



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

“DETERMINACIÓN DE LA DURABILIDAD NATURAL DE LA ALBURA
Y DURAMEN DE *Juglans neotropica* y *Pouteria caimito* EN EL CAMPUS
YUYUCOCHA”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título en Ingeniería Forestal

Línea de investigación: Desarrollo agropecuario y forestal sostenible

AUTOR:

Mónica Jacqueline Cunduri Mayorga

DIRECTOR:

Ing Hugo Orlando Paredes Rodríguez Msg.

Ibarra – Ecuador (2026)



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Cunduri Mayorga Mónica Jacqueline

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Determinación de la durabilidad natural de la albura y duramen de <i>Juglans neotropica</i> y <i>Pouteria caimito</i> en el Campus Yuyucocha
AUTOR:	Cunduri Mayorga Mónica Jacqueline
FECHA:	20/05/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
CARRERA/PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Forestal
DIRECTOR:	Ing Hugo Orlando Paredes Rodríguez Msg.

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 20 días, del mes de mayo de 2026

EL AUTOR:

.....
Mónica Jacqueline Cunduri Mayorga

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 20 de mayo de 2026

Ing. Hugo Orlando Paredes Rodríguez, Mgs.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

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

.....
Ing. Hugo Orlando Paredes Rodríguez, Mgs.

C.C.: 1600285702

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “Determinación de la durabilidad natural de la albura y duramen de *Juglans neotropica* y *Pouteria caimito* en el Campus Yuyucocha” elaborado por Mónica Jacqueline Cunduri Mayorga, previo a la obtención del título del Ingeniera Forestal, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

.....
Ing. Hugo Orlando Paredes Rodríguez, Mgs

C.C.: 1600285702

.....
Ing. Eduardo Jaime Chagna Avila, Mgs.
C.C.:1001579422

DEDICATORIA

Dedico esta nueva meta a Jacqueline pequeña con miedo al futuro, agradezco a todas las personas que me acompañaron en este largo trayecto, me apoyaron, guiaron, instruyeron y principalmente creyeron en mí, está es una sola cosa más en mi lista de cosas por cumplir. Gracias a Dios y a la virgen María, misma que escucho miles de oraciones por permitirme continuar acompañada de las personas que amo.

AGRADECIMIENTO

Eternamente agradecida con mi bella madre, Mónica Mayorga, por siempre confiar en mí, por inspirarme a diario y enseñarme a nunca conformarme ni rendirme; que los obstáculos están en la mente y que los últimos serán primeros. Gracias por cada corrección, por forjar mi carácter, por trabajar incansablemente por mis hermanos y por mí, y por dejar de lado sus sueños por nosotros.

A mi padre, Rodrigo Trujillo, por su paciencia y apoyo, por levantarse temprano para llevarme a clases desde pequeña, aun cuando no era su obligación, por amarme y tratarme como a una hija.

A mi pareja, Xavier Aguirre, por estar conmigo desde el inicio y no dejarme desfallecer, por limpiar mis lágrimas en momentos de desesperación y miedo, y por sostenerme siempre desde el amor y el respeto.

A mis hermanos, Fernanda, Josué y Linda, gracias por estar para mí en cada etapa, por sus consejos y por hacer de mi niñez, adolescencia y adultez etapas profundamente felices; alegran mi vida con solo existir.

A mis sobrinas, Sofía y Lhía, desde el fondo de mi corazón deseo que sean mujeres de excelente carácter; siempre las amaré y apoyaré en cada paso de sus vidas.

Gracias, Ingeniero Guillermo, por no dejar que me rinda, por aconsejarme a diario y guiarme durante todo el proceso con paciencia y fé.

También a mis amigos, que más que amigos serán colegas, que ocuparán eternamente un lugar en mi corazón y de quienes me siento profundamente orgullosa.

Que Dios bendiga y multiplique todo lo que han hecho por mí, estoy eternamente agradecida. Sepan que todo lo que soy y seré es por y para cada uno de ustedes.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la durabilidad natural de la madera de *Pouteria caimito* y *Juglans neotropica* bajo condiciones edafoclimáticas del Campus Yuyucocha, Ibarra–Ecuador, con la finalidad de generar información técnica que permita conocer el uso adecuado y manejo sostenible de dichas especies de importancia. La investigación se llevo a cabo mediante un ensayo de campo denominado método de cementerio de estacas en un periodo de seis meses, evaluando propiedades organolépticas y físicas como densidad básica y pérdida de peso de manera mensual.

La densidad básica se determinó a partir de la relación entre peso seco y volumen, registrándose valores de 0,89 y 0,91 g/cm³ para *Pouteria caimito* (albura y duramen), clasificándola como madera pesada; mientras que *Juglans neotropica* presentó valores de 0,50 y 0,52 g/cm³, correspondientes a madera de densidad media. La pérdida de peso osciló entre 8,94 % y 9,66 % en *Pouteria caimito*, y entre 21,43 % y 23,34 % en *Juglans neotropica*.

Mediante el análisis de varianza (ANOVA), se obtuvo un p-valor menor a 0,001 para la fuente de variación especie, lo que indica diferencias significativas en la pérdida de peso entre ambas especies y no se demoraron diferencias significativas entre componentes de la madera (albura y duramen) presentando un p-valor de 0,05. Según la clasificación EN 350, *Pouteria caimito* se ubica en la Clase I (muy alta durabilidad), mientras que *Juglans neotropica* corresponde a la Clase IV (baja durabilidad).

Palabras clave: Durabilidad natural, densidad básica, pérdida de peso, madera, *Pouteria caimito*, *Juglans neotropica*.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the natural durability of the wood of *Pouteria caimito* and *Juglans neotropica* under edaphoclimatic conditions of the Yuyucocha Campus, Ibarra–Ecuador, with the purpose of generating technical information that allows knowing the appropriate use and sustainable management of these important species. The research was carried out through a field trial called the stake cemetery method over a period of six months, evaluating organoleptic and physical properties such as basic density and weight loss on a monthly basis.

The basic density was determined from the relationship between dry weight and volume, recording values of 0.89 and 0.91 g/cm³ for *Pouteria caimito* (sapwood and heartwood), classifying it as heavy wood; while *Juglans neotropica* presented values of 0.50 and 0.52 g/cm³, corresponding to medium density wood. Weight loss ranged between 8.94% and 9.66% in *Pouteria caimito*, and between 21.43% and 23.34% in *Juglans neotropica*.

Through the analysis of variance (ANOVA), a p-value less than 0.001 was obtained for the source of variation species, which indicates significant differences in weight loss between both species and no significant differences were demonstrated between wood components (sapwood and heartwood), presenting a p-value of 0.05. According to the EN 350 classification, *Pouteria caimito* is located in Class I (very high durability), while *Juglans neotropica* corresponds to Class IV (low durability).

Keywords: Natural durability, basic density, weight loss, wood, *Pouteria caimito*, *Juglans neotropica*.

LISTA DE SIGLAS

MAE. Ministerio del Ambiente y Energía.

MAG. Ministerio de Agricultura y Ganadería.

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

INAMHI. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – Ecuador.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	12
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	13
JUSTIFICACIÓN.....	13
Objetivos	15
1.1.1. Objetivo General.....	15
1.1.2. Objetivos Específicos.....	15
Hipótesis o preguntas de investigación.....	15
CAPÍTULO I.....	16
MARCO TEÓRICO	16
1.1. La madera como material forestal.....	16
1.2. Durabilidad natural de la madera	16
1.2.1. Concepto de durabilidad natural	16
1.2.2. Agentes de deterioro de la madera.....	17
1.2.3. Factores ambientales que influyen en la durabilidad.....	17
1.3. Propiedades de la madera relacionadas con la durabilidad	18
1.3.1. Propiedades físicas.....	18
1.3.2. Propiedades químicas.....	19
1.4. Componentes anatómicos de la madera	19
1.4.1. Albura	19
1.4.2. Duramen.....	20
1.5. Evaluación de la durabilidad natural de la madera	20
1.5.1. Métodos de laboratorio	20
1.5.2. Métodos de campo: método del cementerio de estacas	20
1.6. Preservación de la madera.....	21
1.7. Descripción de las especies forestales estudiadas	21
1.7.1. <i>Juglans neotropica</i> Diels	21
1.7.1.1. Taxonomía de <i>Juglans neotropica</i> Diels.....	22
1.7.2. <i>Pouteria caimito</i> (Ruiz y Pav.) Radlk.....	22
1.7.3. Taxonomía de <i>Pouteria caimito</i> (Ruiz y Pav.) Radlk.....	24
CAPÍTULO II	25
MATERIALES Y MÉTODOS	25
2.1. Tipo de investigación según los siguientes criterios:	25
2.2. Ubicación del lugar	25
2.4. Caracterización edafoclimática del sitio.....	27
2.5. Materiales, equipos y software	27
2.6. Métodos, técnicas e instrumentos.....	28
2.6.1. Diseño experimental:	28
2.7. Instalación del experimento.....	30
2.8. Matriz de operacionalización de variables	31
2.8.1. Determinación del cambio en las propiedades de la madera en su albura y duramen de <i>Pouteria caimito</i> y <i>Juglans neotropica</i>	31
2.9. Clasificación de la durabilidad natural.....	34
2.10. Procedimiento y análisis de datos.	35
CAPÍTULO III	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37

