



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**Trabajo de integración curricular, presentado como requisito previo a  
la obtención del título de Ingeniero Forestal**

**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 TSACHILAS**

**AUTOR:**

Ramiro David Cacuango Quinchiguango

**DIRECTOR:**

Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs.

**IBARRA – ECUADOR**

2023

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

DETERMINACIÓN DE LA DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE  
*Fraxinus americana* L. y *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.  
PROVENIENTES DE LA ESTACION EXPERIMENTAL "LA FAVORITA"  
SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS

Trabajo de integración curricular revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza la  
presentación como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

**APROBADO**

Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs.

**Director de trabajo de integración curricular**

Ing. Eduardo Jaime Chagna Ávila, Mgs.

**Tribunal de trabajo de integración curricular**

Ing. Hugo Orlando Paredes Rodríguez, Mgs

**Tribunal de trabajo de integración curricular**



**Ibarra – Ecuador**

2023



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### 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			
<b>CÉDULA DE CIUDADANÍA:</b>	1726570482		
<b>NOMBRES Y APELLIDOS:</b>	Ramiro David Cacuangó Quinchiguango		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Otavalo – Calle Bolívar y Piedrahita		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:rdcacuangog@utn.edu.ec">rdcacuangog@utn.edu.ec</a>		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>		<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0980329700

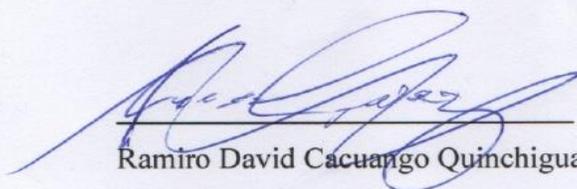
DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	DETERMINACIÓN DE LA DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE <i>Fraxinus americana</i> L. y <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden. PROVENIENTES DE LA ESTACION EXPERIMENTAL “LA FAVORITA” SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS
<b>AUTOR:</b>	Ramiro David Cacuangó Quinchiguango
<b>FECHA (dd/mm/aaaa):</b>	25/01/2023
SÓLO PARA TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	
<b>PROGRAMA:</b>	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero Forestal
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs

## 2. CONSTANCIA

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 es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 25 de enero de 2023

### EL AUTOR



---

Ramiro David Cacuangó Quinchiguango

## REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

**Guía:** FICAYA – UTN

**Fecha:** 25 de enero de 2023

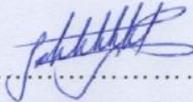
Ramiro David Cacuango Quinchiguango: **DETERMINACIÓN DE LA DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE *Fraxinus americana* L. y *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. PROVENIENTES DE LA ESTACION EXPERIMENTAL “LA FAVORITA” SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS** /Trabajo de integración curricular. Ingeniero Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 77 páginas.

**DIRECTOR:** Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs

El objetivo principal de la presente investigación fue: Evaluar la durabilidad natural de la madera de *Fraxinus americana* L. y *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, para seguir con investigaciones anteriores en el campus Yuyucocha.

Los objetivos específicos son:

- Comparar la durabilidad natural entre las dos especies forestales estudiadas.
- Clasificar de acuerdo al porcentaje de pérdida de peso la durabilidad natural de las especies.



.....  
Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs

**Director de trabajo de integración curricular**



.....  
Ramiro David Cacuango Quinchiguango

**Autor**

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo enormemente a mi madre; María Juana Quinchiguango Morales, quien siempre me apoyo en todo momento y supo ser el motor que me impulsó cada día a culminar esta etapa que sin duda no fue fácil pero que con su cariño y esfuerzo sobre humano supo ser mi gran pilar fundamental.*

*A mi padre Juan Ramiro Cacuango Morocho, que con sus consejos me supo guiar, apoyar y motivar para seguir luchando ante las adversidades durante todo momento y además me motivo a no rendirme.*

*A un ser muy especial y querido que ya no se encuentra entre nosotros, a mi primo Bryan Alexander Albuja Cacuango, con quien compartí gratos y bonitos momentos, además quien supo ser un gran ejemplo de esfuerzo y perseverancia.*

