pueden ser utilizados para actividades convencionales o no se pueden transformar en productos maderables. Generalmente, estos residuos son conocidos como biomasa forestal y se utilizan para la producción de energía (Universidad Europea, 2024).

### **3.1.12 Descripción de la especie *Hyeronima alchorneoides* Fr. All.**

La especie *Hyeronima alchorneoides* Fr. All. pertenece a la familia Euphorbiaceae. Es conocida comúnmente con los nombres de Rosita y Curtidor. Esta especie se caracteriza por sus particularidades botánicas propias de la familia Euphorbiaceae, y sus nombres comunes reflejan la relación cultural y local que las comunidades han establecido con ella (E. M. Flores, 1998).

Crece en bosques húmedos y muy húmedos del Litoral Atlántico, tanto en planicies como en faldas de ladera, en altitudes que van des de 100 - 800 msnm. Se le reporta en los departamentos de Cortes, Atlántida, Colon, Gracias a Dios, Olancho y Comayagua. Generalmente los árboles crecen en forma aislada y con escasa regeneración natural. (Sandoval & Ramfrez, 1999).

### **3.1.13 Descripción de la especie *Ilex tectónica* W. Hahn**

La especie *Ilex tectónica* W. Hahn, perteneciente a la familia Aquifoliaceae, es conocida comúnmente como San Juan Areno, Areno blanco o Arenillo (Thirakul, 1998). Se trata de una especie típica de los bosques húmedos y semidecíduos de los trópicos de Centroamérica, que generalmente se encuentra en regiones costeras y a altitudes cercanas a los 800 metros sobre el nivel del mar. En Honduras, se ha reportado su presencia en los departamentos de Atlántida, Colón, Francisco Morazán y Olancho (Benítez Ramos & Montesinos Lagos, 1988).

### **3.1.14 Descripción de la especie *Terminalia superba* Engl. & Diels**

La especie *Terminalia superba* Engl. & Diels, perteneciente a la familia Combretaceae, es conocida comúnmente como Limba o Terminalia (Morales, 2013). Esta especie es típica de los bosques húmedos y semidecíduos de los trópicos de África Occidental y Central, desarrollándose principalmente en zonas costeras y en regiones de hasta 800 metros sobre el nivel del mar. La *Terminalia superba* posee una alta valoración económica y comercial en países como Ghana, Nigeria, Camerún y la República Democrática del Congo, donde su madera es muy apreciada; además, es reconocida por su importancia ecológica en los ecosistemas locales (FHIA, 2022).

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

### **3.3.1 FHIA:**

La Fundación Hondureña de investigación agrícola es una organización de carácter privado, sin fines de lucro que contribuye al desarrollo agrícola nacional, en el cual se especializa en la generación, validación y transferencia de tecnología en cultivos tradicionales y no tradicionales para el mercado interno y externo (FHIA, 2023).

### **3.3.2 Sistemas Agroforestales:**

De acuerdo con Montagnini et al., (2015), un sistema agroforestal es un sitio dentro de la parcela donde se realiza la siembra de especies leñosas de árboles en forma mixta con cultivos o con animales, dentro del mismo terreno. Los sistemas agroforestales son básicamente una combinación de prácticas forestales con agricultura y/o pastoreo sobre la misma unidad de superficie.

### **3.3.3 Altura Total:**

La altura total del árbol puede definirse como la distancia a lo largo del eje del fuste del árbol desde el suelo hasta el punto más alto (punta). En árboles con un solo tallo recto, esto corresponde a la longitud total del tallo. (Astrain & Olabe, 2022).

### **3.3.4 Altura Comercial:**

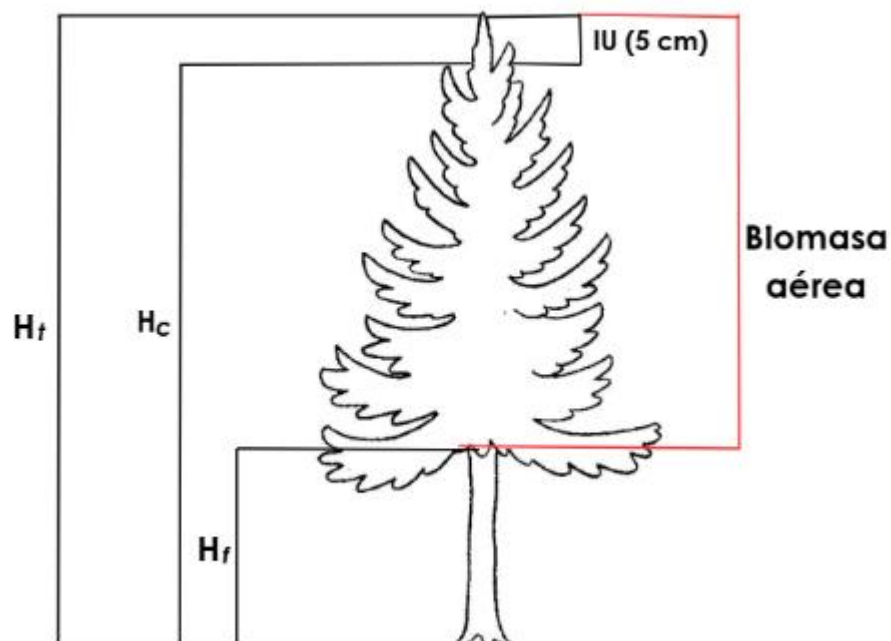
La FAO (2015), se refiere a la altura comercial como, “la longitud del árbol utilizable y que se mide desde la altura de un tocón de 1 pie hasta el punto de corte (altura comercializable) en la parte superior del árbol”. La altura de corte variará según la localidad, el producto que se esté produciendo y si hay demasiadas ramas, una bifurcación importante u otros tipos de defectos internos o externos.

### **3.3.5 Altura del Fuste:**

La altura del fuste se define como la distancia, medida sobre el eje del árbol, que existe entre la zona de la base del mismo en contacto con el terreno y el punto más alto del tronco cuyo diámetro no es menor que el especificado comercialmente para un determinado uso (Barrena & Llerena, 2021).

### Figura 1

Representación de conceptos claves en árbol en pie.



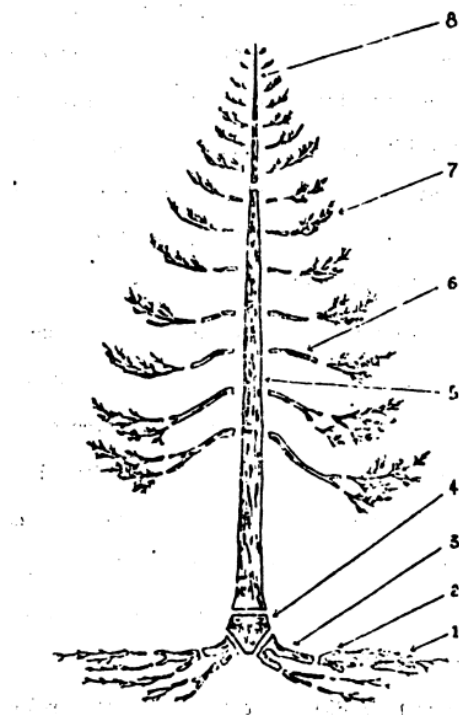
Nota: Ilustración elaborada por la autora a partir de las definiciones de Astrain & Olabe, (2022), FAO (2015), Barrena & Llerena (2021).

#### 3.3.6 Componentes de la biomasa arbórea

Los principales componentes de un árbol según la definición Aviña y Chávez (2020) incluyen la totalidad del material desde raicillas hasta los ramos más pequeños.

### Figura 2

Dibujo esquemático de los componentes de un árbol.



- |                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| 5. Raíces menores de 1'' | 1. Tronco comercial     |
| 6. Raíces medianas       | 2. Ramas grandes        |
| 7. Raíces grandes        | 3. Ramas menores de 1'' |
| 8. Tocón                 | 4. Tallo no comercia    |

*Nota: La figura representa las divisiones de un individuo (árbol) según las definiciones de Aviña & Cháidez (2020).*

### **3.3.7 Dendroenergía:**

Con la definición de On Sang López et al., (2004), se denomina dendroenergía a la derivada directa o indirectamente de la biomasa leñosa. Abarca toda la energía obtenida a partir de biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos primarios y secundarios provenientes de árboles y otra vegetación de terrenos forestales.

### **3.3.8 Biomasa:**

La biomasa es el conjunto de la materia orgánica, de origen vegetal o animal, y los materiales que proceden de su transformación natural o artificial (Nogueira et al., 2003).

### **3.3.9 Biomasa Forestal:**

Materia orgánica de origen vegetal presente en los diferentes ecosistemas forestales ya sea formando parte de los árboles, matorrales y plantas herbáceas presentes o como materia orgánica muerta en proceso de descomposición y como resultado de los trabajos silvícolas planificados que se llevan a cabo dentro de un bosque, una parte de esta biomasa forestal es extraída y aprovechada, como energía verde alternativa a los combustibles fósiles, en forma de pellet, astilla, briquetas, tizones o carbón según Vidal, (2018) se clasifica como biomasa forestal.

### **3.3.10 Biomasa Aérea:**

Conjunto de toda la biomasa viva situada por encima del suelo, incluyendo el tronco, el tocón, las ramas, la corteza, las semillas y las hojas (Garzuglia & Saket, 2003b).

### **3.3.11 Cuantificación de la Biomasa:**

Se refiere a los métodos que se utilizan para medir la cantidad de energía que se almacena en un segmento determinado de una unidad biológica (puede ser un árbol, una fruta, etc.) (Ma et al., 2024).

### **3.3.12 Toneladas por Hectárea:**

Las toneladas por hectárea es una unidad de medida de rendimiento que mide cuánta masa hay en una unidad de superficie de 10,000 m<sup>2</sup> (OAS, 2008).

### **3.3.13 Factor de Expansión de Biomasa**

Se refiere a un coeficiente que expande el volumen comercial o total del fuste para obtener la biomasa total del árbol (FAO, 2017). Es decir, es la proporción directa entre la biomasa aérea total y la biomasa del fuste, también se define como la proporción de densidad total secada al horno de árboles con un DAP mínimo de 10 cm existente por encima del nivel del suelo y la biomasa secada al horno del volumen inventariado. (Chávez-Pascual et al., 2013).

### **3.3.14 Variables energéticas**

Las variables energéticas, definidas por Ponce & Alejandrina, (2013), en una especie forestal son todas aquellas características medibles que están directamente relacionadas a la captura, flujo, almacenamiento y uso de la energía solar captada y almacenada en esa especie.

### **3.3.15 Contenido de Humedad**

Oliveros T. et al., (2014) se refieren al contenido de humedad como la cuantificación en porcentaje (%) del contenido de agua presente en la masa total de una muestra en relación a su peso en base húmeda y peso en base seca.

### **3.3.16 Contenido de Cenizas**

Es según L. Flores et al., (2021), “el porcentaje de masa de una muestra de biomasa que comprende todos sus elementos incombustibles y que quedan como residuos al final del proceso de combustión”.

### **3.3.17 Poder Calorífico Inferior (PCI)**

Es el calor producido cuando el agua presente en el combustible y la resultante de la combustión del hidrógeno permanece en estado de vapor (Curo Antezana, 2019).

### **3.3.18 Poder Calorífico Superior (PCS)**

Establecido por Agüero y Pisa, (2018), es el calor producido por la combustión completa de un kilogramo de combustible a 0 °C y a 760 mm de Hg de presión, cuando todos los productos de la combustión se reducen a las mismas condiciones. En consecuencia, el agua presente en el combustible y la resultante de la combustión del hidrógeno, se condensa. Este valor se determina en laboratorios, mediante ensayos con una bomba calorimétrica

### **3.3.19 Densidad de la madera**

Núñez (2017), hace referencia a la cantidad de masa en kilogramos (kg) que hay por cada unidad de volumen en metros cúbicos (m<sup>3</sup>) pertenecientes a una muestra y la define como densidad de la madera.

### **3.3.20 Modelos Causales**

Un modelo causal es un marco utilizado en estadística y análisis de los datos Representar y analizar las relaciones entre variables. Su objetivo es identificar y cuantificar los efectos causales de una variable sobre otra, lo que permite a los investigadores comprender cómo los cambios en un factor pueden influir en los resultados de otro (Hernández-Díaz et al., 2013).

### **3.3.21 Relaciones alométricas:**

En Ecología se llama relación alométrica a la existente entre la velocidad de un proceso biológico y cualquier medida (volumen, masa, altura, etc.) de los organismos en los que ocurre, o bien entre dos medidas tomadas en el mismo organismo. Las relaciones alométricas son los ajustes fenotípicos que manifiestan las especies a las condiciones ambientales donde se desarrollan. (Acosta Mireles et al., 2002).

## CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

### 4.1 Enfoque de la investigación

En base a Fernández (2016), que establece que al emplear métodos de investigación que utilicen herramientas de análisis matemático y estadístico para describir y explicar mediante datos numéricos relacionados a las características, en este caso de los árboles, el estudio a realizar tendrá un enfoque cuantitativo,

### 4.2 Alcance de la investigación

Con la explicación de Müggenburg Rodríguez V. y Pérez Cabrera , (2018), el alcance de esta investigación es descriptivo y correlacional, dado que se evaluarán las variables de los árboles en relación con la biomasa aérea, los factores de expansión de biomasa y las propiedades estructurales de las tres especies analizadas. La correlación entre variables resulta esencial para identificar relaciones significativas que permitan comprender cómo las características estructurales influyen en la biomasa aérea, optimizando así la estimación de biomasa y proporcionando información confiable para la planificación y manejo forestal de las especies estudiadas.

### 4.3 Hipótesis

- 4.1.1 Hipótesis nula (H0). No es factible desarrollar un modelo causal para estimar la biomasa aérea a partir de altura comercial hasta el Índice de Utilización de las especies *Ilex tectonica*, *Terminalia superba* y *Hyeronima alchorneoides* en el municipio de La Másica, Atlántida, Honduras.

- 4.1.2** Hipótesis alternativa (H1): Es factible desarrollar un modelo causal para estimar la biomasa aérea a partir de altura comercial hasta el Índice de Utilización de las especies *Ilex tectonica*, *Terminalia superba* y *Hyeronima alchorneoides* en el municipio de La Másica, Atlántida, Honduras.

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

En este estudio no se manipularán las variables correspondientes a las especies seleccionadas, sino que se observarán y analizarán de manera directa, por lo que se trata de una investigación de diseño no experimental. Específicamente, se adopta un diseño transeccional correlacional, ya que se busca analizar la relación entre las propiedades estructurales de los árboles y la biomasa aérea en un momento determinado. Este enfoque permite identificar asociaciones significativas entre las variables estudiadas, aportando información relevante para la estimación de biomasa y el manejo forestal de las especies.

#### **4.5 Descripción del área de estudio**

El estudio se realizó en plantaciones agroforestales de la FHIA, las cuales se encuentran establecidas en el municipio de La Masica, departamento de Atlántida, Honduras.

La Masica se encuentra ubicada en la costa norte de Honduras, forma parte de los 8 municipios de Atlántida y se ubica entre las zonas costeras del Mar Caribe y las estribaciones de la cordillera Nombre de Dios, su cabecera municipal es la ciudad del mismo nombre y tiene una extensión de 470.90 Km<sup>2</sup>.

Sus límites territoriales son: Al norte con el Mar Caribe o de Las Antillas, al sur con el Departamento de Yoro; al este con el Municipio de San Francisco; al oeste con el municipio de Esparta (City Population, 2009).

#### **4.5.1 Geología**

El Municipio de La Masica está constituido por el 79% de montañas, que son parte de la cordillera Nombre de Dios, y que constituye desde el Rio Lean hasta el Rio Cuero el Parque Nacional Texiguat, y desde el Rio cuero al Rio Cangrejal el Parque Nacional Pico Bonito, su hábitat es sumamente variado y rico en flora y fauna, existen lugares que son vírgenes, y que hoy están siendo incluidos en las visitas que realizan extranjeros principalmente de Alemania y otros países Europeos, quienes han trazado rutas de eco – aventuras (eco-challenge) las aguas diáfanas, montañas majestuosas, paisajes llenos de colorido entre los mejores del mundo, se encuentran en un área protegida para conservar sus cualidades únicas y así garantizar los beneficios que ofrece a las personas (MLM, 2022).

#### **4.5.2 Suelos**

Los suelos de la región al tener una textura que contiene una proporción significativa de arena, típicamente con un contenido promedio de arena superior al 50%, mientras que tiene una mezcla equilibrada de limo y arcilla, lo que da como resultado un buen drenaje y fertilidad, se clasifican en suelos franco-arenosos y arenosos (FAO,2015).

#### **4.5.3 Clima**

Haciendo uso de los datos proporcionados por (MAMUCA ,2013), el municipio de La Masica, cuenta con cuatro climas diferentes: clima muy lluvioso con distribución regular de lluvia, clima poco lluvioso de transición, clima muy lluvioso con invierno lluvioso, y el clima predominante es el muy lluvioso tropical.

#### **4.5.4 Temperatura**

La temperatura en el municipio de La Masica es típico de las zonas costeras, teniendo una temperatura mínima promedio de 28°C y una temperatura máxima de hasta 39°C, aunque la temperatura general oscila entre 18 y 32 °C, la humedad relativa del municipio se encuentra entre 83 y 88 % (SAG-DICTA, 2025).

#### 4.5.5 Precipitación

En cuanto a la precipitación promedio anual se estima un dato de 2300 a 3500 mm, obteniendo mayor cantidad de lluvias en los meses de octubre y noviembre.