3.1. PROPIEDADES DE LAS MADERAS	38
3.1.1. Propiedades organolépticas	38
3.1.1.1. Color	38
3.1.1.2. Olor	39
3.1.1.3. Sabor	39
3.1.1.4. Textura	40
3.1.2. Propiedades físicas	40
3.1.2.1. Contenido de humedad.	40
3.1.2.2. Densidad básica.	41
3.1.2.3. Peso Anhidro.....	42
3.1.2.4. Pérdida de Peso.	43
3.2. Durabilidad natural de las especies	44
3.2.1. Clasificación del grado de resistencia natural según su densidad básica.	44
3.2.2. Clasificación del grado de resistencia natural según la pérdida de peso.	45
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
4.1. CONCLUSIONES	46
4.2. RECOMENDACIONES	48
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	49
ANEXOS.....	54

ÍNDICE DE TABLA

TABLA 1. Descripción <i>Juglans neotropica</i> Diels.....	21
TABLA 2. Descripción de <i>Pouteria caimito</i> (Ruiz y Pav.) Radlk	25
TABLA 3. Materiales, equipos y Software	27
TABLA 4. Factores, niveles y tratamientos del diseño.....	29
TABLA 5. Número de probetas	29
TABLA 6. Grado de resistencia natural a pudriciones según su pérdida de peso	34
TABLA 7. Clasificación de la durabilidad de la madera según la ASTM-D-2017.....	35
TABLA 8. Color de albura y duramen de las especies según la tabla de Munsell	38
TABLA 9. Contenido de humedad <i>mensual</i> de las especies durante es periodo de ensayo	40
TABLA 10. Densidad de las especies y componentes de la madera	41
TABLA 11. Peso anhidro de la madera	42
TABLA 12. Calculo del porcentaje de pérdida de peso.....	43
TABLA 13. Prueba de Tukey	44
TABLA 14. Grado de resistencia natural según su densidad.....	44
TABLA 15. Grado de resistencia natural a pudriciones según la pérdida de peso	44

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.....	12
FIGURA 2.....	30
FIGURA 3.....	30

INTRODUCCIÓN

La madera constituye uno de los recursos forestales de mayor importancia socioeconómica en zonas rurales, ecosistémica, debido a su amplia utilización en la construcción, la industria del mueble y diversas actividades productivas (Chillón,2024). Su aprovechamiento adecuado depende del conocimiento de sus propiedades tecnológicas, las cuales determinan su comportamiento frente a distintas condiciones de uso y exposición.

Entre estas propiedades, la durabilidad natural ocupa un lugar fundamental, ya que se relaciona con la capacidad intrínseca del material leñoso para resistir la degradación causada por hongos, bacterias e insectos (Ontiveros-Moreno, 2024). La durabilidad natural de la madera depende fundamentalmente del lugar y uso que se le dará, a la intemperie influyen significativamente factores ambientales como la humedad, la radiación solar, la temperatura, capacidad higroscópica, densidad, las condiciones del suelo y la actividad microbiológica dando como resultado mayor o menor vida útil (Taraboreli et al., 2020; Moreno et al., 2024).

El estudio de la durabilidad natural de cada especie permite establecer criterios técnicos para la selección y uso apropiado para cada madera, contribuyendo a optimizar su desempeño en relación a sus características y a promover un manejo forestal sostenible (Serna-Mosquera et al., 2020). No obstante, para numerosas especies forestales tropicales la información disponible continúa siendo limitada, lo que restringe su adecuada valorización y aplicación en distintos contextos productivos (Bobadilla et al., 2005).

En este contexto, especies como *Pouteria caimito* y *Juglans neotropica* presentan interés ecológico y potencial económico en diversas regiones tropicales. Aunque se dispone de información general sobre sus características y usos (Valverde et al., 2023) aún existe

escasa evidencia sobre su comportamiento en términos de durabilidad natural bajo condiciones edafoclimáticas específicas del norte del Ecuador.

Esta limitación técnica dificulta la definición de usos adecuados y la formulación de estrategias de manejo sostenible, lo que justifica la realización del presente estudio orientado a evaluar la durabilidad natural de la madera de estas especies en condiciones del Campus Yuyucocha, Ibarra–Ecuador.

Problema de investigación.

¿Cuál es la durabilidad natural de la albura y duramen de la madera de *Pouteria caimito* y *Juglans neotropica* en las condiciones climáticas y edáficas del Campus Yuyucocha?

Justificación

El presente estudio sobre la durabilidad natural de *Pouteria caimito* y *Juglans neotropica* se justifica no solo por la limitada información existente acerca de sus propiedades de durabilidad, sino también por la creciente necesidad de promover una gestión forestal sostenible que permita equilibrar el aprovechamiento de los recursos naturales con la conservación de la biodiversidad. Zambrano et al. (2023) Es trascendental conocer la resistencia de estas especies frente a los factores de deterioro biológico y ambiental permite optimizar su uso en la construcción y en la industria artesanal, reducir la dependencia de especies forestales más vulnerables y promover la regeneración de los recursos madereros mediante prácticas de manejo más responsables.

La escasa información sobre las propiedades de la madera de diversas especies forestales limita el uso y aprovechamiento de las mismas. Según, Bobadilla et al. (2005) el desconocimiento de las propiedades tecnológicas de la madera dificulta la definición de usos

adecuados, considerando que estas características se ven afectadas por el tiempo, la exposición a la intemperie y la acción de organismos de deterioro. Asimismo, Trevisan (2006) indica que este tipo de estudios permite clasificar la madera según su aptitud de uso, especialmente en función de su contacto con el suelo.

En el caso de *Pouteria caimito*, la información científica disponible sobre la durabilidad natural de su madera es casi inexistente existe unicamante un estudio de la familia Sapotaceae realizada en Venezuela denominada “Anatomía del xilema secundario de 14 especies del género *Pouteria* Aubl”, León et al.(2009), especialmente en comparación con otras especies de importancia comercial a pesar de ser una madera en general de conocimiento pesada, dura e importancia económica no existen estudios relacionados a dicha especie, esto no permiten establecer criterios técnicos claros sobre su comportamiento frente a agentes de deterioro, lo que evidencia la necesidad de evaluaciones específicas que respalden su aprovechamiento adecuado. En general la familia Sapotaceae es conocida por poseer madera altamente demandada es considerada de buena calidad y durabilidad, siendo utilizada principalmente en la construcción de viviendas, pilares y vigas (Paredes, 2024).

En cuanto a *Juglans neotropica*, su condición de especie vulnerable en la región andina y su alto valor maderable incrementan la necesidad de contar con información técnica que respalde su uso sostenible. La ausencia de estudios específicos sobre la durabilidad natural de su madera, particularmente diferenciando albura y duramen, puede conducir a un aprovechamiento inadecuado que acelere su deterioro y presión sobre las poblaciones naturales (Vasconez, 2021).

La presente investigación expone información técnica relevante sobre la durabilidad natural de dos especies de importancia social y económica; *Pouteria caimito* y *Juglans neotropica* bajo condiciones edafoclimáticas específicas del Campus Yuyucocha, en Ibarra,

Ecuador. Los resultados obtenidos permitirán fortalecer decisiones de manera adecuada al ser especies muy comercializadas, orientar el uso adecuado de estas especies y contribuir al desarrollo de prácticas productivas basadas en criterios técnicos y científicos.

Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Determinar la durabilidad natural de la madera de *Pouteria caimito* y *Juglans neotropica* en condiciones edafoclimáticas del Campus Yuyucocha, Ibarra-Ecuador.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar el cambio en las propiedades organolépticas y físicas de la madera en su albura y duramen de *Pouteria caimito* y *Juglans neotropica*.
- Clasificar la madera de *Pouteria caimito* y *Juglans neotropica* de acuerdo a su durabilidad natural.

Hipótesis o preguntas de investigación.

Ho: La durabilidad natural de la madera de las dos especies estudiadas, en su albura y duramen es similar.

Ha: La durabilidad natural de la madera de las dos especies estudiadas ya sea en su albura o duramen es diferente.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. La madera como material forestal

La madera constituye uno de los principales productos forestales utilizados por el ser humano desde tiempos ancestrales, debido a su carácter renovable, versatilidad y amplias aplicaciones estructurales, industriales y artesanales. En términos ambientales a nivel mundial, la madera representa una de las mayores reservas de carbono en los ecosistemas terrestres, contribuyendo de manera significativa a la mitigación del cambio climático (Broda, 2020). Sin embargo, en el paso de los años la expansión de la población humana y el aprovechamiento de bosques primarios, las áreas naturales están desapareciendo de forma gradual y acelerada.

No obstante, su origen biológico y su composición química hacen que la madera sea susceptible al deterioro una vez que el árbol es talado y el tejido pierde su actividad fisiológica y con buenas técnicas de regeneración y restauración son sustentables y sostenibles en el tiempo (González, 2010).

El comportamiento de la madera frente a los agentes de deterioro varía entre especies y está condicionado por factores intrínsecos, como su anatomía y composición química, así como por factores extrínsecos relacionados con el ambiente en el que se utiliza o expone (Corral et al., 2022).

1.2. Durabilidad natural de la madera

1.2.1. Concepto de durabilidad natural

La durabilidad natural de la madera se define como la capacidad inherente del material leñoso para resistir la degradación provocada por agentes biológicos, principalmente hongos e insectos, sin la aplicación de tratamientos químicos (Sandberg et al., 2021). Este concepto se

asocia de manera directa con la resistencia a la pudrición y con la estabilidad del material frente a condiciones ambientales adversas (Intini y Tello, 2003).