*A quien sin duda fue lo mejor que me paso en la vida y que dolorosamente hace poco vi partir pero que siempre perdurara en mi corazón, a mi querido mejor amigo canino ‘Max’ un ser maravilloso, valiente, inteligente y leal, el cual me acompaño en todo momento, en las buenas y malas pues siempre me brindo su cariño y amor incondicional y del cual estaré eternamente agradecido.*

## AGRADECIMIENTO

Agradezco enormemente a,

*La Universidad Técnica del Norte por permitirme formarme en sus campus y adquirir los conocimientos necesarios para culminar este arduo trabajo.*

*A la carrera de ingeniería forestal de la cual me siento orgulloso de pertenecer y que gracias a sus excelentes profesionales docentes hoy me encuentro finalizando esta etapa con los conocimientos necesarios para sobresalir en el ámbito profesional.*

*Al comité asesor de esta investigación; el Ing. Carlos Arcos como mi director, me supo guiar y apoyar con sus bastos conocimientos permitiéndome culminar este trabajo de la mejor manera.*

*A mis asesores; el Ing. Eduardo Chagna y el Ing. Hugo Paredes, por el tiempo dedicado, consejos y oportunas observaciones que permitieron nutrir mis conocimientos en la presente investigación.*

*Doy gracias también a un gran amigo, Jhon Edwin Cualchi, quien me brindo su amistad de una manera incondicional desde la infancia, y el cual me apoyo durante mi etapa universitaria, ya que gracias a sus consejos supo guiarme y animarme ante las difíciles situaciones.*

*A mis amigos y compañeros de aula con quienes compartí maravillosos momentos de los cuales me llevare gratos recuerdos llenos de risas y alegría, además de que de alguna manera me supieron ayudar durante el proceso de la presente investigación.*

## **LISTA DE SIGLAS**

**ASTM.** American Society For Testing Materials

**CH.** Contenido de Humedad

**DAP.** Diámetro a la Altura del Pecho

**INAMHI.** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

**INEN.** Instituto Ecuatoriano de Normalización

**OIMT.** Organización Internacional de Maderas Tropicales

**Pv.** Peso en verde

**Psh.** Peso seco al horno

**SENPLADES.** Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo

**COA.** Código Orgánico del Ambiente

**MAAE.** Ministerio del Ambiente y Agua

**IFLA.** Instituto Forestal Latinoamericano

**CONIF.** Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal

**JUNAC.** Junta del Acuerdo de Cartagena

## ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA .....	i
APROBACIÓN .....	¡Error! Marcador no definido.
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN.....	iii
REGISTRO BIBLIOGRÁFICO.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO .....	vii
LISTA DE SIGLAS .....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
CAPITULO I.....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos.....	3
1.1.1. General.....	3
1.1.2. Específicos.....	3
1.2. Hipótesis .....	3
1.2.1. Nula ( $H_0$ ).....	3
1.2.2. Alterna ( $H_a$ ) .....	3
CAPITULO II.....	4
2 MARCO TEÓRICO .....	4
2.1. Fundamentación legal .....	4

2.1.1. Constitución de la República del Ecuador 2008.....	4
2.1.2. Código Orgánico del Ambiente .....	4
2.1.3. Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 .....	6
2.1.4. Línea de investigación .....	6
2.2. Fundamentación teórica.....	6
2.2.1. La madera .....	6
2.2.2. Propiedades de la madera .....	6
2.2.3. Agentes degradadores Bióticos.....	9
2.2.4. Agentes degradadores climáticos y edáficos .....	11
2.2.5. Tipos de pudrición de la madera.....	12
2.2.6. Ensayo de campo para determinar la durabilidad natural de la madera .....	13
2.2.7. Tablas de Clasificación de la Durabilidad Natural .....	14
2.2.8. Descripción de la especie <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden .....	15
2.2.9. Descripción de la especie <i>Fraxinus americana</i> L.....	16
CAPITULO III .....	17
3 MATERIALES Y MÉTODOS .....	17
3.1. Ubicación del sitio .....	17
3.1.1. Política .....	17
3.1.2. Geográfica.....	18
3.2. Datos climáticos.....	19
3.3. Materiales, equipos y software .....	19
3.4. Metodología.....	19
3.4.1. Adquisición y preparación de las probetas de duramen y albura .....	20
3.4.2. Secado de las probetas .....	21
3.4.3. Instalación del ensayo cementerio .....	21