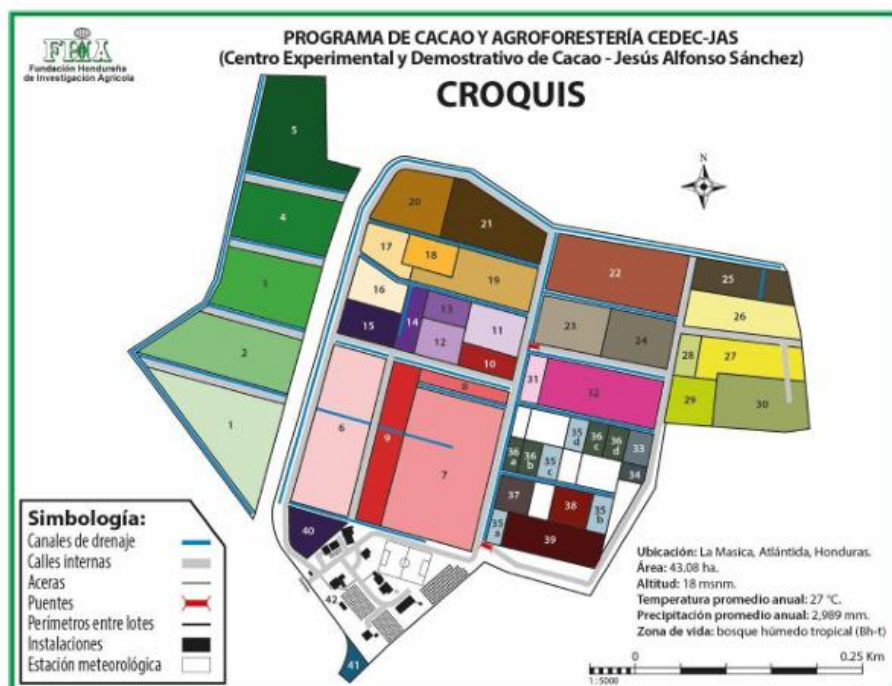
#### 4.5.6 Hidrografía

El municipio de La Masica es bañado por incontables micro cuencas que llevan sus aguas a los ríos más importantes de los cuales resaltan: Río San Juan, Río El Oro, Río Agua Caliente, Río San Antonio, Río El Violín y Río Cuero (CESCA, 2022).

A continuación, en la Figura 3 se muestra un croquis mostrando la distribución que tiene el Programa de Cacao y Agroforestería CEDEC-JAS de la FHIA, con cada una de las divisiones que lo conforman.

**Figura 3**

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



Nota. Tomado de *Programa de Cacao y Agroforestería CEDEC-JAS*, por Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA, 2022) (<https://fhia.org.hn/cacao-y-agroforesteria/>).

El CEDEC-JAS cuenta con áreas organizadas en lotes, los cuales incluyen parcelas de manejo forestal y agrícola. Para comprender la distribución de las especies estudiadas y su relación con los cultivos de cacao, resulta necesario observar la disposición espacial de estos lotes dentro del sitio, lo que permite contextualizar los análisis de biomasa y propiedades estructurales de las especies.

Como se muestra en la Figura 4, se presentan los lotes establecidos en el CEDEC-JAS, incluyendo la ubicación de las parcelas donde se encuentran las especies estudiadas junto con los cultivos de cacao.

**Figura 4**

*Descripción de los lotes establecidos en CEDEC-JAS.*

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

Nota. Tomado de *Programa de Cacao y Agroforestería CEDEC-JAS*, por Fundación Hondureña de Investigación Agrícola FHIA, (2022), (<https://fhia.org.hn/cacao-y-agroforesteria/>).

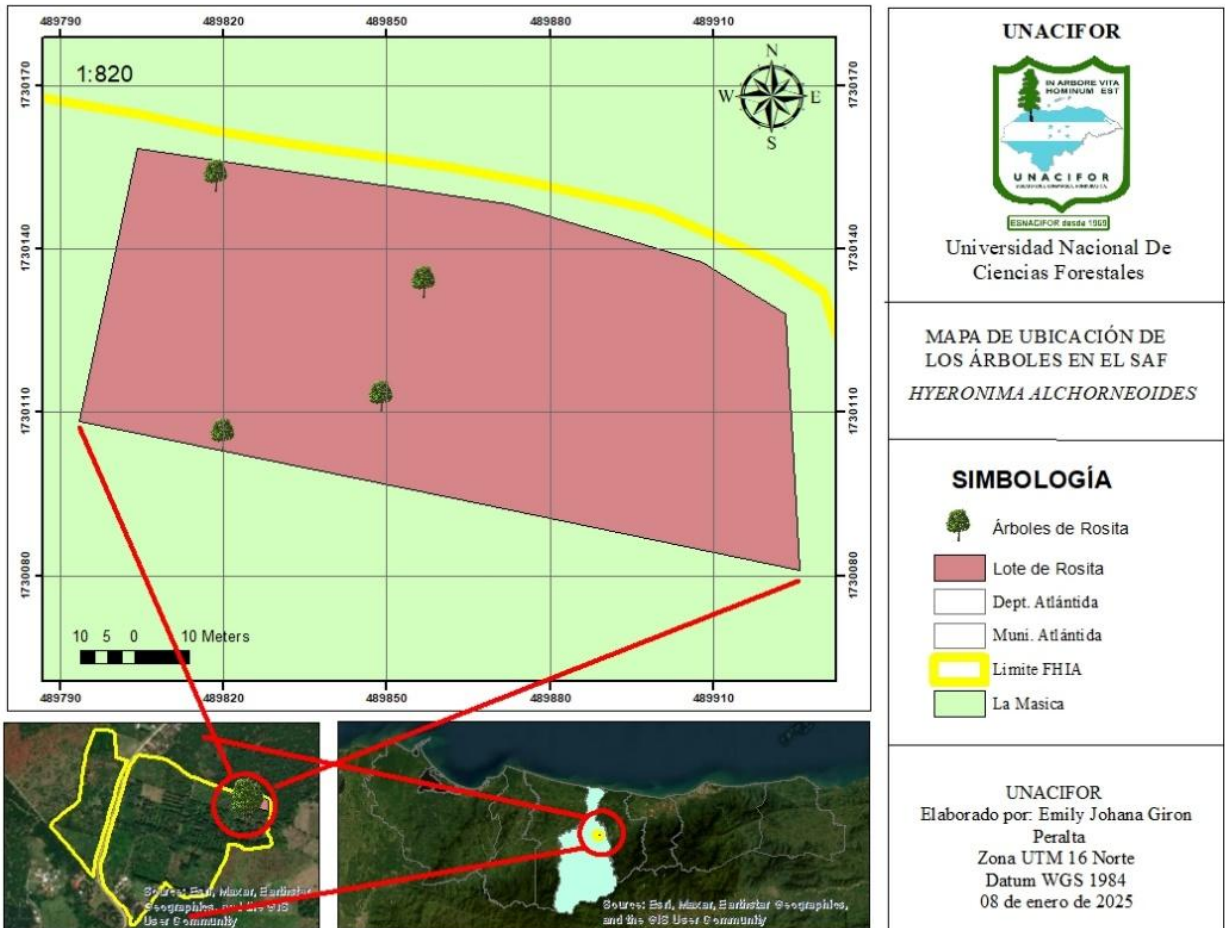
Para un análisis detallado de la distribución de las especies estudiadas, es necesario examinar cada parcela de manera individual dentro de los lotes del CEDEC-JAS. Esto permite observar la ubicación precisa de los individuos y su relación con los cultivos de cacao, así como las características específicas de cada área. Mientras que la Figura 4 presentó la disposición general de los lotes, los mapas que se muestran a continuación proporcionan un nivel de detalle más fino, reflejando la organización interna de cada parcela.

Cada uno de estos mapas permite delimitar con precisión las parcelas correspondientes a las especies seleccionadas, facilitando la identificación de los árboles y la evaluación de sus propiedades estructurales. Este enfoque asegura que la interpretación de los datos de biomasa y de los factores de expansión de biomasa considere la distribución espacial de los individuos y la interacción con el entorno agrícola, contribuyendo a un análisis más riguroso y fundamentado

La Figura 5 muestra la parcela correspondiente a la especie *Hyeronima alchorneoides* dentro de los lotes del CEDEC-JAS. Este mapa permite visualizar de manera clara la ubicación y el tamaño de la parcela, facilitando la comprensión de la disposición espacial de los lotes y la relación de la parcela con las áreas circundantes del centro experimental.

**Figura 5**

*Ubicación del sistema agroforestal de Cacao y Hyeronima alchorneoides.*

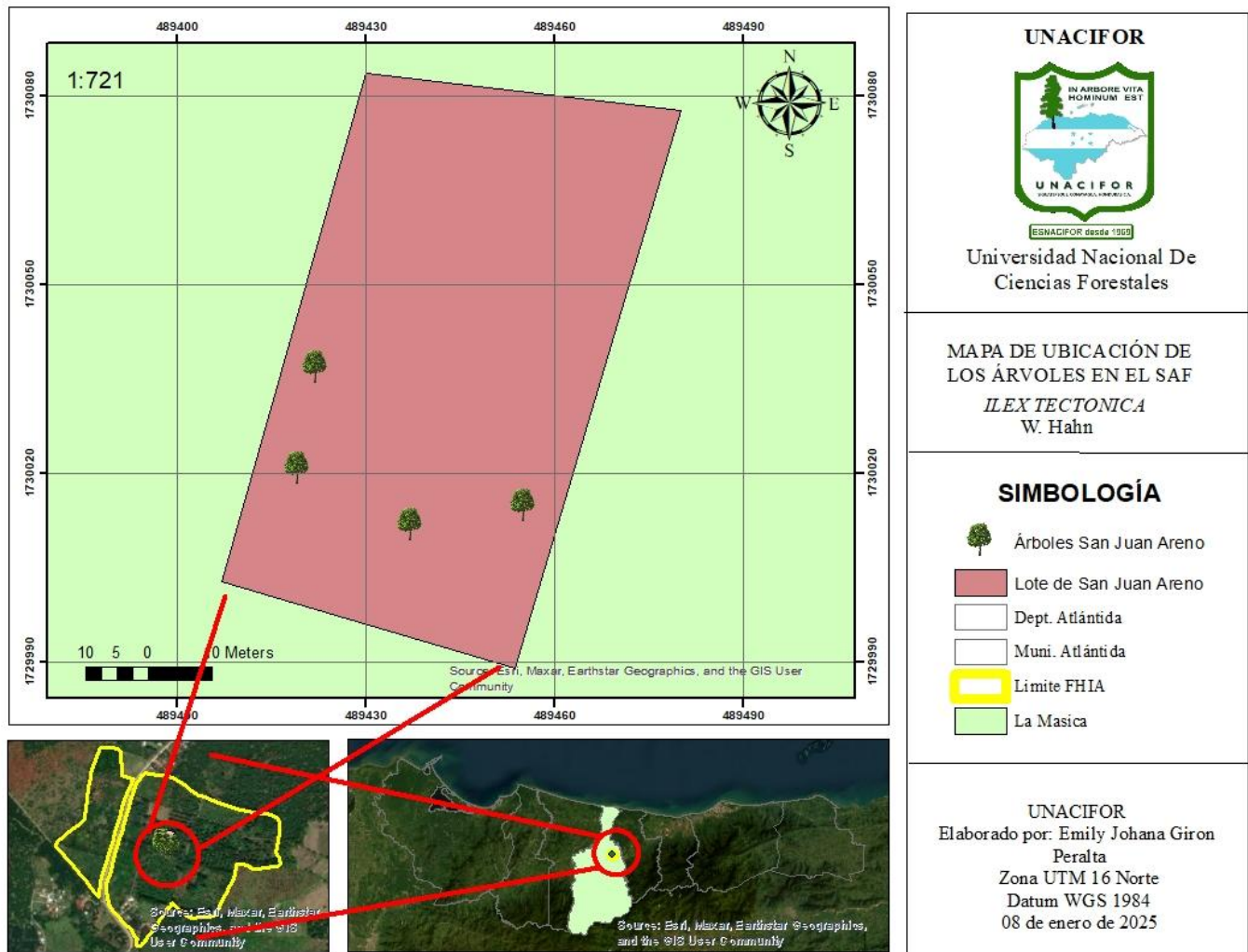


Nota. Elaboración propia a partir de mediciones de campo realizadas en el CEDEC-JAS (coordenadas y delimitación de la parcela).

Para la comprensión de su disposición dentro del lote y su relación con las áreas circundantes, en la Figura 6 se presenta el mapa correspondiente a la parcela de la especie *Ilex tectonica* el cual visualiza de manera clara la ubicación y el tamaño de la parcela.

Figura 6

Ubicación del sistema agroforestal de Cacao e *Ilex tectónica*

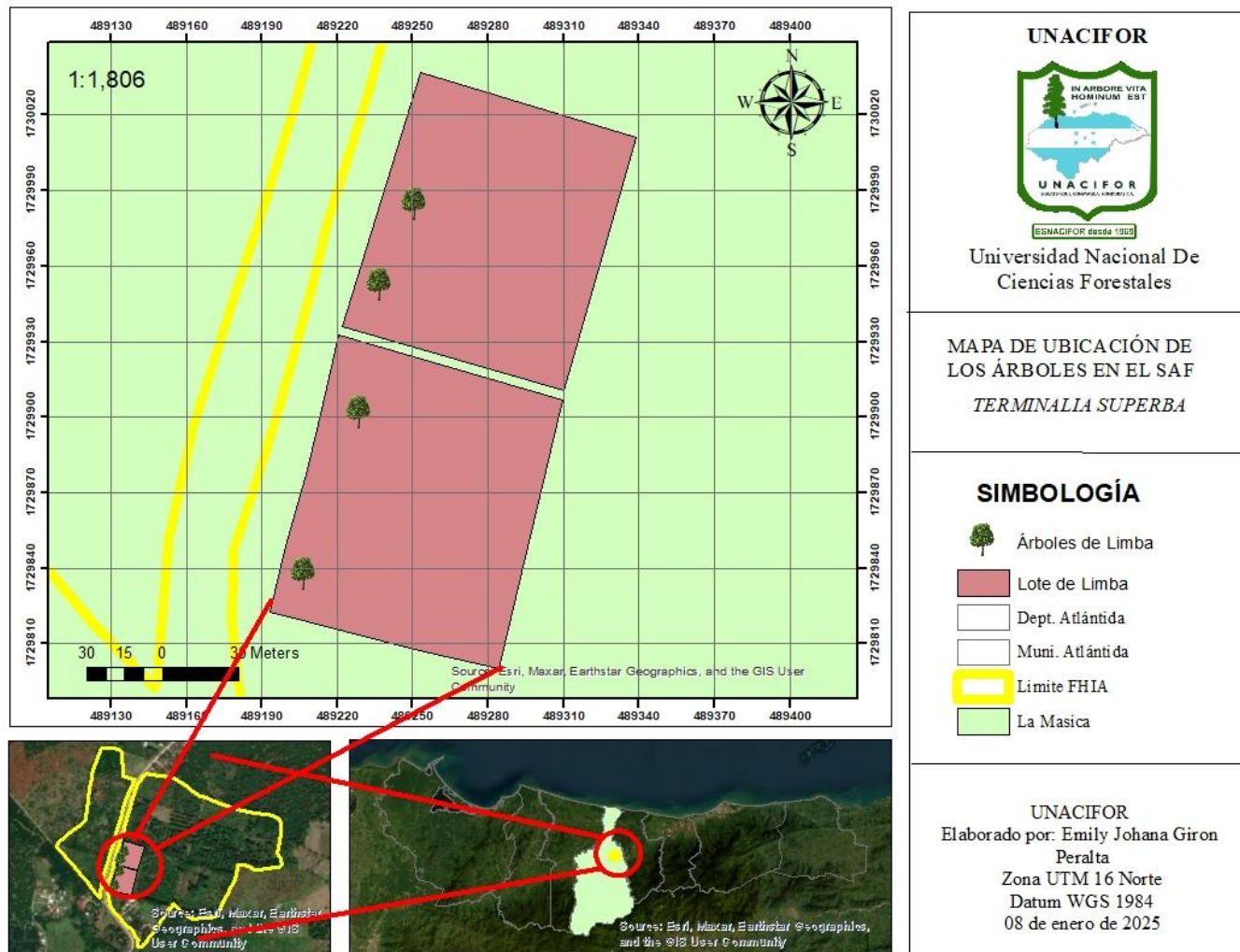


Nota. Elaboración propia a partir de mediciones de campo realizadas en el CEDEC-JAS (coordenadas y delimitación de la parcela).

Finalmente, se presenta la parcela de la especie *Terminalia superba* dentro de los lotes del CEDEC-JAS. Este mapa permite identificar con claridad la ubicación y el tamaño de la parcela, proporcionando un marco espacial que facilita la comprensión de su disposición dentro del lote y su relación con las áreas circundantes.

Figura 7

Ubicación del sistema agroforestal de Cacao y Terminalia superba.



Nota. Elaboración propia a partir de mediciones de campo realizadas en el CEDEC-JAS (coordenadas y delimitación de la parcela).

#### 4.6 Población, muestreo y muestra

La selección de árboles en estudios forestales suele definirse en función del grado de precisión estadística que se desea alcanzar, generalmente con un nivel de confianza del 95% (Teresa María Suirezs y Gilson Berger , 2009). En términos generales, se

recomienda seleccionar 5-6 árboles para una precisión del 15%, 10-12 árboles para una precisión del 10% y entre 20 y 30 árboles para una precisión del 5%.

Para este estudio, la selección se limitó a cuatro individuos por especie, debido a la disponibilidad proporcionada por la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). Aunque este número es menor al sugerido teóricamente, se consideró suficiente para representar a las especies dentro de las condiciones del sitio de estudio, adaptando el criterio general de muestreo a la realidad práctica del proyecto.

#### 4.6.1 Población

La población fueron las parcelas (SAF) de San Juan Areño (*Ilex tectonica* W. Hahn), Rosita (*Hyeronima alchorneoides* Fr. All.), y Limba (*Terminalia superba* Engl. & Diels) donde su área total es de 0.43 ha.

#### 4.6.2 Muestreo

Los árboles fueron seleccionados de manera completamente aleatoria, garantizando que cada individuo de la población tuviera la misma probabilidad de ser elegido. Esta estrategia permitió que la muestra representara adecuadamente a las especies dentro de los lotes del CEDEC-JAS, evitando posibles sesgos en la selección.