La durabilidad natural no es una propiedad uniforme, sino que varía considerablemente entre especies forestales e incluso dentro de una misma especie, dependiendo de factores como la edad del árbol, la parte del fuste analizada y el componente anatómico evaluado (Ypushima, 2015).

1.2.2. Agentes de deterioro de la madera

Entre los principales agentes de deterioro de la madera se encuentran los hongos xilófagos, los insectos y otros microorganismos que utilizan los componentes estructurales de la madera como fuente de energía. Los hongos degradadores actúan principalmente sobre la celulosa y la hemicelulosa, provocando una pérdida progresiva de masa y resistencia mecánica, mientras que la lignina puede mantenerse relativamente intacta en las primeras etapas del proceso (Mirski et al., 2014).

Adicionalmente Camacho (2024) la exposición prolongada a la intemperie genera procesos de fotodegradación, especialmente por la acción de la radiación ultravioleta, que afecta la lignina de la superficie y produce cambios de color y pérdida de la compresión a las fibras.

1.2.3. Factores ambientales que influyen en la durabilidad

La durabilidad de la madera está estrechamente relacionada con las condiciones ambientales del sitio de exposición. Factores como la temperatura, la humedad relativa, potencial de hidrogeno, humedad del suelo, precipitación, radiación solar y el tipo de suelo

influyen directamente en la velocidad de degradación, al favorecer o limitar el desarrollo de agentes biológicos (Ramírez, 2001).

El calentamiento global siendo un problema de interés mundial y los cambios en los patrones climáticos acelerados incrementan el riesgo de descomposición de la madera a pesar de ser una de las industrias menos contaminantes al trabajar con material biológico, lo que hace indispensable conocer y estudiar a profundidad la durabilidad inherente para garantizar un uso prolongado y adecuado en diferentes contextos (Yinhong et al., 2023).

1.3. Propiedades de la madera relacionadas con la durabilidad

1.3.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas de la madera influyen en su comportamiento frente al ambiente y en su resistencia al deterioro, sin que se produzcan modificaciones químicas internas inmediatas (Suirezs et al., 2009).

Densidad: corresponde al peso de la madera por unidad de volumen y varía entre especies. Se relaciona con procesos fisiológicos como la conductancia hidráulica del xilema y el intercambio de gases, influyendo indirectamente en la durabilidad del material (Barotto, 2021)

Peso específico: es una de las propiedades más importantes de la madera, ya que permite clasificarla y está asociada a la mayoría de sus características tecnológicas (Suirezs et al., 2009).

Dureza: se refiere a la capacidad de la madera para resistir rayado, penetración y desgaste, dependiendo de la cantidad y disposición de fibras que la conforman (Cuesta, 2017).

Contenido de humedad: varía según la especie, el sitio de crecimiento y la época del año. Las maderas livianas, al presentar mayor porosidad, tienden a contener mayores cantidades de agua libre, lo que puede incrementar su susceptibilidad al ataque biológico (Suirezs et al., 2009).

1.3.2. Propiedades químicas

Desde el punto de vista químico, la madera está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. A pesar de la presencia de compuestos recalcitrantes como la lignina, la madera puede sufrir procesos de putrefacción una vez que es expuesta a agentes biológicos después del talado (Corassa y Aparecida, 1997; Herrera- Builes, 2021).

La exposición prolongada al ambiente conduce a la despolimerización de la celulosa y a la pérdida progresiva de hemicelulosas y lignina, afectando la integridad estructural del material (Moreno et al., 2024).

1.4. Componentes anatómicos de la madera

La madera está conformada por dos componentes anatómicos principales: albura y duramen, los cuales presentan diferencias significativas en sus propiedades y comportamiento frente al deterioro (Pelen et al., 1998). En forma natural, la durabilidad de la madera varía entre especies; incluso, esta es diferente según la parte del árbol donde se obtenga la pieza de madera y el tipo de suelo al que se exponga (Ypushima, 2015).

1.4.1. Albura

La albura constituye la parte fisiológicamente activa del tallo, encargada del transporte de agua y nutrientes. Presenta mayor contenido de humedad y menor concentración de

compuestos extractivos, lo que la hace más vulnerable al ataque de agentes degradadores (Romero, 2022).

1.4.2. Duramen

El duramen corresponde al tejido leñoso biológicamente inactivo, caracterizado por una mayor acumulación de polifenoles y sustancias extractivas que le confieren mayor resistencia al deterioro. Se distingue por su mayor densidad, menor permeabilidad y coloración más oscura en comparación con la albura (Monteoliva y Ciganda, 2023; Giménez et al., 2000).

1.5. Evaluación de la durabilidad natural de la madera

1.5.1. Métodos de laboratorio

Las pruebas aceleradas de laboratorio permiten evaluar la resistencia de la madera frente a hongos específicos bajo condiciones controladas. Aunque son útiles para comparaciones rápidas, no siempre representan fielmente las condiciones reales de exposición (González, 2012).

1.5.2. Métodos de campo: método del cementerio de estacas

El método del cementerio de estacas consiste en enterrar probetas de madera hasta aproximadamente la mitad de su longitud y evaluar periódicamente el grado de deterioro causado por agentes bióticos y abióticos. Este método, aunque requiere mayor tiempo a diferencia del método de laboratorio, ofrece resultados más confiables debido a que son en campo y se asemeja a condiciones reales del comportamiento de la madera en contacto con el suelo (Brischke et al., 2024; Herrera- Builes, 2021).

1.6. Preservación de la madera

La preservación de la madera depende de múltiples factores, entre ellos las características anatómicas, el contenido de humedad, el tipo de suelo y las condiciones climáticas del sitio de exposición. Los preservantes influyen directamente en la estructura interna de la madera, dependiendo de la especie las necesidades están relacionadas por variables operativas como presión, temperatura y tiempo de tratamiento (Plaschkies y Jacobs, 2014).

Diversos estudios señalan que la identificación de los factores que influyen en la durabilidad natural permite desarrollar estrategias de conservación más eficientes y adaptados a cada necesidad, reduciendo la necesidad de tratamientos químicos intensivos e innecesarios (Arango y Green, 2014).

1.7. Descripción de las especies forestales estudiadas

***1.7.1. Juglans neotropica* Diels**

Desde el punto de vista tecnológico, la madera de *Juglans neotropica* se caracteriza por presentar una diferenciación visible entre albura y duramen, siendo este último de tonalidad café a pardo oscuro, lo que incrementa su valor estético para usos ornamentales y en la fabricación de muebles finos. La textura es generalmente fina a media, con grano recto a ligeramente entrecruzado, lo que favorece su buena trabajabilidad durante los procesos de aserrío, cepillado y acabado superficial. Estas características han contribuido a ser de las especies más cotizadas por su uso tradicional en ebanistería, carpintería y elaboración de artesanías en la región andina, particularmente en la parroquia San Antonio del cantón Ibarra (Toledo y Farez, 2024).

La creciente presión antrópica derivada de la sobreexplotación maderera sin proyectos de regeneración y la expansión de la frontera agrícola ha reducido significativamente las poblaciones naturales de *Juglans neotropica*, situándola en una condición de vulnerabilidad. En este contexto, la generación de información técnica sobre sus propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad resulta fundamental para sustentar estrategias de manejo forestal sostenible y promover un aprovechamiento responsable del recurso (Álvarez y Vilema, 2023).

1.7.1.1. Taxonomía de *Juglans neotropica* Diels

Tabla 1.

Descripción de la especie.

Reino	<i>Plantae</i>
Phylum	<i>Tracheophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Fagales</i>
Familia	<i>Juglandaceae</i>
Genero	<i>Juglans</i>
Especie	<i>Juglans neotropica</i>

Obtenido de: Herramienta de resolución taxonómica MAE

1.7.2. *Pouteria caimito* (Ruiz y Pav.) Radlk.

Pouteria caimito es una especie forestal nativa de los ecosistemas tropicales húmedos de América del Sur, con amplia distribución en la región amazónica. Se desarrolla preferentemente en climas cálidos y húmedos, sobre suelos de baja fertilidad, con pH ácido y

buen drenaje, condiciones que influyen de manera directa en su crecimiento y en la formación de su tejido leñoso (Alvarado y Vélez, 2021).

Pouteria caimito es reconocido históricamente en el aprovechamiento de sus frutos comestibles; sin embargo, estudios recientes destacan que su madera presenta características físicas y anatómicas sobresalientes de buen comportamiento y durabilidad, pero no cuenta con estudios específicos (Sandioma y Ángeles, 2024). La escasa información de sus propiedades maderables ha limitado su uso a nivel industrial, a pesar de pertenecer a la familia Sapotaceae, la cual se caracteriza por producir maderas de alta densidad y elevada resistencia natural.

En sus propiedades anatómicas y físicas, la madera de *Pouteria caimito* presenta una estructura compacta, baja permeabilidad y una diferenciación clara entre albura y duramen. Estas características favorecen en su durabilidad ya que poseen menor capacidad higroscópica y una mayor estabilidad respecto a su masa, factores vinculados con la durabilidad natural de la madera, especialmente en condiciones de contacto con el suelo (Flores y Pérez, 1987). La acumulación de extractivos en el duramen contribuye a aumentar la resistencia biológica ya que liberan látex en poca cantidad retardando los procesos de degradación biológica (Vargas, 2021).