3.4.4. Análisis de suelo .....	23
3.4.5. Tiempo de ensayo .....	23
3.4.6. Cálculo de la pérdida de peso de las probetas .....	24
3.4.7. Comparación de las dos especies forestales. ....	25
3.4.8. Evaluación de la Fotodegradación .....	27
3.4.9. Clasificación según el grado de resistencia y clase .....	27
CAPITULO IV .....	28
4 RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	28
4.1. Resultados.....	28
4.1.1. Análisis de suelo .....	28
4.1.2. Datos climatológicos .....	29
4.1.3. Contenido de humedad absorbida.....	30
4.1.4. Pérdida de peso de las probetas evaluadas .....	32
4.1.5. Comparación de la durabilidad natural de las dos especies forestales .....	37
4.1.6. Evaluación de la fotodegradación.....	39
4.1.7. Clasificación de la durabilidad natural de las dos especies evaluadas .....	40
CAPITULO V .....	42
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	42
5.1. Conclusiones.....	42
5.2. Recomendaciones .....	42
Capítulo VI.....	43
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43
CAPITULO VII.....	52
7 ANEXOS .....	52

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Clasificación de la madera respecto a su durabilidad</i> .....	14
Tabla 2 <i>Clasificación según la resistencia al hongo xilófago</i> .....	14
Tabla 3 <i>Materiales, equipos, maquinaria y software</i> .....	19
Tabla 4 <i>Esquema del análisis de varianza</i> .....	26
Tabla 5 <i>Descripción de los tratamientos</i> .....	26
Tabla 6 <i>Características del experimento</i> .....	26
Tabla 7 <i>Criterio seleccionado para determinar la durabilidad natural de las probetas</i> .....	27
Tabla 8 <i>Análisis de las propiedades químicas del suelo</i> .....	28
Tabla 9 <i>Variables climatológicas registradas durante el tiempo de evaluación</i> .....	29
Tabla 10 <i>Promedio de la pérdida de peso registrados en la primera evaluación</i> .....	32
Tabla 11 <i>Análisis de varianza de la primera evaluación</i> .....	33
Tabla 12 <i>Rangos Tukey de los tratamientos a los dos meses</i> .....	33
Tabla 13 <i>Promedio de la pérdida de peso registrados en la segunda evaluación</i> .....	34
Tabla 14 <i>Análisis de varianza de la segunda evaluación</i> .....	34
Tabla 15 <i>Rangos Tukey de los tratamientos a los cuatro meses</i> .....	35
Tabla 16 <i>Promedio de la pérdida de peso registrados en la tercera evaluación</i> .....	35
Tabla 17 <i>Análisis de varianza de la segunda evaluación</i> .....	36
Tabla 18 <i>Rangos Tukey de los tratamientos a los seis meses</i> .....	36
Tabla 19 <i>Peso promedio de las probetas bajo los 25cm de la superficie del suelo</i> .....	38
Tabla 20 <i>Cambio de color en las probetas de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden</i> .....	39
Tabla 21 <i>Cambio de color en las probetas de Fraxinus americana L</i> .....	39
Tabla 22 <i>Clasificación de la madera de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden</i> .....	40
Tabla 23 <i>Clasificación de la madera de Fraxinus americana L</i> .....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ataque de un hongo de pudrición</i> .....	10
Figura 2. <i>Pudrición parda o cubica</i> .....	13
Figura 3 <i>Mapa de ubicación del material experimental</i> .....	17
Figura 4 <i>Mapa de ubicación del área de estudio</i> .....	18
Figura 5 <i>Dimensión de probetas</i> .....	20
Figura 6 <i>Esquema del ensayo cementerio de maderas</i> .....	22
Figura 7 <i>Distribución de las probetas en la unidad experimental</i> .....	22
Figura 8 <i>Probetas enterradas en la unidad experimental</i> .....	23
Figura 9 <i>Diagrama ombrotérmico del área de estudio</i> .....	29
Figura 10 <i>Promedios del contenido de humedad inicial y final de los tratamientos a los dos meses</i> .....	30
Figura 11 <i>Promedios del contenido de humedad inicial y final de los tratamientos a los cuatro meses</i> .....	31
Figura 12 <i>Promedios del contenido de humedad inicial y final de los tratamientos a los seis meses</i> .....	31