#### 4.6.3 Muestra

Se seleccionaron cuatro individuos por especie, sumando un total de doce árboles, ubicados en sus respectivas parcelas, donde posteriormente, se realizaron las actividades correspondientes para la recolección y análisis de las variables del estudio.

### 4.7 Operacionalización de variables

#### Matriz de Operacionalización de Variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
----------	-----------------------	------------------------	-------------	-------------	--------------------

<b>Biomasa aérea</b>	Conjunto de toda materia orgánica que se encuentra por encima del suelo de un árbol. En este caso solo se consideran las ramas.	Masa en kg de las ramas con un diámetro mayor a 1 pulgada.	Fuste Ramas >1"	Volumen Peso	kg/ha
<b>Factores de Expansión de Biomasa</b>	Factor multiplicativo que permite convertir el volumen comercial del fuste en la biomasa aérea total del individuo. (IPCC,2006).	Cociente de la relación de la biomasa aérea total en ramas entre el volumen comercial.	FEB basado en volumen	FEB=Volumen de ramas/ Volumen fuste comercial	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Modelo causal de estimación de biomasa y FEB (V3)</b>	Representación matemática de relaciones causa-efecto entre variables estructurales del árbol y la biomasa aérea/FEB.	Ecuaciones generadas por regresión múltiple con base en variables estructurales (DAP, altura, densidad).	Variables estructurales y respuesta (biomasa, FEB)	Coefficientes del modelo, R <sup>2</sup> , significancia estadística	Numérica (regresión no lineal)
	Volumen comprendido desde el tocón hasta	Volumen calculado mediante la ecuación de Smalian y sus	Volumen del fuste con corteza	Área 1 Área 2 Longitud	Metros cúbicos (m <sup>3</sup> )

<b>Volumen Comercial</b>	la primera ramificación.	variables ( <i>Riaño Melo y Lizarazo, 2016</i> ).			
<b>Poder Calorífico Superior (PCS)</b>	Energía calorífica liberada resultante de la quema total de un combustible y cuyos productos de la combustión se enfrían a la temperatura inicial.	Energía liberada por una muestra de biomasa medida en una bomba calorimétrica.	Poder calorífico	Calorías por gramo o Julios por gramo	(cal/g) (J/g)
<b>Contenido de Humedad</b>	Porcentaje del peso total de una muestra que es agua.	Diferencia de peso en % de una muestra tras su secado.	Humedad base húmeda	% Humedad= [(Peso fresco – peso seco) / Peso fresco] * 100	Porcentaje (%), a 105°C (±2°C) en laboratorio(Martínez & Lira, 2008).
<b>Contenido de Cenizas</b>	Porcentaje de masa inorgánica e incombustible residual de la quema completa de la muestra de biomasa.	Peso del residuo en % de la muestra después de su combustión.	Contenido de minerales	% Cenizas= (Peso de cenizas / Peso seco de la muestra)*100	Porcentaje (%),(%), a 105°C (±2°C) en laboratorio(Martínez & Lira, 2008).

## 4.8 Procedimientos por objetivo

### 4.8.1 Listado de actividades desarrolladas por objetivo

4.8.1.1 Cuantificar la biomasa aérea de ramas con diámetro superior a una pulgada, expresada en metros cúbicos y toneladas por hectárea, mediante la aplicación de un modelo causal basado en variables estructurales de las especies *Ilex tectonica*, *Terminalia superba* y *Hyeronima alchorneoides*.

- 1 Se delimitaron las parcelas agroforestales localizadas en las instalaciones de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), en el municipio de La Masica, departamento de Atlántida, las cuales contenían ejemplares representativos de las tres especies seleccionadas.
- 2 Se seleccionaron de forma aleatoria cuatro individuos por especie, los cuales fueron debidamente marcados e identificados para su posterior derribo y evaluación.
- 3 Una vez cosechados los árboles, se procedió a la desramificación de cada individuo. Las ramas con un diámetro superior a una pulgada (2.54 cm) fueron separadas y destinadas al análisis de biomasa aérea.
- 4 Para cada rama seleccionada, se registraron las variables estructurales: diámetro basal (cm), longitud total (m) y número de ramas por individuo, utilizando instrumentos de medición calibrados para garantizar la precisión de los datos.
- 5 El volumen individual de las ramas se determinó aplicando la fórmula de Smalian, considerando la geometría del fuste y las secciones transversales, expresando los resultados en metros cúbicos (m<sup>3</sup>) por árbol.
- 6 Posteriormente, se efectuó la conversión del peso total de ramas a biomasa (toneladas por hectárea, t/ha), mediante el espaciamiento de la plantación y el área de muestreo correspondiente.
- 7 Con los valores obtenidos de diámetro, longitud, número de ramas y volumen, se desarrolló un modelo causal orientado a determinar la influencia y relación de las variables estructurales sobre la biomasa aérea estimada. Este modelo se ajustó mediante análisis de regresión múltiple y verificación estadística de significancia, permitiendo identificar los factores que explican con mayor precisión la variabilidad de la biomasa en cada especie evaluada.

4.8.1.2 Utilizar métodos directos para el establecimiento de los factores de expansión de biomasa asociados a las especies *Ilex tectonica*, *Terminalia superba* y *Hyeronima alchorneoides*.

- 1 Se seleccionaron y etiquetaron al azar cuatro individuos representativos por cada especie, garantizando que fueran completamente aleatorios para evitar sesgos en la muestra.
- 2 A cada individuo seleccionado se le registraron las variables dendrométricas iniciales: diámetro basal inicial, diámetro a la altura del pecho (DAP), diámetro final donde inicia la primera ramificación y longitud total del tronco.
- 3 Con los datos obtenidos, se calculó el volumen comercial de cada individuo aplicando fórmulas de volumen apropiadas según la forma del tronco.
- 4 Previa autorización del Instituto de Conservación Forestal (ICF), se procedió a la corta de los individuos seleccionados, asegurando el cumplimiento de las normas de manejo sostenible y seguridad en campo.
- 5 Posteriormente, se realizó la poda completa de todas las ramas de cada individuo, separando los componentes estructurales del tronco y las ramas para su análisis individual.
- 6 A las ramas cuyo diámetro basal excedía una pulgada, se les midió adicionalmente el diámetro final y la longitud total, registrando cuidadosamente estos datos para su posterior cálculo de biomasa.
- 7 Se descartaron las ramas con diámetro inicial menor a una pulgada, considerando que su contribución a la biomasa total es mínima y para homogeneizar las muestras analizadas.
- 8 De cada individuo, se seleccionaron al azar diez muestras de ramas para determinar su peso mediante pesaje directo. A partir de estos datos se calculó un promedio representativo del peso total de ramas por individuo, expresado en kilogramos (kg).
- 9 Finalmente, se determinó el Factor de Expansión de Biomasa (FEB) mediante la fórmula:

$$FEB = \frac{\text{Biomasa total en ramas (kg)}}{\text{Volumen comercial del fuste (m}^3\text{)}}$$

4.8.1.3 Conocer las características energéticas de las especies *Ilex tectonica*, *Terminalia superba* y *Hyeronima alchorneoides* mediante la determinación del poder calorífico, contenido de humedad y el contenido de cenizas.

1. Se seleccionaron cuatro individuos representativos por cada especie, garantizando un muestreo aleatorio y representativo de la población.
2. Los individuos seleccionados fueron derribados siguiendo protocolos de seguridad y manejo sostenible, asegurando la integridad de la muestra para análisis posteriores.
3. Se procedió a desramificar completamente cada ejemplar, separando las ramas del tronco para obtener muestras homogéneas.
4. De cada individuo se extrajo una muestra de 500 gramos en disco, obteniéndose un total de doce muestras correspondientes a las tres especies estudiadas.
5. Cada muestra fue empacada en bolsas herméticas individualmente, etiquetada con la especie, número de individuo y fecha de muestreo, y enviada inmediatamente al laboratorio para análisis físico-químico.
6. En el laboratorio se determinaron las características energéticas de cada muestra, incluyendo:
  - a. Contenido de humedad (%): mediante secado en horno hasta peso constante.
  - b. Contenido de cenizas (%): mediante combustión completa en mufla a temperatura controlada.
  - c. Poder calorífico (kcal/kg o MJ/kg): utilizando bomba calorimétrica según normas ASTM.

7. Los resultados obtenidos fueron registrados y tabulados para cada individuo y especie, permitiendo la comparación de propiedades energéticas entre las especies analizadas.

## **4.8.2 Técnicas e instrumentos para la recolección de información**

### **4.8.2.1 Técnicas**

- a) Métodos destructivos con el objetivo de obtener correlaciones entre una pequeña muestra destructible y una muestra mucho más grande que no puede ser destruida, la cual es representativa de la unidad de producción que desea ser estimada.
- b) Sustracción de muestras de biomasa para análisis en laboratorio.

### **4.8.2.2 Instrumentos**

- a) GPS para referenciar cada individuo seleccionado.
- b) Marcador y listón para identificar los ejemplares.
- c) Motosierra para derribar cada ejemplar.
- d) Machete y motosierra pequeña para desramificación.
- e) Cinta métrica para medición de longitudes
- f) Cinta diamétrica para medición de DAP y diámetros en ramas.
- g) Balanza de precisión para pesajes.
- h) Hojas de formatos para registro de datos.
- i) Computadora para procesamiento de datos.

### **4.8.3 Programas a utilizados en el procesamiento de la información**

- a) Microsoft Excel: se utilizó para el procesamiento inicial de datos, es decir, tabulación.
- b) ArcGis: Se utilizó para la elaboración de los mapas de ubicación de los árboles en el SAF.
- c) Minitab: Se utilizó para el procesamiento avanzado de los datos recolectados, es decir, las regresiones.
- d) Microsoft Word: Se utilizó para plasmar y organizar el análisis textual de los datos recopilados y procesados.

## **CAPÍTULO V: RESULTADOS**

### **5.1 Evaluación de las ramas con un diámetro superior a una pulgada**

#### **5.1.1 Cuantificación de la biomasa aérea de las especies *Ilex tectonica*, *Terminalia superba* y *Hyeronima alchorneoides*.**

Para cuantificar la biomasa aérea de las tres especies seleccionadas se utilizaron métodos directos. Primero, se seleccionaron al azar los individuos que serían muestreados y se procedió a su corta. Cada árbol se dividió en dos partes: fuste comercial y fuste no comercial. Al fuste no comercial se le retiraron todas las ramas, descartando aquellas cuyo diámetro fuera menor a una pulgada.

Después, se eligieron al azar diez ramas de cada individuo para pesarlas en base húmeda y calcular un promedio representativo por ejemplar. Con los resultados del contenido de humedad obtenidos en el laboratorio de CEPCO, se calculó el peso de las ramas en base seca, lo que permitió estimar la biomasa aérea de cada árbol de manera más precisa

La Tabla 1 a continuación, muestra los resultados de cuantificación de biomasa aérea en ramas para la especie *Ilex tectonica*.

**Tabla 1**

*Cuantificación de Biomasa Aérea en Ramas para la Especie Ilex tectonica.*

#	Peso fresco (kg)	Peso seco (kg)
1	5.65	5.58
2	7.84	7.76
3	2.81	2.78
4	5.46	5.40
<b>PROM</b>	<b>5.44</b>	<b>5.38</b>

Nota. Para la cuantificación de biomasa aérea en ramas para la especie *Ilex tectonica* en peso seco, se utilizó la ecuación:  $\text{Peso seco (kg)} = \text{Peso fresco (kg)} * \frac{1-1.08}{100}$ , siendo 1.08 el contenido de humedad (%) correspondiente a la especie, obtenido mediante las pruebas de laboratorio. El peso fresco se pesando las ramas en balanza.

Después de cuantificar la biomasa aérea promedio por especie en kilogramos por árbol, se procedió a convertir estos valores a toneladas por hectárea (t/ha). Para ello, se consideró el marco de plantación de **9 × 18 m**, equivalente a **62 árboles por hectárea**, en un área total de **0.43 ha**.

La conversión a toneladas por hectárea (t/ha) mediante la ecuación:

$$\text{Biomasa (t/ha)} = (\text{Bi} \times \text{N})/1000$$

donde:

- $B_i$  = biomasa seca promedio por árbol (kg/árbol)
- N = número de árboles por hectárea
- 1000= factor de conversión de kilogramos a toneladas

La biomasa aérea de la especie, calculada a partir del peso seco promedio por árbol y considerando el número de árboles por hectárea según el marco de plantación, se estimó en aproximadamente 0.33 toneladas por hectárea (t/ha) para la especie *Ilex tectonica*

La cuantificación de la biomasa aérea en ramas correspondiente a la especie *Terminalia superba*, se presenta en la Tabla 2 a continuación:

**Tabla 2**

*Cuantificación de la Biomasa Aérea de la Especie Terminalia superba.*

#	Peso fresco	Peso seco
1	28.40	27.91
2	20.04	19.69
3	5.46	5.36
4	6.27	6.16
<b>PROM</b>	<b>15.04</b>	<b>14.78</b>

Nota. Para la cuantificación de biomasa aérea en ramas para la especie *Terminalia superba* en peso seco, se utilizó la ecuación:  $\text{Peso seco (kg)} = \text{Peso fresco (kg)} * \frac{1-1.74}{100}$ , siendo 1.74 el contenido de humedad (%) correspondiente a la especie, obtenido mediante las pruebas de laboratorio. El peso fresco se pesando las ramas en balanza.

Una vez determinada la biomasa aérea promedio por especie en kilogramos por árbol, se realizó la conversión de estos valores a toneladas por hectárea (t/ha). Para este cálculo se tuvo en cuenta el marco de plantación de 9 × 18 m, correspondiente a 62 árboles por hectárea, en un área total de 0.43 ha.

La conversión a toneladas por hectárea (t/ha) mediante la ecuación:

$$\text{Biomasa (t/ha)} = (\text{Bi} \times \text{N})/1000$$

La biomasa aérea de la especie, calculada a partir del peso seco promedio por árbol y considerando el número de árboles por hectárea según el marco de plantación, se estimó en aproximadamente 0.92 toneladas por hectárea (t/ha).

La Tabla 3 muestra los resultados de la cuantificación de biomasa aérea en ramas para la especie *Hyeronima alchorneoides*.

**Tabla 3**

*Cuantificación de la biomasa aérea en ramas de la especie Hyeronima alchorneoides.*

#	Peso fresco	Peso seco
1	4.87	4.81
2	4.87	4.81
3	5.64	5.57
4	5.04	4.97
<b>PROM</b>	<b>5.10</b>	<b>5.04</b>

Nota. Para la cuantificación de biomasa aérea en ramas para la especie *Terminalia superba* en peso seco, se utilizó la ecuación:  $\text{Peso seco (kg)} = \text{Peso fresco (kg)} * \frac{1-1.23}{100}$ , siendo 1.23 el contenido de humedad (%) correspondiente a la especie, obtenido mediante las pruebas de laboratorio. El peso fresco se pesando las ramas en balanza.

Tras determinar la biomasa aérea promedio por especie en kilogramos por árbol, se procedió a convertir estos valores a toneladas por hectárea (t/ha). Para ello, se consideró un marco de plantación de 9 × 18 m, equivalente a 62 árboles por hectárea, sobre un área total de 0.43 ha.

La conversión a toneladas por hectárea (t/ha) mediante la ecuación:

$$\text{Biomasa (t/ha)} = (\text{Bi} \times \text{N})/1000$$

La biomasa aérea de la especie, calculada a partir del peso seco promedio por árbol y considerando el número de árboles por hectárea según el marco de plantación, se estimó en aproximadamente 0.31 toneladas por hectárea (t/ha).

Los resultados muestran que *Terminalia superba* presentó la mayor producción de biomasa aérea en ramas, con un promedio cercano a 10 kg por individuo, lo que equivale

a aproximadamente 0.62 t/ha. En contraste, *Ilex tectonica* y *Hyeronima alchorneoides* registraron biomasa aérea estimadas de 0.31 t/ha y 0.48 t/ha, respectivamente. Estas diferencias reflejan un mayor potencial de acumulación de biomasa aérea en *Terminalia superba*, indicando que esta especie podría desempeñar un papel preponderante en la recuperación y protección del sitio estudiado, contribuyendo significativamente a la disponibilidad de biomasa dentro del ecosistema.

### 5.1.2 Desarrollo del modelo causal.

Para el desarrollo del modelo causal, se agruparon todos los datos relevantes previamente calculados y se sintetizaron en la Tabla 4 a continuación:

**Tabla 4**

*Datos Recolectados y Utilizados para la Regresión.*

Especie	Ár bol	DAP (cm)	Altura total (m)	Volumen ramas totales (m3)	Volumen comercial	FEB	Biomasa ramas (kg)
<i>Ilex tectonica</i>	1	59	26.15	12.57101896	1.46080504 8	3.6972 98286	5.65695853 4
<i>Ilex tectonica</i>	2	56	30	6.024448711	1.74877772 4	3.1933 12468	2.71100192
<i>Ilex tectonica</i>	3	39.5	22	3.68133092	2.20015300 3	3.5267 02366	1.65659891 4
<i>Ilex tectonica</i>	4	54.5	32	3.700303822	0.84677861 9	3.2849 55876	1.66513672
<i>Terminalia superba</i>	1	130	30	15.13768258	11.6262	2.4002 54597	6.96333398 7
<i>Terminalia superba</i>	2	152	32	5.907162079	6.6786	2.9478 82926	2.71729455 6
<i>Terminalia superba</i>	3	165	34	5.321634031	4.8364	1.1082 79505	2.44795165 4
<i>Terminalia superba</i>	4	83.5	27	7.284563313	5.34	1.1538 10606	3.35089912 4
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	1	60	21	12.11526047	1.93646770 7	2.4839 55184	7.51146149 2
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	2	75	26	15.6856698	1.80265581 7	2.4919 11966	9.72511527 3

<i>Hyeronima</i>					1.72223523	3.2333	8.81310565
<i>alchorneoides</i>	3	52	18	14.21468655	9	86749	8
<i>Hyeronima</i>					1.80682095	2.7529	5.66244134
<i>alchorneoides</i>	4	82	39	9.132969917	2	33097	8

En la Tabla 5 se muestra un resumen sintetizado de las estadísticas de la regresión,

**Tabla 5 Estadísticas de la Regresión.**

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.958974246
R Square	0.919631605
Adjusted R Square	0.911594766
Standard Error	0.84942589
Observations	12

El análisis de regresión realizado muestra resultados muy alentadores. El coeficiente de correlación múltiple (Multiple R) es de 0.9794, lo que indica una relación lineal muy fuerte entre las variables independientes y la variable dependiente. Esto sugiere que las variables consideradas en el modelo están altamente relacionadas con el comportamiento de la variable que se desea explicar.