Varios autores señalan que factores ambientales como la pluviosidad, la temperatura y las propiedades físico-químicas del suelo influyen en la densidad básica y en la composición química de la madera, lo cual influye directamente en su comportamiento frente a la humedad y su vida útil en condiciones naturales de los cuales presento estabilidad (Ruiz, 2017; Alvarado y Vélez, 2021). En este contexto, el estudio de la durabilidad natural de *Pouteria*

caimito resulta fundamental para sustentar su aprovechamiento sostenible y diversificar su uso.

1.7.3. Taxonomía de *Pouteria caimito* (Ruiz y Pav.) Radlk

Tabla 2.

Descripción de la especie.

Reino:	<i>Plantae</i>
Phylum:	<i>Tracheophyta</i>
Clase:	<i>Magnoliopsida</i>
Orden:	<i>Ericales</i>
Familia:	<i>Sapotaceae</i>
Genero:	<i>Pouteria</i>
Especie:	<i>Pouteria caimito</i>

Obtenido de: Herramienta de resolución taxonómica MAE

1.8. Pertinencia del estudio

A pesar de la existencia de investigaciones sobre durabilidad natural en diversas especies forestales y escasas de información en *Pouteria caimito* y *Juglans neotropica*, no se han identificado estudios que evalúen de manera comparativa la durabilidad natural de la albura y el duramen de estas especies bajo las condiciones edafoclimáticas específicas del Campus Yuyucocha, en la ciudad de Ibarra. Esta falta de información limita la asignación técnica de usos de la madera y sustenta la necesidad del presente estudio de las maderas del Ecuador.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Tipo de investigación según los siguientes criterios:

La presente investigación es de tipo experimental, ya que una de las variables fue manipulada bajo condiciones controladas en campo. Según su enfoque, corresponde a una investigación mixta (cuantitativa–cualitativa), debido a que se evaluaron variables cuantitativas como el contenido de humedad, densidad básica y pérdida de peso de la madera, así como variables cualitativas relacionadas con las propiedades organolépticas, principalmente el color.

Por su objeto de estudio, la investigación es aplicada, se fundamenta en teorías y antecedentes científicos orientados a comprender el comportamiento de la madera en condiciones naturales a la intemperie. En cuanto a su profundidad, es de tipo explicativa, ya que busca interpretar el comportamiento de la madera frente a factores climáticos y edáficos, reflejados en su durabilidad natural.

La recolección de datos fue sincrónica, al realizarse en un periodo determinado, permitiendo describir el fenómeno tal como ocurre en el momento específico del estudio; mientras que, por el lugar donde se desarrolló, corresponde a una investigación de campo.

2.2. Ubicación del lugar

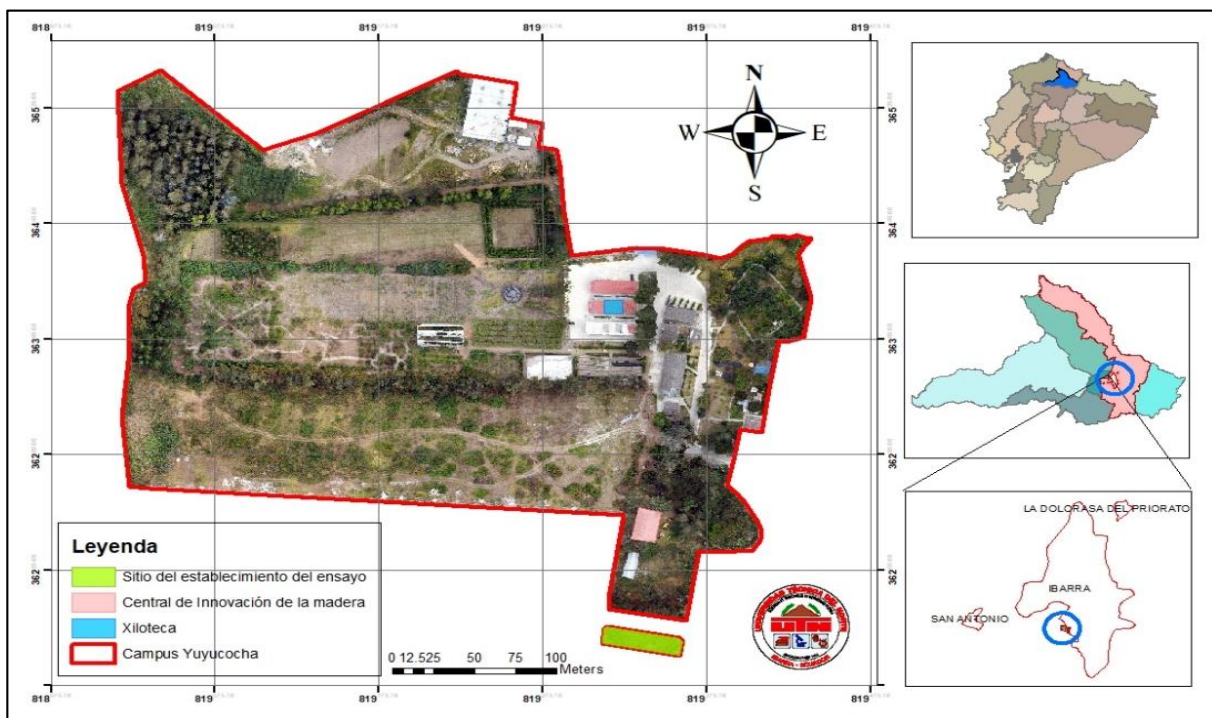
- Política: La fase de campo se realizó en el predio perteneciente al campus experimental “Yuyucocha” de la Universidad Técnica del Norte, que se encuentra ubicada en la parroquia Caranqui, cantón Ibarra, provincia de Imbabura.
- Geografía del sitio investigación: Yuyucocha se ubica en las calles Leonardo Paez y Marco Tulio Hidrovo a 78° 07' 52,21" de longitud W y 00° 19' 38,18" de latitud N, a

una altitud de 2247 m.s.n.m

2.3.Límites: La Granja Experimental Yuyucocha limita con los barrios: al norte San Vicente, al sur Bella Vista de María al occidente con Ejido de Caranqui y al Oriente San Francisco de Santa Lucia (Quinde y Clerque, 2011). Origen y caracterización del material vegetal.

Figura 1.

Ubicación del área de estudio



La madera de *Juglans neotropica* provino de investigaciones previas realizadas en el Campus Yuyucocha y se encontraba almacenada en la Central de Innovación de la Madera de la Universidad Técnica del Norte. Por su parte, la madera de *Pouteria caimito* fue obtenida del sector de Altotambo, provincia de Esmeraldas, Ecuador, de árboles ubicados en las coordenadas 0°53'51,6" N 78°32'35,7 y W 0°53'52" N ; 78°32'37" O.

Los árboles que conforman para dicho estudio fueron seleccionados de acuerdo a los criterios establecidos por Cárdenas y Polanco (2004), considerando fustes rectos, sanos y cilíndricos, sin presencia de enfermedades visibles. Los diámetros a la altura del pecho (DAP) se encontraron en un rango aproximado de 39,90 a 54,70 cm, de acuerdo con lo recomendado por Bothig (2008).

La corta y extracción de las trozas se realizó siguiendo la Norma INEN 1159 y los lineamientos de la ASTM D-17 (1978). Las trozas tuvieron una longitud de 1,5 m y fueron extraídas a 1,30 m de altura del fuste. Posteriormente, se realizaron cortes paralelos para la obtención de probetas diferenciadas por albura y duramen.

2.4. Caracterización edafoclimática del sitio

Suelo: Los suelos del Campus Experimental Yuyucocha pertenecen al orden Inceptisoles (Enríquez y Cadena, 2013), formados a partir de materiales líticos de origen volcánico. Son suelos superficiales a moderadamente profundos, con topografía plana a ondulada y perfiles de formación incipiente, destacándose la presencia de un horizonte cámbico (B) de tonalidad pardo amarillenta. Estos suelos presentan buen drenaje y alto contenido de materiales piroclásticos, con presencia ocasional de horizontes enterrados ricos en materia orgánica Soil Taxonomy (1975).

Clima: La temperatura promedio del aire es de 16,48 °C y durante la investigación según datos solicitados al INAMHI la precipitación mensual promedio fue de 18,01 mm.

2.5. Materiales, equipos y software

Tabla 3.

Material es y equipos

Material es de Campo	Material es de Laboratorio	Equipos	Software
Probetas de <i>Juglans neotropica</i> y <i>Pouteria caimito</i> .	Tabla de Munsell	Balanza de precisión digital	Paquete de Microsoft office
Libreta de campo	Pie de rey	Horno de secado	Infostat
Etiquetas plásticas		Medidor de humedad del suelo	RStudio
Cinta métrica			Excel
Piola			Word
Estacas			

2.6. Métodos, técnicas e instrumentos.

2.6.1. Diseño experimental:

Se utilizó un Diseño Irrestricto al Azar (DIA) con arreglo bifactorial $A \times B$. El factor A correspondió a la especie forestal (*Juglans neotropica* y *Pouteria caimito*) y el factor B al componente de la madera (albura y duramen). Este diseño permitió evaluar simultáneamente el comportamiento de cada especie, el componente de la madera.

Existen diversos estudios sobre diferentes especies e indican que la durabilidad de la madera varía según la especie y el componente, basándose en su contenido de humedad, densidad, etc (Cacuango, 2017; Ruiz, 2024; Vargas, 2021). Al respecto, González y Yataco (2011) señalan que la mayor resistencia del duramen frente a la albura se debe a cambios químicos asociados a la deposición de sustancias extractivas como resinas, taninos, aceites y compuestos fenólicos.