**TITULO:** DETERMINACIÓN DE LA DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE *Fraxinus americana* L. y *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. PROVENIENTES DE LA ESTACION EXPERIMENTAL “LA FAVORITA” SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS

**Autor:** Ramiro David Cacuango Quinchuango

**Director de trabajo de titulación:** Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs.

**Año:** 2023

## RESUMEN

El ataque de varios agentes degradadores sea bióticos o abióticos ocasionan daños en la estructura externa e interna de la madera y consecuentemente una depreciación en lo estético, económico y funcional, por ello es necesario conocer su durabilidad natural, con la finalidad de propiciar los tratamientos y técnicas adecuadas para una correcta utilización y prolongar su vida útil. La investigación tuvo como objetivo principal, evaluar la durabilidad natural de la madera de *Fraxinus americana* L. y *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden provenientes del campus experimental “La Favorita”. El método que se empleó para el ensayo de campo es el denominado cementerio de maderas, el cual consiste en colocar probetas con dimensiones de (2.5 x 2.5 x 65) cm en el suelo a una profundidad de 25 cm. Se instalaron ocho parcelas para cada especie y componente (albura y duramen), se contó con un total de 16 unidades experimentales. En cada parcela se implementaron 25 probetas y 400 en todo el ensayo, se procedió a evaluar el experimento al segundo, cuarto y sexto mes. Las variables fueron evaluar la durabilidad natural y clasificar el porcentaje de pérdida de peso de las especies *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden y *Fraxinus americana* L de lo que se concluye que la primera presenta mayor resistencia en la albura y duramen que la segunda; así mismo, la primera se la clasificó como una madera tipo B (resistente) en el duramen y tipo C (moderadamente resistente) en la albura, mientras que la segunda se la clasificó como tipo C (moderadamente resistente). Se evaluó además la fotodegradación, es decir el cambio de color de las probetas expuestas a la radiación solar, el cual degrado la parte aérea de la madera tornándola a un aspecto envejecido y de color pálido o desgastado.

**Palabras Claves:** ensayo cementerio, unidad experimental, probeta de madera, degradación.

**TITLE:** DETERMINATION OF THE NATURAL DURABILITY OF THE WOOD OF *Fraxinus americana* L. y *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. FROM THE EXPERIMENTAL STATION "LA FAVORITA" SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS

**Author:** Ramiro David Cacuango Quinchguango

**Director of thesis:** Ing. Carlos Ramiro Arcos Unigarro, Mgs.

**Year:** 2023

## **ABSTRACT**

The attack of various degrading agents, whether biotic or abiotic, cause damage to the external and internal structure of the wood and consequently a depreciation in the aesthetic, economic and functional aspects, for this reason it is necessary to know the natural durability of the wood, in order to promote the appropriate conditions, treatments and techniques for proper use and prolong its useful life. The main objective of the research was to evaluate the natural durability of *Fraxinus americana* L. y *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden wood from the "La Favorita" experimental station. The method used for the field test is the so-called wood graveyard, which consists of placing wooden test tubes of dimensions (2.5 x 2.5 x 65) cm in contact with the ground at a depth of 25 cm. Eight plots were installed for each species and component (sapwood and heartwood), that is, there were a total of 16 experimental units. In each plot, 25 test tubes were implemented and 400 in the entire trial, later they were evaluated at the second, fourth and sixth month. The variables were to evaluate the natural durability and classify the percentage of weight loss of the species *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden and *Fraxinus americana* L, from which it is concluded that the first presents greater resistance in the sapwood and heartwood than the second; Likewise, the first was classified as type B wood (resistant) in the heartwood and type C (moderately resistant) in the sapwood, while the second was classified as type C (moderately resistant). Photodegradation was also evaluated, that is, the change in color of the specimens exposed to solar radiation, which degraded the aerial part of the wood, giving it an aged appearance and a pale or worn color.

**Key words:** graveyard test, experimental unit, wooden test tube, degradation

## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

“La madera es un elemento orgánico de origen natural que hasta la actualidad es considerado como un material muy importante en la construcción e industria del mueble, así como también de varios productos de uso habitual” (Serrano y Moya, 2011). En comparación con otros materiales, “la madera brinda una facilidad de trabajo debido a que posee una baja densidad, y por ser un buen aislante térmico y acústico cuando se encuentra en un estado anhidro” (Fabián, 2020). “La vida útil de la madera se encuentra limitada por su durabilidad natural”, es decir la capacidad que esta posee de resistir a los ataques de agentes degradadores entre los que destacan; los hongos de pudrición, insectos, bacterias y las condiciones edafoclimáticas (De La Cruz Carrera *et al.*, 2018).