El coeficiente de determinación  $R^2$  es de 0.9593, lo que significa que aproximadamente el 95.93% de la variabilidad de la variable dependiente puede ser explicada por las variables independientes incluidas en el modelo. Este valor tan alto refleja un excelente ajuste del modelo a los datos.

Al considerar la  $R^2$  ajustada, que corrige por el número de variables y observaciones, el valor obtenido es de 0.9254. Aunque es ligeramente inferior a  $R^2$ , sigue siendo muy alto, lo que confirma que el modelo mantiene su solidez incluso al considerar su complejidad.

El error estándar del estimador es de 0.7805, lo que indica que, en promedio, las predicciones del modelo difieren de los valores reales en aproximadamente 0.78 unidades. Un error estándar bajo refuerza la precisión de las predicciones del modelo.

El análisis de varianza (ANOVA) se utiliza para evaluar la significancia del modelo de regresión, permitiendo determinar si la variable independiente tiene un efecto estadísticamente relevante sobre la variable dependiente. La tabla de ANOVA muestra la distribución de la variabilidad total de los datos entre la explicada por el modelo y la residual, así como los estadísticos asociados para evaluar la significancia del ajuste.

La Tabla 6 muestra los resultados del ANOVA aplicado en el estudio,

**Tabla 6**

*Resultados Análisis ANOVA.*

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	82.56188166	82.56188166	114.4270217	8.54287E-07
Residual	10	7.215243432	0.721524343		
Total	11	89.7771251			

El modelo de regresión tiene 1 grado de libertad y una suma de cuadrados de 82.56, lo que indica que gran parte de la variabilidad de la variable dependiente es explicada por la variable independiente incluida. El error residual, que refleja la variabilidad no explicada por el modelo, tiene 10 grados de libertad y una suma de cuadrados de 7.22.

El estadístico F calculado es de 114.43, con un valor de significancia (Significance F) de  $8.54 \times 10^{-7}$ , lo que indica que el modelo es altamente significativo. Esto significa que la relación entre la variable independiente y la dependiente no es producto del azar, y que la variable independiente tiene un efecto real y estadísticamente relevante sobre la variable dependiente.

La tabla 7 de coeficientes de regresión muestra los parámetros estimados del modelo, incluyendo la intersección (intercepto) y los coeficientes de las variables independientes.

Además, proporciona los errores estándar, los estadísticos t, los valores p y los intervalos de confianza al 95% para cada coeficiente, permitiendo evaluar la significancia y la dirección del efecto de cada variable sobre la variable dependiente.

**Tabla 7**

*Coefficientes de Regresión.*

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.714488	0.5798907	1.232107	0.246093	2.006565	0.577589	2.006565	0.577589
Variable 1	0.608928	0.0569249	10.69705	8.54287E-07	0.482092	0.735765	0.482092	0.735765

El análisis de esta regresión arroja como resultado que solo la variable 3 la cual es volumen total de ramas tiene relevancia en el cálculo de la biomasa en ramas en kilogramos.

El modelo de regresión permite estimar la biomasa de las ramas a partir de su volumen. La ecuación final del modelo queda definida de la siguiente manera:

$$\text{Biomasa (kg)} = -0.714 + 0.609 \cdot \text{Volumen (m}^3\text{)}$$

En esta ecuación, el intercepto (-0.714) representa el valor esperado de la biomasa cuando el volumen es cero; sin embargo, este valor no es significativamente diferente de cero ( $t = -1.232$ ;  $p = 0.246$ ) y carece de interpretación biológica realista, ya que una rama sin volumen no puede tener biomasa negativa.

Por el contrario, el coeficiente de regresión para el volumen (0.609) es altamente significativo ( $t = 10.697$ ;  $p < 0.0001$ ). Esto indica que por cada aumento de un metro cúbico en el volumen de la rama, se estima un incremento de 0.609 kg en su biomasa. Además, los intervalos de confianza al 95% para este coeficiente (0.482 – 0.736) no incluyen el valor cero, lo que confirma la precisión y confiabilidad de esta estimación.

## 5.2 Factores de expansión de biomasa asociados a las especies *Ilex tectonica*, *Terminalia superba* y *Hyeronima alchorneoides*.

Para establecer los factores de expansión de biomasa (FEB) de *Ilex tectonica*, *Terminalia superba* y *Hyeronima alchorneoides*, se utilizaron los datos de biomasa aérea previamente cuantificados. Estos corresponden al peso promedio, en kilogramos (kg), de diez ramas con diámetro superior a una pulgada (1”), seleccionadas aleatoriamente. De manera complementaria, se calculó el volumen comercial de cada árbol mediante la fórmula de Smalian, integrando así los valores de biomasa y volumen para el análisis de los FEB.

La Tabla 8 presenta el volumen comercial calculado para los individuos de la especie *Ilex tectonica*. Se incluyen los diámetros en los extremos superior (D1) e inferior (D2) del fuste, la longitud del tronco (L), las áreas transversales en los extremos (A1 y A2) y el volumen comercial (Vcom) obtenido mediante la fórmula de Smalian para cada individuo muestreado.

**Tabla 8**

*Volumen comercial para individuos de la especie *Ilex tectonica*.*

#	D1	D2	L	A1	A2	Vcom
1	0.479	0.399	11.4584	0.180202961	0.12503647	<b>1.748777724</b>
2	0.515	0.473	11.4584	0.208307715	0.17571676	<b>2.200153003</b>
3	0.348	0.259	11.4584	0.095115082	0.05268542	<b>0.846778619</b>
4	0.44	0.362	11.4584	0.15205344	0.10292196	<b>1.460805048</b>

En la Tabla 9 se presentan los volúmenes comerciales de los individuos muestreados de *Terminalia superba*. Para cada árbol se registraron los diámetros en los extremos superior e inferior del fuste (D1 y D2), la longitud total del tronco (L) y las áreas transversales correspondientes (A1 y A2), a partir de las cuales se calculó el volumen comercial (Vcom) utilizando la fórmula de Smalian.

**Tabla 9**

*Volumen comercial de Terminalia superba.*

#	D1	D2	L	A1	A2	Vcom
1	0.977	0.72	20.1	0.7496871	0.4071514	<b>11.6262263</b>
2	0.712	0.4	25.5	0.3981538	0.125664	<b>6.67867717</b>
3	0.654	0.416	20.5	0.3359281	0.1359182	<b>4.83642487</b>
4	0.7064	0.35	22	0.385	0.1	<b>5.335</b>

La Tabla 10 presenta el volumen comercial de los individuos de *Hyeronima alchorneoides*, calculado mediante la fórmula de Smalian. Los valores incluyen los diámetros del fuste en los extremos superior e inferior (D1 y D2), la longitud del tronco (L) y las áreas transversales correspondientes (A1 y A2). Estos datos permiten relacionar el volumen comercial de cada árbol con la biomasa aérea, constituyendo información clave para el establecimiento de los factores de expansión de biomasa (FEB).

**Tabla 10**

*Volumen comercial Hyeronima alchorneoides.*

#	D1 (m)	D2 (m)	L (m)	A1 (m <sup>2</sup> )	A2 (m <sup>2</sup> )	Vcom (m <sup>3</sup> )
1	0.572	0.514	8.3384	0.2569703	0.2075	<b>1.93646771</b>
2	0.556	0.478	8.5384	0.2427954	0.179451	<b>1.80265582</b>
3	0.591	0.558	6.6384	0.2743253	0.244545	<b>1.72223524</b>
4	0.577	0.44	8.7384	0.2614824	0.152053	<b>1.80682095</b>

Seguidamente, se hizo uso de la fórmula:

$$FEB = \text{Biomasa aérea total en seco} / \text{Volumen comercial}$$

Para tener un dato más preciso, se aplicó la fórmula a los cuatro individuos derribados y se hizo un promedio de los resultados de los FEBs.

La Tabla 11 muestra los resultados de los factores de expansión de biomasa para cada individuo de la especie *Ilex tectonica* y muestra el valor promedio que se considerará como el FEB de la especie en este estudio.

**Tabla 11**

*Factores de Expansión de Biomasa en la especie Ilex tectonica*

#	Peso seco (kg)	Vol. Comercial (m <sup>3</sup> )	FEB (kg/m <sup>3</sup> )
1	5.58	1.748777724	3.19
2	7.76	2.200153003	3.53
3	2.78	0.846778619	3.28
4	5.40	1.460805048	3.70
<b>FEB prom</b>			<b>3.43</b>

Para la especie *Ilex tectonica* se pueden observar valores similares en los FEBs individuales, los cuales promedian un FEB total de 3.43kg/m<sup>3</sup>, indicando que por cada metro cúbico (m<sup>3</sup>) de volumen comercial, se obtendrán 3.43 kg de biomasa aérea, en este caso biomasa en ramas.

Para la determinación de los factores de expansión de biomasa en la especie *Terminalia superba* se siguió la misma metodología mencionada anteriormente, y los resultados se ven sintetizados en la Tabla 12.

**Tabla 12**

**Factores de Expansión de Biomasa en la especie Ilex tectonica.**

#	Peso seco (kg)	Vol. Comercial (m <sup>3</sup> )	FEB (kg/m <sup>3</sup> )
1	27.91	11.6262	2.4
2	19.69	6.6786	2.95

3	5.36	4.8364	1.11
4	6.16	5.34	1.15
<b>FEB prom</b>			<b>1.9</b>

En la especie *Terminalia superba*, los FEB individuales oscilan los mismos valores, mismos que establecen un FEB promedio de 1.9 kg/m<sup>3</sup>, lo cual indica que se obtendrán 1.9 kilogramos de biomasa en ramas por cada metro cúbico de volumen comercial en esta especie.

Por último, los resultados en la especie *Hyeronima alchorneoides*, utilizando la misma metodología que se implementó en las dos especies anteriores se pueden observar en la Tabla 13.

**Tabla 13**

*Factores de Expansión de Biomasa para Hyeronima alchorneoides.*

#	Peso seco (kg)	Vol. Comercial (m <sup>3</sup> )	FEB (kg/m <sup>3</sup> )
1	4.81	1.936467707	2.48
2	4.49	1.802655817	2.49
3	5.57	1.722235239	3.23
4	4.97	1.806820952	2.75
<b>FEB prom</b>			<b>2.74</b>

El FEB promedio de 2.74 kg/m<sup>3</sup> en la especie, indica que se obtendrán 2.74 kilogramos de biomasa aérea en ramas por cada metro cúbico de volumen comercial obtenido para la especie, el cual es un valor favorable para el aprovechamiento de ramas como biomasa.

### 5.3 Características energéticas de las especies *Ilex tectonica*, *Terminalia superba* y *Hyeronima alchorneoides*.

#### 5.3.1 Poder Calorífico

Para la determinación del poder calorífico (PC) se utilizaron tres submuestras seccionadas de una muestra de 500 gramos por especie. Las muestras fueron enviadas en formato disco a el Laboratorio CEPCO, propiedad de la Choloma Electric Power Company, donde se utilizó un calorímetro de bomba, el cual es un equipo que quema la muestra bajo alta presión de oxígeno en una cámara sellada y mide la energía liberada por el aumento de temperatura en un baño de agua circundante (CALNESIS, 2020).

La Tabla 14 presenta los valores de poder calorífico inferior (PCI) y poder calorífico superior (PCS) correspondientes a la especie *Ilex tectonica*.

**Tabla 14**

*Valores PC SUP y PC INF (kcal/kg) en la especie Ilex tectonica.*

#	PC SUP (kcal/kg)	PC INF (kcal/kg)
1	4053.57	3695.13
2	3993.51	3634.12
3	3797.33	3446.18
<b>PROMEDIO</b>	<b>3948.14</b>	<b>3591.81</b>

Nota. Resultados en formato del laboratorio se encuentran en Anexos.

El valor del poder calorífico superior para la especie *Ilex tectonica* es de 3.948 kcal/kg y el poder calorífico inferior promedio es de 3,591.81 kcal/kg, con una diferencia promedio de 356.33 kcal/kg.

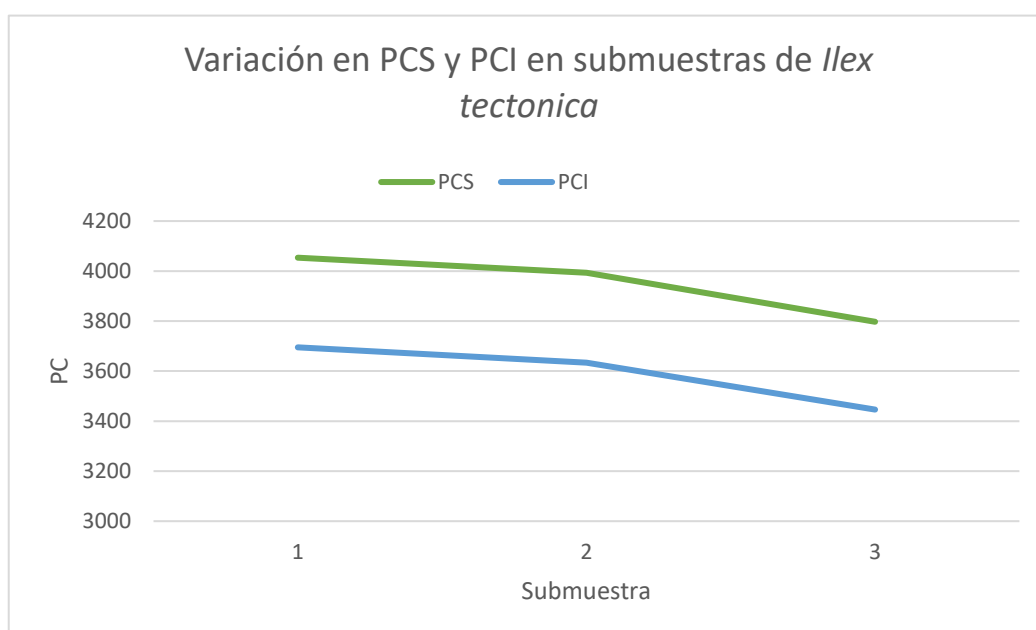
Para las submuestras de la especie *Ilex tectonica* se pudo observar una variación esperada en sus PCI y PCS, estas diferencias se atribuyen a las diferencias naturales intrínsecas de la composición de la biomasa leñosa. Obteniendo así una diferencia de

256.24 kcal/kg entre el valor máximo y mínimo de poder calorífico superior y una diferencia de 248.95 kcal/kg en el poder calorífico inferior respectivamente.

La figura 8 presenta las variaciones de PCS y PCI para las submuestras de la especie *Ilex tectonica*.

### Figura 8

Variación en PCS y PCI en submuestreo de *Ilex tectonica*.



La tabla 15 presenta los valores correspondientes a poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI) para la especie *Terminalia superba*.

### Tabla 15

Poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI) en submuestra de *Terminalia superba*.

---

PC SUP

PC INF

#	kcal/kg	kcal/kg
1	4323.82	3980.1
2	4274.76	3928.96
3	3897.51	3549.76
<b>PROMEDIO</b>	<b>4165.36</b>	<b>3819.61</b>

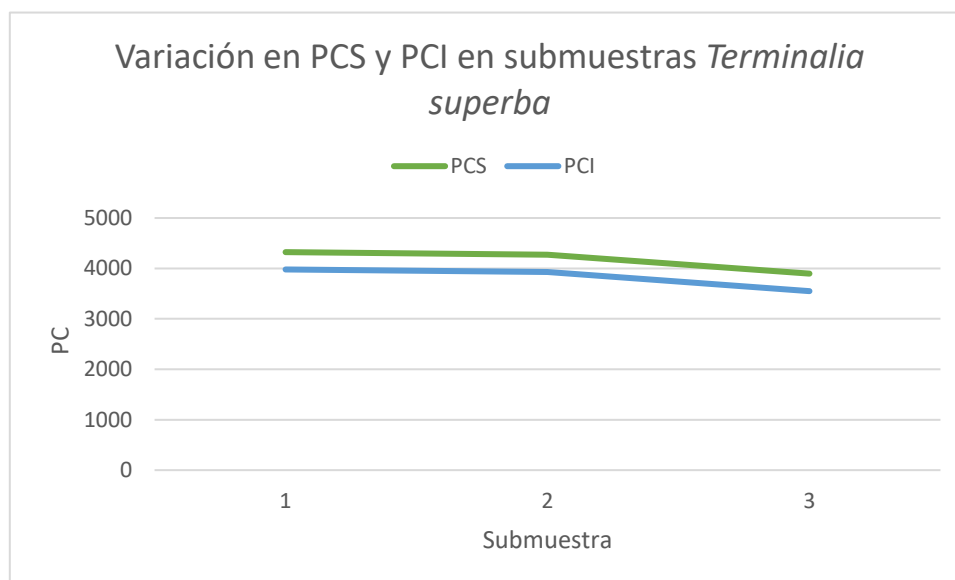
El valor del poder calorífico superior para la especie *Terminalia superba* es de 4165.36 kcal/kg y el poder calorífico inferior promedio es de 3,819.61 kcal/kg, con una diferencia promedio de 345.75 kcal/kg.

En el submuestreo de la especie *Terminalia superba* se pudo observar una variación esperada en sus PCI y PCS, estas diferencias se atribuyen a las diferencias naturales intrínsecas de la composición de la biomasa leñosa. Obteniendo así una diferencia de 426.31 kcal/kg entre el valor máximo y mínimo de poder calorífico superior y una diferencia de 430.34 kcal/kg en el poder calorífico inferior respectivamente.