El experimento consideró cuatro tratamientos, cinco repeticiones y un total de 400 probetas, distribuidas equitativamente entre especies y componentes.

Tabla 4.

Descripción de factores, niveles y tratamientos del diseño

Factores	Niveles	Tratamientos
Factor A: Especie forestal	Especie 1: <i>Juglans neotropica</i>	<i>Juglans neotropica</i> - Albura
	Especie 2: <i>Pouteria caimito</i>	<i>Juglans neotropica</i> -Duramen
Factor B: Componente de la madera	Componente 1: Albura	<i>Pouteria caimito</i> - Albura
	Componente 2: Duramen.	<i>Pouteria caimito</i> -Duramen

Tabla 5.

Descripción de número de probetas

Descripción	Valor
Número de tratamiento	4
Número de repeticiones	5
Número de unidades experimentales	20
Número de probetas por unidad experimental	20
Número de probetas por tratamiento	100
Número de especies	2
Número de partes - componente (albura y duramen)	2
Número de probetas por componente	200
Número de probetas por especies	200
Número de probetas totales	400

En este El modelo estadístico utilizado se expresa como:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha + \theta + \alpha\theta + \varepsilon_{ij}$$

Ec. 1

Dónde:

Y_{ij} = Observación individual.

μ = Media común

ε_{ij} = Error experimental.

α = Efecto de la especie forestal.

θ = Efecto del componente de la madera.

$\alpha\theta$ = Interacción entre factores

2.7. Instalación del experimento

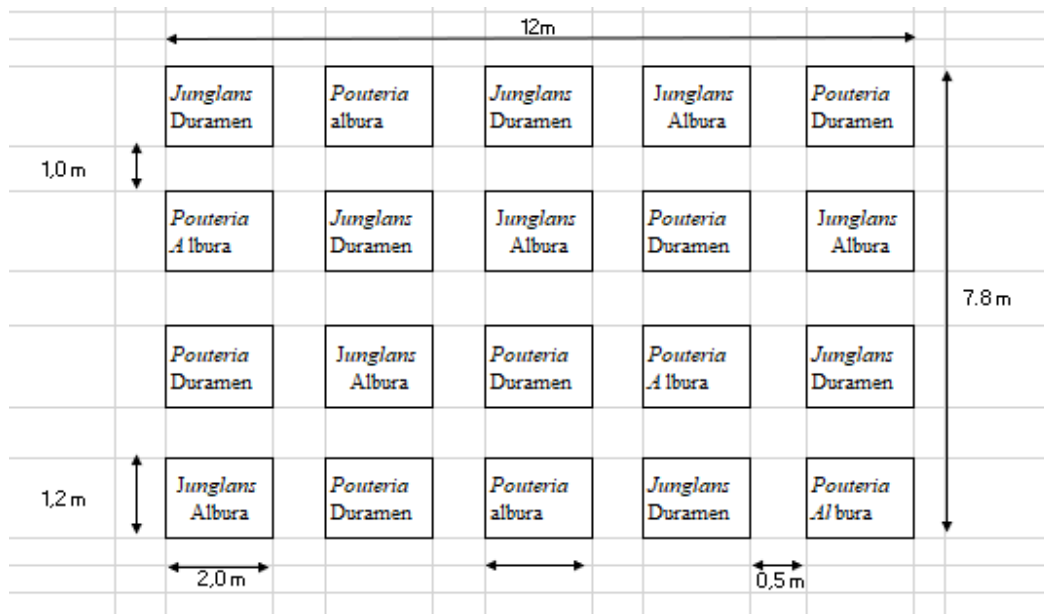
El ensayo se instaló en el Campus Yuyucocha mediante el método de cementerio, conforme a los lineamientos de la ASTM (2003), que establece condiciones de estabilidad, mínima interferencia antrópica y adecuadas condiciones ambientales para el desarrollo de hongos e insectos xilófagos.

Se estableció un área de 12 m × 7,8 m, donde las unidades experimentales fueron distribuidas al azar. Cada unidad experimental ocupó un área de 2 m × 1,2 m, con espaciamientos de 0,5 m entre hileras y 1 m entre columnas. Las probetas fueron enumeradas y enterradas a 25 cm de profundidad con una separación de 30 cm entre ellas.

La evaluación de la durabilidad se realizó mensualmente durante seis meses, considerando únicamente la sección enterrada de cada probeta.

Figura 2.

Esquema ensayo cementerio



2.8. Matriz de operacionalización de variables

2.8.1. Determinación del cambio en las propiedades de la madera en su albura y duramen de *Pouteria caimito* y *Juglans neotropica*.

De acuerdo a (Tapia, 2010) los agentes climáticos influyen en la durabilidad natural de la madera. Es por este motivo que se realizó una breve descripción de las condiciones climáticas y de pH del suelo del sitio de estudio. Las variables climáticas descritas como temperatura, contenido de humedad, radiación solar y precipitación, las cuales se obtuvieron diariamente del geo portal del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), de la estación meteorológica de Ibarra con código M1240, aprovechando su proximidad al sitio donde se instaló el ensayo. En cuanto a las características edáficas, la temperatura, humedad y pH del suelo se obtuvo con un medidor de pH digital.

Una vez por mes se midió cada probeta, las cuales fueron desenterradas para ser medidas en su cara radial, tangencial y longitudinal para determinar su volumen. Según Viscarra, (1998) se explica las caras de la madera:

- Cara longitudinal (mm) o sea de dirección longitudinal al eje del

tronco.

- Cara tangencial (mm) cuando se realiza tangencialmente a los anillos de crecimiento del árbol. Es el corte en el que mejor se aprecia el vetado o figura de la madera.
- Cara radial (mm) cuando tiene dirección paralela a los radios. Es el corte más estable de la madera ante cambios de humedad del material.

Después de cada medida de cada cara de la probeta se procedió a calcular su volumen en cm^3 con la multiplicación de los datos obtenidos por cada probeta.

Se evaluaron los cambios en las propiedades físicas de la madera, específicamente el color, olor, sabor y textura. El color fue determinado mediante observación visual directa, utilizando la tabla de colores Munsell, lo que permitió asignar una denominación estandarizada a cada muestra tanto en albura como en duramen, comparando las tonalidades iniciales con las observadas durante el período de evaluación. El olor se evaluó de forma cualitativa mediante percepción sensorial inmediata después del corte de las muestras, registrándose su presencia o ausencia y su intensidad relativa. El sabor se determinó de manera indirecta, conforme a metodologías tradicionales en estudios de madera, mediante la percepción gustativa mínima y controlada, identificando características como amargo, neutro o imperceptible. Finalmente, la textura se evaluó al tacto y mediante observación de la superficie de las muestras, clasificándose como fina, media o gruesa en función del tamaño y disposición aparente de los elementos anatómicos.

En cuanto a las propiedades físicas evaluadas fueron: contenido de humedad (%), densidad básica de la madera (g/cm^3) y pérdida de peso (gr); para esto se procedió a pesar las probetas en verde en la balanza digital.

Para calcular el peso anhidro, las probetas fueron secadas en horno durante 60 horas a

103°C, luego de ese tiempo se volvió pesarlas y se determinó el contenido de humedad a través de la pérdida de peso de acuerdo a la ecuación 2.

Contenido de humedad

El contenido de humedad se calculó a través de la siguiente formula:

Ec. 2

$$CH\% = \frac{P_v - P_{sh}}{P_{sh}} \times 100$$

Fuente: Norma COPANT

Donde:

CH% = Contenido de Humedad (%)

P_v = Peso verde (g)

P_{ah} = Peso anhidro (g)

Densidad básica

Se determino la densidad básica de la madera a través de la siguiente formula, tomando en cuenta los valores de volumen y peso anhidro de toda la probeta.

$$D_b = \frac{P_{ah}}{V_v}$$

Ec. 3

Fuente: Norma COPANT

Donde:

D_b = Densidad básica de la madera en (g/cm³)

P_{ah} = Peso anhidro (g)

V_v = Volumen verde (cm³)

Peso Anhidro

Con el valor obtenido de la densidad básica de la madera y una vez medido el volumen de la probeta que estuvo enterrada, se calculó el peso anhidro de la sección que permaneció bajo el suelo.

$$P_{ah} = D_b \times V_v$$

Fuente: Norma COPANT

Donde:

P_{ah} = Peso anhidro (g)

D_b = Densidad básica de la madera en (g/cm³)

V_v = Volumen verde (cm³)

Para calcular la pérdida de peso se restó el peso inicial con el peso anhidro calculado.

Ec. 5

$$P_p = P_o - P_{ah}$$

Fuente: Norma COPANT

Donde:

P_p : Pérdida de peso (gr)

P_o : Peso inicial (gr)

P_{ah} : Peso anhidro (gr)

2.9. Clasificación de la durabilidad natural

La clasificación de la durabilidad natural de la madera se realizó con base en la pérdida de peso, utilizando los criterios propuestos por González y Yataco (2011), Findlay citado por Tapia (2010) y la Norma ASTM D-2017, permitiendo establecer categorías de resistencia y estimar la vida útil esperada de las especies estudiadas.

Tabla 6.