“La durabilidad natural es una propiedad que determina el uso de la madera e incide en el tiempo en el cual se mantienen vigentes sus propiedades físicas y mecánicas” (Cuadrado *et al.*, 2017), “debido a que la madera se puede emplear convenientemente con el fin de no generar pérdidas significativas ante el uso inadecuado de la misma” (Ibáñez *et al.*, 2016), pues la cantidad de especies maderables que se utilizan para diversas actividades se han reducido con el transcurso del tiempo “y solo se toman en cuenta las que puedan brindar cierta resistencia biológica y natural” (Cuadrado *et al.*, 2017).

*Fraxinus americana* L es una especie originaria de la región del este de Norte América, se desarrolla naturalmente en los estados de Florida, Texas, Minnesota y en la región sudeste de Canadá (Schlesinger, 1990). En el Ecuador debido a su diversidad climática, la especie se ha logrado adaptar en varias provincias, sobre todo las pertenecientes a las regiones de la costa y sierra, siendo implementada en ornamentación y arbolado urbano (Ponce, 2019). La madera de la especie en mención es usada principalmente para mangos de herramientas, cabos, remos, partes de vehículos, bates de béisbol y varios artículos deportivos (Instituto Forestal Latinoamericano [IFLA], 1995), así como también para chapas, madera aserrada y canoas (Schlesinger, 2003 citado por Pérez *et al.*, 2005).

El *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden es una especie nativa de Oceanía, desarrollándose principalmente de manera natural en la región costera de Queensland y en Nuevo Gales del Sur, ubicado en Australia (Sánchez *et al.*, 2005). “En base a que es una especie de rápido crecimiento y de fácil adaptación, se ha distribuido a nivel mundial sobre todo en regiones con el clima mediterráneo, tropical y subtropical” (Corporación Nacional De Investigación Y Fomento Forestal [CONIF], 2002). El Eucalipto, ha sido introducido en el Ecuador en el siglo XIX, debido a que la deforestación en la región interandina había alcanzado niveles alarmantes (Granda, 2006). Frente a aquella situación, se implementó la especie a razón de aprovechar su madera para la construcción, elaboración de muebles, leña y carbón; “convirtiéndose así, en una fuente de producción económica para las comunidades rurales y aledañas” (Iglesias-Abad *et al.*, 2020).

El campus experimental La Favorita perteneciente a la Universidad Técnica del Norte, se implementó las especies; *Fraxinus americana* L cuyos individuos se caen naturalmente debido a que es una plantación de avanzada edad y posteriormente su madera es usada para las actividades de construcción propias del sector (J Ruíz, 2020), y el *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, del cual por medio de la intervención del entonces Departamento Forestal del Ministerio de Fomento en el año 1965 se incorporó la especie con la finalidad de establecer plantaciones para ensayos de introducción (Aguirre y Vizcaíno, 2010).

Por lo antes expuesto y frente a los limitados estudios sobre la durabilidad natural de las especies mencionadas anteriormente, la investigación tuvo como fin contribuir con información acerca de esta propiedad y determinar las capacidades que tiene la madera de soportar el ataque de agentes degradadores presentes en el suelo y en un ambiente totalmente expuesto sin tratamientos ni preservantes; el ensayo tuvo una duración de seis meses, tomando en cuenta principalmente el porcentaje de pérdida de peso y la clasificación según el grado de resistencia.

Este trabajo tiende a complementar a las investigaciones realizadas acerca de las propiedades físicas y trabajabilidad de *Fraxinus americana* L y *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, cuya información obtenida y en conjunto con el presente estudio de la durabilidad natural, servirá de aporte a la parroquia San Antonio de Ibarra como una alternativa a las maderas tradicionalmente usadas.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. General**

Evaluar la durabilidad natural de la madera de *Fraxinus americana* L. y *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, para seguir con investigaciones anteriores en el campus Yuyucocha.