La figura 9 presenta las variaciones de PCS y PCI para las submuestras de la especie *Ilex tectonica*.

## Figura 9

Variación de PCS y PCI en submuestras de *Terminalia superba*.



En el submuestreo de la especie *Terminalia superba* se pudo observar que la diferencia entre PCS y PCI sigue la misma tendencia, al igual que en sus submuestras. La diferencia es típica de características intrínsecas de la madera.

A continuación, la tabla 16 presenta los resultados de poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI) correspondientes a la especie *Hyeronima alchorneoides*.

**Tabla 16**

*Poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI) de la especie Hyeronima alchorneoides.*

#	PC SUP kcal/kg	PC INF kcal/kg
1	4182.34	3820.63
2	4062.33	3704.07
3	3823.41	3464.2
<b>PROMEDIO</b>	<b>4022.69</b>	<b>3662.97</b>

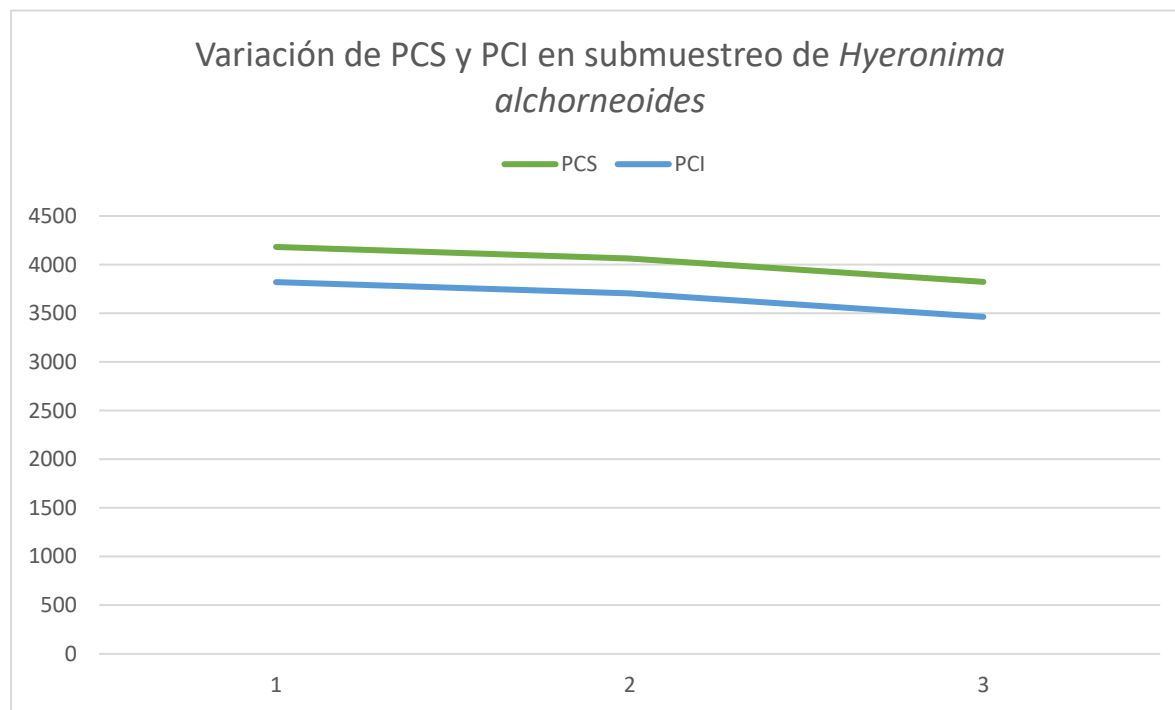
El valor del poder calorífico superior para la especie *Hyeronima alchorneoides* es de 4022.69 kcal/kg y el poder calorífico inferior promedio es de 3,662.97 kcal/kg, con una diferencia promedio de 359.72 kcal/kg.

En el submuestreo de la especie *Terminalia superba* se pudo observar una variación esperada en sus PCI y PCS, estas diferencias se atribuyen a las diferencias naturales intrínsecas de la composición de la biomasa leñosa. Obteniendo así una diferencia de 358.93 kcal/kg entre el valor máximo y mínimo de poder calorífico superior y una diferencia de 356.43 kcal/kg en el poder calorífico inferior respectivamente.

La figura 10 presenta las variaciones de PCS y PCI para las submuestras de la especie *Ilex tectonica*.

**Figura 10**

Variación de PCS y PCI en submuestreo de *Hyeronima alchorneoides*.



La variación en las submuestras es atribuible a la heterogeneidad natural de la biomasa en cuanto a su composición y densidad. Indica un potencial energético favorable.

La tabla 17 presenta los valores correspondientes a poder calorífico superior y poder calorífico inferior promedio para cada una de las especies.

**Tabla 17**

*Poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI) correspondiente a las especies Ilex tectonica, Terminalia superba y Hyeronima alchorneoides.*

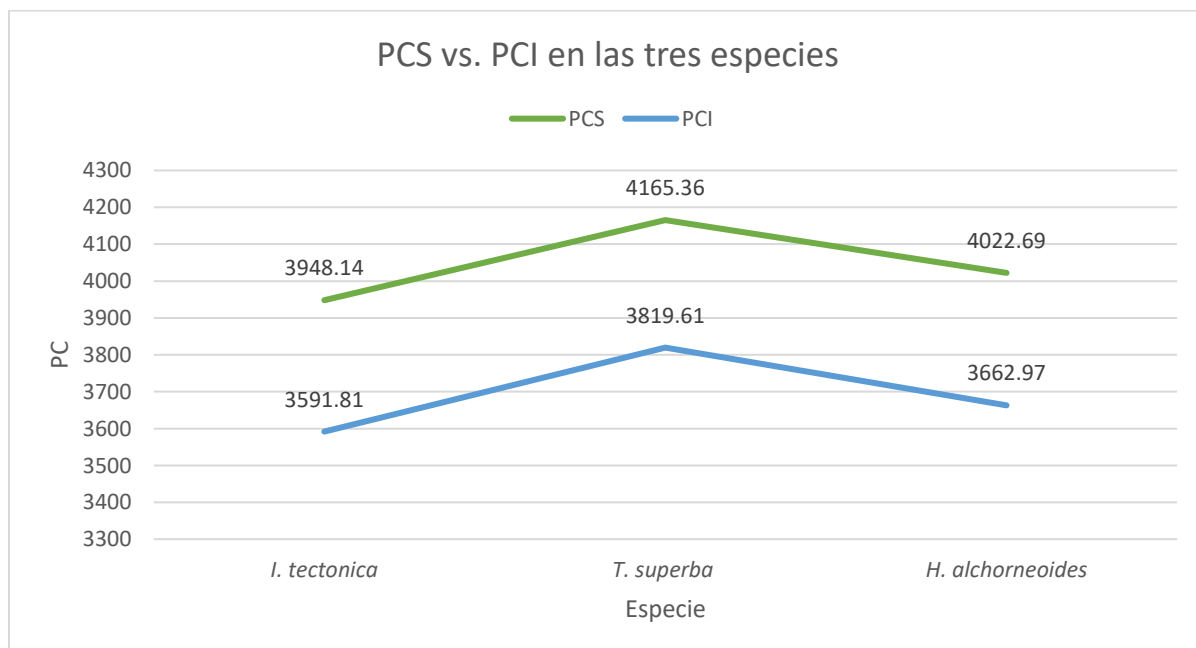
Especie	PC SUP kcal/kg	PC INF kcal/kg
<i>I. tectonica</i>	3948.14	3591.81
<i>T. superba</i>	4165.36	3819.61
<i>H. alchorneoides</i>	4022.69	3662.97

La especie con mayor PCS es *Terminalia superba* con un valor de 4,165.36 kcal/kg, de igual manera, su PCI supera las demás especies con un valor promedio de 3,819.61 kcal/kg. Seguido por la especie *Hyeronima alchorneoides* que presentó valores de PCS de 4,022.69 kcal/kg y 3,662.97 kcal/kg en PCI. La especie con los valores más bajos fue *Ilex tectonica* presentando un PCS de 3,948.14 kcal/kg y 3,591.81 kcal/kg en PCI respectivamente.

A continuación, la figura 11 presenta una comparación entre el valor de poder calorífico superior y poder calorífico inferior correspondientes a las especies: *Ilex tectonica*, *Terminalia superba* y *Hyeronima alchorneoides*.

**Figura 11**

*Comparación entre el valor de poder calorífico superior y poder calorífico inferior correspondientes a las especies: Ilex tectonica, Terminalia superba y Hyeronima alchorneoides.*



Naturalmente, al ser especies distintos sus valores específicos variaron, sin embargo, el rango oscila solo 217.22 kcal/kg, lo que indica que tienen propiedades de combustión muy similares.

### 5.3.2 Contenido de Humedad

El contenido de humedad en la biomasa leñosa es importante para determinar su poder de combustión, en cultivos con fines energéticos se establece que un contenido de humedad apropiado ronda alrededor del 20% para poder ser utilizado como combustible, ya que, a mayor humedad, menor es su valor energético. Mantener la madera por debajo del punto de saturación de las fibras (22% - 50% dependiendo de la especie), contribuye a mantener una buena combustión (ASIDE, 2016).

La tabla 15 sintetiza el contenido de humedad en porcentaje (%) correspondiente al submuestreo para la especie *Ilex tectonica*.

**Tabla 18**

*Contenido de humedad (%) en Ilex tectonica.*

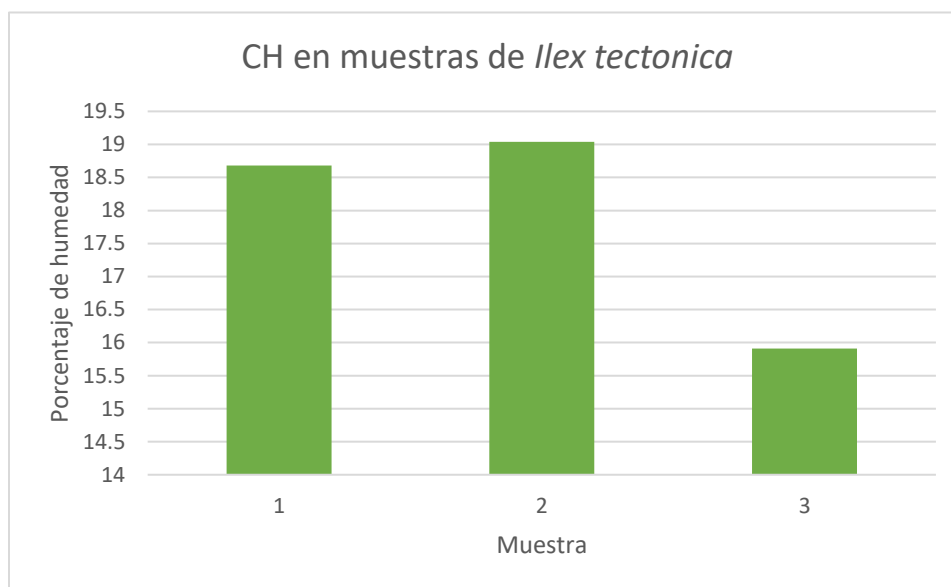
#	Contenido de Humedad (%)
1	18.68
2	19.04
3	15.91
<b>PROMEDIO</b>	<b>17.88</b>

Se tomó una muestra inicial de 500 gramos, la cual se dividió en tres submuestras que arrojaron valores de 18.68%, 19.04% y 15.91% de humedad, lo que indica un contenido de humedad favorable para su combustión adecuada.

La figura 12 representa los cambios en el contenido de humedad para las submuestras de la especie *Ilex tectonica*.

**Figura 12**

*Contenido de humedad en muestras de la especie Ilex tectonica.*



La tabla 19 sintetiza el contenido de humedad en porcentaje (%) correspondiente al submuestreo para la especie *Terminalia superba*.

**Tabla 19**

*Contenido de humedad (%) en Terminalia superba.*

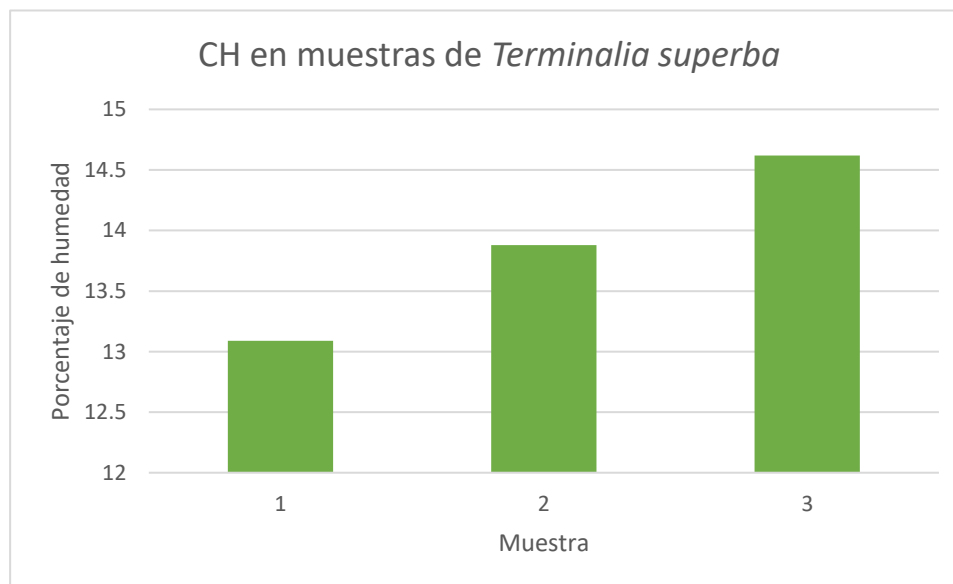
#	Contenido de Humedad (%)
1	13.09
2	13.88
3	14.62
<b>PROMEDIO</b>	<b>13.86</b>

Se tomó una muestra inicial de 500 gramos, la cual se dividió en tres submuestras que arrojaron valores de 13.09%, 13.88% y 14.62% de humedad, lo que indica un contenido de humedad favorable para su combustión adecuada.

La figura 13 representa los cambios en el contenido de humedad para las submuestras de la especie *Terminalia superba*.

### Figura 13

Contenido de humedad (%) en *Terminalia superba*.



Así mismo, para la especie *Hyeronima alchorneoides*, se sustrajo una muestra equivalente a 500 gramos, la cual se submuestreo en tres ejemplares que presentaron los siguientes valores correspondientes a contenido de humedad.

La tabla 20 proporciona los valores de contenido de humedad correspondientes a cada submuestra de la especie *Hyeronima alchorneoides*.

### Tabla 20

Contenido de humedad en *Hyeronima alchorneoides*.

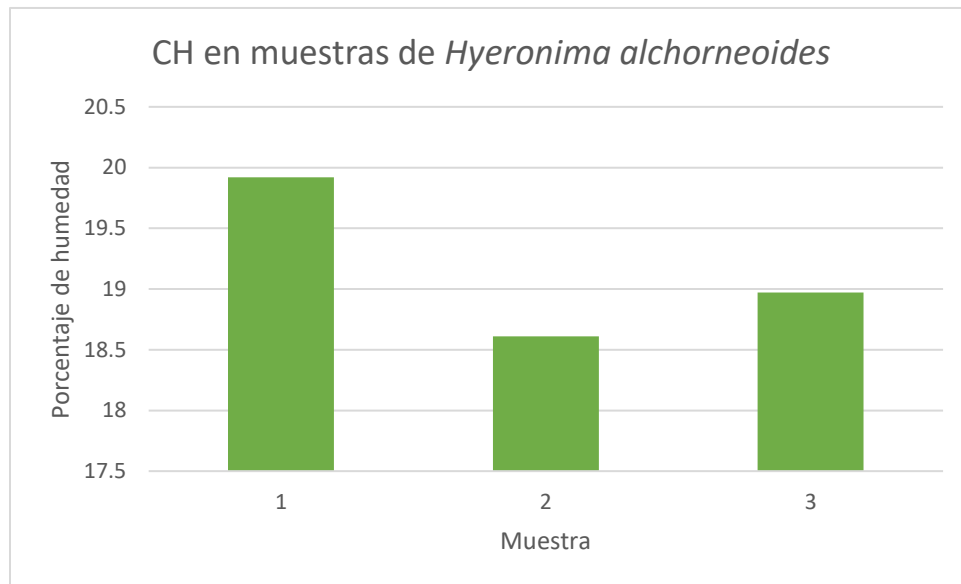
#	Contenido de Humedad (%)
1	18.68
2	19.04
3	15.91
<b>PROMEDIO</b>	<b>17.88</b>

La madera de *Hyeronima alchorneoides* inicialmente presentó un contenido de humedad de 18.68%, la segunda muestra presentó 19.04% y por último 15.91%. Su promedio es de 17.88%, porcentaje que está por debajo del 20% recomendado para biomasa leñosa, lo cual proyecta una biomasa de buena calidad para su utilización como combustible.

La figura 14 muestra las variaciones en el contenido de humedad en el submuestreo de *Hyeronima alchorneoides*.

### Figura 14

*Contenido de humedad en submuestreo Hyeronima alchorneoides.*



La tabla 21 muestra una compilación del contenido de humedad promedio en las especies: *Ilex tectonica*, *Terminalia superba*, y *Hyeronima alchorneoides*.