Clasificación del grado de resistencia natural a pudriciones de la madera según su peso

Promedio pérdida de peso (%)	Promedio de peso residual (%)	Grado de resistencia	Clase
0 – 10	90 – 100	Altamente resistente	A
11 – 24	76 – 98	Resistente	B
24 – 44	56 – 75	Moderadamente resistente	C
45 o más	55 o menos	No resistente	D

Recuperado de González y Yataco (2011) citado por Ruiz (2017)

Fuente: Findlay citado por Tapia (2010)

Tabla 7.

Clasificación de la durabilidad de la madera según la ASTM D- 2017

Clase	Pérdida de peso (%)	Grado de resistencia a hongos xilófagos
A	0 – 10	Altamente resistente
B	11 – 24	Resistente
C	25 - 44	Moderadamente resistente
D	> 45	No resistente

Fuente: Norma ASTM D-2017(citado por Tapia,2010)

2.10. Procedimiento y análisis de datos.

Se realizó la comprobación de supuestos estadísticos a través de la prueba de Shapiro - Wilk para la normalidad y de Levene para la homocedasticidad. Al cumplirse los supuestos se utilizó el ANOVA adaptado para el DIA con arreglo bifactorial, para determinar si existe o no diferencias estadísticamente significativas entre la durabilidad natural de la madera de las especies estudiadas, entre los componentes de la madera, sea albura o duramen; y la interacción entre las especies y el componente. Al encontrar diferencias significativas entre la durabilidad a nivel de especies, componente e interacciones se realizó la prueba de Tukey para

determinar que la combinación entre especie y componente tiene la mayor durabilidad natural. Para realizar una comparación entre la durabilidad natural de las dos especies se utilizó la prueba T; misma prueba que se realizó para la comparación entre la durabilidad de los componentes de la madera.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presente investigación se llevó a cabo en la etapa de campo durante el periodo comprendido entre mayo y noviembre de 2025. Durante este tiempo se evidenció la transición entre la temporada seca y lluviosa en el área de estudio. Los meses de junio a agosto presentaron baja precipitación (7,01–40,62 mm) y mayor radiación solar, características de la temporada seca. En contraste, en octubre y noviembre se registró un incremento de las lluvias (89,86–160,76 mm) y de la humedad relativa, indicando el inicio de la temporada lluviosa.

La temperatura se mantuvo relativamente estable (promedio de 16,27 °C). Adicionalmente, la humedad del suelo presentó un valor promedio de 33,73 % durante el periodo de evaluación, lo cual influyó directamente en la interacción de la madera con el medio edáfico, afectando procesos como la absorción de agua y la actividad biológica responsable de su degradación.

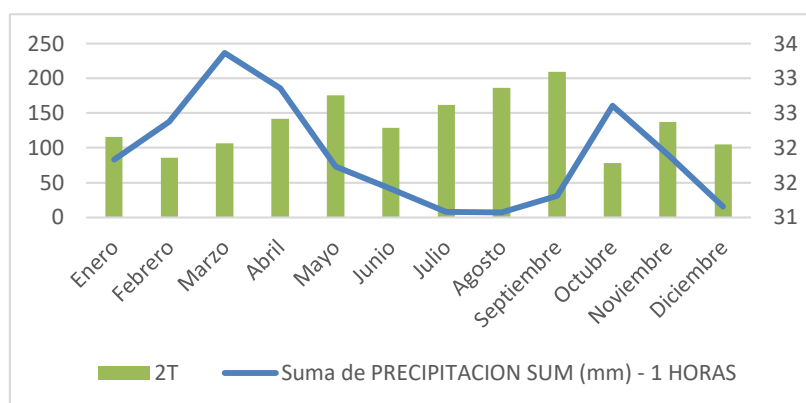
Tabla 8.

Promedio de condiciones climáticas

Mes	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	Radiación global (W/m ²)	Radiación reflejada (W/m ²)
Mayo	84,33	72,96	16,38	157,99	29,13
Junio	81,64	40,62	16,14	169,77	36,81
Julio	74,02	7,66	16,31	173,22	38,40
Agosto	72,06	7,01	16,43	187,10	39,06
Septiembre	72,42	30,94	16,55	202,15	40,80
Octubre	84,73	160,76	15,89	199,55	34,70
Noviembre	87,66	89,86	16,19	184,19	31,05

Figura 3.

Hombro térmico



3.1. Propiedades de las maderas

3.1.1. Propiedades organolépticas

3.1.1.1. Color

Los cambios cromáticos se relacionan con la degradación de taninos y compuestos fenólicos, los cuales, al exponerse a la humedad, el oxígeno y los microorganismos del suelo, sufren procesos de oxidación. Se evidenciaron variaciones de color tanto en albura como en duramen, como se muestra en la tabla.

Villota (2023) señala que *Juglans neotropica*, en condición verde, presenta coloración pardo amarillenta en la albura y café oscuro en el duramen, lo cual coincide con los resultados obtenidos. Asimismo, Fierro (2023) reporta albura castaño claro y duramen castaño oscuro con vetas lineales.

La especie de *Pouteria caimito*, León y Williams (2009) manifiesta que, a pesar de que no existe una descripción específica, su pertenencia a la familia Sapotaceae permite asociarla a tonalidades entre amarillo y marrón, características de maderas con alto contenido de extractivos.

Tabla 8.

Clasificación del color de albura y duramen de las especies según la tabla de Munsell

Especie	Componente	Color inicial	Color final
<i>Juglans neotropica</i> Diels	Duramen	2,5 YR 5/4	5 YR 5/4
	Albura	10 YR 7/3	10 YR 7/2
<i>Pouteria caimito</i> Radlk. (Ruiz y Pav.	Duramen	25 YR 8/6	25 YR 7/6
	Albura	25 YR 8/4	25 YR 8/4

3.1.1.2. Olor

En *Juglans neotropica*, el olor aromático característico amaderado que no desvanece a lo largo del tiempo, con intensidad de ligeramente a medianamente perceptible, coincidiendo con Fierro (2023), quien lo asocia a la presencia de gomas, resinas y otros extractivos en el duramen. Su persistencia concuerda con Villota (2023), quien corrobora con el resultado obtenido al realizar pruebas de propiedades físicas y mecánicas de la madera de dicha especie.

En *Pouteria caimito*, el olor aromático similar al fruto, más intenso al inicio y decreciente con el tiempo, coincide con Flores y Pérez (1987), quienes describen olores característicos en estado fresco. La disminución observada sugiere pérdida gradual de compuestos volátiles bajo condiciones de contacto con el suelo y liberación lenta de látex.

3.1.1.3. Sabor

El sabor amargo en la albura de *Juglans neotropica* y su menor percepción en el duramen coincide con Fierro (2023), quien lo atribuye a la mayor concentración de compuestos fenólicos en la albura. Esto concuerda con Ruiz (2017), quien señala mayor estabilidad química en el duramen.

En *Pouteria caimito*, el sabor amargo a muy amargo en la albura coincide con Flores y Pérez (1987), quienes lo relacionan con metabolitos secundarios. El sabor casi imperceptible en el duramen concuerda con Alvarado y Vélez (2021), quienes reportan menor reactividad química.

3.1.1.4. Textura

La textura media a fina de *Juglans neotropica*, sin diferencias entre albura y duramen, coincide con Villota (2023), quien describe una estructura homogénea. La estabilidad observada indica que no hubo alteraciones macroscópicas durante el ensayo.

En *Pouteria caimito*, la textura media a fina coincide con Flores y Pérez (1987) y Alvarado y Vélez (2021), quienes describen una estructura uniforme asociada a su alta densidad. La ausencia de cambios sugiere que la degradación inicial no afectó la estructura anatómica.

3.1.2. Propiedades físicas

3.1.2.1. Contenido de humedad.

Pouteria caimito presentó valores de humedad inferiores y más estables en comparación con *Juglans neotropica*, registrándose los valores más bajos en los meses centrales del periodo de evaluación.

Los valores mostraron un descenso hasta agosto y un incremento hacia los meses finales, comportamiento asociado a las condiciones climáticas y a la humedad del suelo. Este factor, con un promedio de 33,73 %, regula la disponibilidad de agua en el entorno inmediato

de la madera, condicionando su capacidad de absorción y favoreciendo la actividad microbiana.

Villota (2023) señala que *Juglans neotropica* posee un coeficiente higroscópico medio se describe como la capacidad de absorber el contenido de agua presente en el medio lo que explica su variabilidad. En contraste, *Pouteria caimito* presentó menor humedad, asociada a su mayor densidad y menor permeabilidad.

Los resultados coinciden con Ruiz (2017), quien reporta contenidos menores al 22 % en condiciones de campo.

Tabla 9.

Contenido de humedad mensual (%) de las especies durante el período del ensayo

Especie/Componente	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
<i>Juglans</i> -Albura	21,71	11,44	5,89	11,70	18,74	19,77
<i>Juglans</i> -Duramen	17,30	11,83	4,29	6,85	8,06	18,60
<i>Pouteria</i> - Albura	12,15	6,63	2,85	4,54	7,69	10,82
<i>Pouteria</i> - Duramen	10,18	5,81	4,01	6,48	10,56	12,05

3.1.2.2. Densidad básica.

Los valores oscilaron entre 0,50 y 0,92 g/cm³, evidenciando diferencias entre especies.

Pouteria caimito presentó mayor densidad, lo cual se relaciona con su estructura más compacta y menor contenido de espacios vacíos, característica de la familia Sapotaceae (Paredes, 2024).

Juglans neotropica presentó densidad media (0,50–0,52 g/cm³), coincidiendo con Alvarado (2021) y Fierro (2023), quienes la clasifican como madera de fácil trabajabilidad.