### **1.1.2. Específicos**

- Comparar la durabilidad natural entre las dos especies forestales estudiadas.
- Clasificar de acuerdo al porcentaje de pérdida de peso la durabilidad natural de las especies.

## **1.2. Hipótesis**

### **1.2.1. Nula ( $H_0$ )**

- La durabilidad natural de la madera entre las dos especies y componentes estudiadas es similar.

### **1.2.2. Alterna ( $H_a$ )**

- La durabilidad natural de la madera entre las dos especies y componentes estudiadas es diferente.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Fundamentación legal**

##### **2.1.1. Constitución de la República del Ecuador 2008**

En el artículo **Art. 27** se menciona que la educación se centrará en el ser humano y garantizará su desarrollo holístico, en el marco del respeto a los derechos humanos, al medio ambiente sustentable y a la democracia, además en el capítulo séptimo, derechos de la naturaleza artículo **Art. 71** menciona que; la naturaleza o Pachamama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos, así como también en el **Art. 74** señala que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir, consecuentemente en el **Art. 395** de la sección primera, naturaleza y ambiente menciona que; el Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras, en la sección tercera, patrimonio natural y ecosistemas en el artículo **Art. 406** indica que; el Estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable, recuperación, y limitaciones de dominio de los ecosistemas frágiles y amenazados (Constitución de la República del Ecuador, [CRE], 2008).

##### **2.1.2. Código Orgánico del Ambiente**

Dentro de la estructura de COA relacionando a los objetivos de la investigación se encuentra, el **Art. 3** el cual menciona establecer mecanismos que promuevan y fomenten la generación de información ambiental, así como la articulación y coordinación de las entidades públicas, privadas y de la sociedad civil.

En el **Art. 17** menciona la importancia de estado en el cual deberá contar con datos científicos y técnicos sobre la biodiversidad y el ambiente, los cuales deberán ser actualizados

permanentemente. El Ministerio del Ambiente y Agua (MAAE) como Autoridad Ambiental Nacional deberá recopilar y compilar dichos datos en articulación con las instituciones de educación superior públicas, privadas y mixtas, al igual que con otras instituciones de investigación.

En los objetivos del Estado, de la conservación de la biodiversidad en el numeral 8 del **Art. 30**, señala que es de gran importancia promover la investigación científica, el desarrollo y transferencia de tecnologías, la educación e innovación, el intercambio de información y el fortalecimiento de las capacidades relacionadas con la biodiversidad y sus productos, para impulsar la generación del bioconocimiento.

En el **Art. 119** alude que las plantaciones forestales y sistemas agroforestales de producción constituirán medios para aliviar la presión sobre los bosques naturales, por la demanda de madera y sus derivados.

En el **Art. 133** de la Investigación científica, innovación y desarrollo tecnológico y extensión forestal señalan que la Autoridad Ambiental Nacional, la Autoridad Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, la Autoridad única del Agua y la Autoridad Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación y Saberes Ancestrales identificarán y propondrán iniciativas para la investigación científica, innovación y desarrollo tecnológico y extensión forestal en base a sus competencias.

También se menciona que en el **Art. 137** de los Programas especiales, la Autoridad Ambiental Nacional y la Autoridad Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, en sus respectivos ámbitos de competencia, diseñarán e implementarán planes, programas o proyectos especiales en el territorio para brindar a los actores forestales información, asistencia técnica y servicios de extensión en materia de manejo forestal sostenible, prevención y control de plagas forestales, restauración ecológica, reforestación con fines de conservación y plantaciones de producción. Igualmente lo harán con relación a la creación de programas especiales de apoyo a las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades, así como a pequeños y medianos productores forestales (Código Orgánico del Ambiente [COA], 2017).

### **2.1.3. Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025**

El estudio se enmarca en el **Objetivo 11** Conservar, restaurar, proteger y hacer un uso sostenible de los recursos naturales y la política 11.3 Impulsar la reducción de la deforestación y degradación de los ecosistemas a partir del uso y aprovechamiento sostenible del patrimonio natural. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2021).

### **2.1.4. Línea de investigación**

El estudio se desarrolló bajo línea de investigación de la Carrera de Ingeniería Forestal: Desarrollo agropecuario y forestal sostenible.