### Tabla 21

*Contenido de humedad promedio en las especies: Ilex tectonica, Terminalia superba, y Hyeronima alchorneoides.*

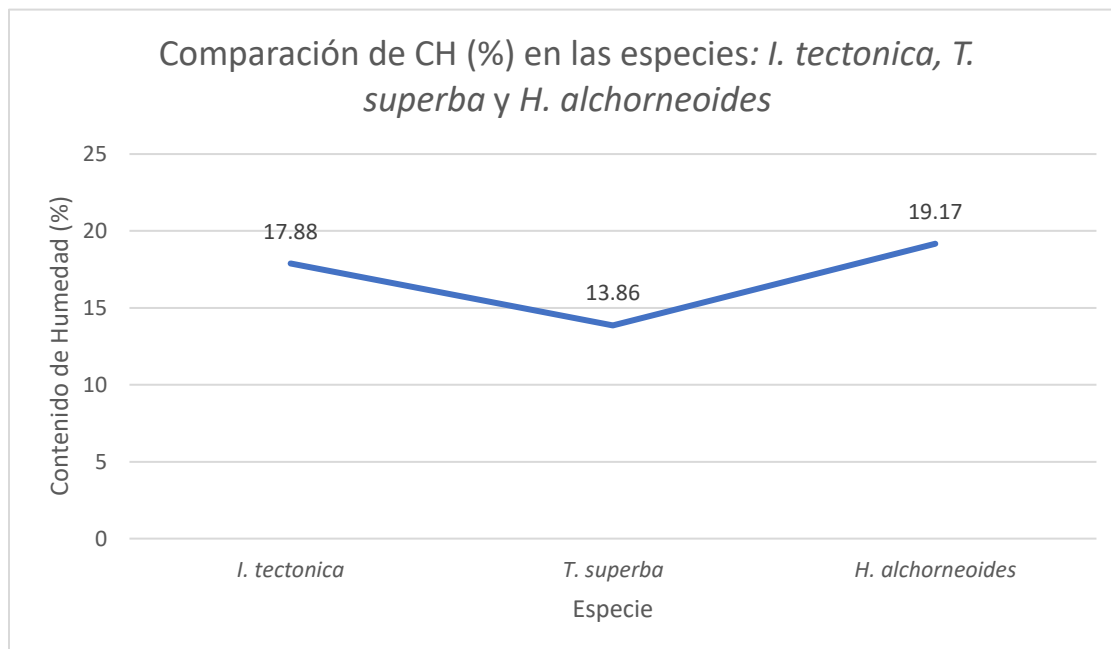
Especie	Contenido de Humedad (%)
<i>I. tectonica</i>	17.88
<i>T. superba</i>	13.86
<i>H. alchorneoides</i>	19.17

La especie con mayor contenido de humedad (%) fue la *Hyeronima alchorneoides* con un 19.17%, seguida de *Ilex tectonica* con un contenido de humedad de 17.88%, por último, la especie con menor contenido de humedad fue *Terminalia superba* con 13.86%.

La figura 15 muestra la comparación del contenido de humedad (%) correspondiente a las especies: *Ilex tectonica*, *Terminalia superba*, y *Hyeronima alchorneoides*.

### Figura 15

Comparación de Contenido de Humedad (%) en las especies: *Ilex tectonica*, *Terminalia superba* y *Hyeronima alchorneoides*.



### 5.3.3 Contenido de Cenizas

Otro factor importante del contenido de energía del biocombustible es el contenido de cenizas, que se mide siempre con referencia al producto en seco y se refiere al residuo sólido que persiste tras una combustión total. Si bien el contenido de ceniza de la leña es generalmente del 1%, algunos combustibles de origen agrícola pueden tener un contenido de ceniza muy elevado. Esto influye en el valor energético de los biocombustibles, dado que las sustancias que forman las cenizas no tienen, por lo general, valor energético (Alvarado y Girón ,2016).

La determinación del contenido de cenizas (%) se lleva a cabo por método gravimétrico el cual consiste en quemar la muestra de madera dentro de crisoles de níquel en placas de calentamiento y posteriormente en una mufle a  $525\pm 25^{\circ}\text{C}$  durante un periodo de 4 horas, de acuerdo con la norma UNE-EN 14775.

A continuación, la tabla 22 presenta el contenido de cenizas en la especie *Ilex tectonica*.

**Tabla 22**

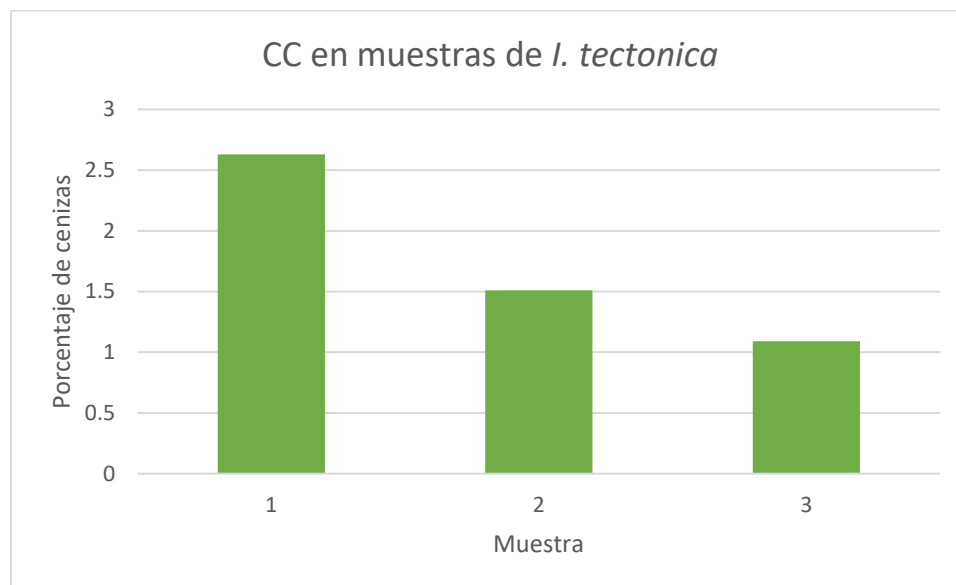
*Contenido de cenizas (%) de la especie Ilex tectonica.*

#	Contenido de Cenizas (%)
1	2.63
2	1.51
3	1.09
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.74</b>

A continuación, en la figura 16 se ilustran los cambios en el contenido de cenizas (%) en el submuestreo de la especie *Ilex tectonica*.

**Figura 16**

Variación en el contenido de ceniza para la especie *Ilex tectonica*.



La Tabla 23 que se presenta a continuación, presenta el contenido de cenizas en la especie *Terminalia superba*.

**Tabla 23**

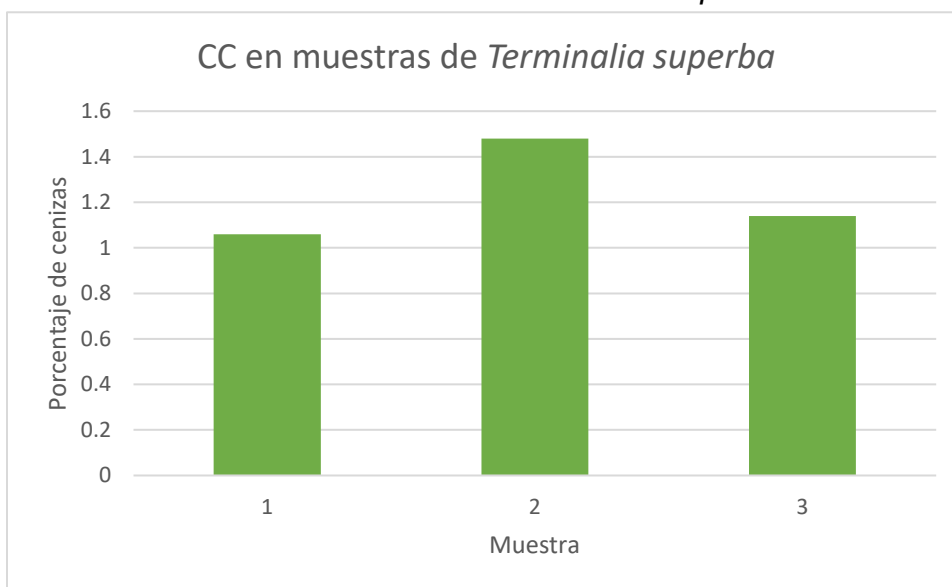
Contenido de cenizas en la especie *Terminalia superba*.

#	Contenido de Cenizas (%)
1	1.06
2	1.48
3	1.14
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.23</b>

Las variaciones en el contenido de cenizas para la especie *Terminalia superba* se ilustran en la figura 17.

**Figura 17**

Contenido de cenizas en el submuestreo *Terminalia superba*.



En la Tabla 24 se muestra el contenido de cenizas (%) en la especie *Hyeronima alchorneoides*.

**Tabla 24**

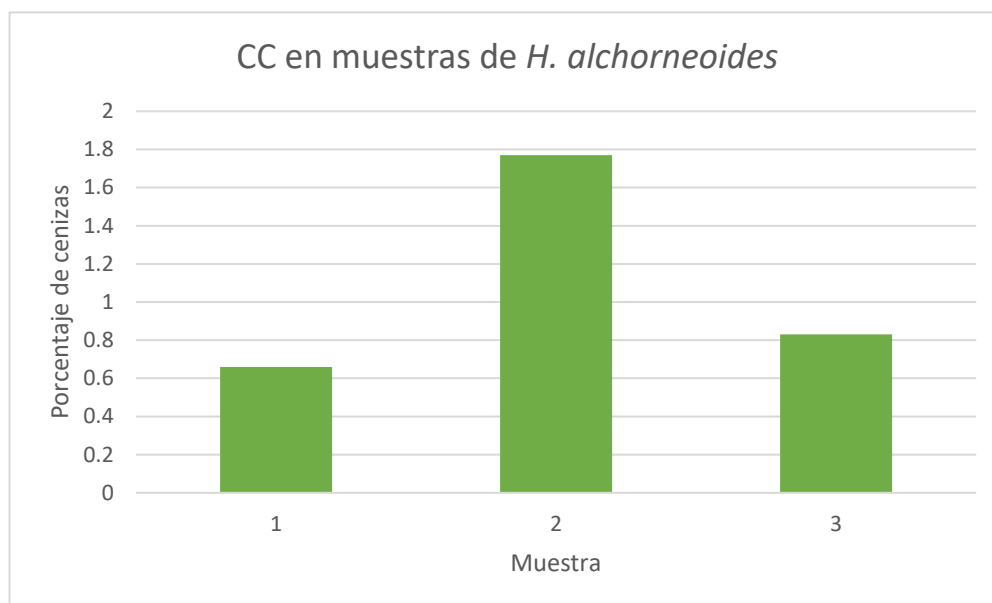
Contenido de cenizas en la especie *Hyeronima alchorneoides*.

#	Contenido de Cenizas (%)
1	0.66
2	1.77
3	0.83
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.08</b>

Las variaciones en el contenido de cenizas de la especie *Hyeronima alchorneoides* se grafican en la figura 18.

**Figura 18**

*Submuestreo contenido de cenizas en la especie Hyeronima alchorneoides.*



Naturalmente, al ser diferentes especies, el contenido de cenizas correspondiente a cada especie tiende a ser diferente, en la tabla 25 se plasman los promedios del CC en porcentaje y se ve así:

Como se puede observar en la Tabla 25 se muestran los diferentes contenidos de cenizas para las tres especies estudiadas.

**Tabla 25**

*Contenido de cenizas (%) para las especies: Ilex tectonica, Terminalia superba y Hyeronima alchorneoides.*

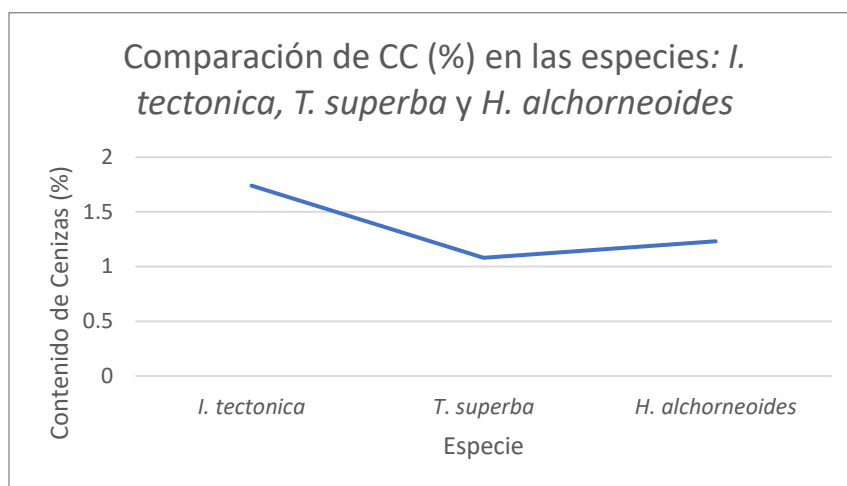
Especie	Contenido de Humedad (%)
<i>I. tectonica</i>	1.74
<i>T. superba</i>	1.08
<i>H. alchorneoides</i>	1.23

El porcentaje de cenizas es similar, aunque no son las mismas especies, la especie con un mayor contenido de cenizas fue la *Ilex tectonica* liderando con un 1.74%, seguida por la *Hyeronima alchorneoides* la cual presentó un 1.23% de cenizas y por último con 1.08% la *Terminalia superba*.

A continuación, en la Figura 19 se observa una comparación del CC (%) en las tres especies estudiadas.

### Figura 19

Comparación de CC (%) en las especies: *I. tectonica*, *T. superba* y *H. alchorneoides*



## 5.4 Resumen de características energéticas por especie

### 5.4.1.1 *Ilex tectonica*

La tabla 26 proporciona los datos de las características energéticas de la especie *Ilex tectonica*.

**Tabla 26**

*Características energéticas de Ilex tectonica.*

#	PC SUP kcal/kg	PC INF kcal/kg	HUM %	CENIZA REC%
1	4053.57	3695.13	18.68	2.63
2	3993.51	3634.12	19.04	1.51
3	3797.33	3446.18	15.91	1.09
<b>PROM</b>	<b>3948.14</b>	<b>3591.81</b>	<b>17.88</b>	<b>1.74</b>

#### 5.4.1.2 *Terminalia superba*

La tabla 27 sintetiza las características energéticas de la especie *Terminalia superba*.

**Tabla 27**

*Características energéticas de la especie Terminalia superba.*

#	PC SUP kcal/kg	PC INF kcal/kg	HUM %	CENIZA REC%
1	4323.82	3980.1	13.09	1.06
2	4274.76	3928.96	13.88	1.48
3	3897.51	3549.76	14.62	1.14
<b>PROM</b>	<b>4165.36</b>	<b>3819.61</b>	<b>13.86</b>	<b>1.23</b>

#### 5.4.1.3 *Hyeronima alchorneoides*

La tabla 28 ilustra las propiedades energéticas de la especie *Hyeronima alchorneoides*.

**Tabla 28**

*Propiedades energéticas de la especie Hyeronima alchorneoides.*

#	PC SUP kcal/kg	PC INF kcal/kg	HUM %	CENIZA REC%
1	4182.34	3820.63	19.92	0.66
2	4062.33	3704.07	18.61	1.77
3	3823.41	3464.2	18.97	0.83
<b>PROM</b>	<b>4022.69</b>	<b>3662.97</b>	<b>19.17</b>	<b>1.08</b>

## CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

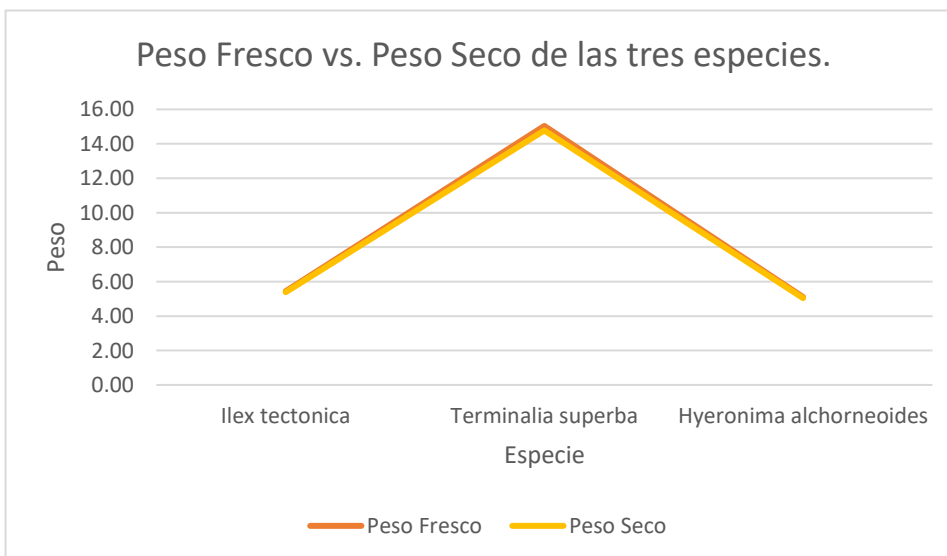
### 6.1 Cuantificación de la Biomasa

Con la metodología empleada para la cuantificación de la biomasa aérea específicamente en ramas, se obtuvieron datos relevantes para poder estimar la producción de biomasa en ramas en estas tres especies establecidas en el sistema agroforestal. Con datos variantes entre ellas, pero aun así prometedores para dar paso a una nueva oportunidad de mercado ya sea internamente en el sitio o externamente en una industria.

A continuación, la Figura 20 ilustra la comparación de la cuantificación de la biomasa aérea en ramas de las especies: *Ilex tectonica*, *Terminalia superba* y *Hyeronima alchorneoides*.

**Figura 20**

*Comparación de biomasa aérea en las tres especies.*



## 6.2 Modelos causales

Los resultados de este estudio demuestran que el volumen de ramas es un predictor excepcionalmente robusto de la biomasa aérea, explicando el 92% de la variabilidad observada ( $R^2 = 0.920$ ). La alta significancia del modelo ( $p < 0.0001$ ) y la fuerza de la relación ( $\beta = 0.609$ ) confirman la solidez de esta variable como base para la estimación. Estos hallazgos son consistentes con el principio físico fundamental que vincula el volumen con la masa, validando el enfoque de modelación causal propuesto. La eficiencia del modelo simple sugiere que la incorporación de variables morfométricas adicionales no genera mejoras sustanciales en la capacidad predictiva, respaldando así la parsimonia del modelo final seleccionado para su aplicación práctica en el manejo forestal de la región.