Tabla 10.*Densidad de las especies y componentes de la madera*

Especie/Componente	Densidad básica (g/cm³)	Clasificación
<i>Juglans</i> -Albura	0,50	Media
<i>Juglans</i> -Duramen	0,52	Media
<i>Pouteria</i> – Albura	0,89	Pesada
<i>Pouteria</i> – Duramen	0,91	Pesada

3.1.2.3. Peso Anhidro.

Pouteria caimito presentó mayores valores de peso anhidro, asociados a su mayor densidad.

El duramen mostró valores ligeramente superiores, lo cual se relaciona con la acumulación de extractivos y compuestos estructurales (Vargas, 2021).

Tabla 11.

Peso anhidro de la madera

Especie/ Componente	Peso Anhidro (g)
<i>Juglans</i> - Albura	150,62
<i>Juglans</i> - Duramen	153,03
<i>Pouteria</i> -Albura	270,68
<i>Pouteria</i> -Duramen	261,61

Los mayores valores de peso anhidro registrados en el duramen frente a la albura reflejan una mayor acumulación de extractivos y compuestos estructurales no volátiles, lo que incrementa la masa seca final del material, incluso bajo un mismo régimen de secado (Vargas, 2021).

3.1.2.4. Pérdida de Peso.

La pérdida de peso osciló entre 8,94 % y 23,34 %. *Juglans neotropica* presentó mayores pérdidas, mientras que *Pouteria caimito* mostró mayor resistencia.

La pérdida de peso observada se encuentra directamente influenciada por las condiciones edáficas del sitio, particularmente por la humedad del suelo, que presentó un valor promedio de 33,73 %. Este nivel favorece la actividad de microorganismos xilófagos y los procesos de degradación biológica.

Bajo estas condiciones, *Juglans neotropica* evidenció menor resistencia natural, mientras que *Pouteria caimito* presentó menor degradación, lo cual se relaciona con su mayor densidad y menor permeabilidad.

El ANOVA mostró diferencias significativas entre especies ($p < 0,001$), pero no entre componentes ($p > 0,05$). La prueba de Tukey confirmó menor pérdida de peso en *Pouteria caimito*.

Tabla 12.

Cálculo del porcentaje de pérdida de peso

Especie/Componente	Peso Inicial	Peso final	Pérdida de peso (%)
<i>Juglans</i> -Albura	198,07	151,83	23,34
<i>Juglans</i> -Duramen	194,70	152,97	21,43
<i>Pouteria</i> – Albura	327,52	289,32	9,66
<i>Pouteria</i> – Duramen	321,03	279,48	8,94

Tabla 13.

Resultados de la prueba *de Tukey*

Especie	Componente	Media	n	E.E.	Grupo
<i>Pouteria</i>	Albura	75.34	5	3.11	A
<i>Pouteria</i>	Duramen	74.90	5	3.11	A
<i>Juglans</i>	Duramen	45.23	5	3.11	B
<i>Juglans</i>	Albura	39.07	5	3.11	B

3.2. Durabilidad natural de las especies

3.2.1. Clasificación del grado de resistencia natural según su densidad básica.

Pouteria caimito ($> 0,85 \text{ g/cm}^3$) se clasifica como Clase I (muy alta durabilidad), mientras que *Juglans neotropica* corresponde a Clase IV (baja durabilidad) según EN 350.

La diferencia en la durabilidad también se encuentra influenciada por las condiciones de humedad del suelo, ya que este factor regula la intensidad de los procesos de degradación biológica.

Tabla 14.

Clasificación de durabilidad natural según su densidad

Densidad básica (g/cm^3)	Durabilidad natural	Categoría EN 350	Vida útil
$< 0,40$	Muy baja	Clase V	< 5 años
$0,40 - 0,55$	Baja	Clase IV	$5 - 10$ años
$0,55 - 0,70$	Moderada	Clase III	$10 - 15$ años
$0,70 - 0,85$	Alta	Clase II	$15 - 25$ años
$> 0,85$	Muy alta	Clase I	> 25 años

Fuente: Adaptado de EN 350:2016

La clasificación obtenida demuestra ser sólido para predecir el desempeño y vida útil de la madera en servicio, ya sea en condiciones de interperie o en contacto con el suelo. La norma EN 350 establece que las maderas con densidades superiores a $0,85 \text{ g/cm}^3$ presentan, en general, una mayor resistencia natural frente a agentes bióticos, debido a su estructura más

compacta y de baja permeabilidad retrasando la aparición y desarrollo de hongos xilófagos. Las maderas con densidad media, como *Juglans neotropica*, tienden a mostrar una menor vida útil, ya que su mayor porosidad favorece la absorción de agua por su alta permeabilidad creando un ambiente favorable para procesos de degradación biológica acelerada, siendo incapaces de ser usadas al interperie sin el uso de sales hidrosolubles, boratos, pentanclorofenol, etc resultando poco sustentables (EN 350, 2016; Avramidis et al., 2023).

3.2.2. Clasificación del grado de resistencia natural según la pérdida de peso.

En la clasificación planteada por Gonzales y Yataco (2011), *Juglans neotropica* se ubica en la clase B (resistente), al presentar pérdidas de peso entre 20 y 24 %. Por su parte, *Pouteria caimito* se clasifica dentro de la clase A (altamente resistente), al registrar pérdidas inferiores al 10 %, lo que evidencia una mayor resistencia natural al deterioro biológico.

Tabla 15.

Clasificación del grado de resistencia natural a pudriciones de la pérdida de peso

Promedio pérdida de peso (%)	Promedio de peso residual (%)	Grado de resistencia	Clase
0 – 10	90 – 100	Altamente resistente	A
11 – 24	76 – 98	Resistente	B
24 – 44	56 – 75	Moderadamente resistente	C
45 o más	55 o menos	No resistente	D

Recuperado de González y Yataco (2011) citado por Ruiz (2017)

Mientras que para *Pouteria caimito*, Flores y Pérez (1987), al evaluar la durabilidad de especies forestales del Perú bajo la acción de hongos xilófagos, la clasifican como una madera resistente. Estos resultados coinciden con lo observado en el presente estudio y refuerzan la importancia de considerar factores adicionales relacionados con la conservación, que permitan definir condiciones óptimas para su preservación.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La evaluación de la durabilidad natural de la madera de *Juglans neotropica* y *Pouteria caimito* evidenció diferencias claras entre ambas especies, principalmente asociadas a sus propiedades físicas y a su densidad básica. Estas diferencias influyeron directamente en el comportamiento de la madera frente a la humedad y en la pérdida de masa durante el período de evaluación.
- Las propiedades organolépticas permitieron identificar variaciones entre albura y duramen, especialmente en el color, el cual presentó fotodegradación a lo largo del ensayo. Estas variaciones se relacionan con la interacción de la radiación solar y con la degradación progresiva de compuestos propios del tejido leñoso biológico.
- El contenido de humedad de las muestras reflejó el cambio entre periodos seco y lluvioso dentro del periodo de estudio demostrando que *Juglans neotropica* presentó una mayor variabilidad en su contenido de humedad por su capacidad higroscópica, por otro lado *Pouteria caimito* mantuvo valores estables a pesar de las condiciones.
- De acuerdo con los criterios de clasificación de durabilidad natural basados en la densidad básica y la pérdida de peso, *Pouteria caimito* se ubicó dentro de la categoría de maderas de alta a muy alta durabilidad, a diferencia de *Juglans neotropica* presentó una durabilidad media a pesar de ser una madera muy liviana, evidenciándose diferencias significativas entre especies.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda el aprovechamiento de la madera de *Pouteria caimito* en usos donde se requiera maderas de alta densidad y de una mayor durabilidad natural, especialmente en condiciones de contacto con el suelo o en ambientes con alta humedad. Para la madera de *Juglans neotropica*, se sugiere restringir su uso a aplicaciones bajo aplicación de tratamientos preservantes que permitan mejorar su vida útil.
- Es conveniente realizar un estudio de análisis microbiológico en futuras investigaciones, que permitan identificar los principales agentes responsables de la degradación de la madera en contacto con el suelo.
- Promover estudios técnicos sobre especies forestales nativas poco aprovechadas, como *Pouteria caimito*, que contribuyan a diversificar el uso de recursos forestales para que puedan ser sustentables y sostenibles a través del tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alvarado, M. M. G., y Vélez, T. P. R. (2021). Estudio del cauje (*Pouteria caimito*) como alimento gastronómico nutricional en escolares de 6 a 12 años de la escuela “León de Febres Cordero” en la ciudad de Guayaquil. *Ingeniería Química y Desarrollo*, 3(1), 30–36. <https://revistas.ug.edu.ec/index.php/iqd/article/view/1736>
- Álvarez, H. V. V., Vilema, G. A. V., Gómez, C. P. D., y García, J. L. C. (2023). Estudio fenológico de *Juglans neotropica* Diels en Imbabura–Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 13(2), 23–33. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12793>
- Arango, R. A., Green, F. III, Hintz, K., Lebow, P. K., y Miller, R. B. (2006). *Natural durability of tropical and native woods against termite damage by Reticulitermes flavipes* (Kollar). *International Biodeterioration y Biodegradation*, 57(3), 146–150. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2006.01.007>
- Avramidis, S., Lazarescu, C., y Rahimi, S. (2023). *Basics of wood drying*. In P. Niemz, A. Teischinger y D. Sandberg (Eds.), *Handbook of Wood Science and Technology* (pp. 679–706). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81315-4_13
- Barotto, A. J. (2021). Significado funcional de la madera en el género *Eucalyptus*: relaciones entre microestructura y mecanismos de resistencia a estrés por sequía y heladas.
- Bobadilla, E. (2005). Durabilidad natural de la madera de cinco especies aptas para la industria de la construcción [Tesis de master, Universidad Nacional de Misiones]. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2005000200008>
- Brischke, C., Bollmus, S., y Emmerich, L. (2024). Comparative durability tests of preservative-treated and chemically modified wood: Assessment and classification on the basis of different decay tests. *European Journal of Wood and Wood Products*, 82, 1083–1094. <https://doi.org/10.1007/s00107-024-02065-3>
- Broda, M. (2020). Natural compounds for wood protection against fungi: A review. *Molecules*.
- Cacuango Quinchiguano, R. D. (2023). Determinación de la durabilidad natural de la madera de *Fraxinus americana* L. y *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden provenientes de la Estación Experimental “La Favorita”, Santo Domingo de los Tsáchilas [Trabajo de integración curricular, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio UTN. <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/13534/2/03%20FOR%20351%20T>