## **2.2. Fundamentación teórica**

### **2.2.1. La madera**

Ruiz (2020) menciona que, “la madera es un recurso natural de origen vegetal que se extrae de las especies forestales, por lo que se considera un elemento renovable, abundante y comparativamente económico”. Asimismo Dussan y Rincón (2019) mencionan que, “es un material orgánico natural, lo cual le facilita el crecimiento y la supervivencia del propio elemento, y ofrece muchos beneficios industriales gracias a sus propiedades físico-mecánicas”. Rivera y Uceda (2014) señalan que, “la madera es el componente principal de la biomasa forestal que ha contribuido históricamente a satisfacer las necesidades prioritarias de la humanidad.”

### **2.2.2. Propiedades de la madera**

#### **2.2.2.1 Propiedades físicas**

- Densidad

Se refiere a la relación masa volumen que ocupa un cuerpo, es decir que “mientras más juntas se encuentren las capas celulares de la madera mayor será su densidad, además la madera posee una densidad inferior a la del agua que es de  $1\text{gr/cm}^3$  y es por ello que tiene la capacidad de flotar” (Ruiz, 2020).

- Dureza

Es la capacidad que tiene la madera de resistir o sufrir alteraciones físicas, como por ejemplo; el rayado, la penetración y el desgaste, por lo cual depende directamente de la cantidad de fibras que la conforman (Cuesta, 2017).

- Anisotropía

Escudero (2013) menciona que, “es una propiedad de la madera que le permite variar sus cualidades y mostrar comportamientos diferentes dependiendo principalmente de la dirección de las fibras ya sea tangencial, radial o axial”. El carácter anisotrópico de la madera ofrece versatilidad para el diseño de productos y estructuras en base a la superficie con las mejores características (pp 5) (Sotomayor y Ramires, 2014).

- Contenido de humedad

La madera es capaz de absorber o desorber el agua frente a las condiciones climáticas que la rodean, sean estas la temperatura y humedad relativa, “logrando alcanzar un equilibrio con su propio contenido de humedad” (García, 2015). Esta característica puede ser considerada una desventaja para la madera con fines comerciales puesto a que llegan afectar las propiedad Químicas, físicas, mecánicas y de durabilidad natural (pp 37) (Wang *et al.*, 2014).

#### 2.2.2.2 *Composición química*

- Celulosa

La celulosa es el principal componente que constituyen a las paredes celulares, llegando a formar entre el 40% a 50% del total del árbol, en las especies caracterizadas como; coníferas y latifoliadas llega a cumplir la función de soporte (pp 5) (Turrado *et al.*, 2008). “En cuanto a su morfología, tiene una estructura lineal o fibrosa constituida por una larga cadena de carbohidratos polisacáridos y formada por la unión de moléculas de  $\beta$ -glucosa a través de enlaces  $\beta$ -1,4-glucosídico, haciéndola insoluble en el agua” (Gardner *et al.*, 2008).

- Hemicelulosa

Son unidades anhidrozucres en forma de polímeros y que se encuentran unidos por glucosidicos, manteniendo juntos a la celulosa y lignina, entre los que destacan son las pentosas,

hexosas, ácidos urónicos y desoxihexosas (pp 101) (Gírio *et al.*, 2010). Además, “en la madera se puede encontrar una cantidad de 20% – 30 % de manera uniforme localizándose entre los espacios libres conectados por un par de haces con fibras principales” (Valderrama, 1998).

Los xilanos son las hemicelulosas mayoritarias en las paredes celulares de las maderas duras y los glucomananos se encuentran distribuido en su mayoría en la pared celular de las maderas blandas (Rivas, 2014).

- Lignina

“Es uno de los biopolímeros más abundantes en las plantas herbáceas y leñosas, y junto con la celulosa y la hemicelulosa conforman la pared celular en una disposición regulada a nivel nano-estructural, dando como resultado redes de lignina-hidratos de carbono” (Chávez y Domine, 2013). Además se considera un elemento indispensable que vigoriza y le brinda rigidez a los tejidos vegetales (pp 43-63) (Zavaleta y Lagunes, 2015). La lignina por si sola proporciona una barrera física inicial contra la entrada de fitopatógenos en el huésped, y en algunos casos restringe su crecimiento o los limita (Wuyts *et al.*, 2006).