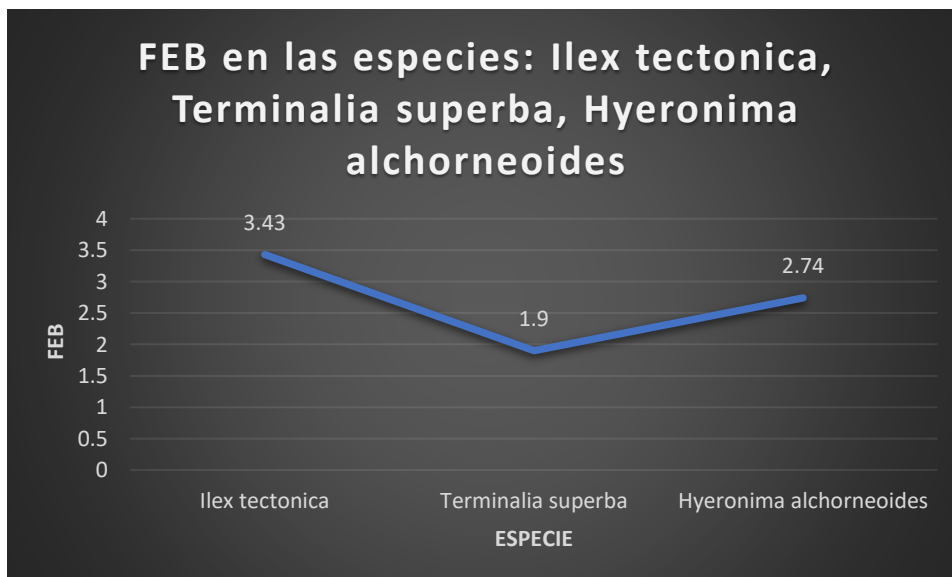
## 6.3 Factores de Expansión de Biomasa

Los factores de expansión de biomasa obtenidos para las tres especies estudiadas son apropiados de acuerdo a la literatura consultada que se incluyó en los antecedentes de esta investigación, dichos antecedentes mencionan valores típicos oscilantes entre 1 a 3.

La comparación de los FEB propios de cada especie se ilustra en la figura 21:

**Figura 21**

*Comparación de FEB en las tres especies.*



Como se puede observar, la especie de la cual se obtuvo mayor biomasa en ramas fue de *Ilex tectonica*, con un promedio de 3.43 kilogramos de ramas por cada metro cúbico de volumen comercial, seguidamente la especie *Hyeronima alchorneoides* tuvo un rendimiento de 2.74 kilogramos de biomasa en ramas por cada metro cúbico de volumen comercial, terminando con la especie *Terminalia superba* que logró 1.9 kilogramos de biomasa aérea en ramas por cada metro cúbico de volumen comercial.

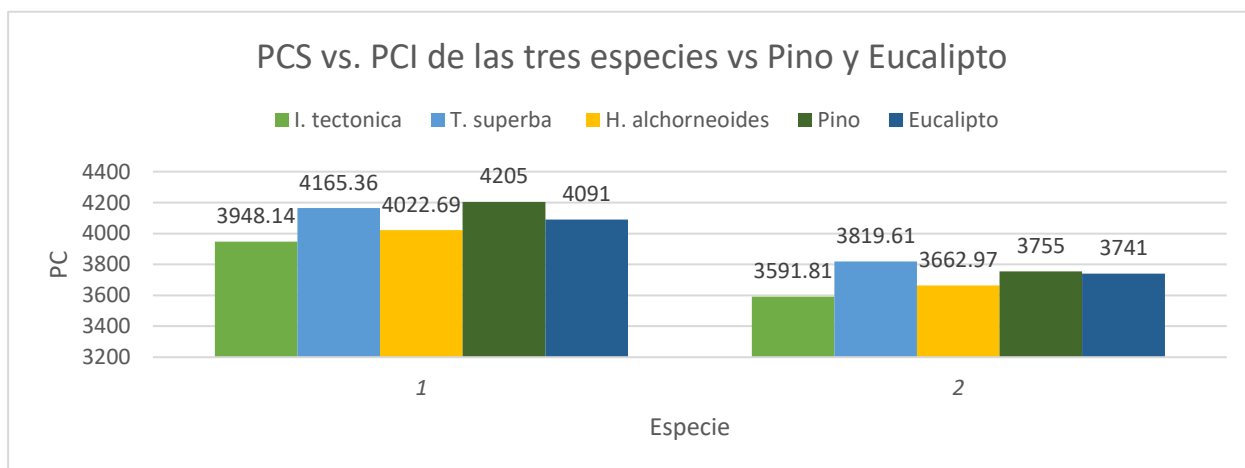
Esta comparación ayuda a realizar planificaciones de aprovechamiento de estos residuos que comúnmente solo se descartan en las industrias madereras y aún más en sistemas agroforestales que priorizan el aprovechamiento del cultivo y la madera comercial y muchas veces desaprovechan el potencial de la biomasa que producen.

#### 6.4 Características energéticas

Las características energéticas de las especies: *Ilex tectonica*, *Terminalia superba* y *Hyeronima alchorneoides* son favorables para su uso como biocombustible y se ilustran en la Figura 25.

**Figura 22**

*PCS y PCI de las tres especies vs Pino y Eucalipto.*



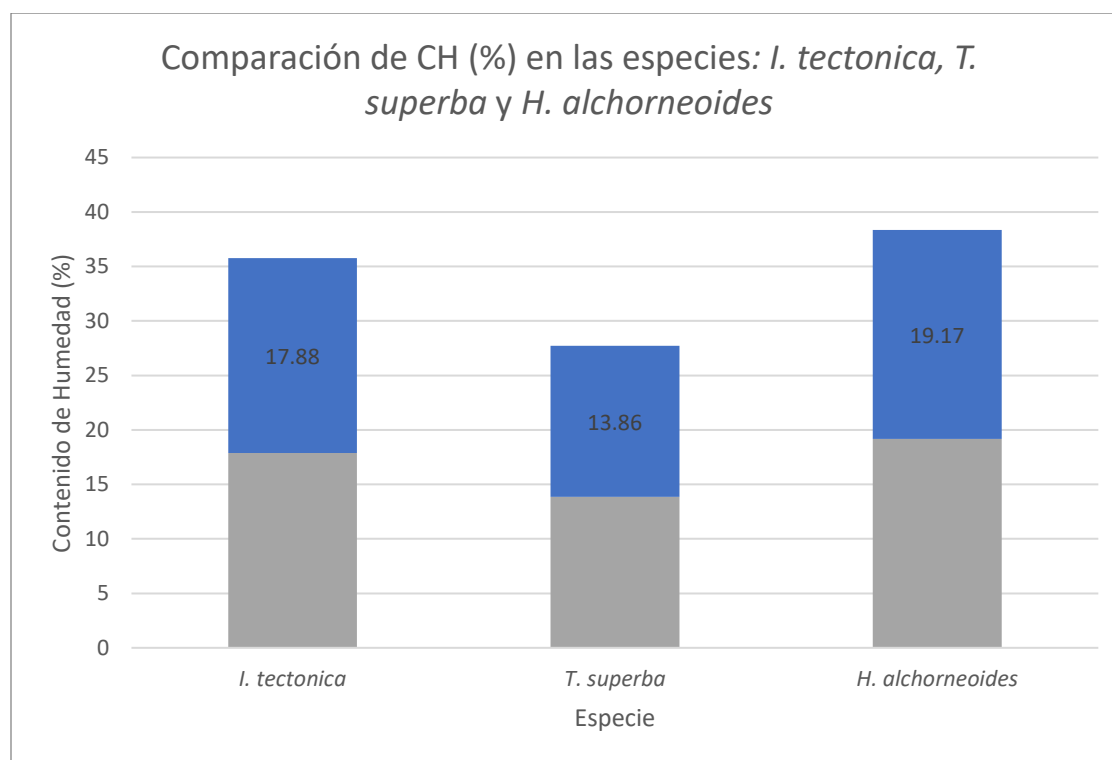
Como se puede observar en el gráfico la *Terminalia superba* tiene un poder calorífico superior similar al poder calorífico superior del Pino, incluso su poder calorífico inferior supera al valor del poder calorífico inferior del Pino. Así mismo, en términos de poder calorífico inferior, la *Hyeronima alchorneoides* se asimila al valor del Pino y Eucalipto.

Estos resultados indican que las especies estudiadas tienen valores de poder calorífico competitivos y pueden ser alternativas para su uso como combustible.

La figura 26 a continuación hace una comparación del contenido de humedad en las tres especies.

### Figura 23

*Comparación del contenido de humedad en las tres especies.*



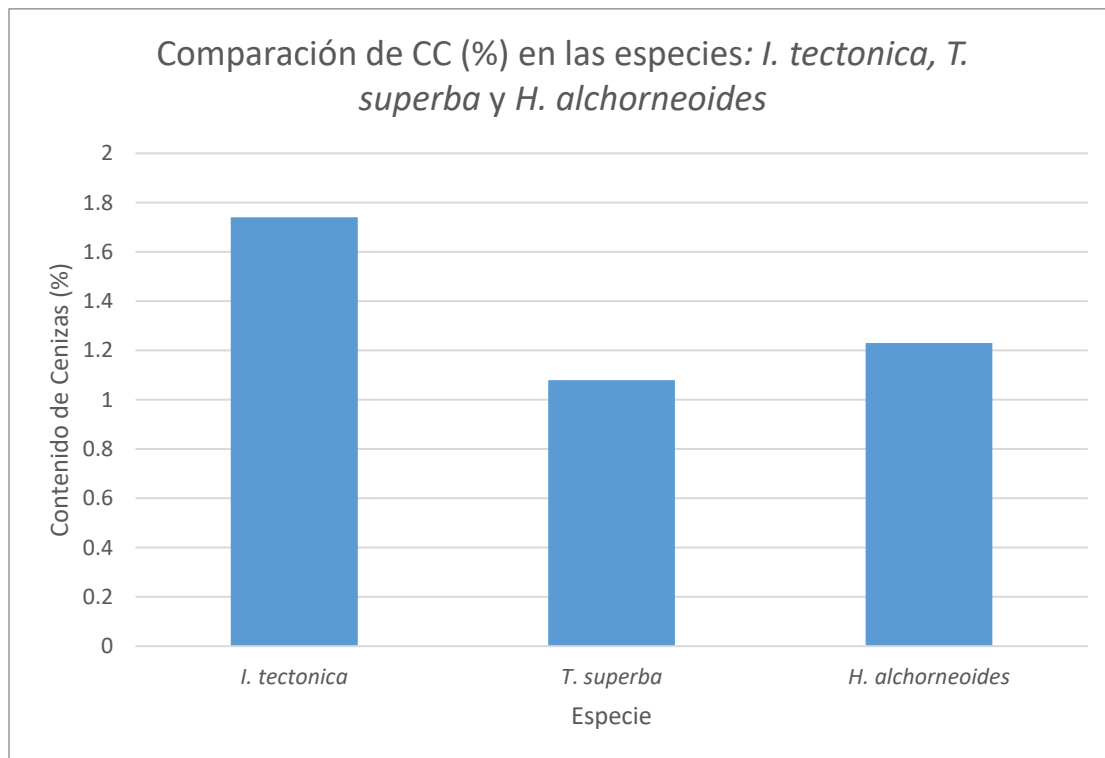
Como se puede observar en el gráfico, la especie con un contenido de humedad más favorable es la *Terminalia superba* con un valor de 13.86%, este contenido de humedad bajo, contribuye a que pueda tener un mejor desarrollo en su combustión. Entre *Ilex tectonica* y *Hyeronima alchorneoides*, sus contenidos de humedad muestran ser muy

similares, por lo que se podría deducir que su calidad en combustión también podría ser similar.

Para discutir el contenido de cenizas, la figura 26 ilustra el valor en porcentaje pertinente a cada especie.

### Figura 24

*Contenido de cenizas en las especies estudiadas.*



Las cenizas generalmente están compuestas por elementos no volátiles como el fósforo y la sílice, un alto porcentaje de estos elementos produce corrosión a los equipos de combustión y requiere de mantenimientos correctivos más frecuentes.

La especie *Ilex tectonica* presenta el contenido de ceniza más alto y *Terminalia superba* el contenido de ceniza más bajo, sin embargo, los tres valores están por debajo del 2% que establecen como límite para biocombustibles en PRESTOL (2016).

Este bajo contenido de cenizas es otro punto a favor de estas tres especies para tener un valor competitivo en el mercado de la biomasa.

## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 Conclusiones

- 7.1.1** En cumplimiento del objetivo 2.2.1, la evaluación de ramas con diámetro superior a una pulgada permitió cuantificar la biomasa aérea en m<sup>3</sup> y t/ha. Los resultados evidencian diferencias notables entre las especies: *Terminalia superba* presentó la mayor acumulación de biomasa (14.78 kg base seca en promedio), seguida de *Hyeronima alchorneoides* y *Ilex tectonica*, demostrando así un mayor potencial de generación de material aprovechable.
- 7.1.2** En relación con el objetivo 2.2.2, los factores de expansión de biomasa (FEB) establecidos mediante métodos directos reflejaron que *Ilex tectonica* posee el mayor FEB (3.43), seguida por *Hyeronima alchorneoides* (2.74) y *Terminalia superba* (1.9). Esto indica que, aunque *T. superba* produce mayor biomasa en términos absolutos, las otras dos especies presentan un mayor rendimiento de biomasa por unidad de volumen comercial.
- 7.1.3** Conforme al objetivo 2.2.3, el modelo causal desarrollado para la estimación de biomasa aérea en ramas demostró alta capacidad predictiva, con un coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  adj. = 0.912). El volumen de ramas resultó ser la variable más influyente, lo que valida la utilidad del modelo para aplicaciones prácticas en inventarios forestales y proyectos de aprovechamiento energético.
- 7.1.4** De acuerdo con el objetivo 2.2.4, las características energéticas de las especies revelan un potencial favorable para uso bioenergético. *Terminalia superba* mostró los valores más altos de poder calorífico (PCS = 4165.36 kcal/kg y PCI = 3819.61 kcal/kg), además del menor contenido de humedad (13.86%), posicionándola como la especie más eficiente en términos energéticos. Sin embargo, *Ilex tectonica* y *Hyeronima alchorneoides* también presentan propiedades adecuadas,

con bajo contenido de cenizas (<2%), lo que asegura un buen desempeño en combustión.

En síntesis, *Terminalia superba* se destaca por su mayor producción de biomasa y superior calidad energética, mientras que *Ilex tectonica* y *Hyeronima alchorneoides* aportan mayor eficiencia volumétrica gracias a sus elevados factores de expansión, lo que sugiere que el uso combinado de las tres especies puede optimizar el aprovechamiento bioenergético en la región de La Másica, Atlántida.

## **7.2 Recomendaciones**

**7.2.1** Utilizar el modelo de regresión desarrollado en este estudio como herramienta para estimar la biomasa aérea en ramas de las tres especies evaluadas, ya que demostró un buen nivel de predicción y puede facilitar futuros inventarios y evaluaciones forestales en La Másica y zonas similares.

**7.2.2** Promover el uso de *Terminalia superba* en proyectos de bioenergía, debido a su mayor producción de biomasa y sus mejores características energéticas, sin descartar a *Ilex tectonica* y *Hyeronima alchorneoides*, que pueden complementar plantaciones mixtas gracias a sus mayores factores de expansión de biomasa.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta Mireles, M., Vargas Hernández, J., Velázquez Martínez, A., & Etchevers Barra, J. D. (2002).

*Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México.*

Agüero y Pisa—*Poder Calorífico del Bagazo de Caña de Azúcar.pdf*. (s. f.). Recuperado 27 de agosto de

2025, de [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/37100917/VCS\\_bagazo\\_cana-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/37100917/VCS_bagazo_cana-libre.pdf?1427213822=&response-content-)

libre.pdf?1427213822=&response-content-

disposition=inline%3B+filename%3DExtension\_Poder\_Calorifico\_del\_Bagazo\_de.pdf&Expires=1

756332452&Signature=VM~7fC9opygcQ5wftbnq7mkDxcmUzO9Int-

1CZrsFCoZScpd4IKXKcan073RGOaqOhbvNI~OHN5dEWWVW2vDW-KYAS~me~i25T8G-

QnihPZXHU4sZEtrz5RL14PHq6YVzPGyeKTGtXAnIJsddUIBlCeFIJKCEiNZ4riZsM8YHfroCrVcTLsepz

RALkkkw7Q07xOqI6L5K-pcIKL-Xbq9-5BEI7oRXPchcSa0ZyK1TrzN-

GR5xykSBZC22wdrSGpKcY5yLjWsrAD3sik4QuzB9FIDyHRKVYJoc7hDQTuAg4GgBqTY3Hg4VWFL8f

WVwqs4xxSDWzg-v0VGE4kb7NiA\_\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Alvarado y Girón—*RECONOCIMIENTO TÉCNICO.pdf*. (s. f.). Recuperado 28 de agosto de 2025, de

[https://fondohonduras.espana.bcie.org/fileadmin/fhe/espanol/archivos/publicaciones/Educacio](https://fondohonduras.espana.bcie.org/fileadmin/fhe/espanol/archivos/publicaciones/Educacion_Superior/7_Estudios_Tecnos_Materiales_Dendroenerg.pdf)

n\_Superior/7\_Estudios\_Tecnos\_Materiales\_Dendroenerg.pdf

Ambiente, P. F. de P. al. (2020, marzo 23). *Importancia de los Ecosistemas Forestales; Especies de los*