RABAJO%20GRADO.pdf

- Calderón, A. D. (s. f.). Preservación de maderas (Vol. 16)
<http://ciberinnova.edu.co/archivos/plantilla-ovas1-slide/documents-UCN-Canvas/preservacion-madera-2018/3.%20Preservacion%20de%20maderas.pdf>
- Carvajal Benavides, J. G., Sono Toledo, D. D., Arcos Unigarro, C. R., Basantes Vizcaíno, T. F., Paredes Rodríguez, H. O., y Varela Jácome, G. D. (2023). Caracterización de las propiedades organolépticas y anatómicas de *Juglans neotropica* Diels (nogal) en la provincia de Imbabura. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 5(6), 647–659. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v5i6.883>
- Camacho Maurad, G. S. (2024). Estudio de la durabilidad y el comportamiento al fuego en maderas modificadas (termotradas y acetiladas).[Tesis de master; Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Tecnología de Arquitectura]
- Comité Europeo de Normalización. (2016). EN 350: Durability of wood and wood-based products—Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials (SIST EN 350:2017). CEN.
<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/38080/5ae566aacb914dd9b2f04595ba829f67/SIST-EN-350-2017.pdf>
- Chillón, J. C. G. (2024). Importancia del sector forestal y su (posible) valoración económica. *Revista española de estudios agrosociales y pesqueros*, (263), 122-174.
<https://doi.org/10.24197/reeap.263.2024.122-174>
- Enríquez y Cadena (2013). Efecto de *Azolla* sp. en la productividad y mejoramiento [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte].
<https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2068/1/03%20RNR%20164%20TESIS.pdf>
- Falcão, M. d. (1999). Fenología e produtividade do abiu (*Pouteria caimito*) na Amazônia Central. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9031-8_11
- Fierro (2023). Caracterización dasométrica de familias de *Juglans neotropica* Diels recolectadas en la provincia de Tungurahua [Tesis de grado, ESPOCH].
- Flores y Pérez (1987). Durabilidad natural de diez maderas de Madre de Dios a la acción de tres hongos xilófagos. *Revista Forestal del Perú*,
<http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rfp/article/view/141>

- Gambetta, A., Susco, D., y Zanuttini, R. (2004). Determination of the natural durability of larch wood from the Western Italian Alps. *Holzforschung*, 58(6), 678–681.
<https://doi.org/10.1515/hf.2004.123>
- Guanolema (2022). Evaluación de cinco métodos de escarificación y dos sustratos para la producción de plantas de nogal (*Juglans neotropica*) en el vivero Guaslán, cantón Riobamba [Tesis de grado, ESPOCH].
- Herrera-Builes, J. F., Sepúlveda-Villaruel, V., Osorio, J. A., Salvo-Sepúlveda, L., & Ananías, R. A. (2021). Effect of thermal modification treatment on some physical and mechanical properties of *Pinus oocarpa* wood. *Forests*, 12(2), 249.
- Mirski, T., Bartoszcze, M., Bielawska-Drózd, A., Cieslik, P., Michalski, AJ, Niemcewicz, M., ... y Chomiczewski, K. (2014). Revisión de métodos utilizados para la identificación de agentes de bioamenazas en aspectos de protección ambiental y salud humana. *Anales de medicina agrícola y ambiental* , 21 (2).
- Moreno y Urieta (2024). Durabilidad natural de la madera de seis especies de importancia comercial en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 15(84), –.
- Ontiveros-Moreno, Y. C. (2024). Durabilidad natural de la madera de seis especies de importancia comercial en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 15(84), –.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i84.1453>
- Paitán Díaz, P. A. (2023). Durabilidad natural de *Miconia* sp. en cementerio de campo–Satipo [Tesis de grado]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/9565>
- Paredes, D. (2024). Propiedades mecánicas de *Chrysophyllum argenteum*. *Pentaciencias*, 6(1), –. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v6i1.1003>
- Plaschkies, K., Jacobs, K., Scheiding, W., y Melcher, E. (2014). Natural durability of European wood species: Laboratory tests. *International Biodeterioration y Biodegradation*, 90, 52–56. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.01.016>
- Romero, B. A. R. (2022). Caracterización de albura en *Gmelina arborea*.
<https://www.academia.edu/download/101108918>
- Ruiz Salazar, D. E. (2017). Durabilidad natural de *Carapa amorphocarpa* y *Alnus nepalensis* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte].
<https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6641>
- Sandioma y Ángeles, L. (2024). Rasgos morfológicos de las hojas y frutos de caimito (*Pouteria caimito*) en la selva central del Perú [Tesis de grado, Universidad Nacional

- Agraria].
- Se Golpayegani, A., Thevenon, M.-F., Bremaud, I., Pourtahmasi, K., y Gril, J. (2017). Durabilidad natural y estabilidad dimensional de *Morus alba* L.
- Serna-Mosquera, Yessika Biasney, Torres-Torres, Jhon Jerley, y Asprilla-Palacios, Yeison Yair. (2020). Durabilidad natural de la madera de *Ochroma Pyramidale* Urb. en el municipio de Atrato, Colombia. *Entramado* , 16 (1), 192-202. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.6105>
- Taraboreli, C., Refort, M. M., Spavento, E., Maly, L., Acuña Rello, L., Camera, R., y Keil, G. (2020). Evaluación de tratamientos superficiales en madera expuesta a condiciones de intemperismo natural. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/51295>
- Toro Vanegas, E., y Roldán Rojas, I. C. (2018). Estado del arte, propagación y conservación de *Juglans neotropica*. *Madera y Bosques*, 24(1), <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2411560>
- Vargas Allauca, N. R. (2021). Evaluación de la durabilidad natural de la madera en laboratorio de dos especies forestales, en reacción de un hongo xilófago.
- Vasconez Lucintuña, D. K. (2021). Durabilidad natural de la madera de dos especies forestales a la acción de un hongo xilófago con pruebas aceleradas en laboratorio.
- Villota Guerrón, E. L. (2023). Análisis de propiedades físicas, anatómicas y trabajabilidad de *Juglans neotropica* [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/14389>
- Vizarreta y Calderón (2023). Influencia climática en la anatomía de la madera de *Juglans neotropica* en un bosque de montaña montano, Chanchamayo–Perú [Tesis de grado, Universidad Continental].
- Marais, BN, Brischke, C., Militz, H., Peters, JH y Reinhardt, L. (2020). Estudios sobre la descomposición fúngica de la madera en contacto con el suelo. Parte 1: Influencia de la capacidad de retención de agua, el contenido de humedad y la temperatura de los sustratos del suelo en la descomposición fúngica de maderas seleccionadas. *Forests* , 11 (12), 1284. <https://doi.org/10.3390/f11121284>
- Yinhong Hu, Ian Yesilonis, Katalin Szlavecz (2023) Microbial and environmental controls on wood decomposition in deciduous forests of different ages, *Applied Soil Ecology*, Volume 166, 2021, 103986, ISSN 0929-1393, <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103986>.

Zambrano, V. A. M., Calderon, L. F. P., y Chávez, A. J. M. (2023). La bioarquitectura para el aprovechamiento de los recursos energéticos. *Revista Científica FIPCAEC (Fomento de la investigación y publicación científico-técnica multidisciplinaria)*. ISSN: 2588-090X. *Polo de Capacitación, Investigación y Publicación (POCAIP)*, 8(1), 122-133.

Anexos



Figura 1. División albura y duramen



Figura 2. Elaboración de probetas



Figura 3. Codificación de probetas



Figura 4. Método de cementerio



Figura 5. Medición se PH y humedad del suelo

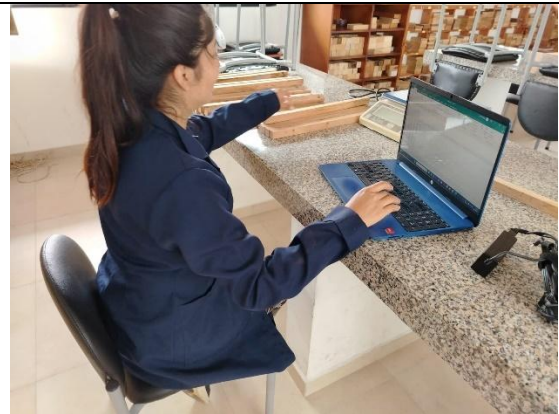


Figura 6. Análisis de datos