*Bosques y Selvas*. gob.mx. [http://www.gob.mx/profepa/articulos/importancia-de-los-](http://www.gob.mx/profepa/articulos/importancia-de-los-ecosistemas-forestales-especies-de-los-bosques-y-selvas?idiom=es)

ecosistemas-forestales-especies-de-los-bosques-y-selvas?idiom=es

- Andres, C., Comoé, H., Beerli, A., Schneider, M., Rist, S., & Jacobi, J. (2016). Cocoa in Monoculture and Dynamic Agroforestry. En E. Lichtfouse (Ed.), *Sustainable Agriculture Reviews* (Vol. 19, pp. 121-153). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_3)
- Arana—*COMO ABORDAR Y RESOLVER ASPECTOS PRÁCTICOS DE MICR.pdf*. (s. f.). Recuperado 27 de agosto de 2025, de [https://ocw.ehu.es/file.php/48/Tema\\_3.\\_calculo\\_de\\_biomasa.pdf](https://ocw.ehu.es/file.php/48/Tema_3._calculo_de_biomasa.pdf)
- Astrain, T., & Olabe, F. (s. f.). Autor: *Fermín Izco Cabezón Colaborador: Ana Ariz Argaya*.
- Avendaño Hernandez, D. M., Acosta Mireles, M., Carrillo Anzures, F., & Etchevers Barra, J. D. (2009). Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. *Revista fitotecnia mexicana*, 32(3), 233-238.
- Aviña, J. C. C., & Cháidez, J. de J. N. (2020). ECUACIONES ADITIVAS PARA ESTIMAR COMPONENTES DE VOLUMEN PARA *Pinus teocote* Schl. DE DURANGO, MÉXICO. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 27(91), 67-81.
- Benitez Ramos, R., & Montesinos Lagos, J. (1988). *Catálogo de cien especies forestales de Honduras: Distribución, propiedades y usos*. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/2408>
- Biomasa Forestal – Xarxa Forestal*. (s. f.). Recuperado 9 de enero de 2025, de <https://xarxaforestal.org/es/biomasa-forestal/>
- Biomass Productivity—An overview | ScienceDirect Topics*. (s. f.). Recuperado 27 de agosto de 2025, de <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/biomass-productivity>
- Brown, S. (1997). Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: A Primer. *FAO FORESTRY PAPER*, 134. <https://www.fao.org/4/w4095e/w4095e00.htm>
- Calorific value measurement. (s. f.). *Calnesis Laboratory*. Recuperado 28 de agosto de 2025, de <https://www.calnesis.com/en/measurements/calorific-value/>

- Chávez-Pascual, E. Y., Rodríguez-Ortiz, G., Carrillo-Rodríguez, J. C., Enríquez-del Valle, J. R., Chávez-Servia, J. L., & Campos-Ángeles, G. V. (2013). Factores de expansión de biomasa aérea para *Pinus chiapensis* (Mart.) Andresen. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(SPE6), 1273-1284.
- CONABIO. (s. f.). *Maderable*. Biodiversidad Mexicana. Recuperado 28 de mayo de 2025, de <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/maderable>
- Curro Antezana, I. (2019). Poder calorífico del carbón de madera de tres especies forestales—Distrito Mariscal Cáceres—Huancavelica. *Universidad Nacional del Centro del Perú*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5919>
- Curso\_inventarios\_forestales.pdf*. (s. f.). Recuperado 27 de agosto de 2025, de [https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/1056/Curso\\_inventarios\\_forestales.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/1056/Curso_inventarios_forestales.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Díaz-Franco, R. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. Et Cham. *Madera bosques*, 25-34.
- Diseno-de-parcelas-dendroenergeticas-Olanchito.pdf*. (s. f.). Recuperado 28 de agosto de 2025, de [https://asidehonduras.org/download/parcelas\\_dendroenergeticas/Diseno-de-parcelas-dendroenergeticas-Olanchito.pdf](https://asidehonduras.org/download/parcelas_dendroenergeticas/Diseno-de-parcelas-dendroenergeticas-Olanchito.pdf)
- Estructura-y-Crecimiento-del-Bosque.pdf*. (s. f.). Recuperado 28 de mayo de 2025, de [https://www.researchgate.net/profile/Klaus-Gadow/publication/265270198\\_Estructura\\_y\\_Crecimiento\\_del\\_Bosque/links/54386dc40cf204cab1d6d4a6/Estructura-y-Crecimiento-del-Bosque.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Klaus-Gadow/publication/265270198_Estructura_y_Crecimiento_del_Bosque/links/54386dc40cf204cab1d6d4a6/Estructura-y-Crecimiento-del-Bosque.pdf)
- FAO. (2015). *Información más detallada | Conjunto de herramientas GFS | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules-alternative/forest-inventory/in-more-depth/es/>

*Fao.org/4/ae218s/ae218s06.htm*. (s. f.). Recuperado 5 de abril de 2025, de

<https://www.fao.org/4/ae218s/ae218s06.htm>

*Fao.org/4/ah645s/ah645s04.htm*. (s. f.). Recuperado 26 de agosto de 2025, de

<https://www.fao.org/4/ah645s/ah645s04.htm>

*Fao.org/4/j5484s/j5484s12.htm*. (s. f.). Recuperado 28 de mayo de 2025, de

<https://www.fao.org/4/j5484s/j5484s12.htm>

Fernández, P. A. T. (2016). *Acerca de los enfoques cuantitativo y cualitativo en la investigación educativa cubana actual*. 2.

FHIA. (2023). *Fundación Hondureña de Investigación Agrícola*.

[http://www.fhia.org.hn/descargas/informes\\_tecnicos/inf\\_Programa\\_de\\_Cacao\\_y\\_Agroforesteria-2023.pdf](http://www.fhia.org.hn/descargas/informes_tecnicos/inf_Programa_de_Cacao_y_Agroforesteria-2023.pdf)

Flores, E. M. (1998). *Hyeronima alchorneoides* Allemão.

Flores, L., Ruiz, A., & Oscanoa, A. (2021). Protocolo para determinación de cenizas de microalgas liofilizadas. *Instituto del Mar del Perú - IMARPE*.

<https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/3537>

Forest Development Types. (s. f.). *Forest Research*. Recuperado 27 de agosto de 2025, de

<https://www.forestresearch.gov.uk/tools-and-resources/fthr/forest-development-types/>

Gárate, M., & Blanco, J. A. (2014). Importancia de la caracterización de la masa de raíces en la simulación de ecosistemas forestales: *Ecosistemas*, 22(3), 66-73. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2013.22-3.10>

Garzuglia, M., & Saket, M. (2003a). *Wood volume and woody biomass: Review of FRA 2000 estimates*.

Garzuglia, M., & Saket, M. (2003b). *Wood volume and woody biomass: Review of FRA 2000 estimates*.

Hernández-Díaz, N., Yelandy-Leyva, M., & Cuza-García, B. (2013). Modelos causales para la Gestión de Riesgos. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 7(4), 58-74.

Hernández-Ramos, J., Santos-Posadas, H. M. D. los, Valdez-Lazalde, J. R., Tamarit-Urias, J. C., Ángeles-Pérez, G., Hernández-Ramos, A., Peduzzi, A., Carrero, O., Hernández-Ramos, J., Santos-Posadas, H. M. D. los, Valdez-Lazalde, J. R., Tamarit-Urias, J. C., Ángeles-Pérez, G., Hernández-Ramos, A., Peduzzi, A., & Carrero, O. (2017). Biomasa aérea y factores de expansión en plantaciones forestales comerciales de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *Agrociencia*, 51(8), 921-938.

*Honduras: Administrative Division (Departments and Municipalities)—Population Statistics, Charts and Map.* (s. f.). Recuperado 26 de agosto de 2025, de <https://www.citypopulation.de/en/honduras/admin/>

Informatica 2025, D.-S., Unidad de. (s. f.). *Atlántida*. Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria. Recuperado 26 de agosto de 2025, de <http://dicta.gob.hn/atlantida-.html>

Kanninen, M. (2002). *Hernandez*.

*LA\_BIOMASA\_FORESTAL.pdf.* (s. f.). Recuperado 7 de enero de 2025, de [https://www.agenex.net/documentos-ap/noticias/LA\\_BIOMASA\\_FORESTAL.pdf](https://www.agenex.net/documentos-ap/noticias/LA_BIOMASA_FORESTAL.pdf)

Ma, T., Zhang, C., Ji, L., Zuo, Z., Beckline, M., Hu, Y., Li, X., & Xiao, X. (2024). Development of forest aboveground biomass estimation, its problems and future solutions: A review. *Ecological Indicators*, 159, 111653. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111653>

*MAMUCA – Sitio Web Oficial.* (s. f.). Recuperado 26 de agosto de 2025, de <https://mamuca.org/>

*Másica—2022—MUNICIPALIDAD LA MASICA.pdf.* (s. f.). Recuperado 26 de agosto de 2025, de [https://portalunico.iaip.gob.hn/ver\\_archivo/MTcyOTI1Nw==](https://portalunico.iaip.gob.hn/ver_archivo/MTcyOTI1Nw==)

*Mibel\_Estudo\_PRE\_ES\_201803.pdf.* (s. f.). Recuperado 29 de agosto de 2025, de [https://www.mibel.com/wp-content/uploads/2018/08/Mibel\\_Estudo\\_PRE\\_ES\\_201803.pdf](https://www.mibel.com/wp-content/uploads/2018/08/Mibel_Estudo_PRE_ES_201803.pdf)

Montagnini, F., Somarriba, E., Fassola, H., & Eibl, B. (2015). Sistemas agroforestales: Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. *Serie técnica. Informe técnico*.

- Müggenburg Rodríguez V. y Pérez Cabrera—2018—Tipos de estudio en el enfoque de investigación *cu.pdf*. (s. f.). Recuperado 21 de octubre de 2025, de <https://www.redalyc.org/pdf/3587/358741821004.pdf>
- Návar, J. (2010). Measurement and assessment methods of forest aboveground biomass: A literature review and the challenges ahead. *Biomass*, 27-64.
- Nogueira, L. A. H., Lora, E. E. S., Trossero, M., & Frisk, T. (2003). *Dendroenergía: Fundamentos e aplicações* (Vol. 199). Interciência Rio de Janeiro.
- Oliveros T., C. E., Lopez V., L., Buitrago, C. M., & Moreno C., E. L. (2014). *Determinación del contenido de humedad del café durante el secado en silos*. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/488>
- On Sang López, G., Martínez, & Castillo Martínez, J. (2004). *Potencial de biomasa generada por los aprovechamientos y procesamientos forestales para la producción de dendroenergía en el Municipio de Rosita, año 2003* [Diploma, Universidad de las Regiones Autónomas de la Costa Caribe Nicaragüense (URACCAN)]. [http://repositorio.uraccan.edu.ni/823/Pd8-92-4\\_rev2\(F\)\\_s\\_pg1-169\\_Manual\\_de\\_Dendrología\\_S.pdf](http://repositorio.uraccan.edu.ni/823/Pd8-92-4_rev2(F)_s_pg1-169_Manual_de_Dendrología_S.pdf). (s. f.). Recuperado 9 de enero de 2025, de [https://www.itto.int/files/itto\\_project\\_db\\_input/2017/Technical/pd8-92-4%20rev2\(F\)%20s%20pg1-169\\_Manual%20de%20Dendrolog%C3%ADa\\_S.pdf](https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2017/Technical/pd8-92-4%20rev2(F)%20s%20pg1-169_Manual%20de%20Dendrolog%C3%ADa_S.pdf)
- Ponce, C., & Alejandrina, E. (s. f.). *Caracterización ecológica y dendroenergetica de 20 especies de zonas altas de Honduras*.
- Ramirez, O. (2021). *Evaluación productiva y potencial de ingresos económicos de 12 sistemas agroforestales con cacao (Theobroma cacao L.) en la zona norte de Honduras* [Maestría, CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA]. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/11546>

*RELACIONES DE CONVERSIÓN ENTRE DENSIDAD BÁSICA Y DENSIDAD SECA DE MADERA* | Revista de

*Ciencia y Tecnología*. (s. f.). Recuperado 27 de agosto de 2025, de

<https://www.fceqyn.unam.edu.ar/recyt/index.php/recyt/article/view/594>

*Residuos agrícolas y forestales: Definición y tratamiento* | Blog UE. (s. f.). Recuperado 28 de mayo de

2025, de <https://universidadeuropea.com/blog/residuos-agricolas-forestales/>

*Riaño Melo y Lizarazo—2016—ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE MADERA EN ÁRBOLES MEDIAN.pdf*. (s. f.).

Recuperado 26 de octubre de 2025, de <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v20n1/v20n1a05.pdf>

Rodríguez-Ortiz, G., García-Aguilar, J. Á., Leyva-López, J. C., Ruiz-Díaz, C., Enríquez-del Valle, J. R.,

Santiago-García, W., Rodríguez-Ortiz, G., García-Aguilar, J. Á., Leyva-López, J. C., Ruiz-Díaz, C.,

Enríquez-del Valle, J. R., & Santiago-García, W. (2019). Biomasa estructural y por compartimentos

en regeneración de *Pinus patula* en áreas con matarrasa. *Madera y bosques*, 25(1).

<https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511713>

Sandoval, C. H., & Ramfrez, J. A. (1999). *Manuel Hernandez Paz, Director Ejecutivo ESNACIFOR.*

*Sm2008-m219-1096.pdf*. (s. f.). Recuperado 26 de octubre de 2025, de

[https://www.cenam.mx/simposio2008/sm\\_2008/memorias/m2/sm2008-m219-1096.pdf](https://www.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/m2/sm2008-m219-1096.pdf)

Solano, D., Vega, C., Eras, V. H., & Cueva, K. (2014). Generación de modelos alométricos para determinar

biomasa aérea a nivel de especies, mediante el método destructivo de baja intensidad para el

estrato de bosque seco pluviestacional del Ecuador. *Cedamaz*, 4(1).

Soriano-Luna, M. de los Á., Ángeles-Pérez, G., Martínez-Trinidad, T., Plascencia-Escalante, F. O., & Razo-

Zárate, R. (2015). Estimación de biomasa aérea por componente estructural en Zacualtipán,

Hidalgo, México. *Agrociencia*, 49(4), 423-438.

*Unidades de medidas*. (s. f.). Recuperado 28 de mayo de 2025, de

<https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea15s/ch12.htm>

Vásquez, A., & Arellano, H. (2012). Estructura, Biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques del Sur y Noroccidente de Córdova. *arXiv preprint arXiv:1208.0248*.

*Vol15\_no1\_art2.pdf*. (s. f.). Recuperado 6 de febrero de 2025, de

[http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos\\_RFP/Vol15\\_no1\\_88\\_\(21\)/vol15\\_no1\\_art2.pdf](http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol15_no1_88_(21)/vol15_no1_art2.pdf)

## ANEXOS



**Anexo 1** Medición de DAP en ejemplares de *Ilex tectonica*, *Terminalia superba* y *Hyeronima alchorneoides*.



**Anexo 2** *Medición de ramas en las distintas especies.*



**Anexo 3** *Toma de datos de fuste comercial.*



**Anexo 4** *Pesado de ramas.*



### ANALISIS DE BIOMASA

#### LABORATORIO CEPCO

FECHA :	Tuesday, August 12, 2025			
MUESTRA :	ROSITA			
PROVEEDOR :	OSCAR PADILLA			
	PC SUP	PC INF	HUM	CENIZA
#	kcal/kg	kcal/kg	%	REC %
1	4,323.82	3,980.10	13.09	1.06%
2	4,274.76	3,928.96	13.88	1.48%
3	3,897.51	3,549.76	14.62	1.14%
<b>PROMEDIO:</b>	<b>4,165.36</b>	<b>3,819.61</b>	<b>13.86</b>	<b>1.23%</b>

LOS RESULTADOS SE OBTUVIERON DE LAS MUESTRAS TAL Y COMO SE RECIBIERON, SIN TRATAMIENTO PREVIO POR PARTE DEL LABORATORIO.

*Anexo 5 Resultados de análisis de laboratorio para la especie Terminalia superba.*



### ANALISIS DE BIOMASA

#### LABORATORIO CEPCO

FECHA :	Tuesday, August 12, 2025			
MUESTRA :	LIMBA			
PROVEEDOR :	MILTON DISCUA			
	PC SUP	PC INF	HUM	CENIZA
#	kcal/kg	kcal/kg	%	REC %
1	3,909.94	3,909.94	3,571.12	5.33%
2	4,093.28	4,093.28	3,757.68	1.67%
3	3,844.36	3,844.36	3,502.57	1.72%
<b>PROMEDIO:</b>	<b>3,949.19</b>	<b>3,949.19</b>	<b>3,610.45</b>	<b>2.90%</b>

LOS RESULTADOS SE OBTUVIERON DE LAS MUESTRAS TAL Y COMO SE RECIBIERON, SIN TRATAMIENTO PREVIO POR PARTE DEL LABORATORIO.

*Anexo 6 Resultados de laboratorio para la especie Hyeronima alchorneoides.*



## ANALISIS DE BIOMASA

### LABORATORIO CEPCO

FECHA : Tuesday, August 12, 2025

MUESTRA : JUAN ARENO

PROVEEDOR : EMILY GIRON

	PC SUP	PC INF	HUM	CENIZA
#	kcal/kg	kcal/kg	%	REC %
1	4,053.57	3,695.13	18.68	2.63%
2	3,993.51	3,634.12	19.04	1.51%
3	3,797.33	3,446.18	15.91	1.09%
<b>PROMEDIO:</b>	<b>3,948.14</b>	<b>3,591.81</b>	<b>17.88</b>	<b>1.74%</b>

LOS RESULTADOS SE OBTUVIERON DE LAS MUESTRAS TAL Y COMO SE RECIBIERON, SIN TRATAMIENTO PREVIO POR PARTE DEL LABORATORIO.

*Anexo 7 Resultados de análisis de laboratorio para la especie Ilex tectonica.*

## DECLARACIÓN

Yo, **Emily Johana Girón Peralta**, por este medio declaro que la idea original de este tema fue proporcionada por **MSc Oscar Ramírez**, y el título del estudio: **Evaluación de la Biomasa Aérea y Factores de Expansión de Biomasa de Tres Especies: *Ilex Tectonica, Terminalia superba* y *Hyeronima alchorneoides* en el Municipio de La Másica, Atlántida, Honduras** ha sido elaborado a través de mi propia iniciativa, realizando la revisión de literatura de las referencias citadas. Es de mi conocimiento que este estudio de investigación no es un duplicado de ningún trabajo previamente presentado a una universidad, institución o casa de estudios superiores.

Nombre y firma del estudiante: Emily Girón

Lugar y fecha: Siquatepeque, Comayagua. Noviembre 2025