### ***2.2.2.3 Durabilidad Natural***

Es la capacidad que tiene la madera para soportar el ataque de agentes degradadores químicos, físicos y biológicos sin recibir algún tipo de tratamiento o preservación, llegando a depender en sí misma de su composición química existente en las paredes y cavidades celulares, además de su permeabilidad, contenido de humedad, temperatura, y por las condiciones finales de uso (pp 16) (Serna *et al.*, 2019).

Bobadilla (2004) define que, la durabilidad natural es el tiempo que la madera llega a mantener sus propiedades mecánicas cuando esta se encuentra en contacto con el suelo y los agentes de deterioro biológicos (pp 3).

En el proceso de la durabilidad natural los resultados entre la comparación de las especies forestales pueden llegar a variar, esto debido a que existen maderas con diferentes propiedades Químicas, Físicas y mecánicas (pp 1-13) (Trujillo y González, 1995).

Tapia (2010) señala que, por lo general las maderas con características más densas y de color oscuro llegan a ser más durables, esto debido a que, al poseer menos porosidad, restringe

la presencia de agua y oxígeno, afectando al desarrollo de un ambiente propicio para los agentes destructores biológicos, al mismo tiempo emiten sustancias de color oscuras que cumplen con el rol de reducir la absorción de agua o toxinas óptimas para proliferación de hongos (pp 9).

Por otra parte se ha notado que el duramen como un componente estructural de un árbol, presenta una mayor durabilidad con respecto a la albura, esto a razón de que ha realizado cambios químicos durante el proceso de duramización (pp 23-36) (Interián et al., 2011).

### **2.2.3. Agentes degradadores Bióticos**

#### **2.2.3.1 Bacterias**

Son organismos microscópicos que atacan a la madera expuesta en ambientes húmedos o si ha llegado a tener contacto con el suelo, en inclusive si esta fue sumergida en agua salada o dulce (pp 54-62) (Berrocal, 2006). La forma de ataque por parte de estos patógenos hacia la madera es directamente a la celulosa, el cual por medio de las enzimas bacterianas la transforma en celobiosa, ácidos grasos y anhídrido carbónico que degradan la pared celular (pp 475) (Merino, 1998). Entre las bacterias que más se presentan en la madera son: *Bacillus amilobacter*, *B. Fosicularum*, *B. Methanigenes* (Mora y Encinas, 2006).

#### **2.2.3.2 Hongos**

Acevedo (2015) define que, “son un grupo de organismos protistas sin clorofila incapaces de producir su propio alimento por lo que recurren de la descomposición de los compuestos orgánicos y carbohidratos almacenados en la madera”. En cuanto a la forma de ataque de los hongos, Núñez (2004) menciona que, “estos transforman la celulosa en glucosa por acción de las enzimas hidrolíticas y a su vez descomponen a la lignina mediante enzimas oxidativas, provocando así la pudrición parda, blanca y blanda”. Entre los diferentes tipos de hongos presentes en la madera se conoce la existencia de los cromógenos y los de pudrición, estos últimos llegan a descomponer a la madera ocasionando un 28% de disminución de la resistencia físico-mecánica (pp 54-62) (Berrocal, 2006). En la figura 1 se detalla como el agente degradador en este caso un hongo de pudrición (basidioma) degrada la estructura interna del árbol, afectando progresivamente su capacidad de soporte y resistencia.

### Figura 1

*Ataque de un hongo de pudrición de la madera*



Fuente: Urcelay *et al.*, (2012).

#### 2.2.3.3 Insectos

“Los insectos son una clase de animales invertebrados que conforman el grupo más diverso en el planeta y están directamente relacionados con el mundo viviente” (De la Cruz, 2005). “En la madera estos organismos atacan principalmente a la albura de las coníferas; sobre todo cuando se encuentra en un estado anhidro, realizan perforaciones tipo túneles paralelos al grano y transversales a él formando un aspecto tipo panal” (Carrasco, 2017).

Merino (1998), indica que existen tres tipos o grupos de insectos que se alojan en la madera, entre estos se tiene a los siguientes (pp 475):

- a) Xilofagos: Este grupo ataca a la albura y duramen causando grandes destrozos en el componente forestal y a su vez se reproducen rápidamente aumentando la capacidad destructiva.
- b) Parásitos: Se alimentan de las larvas de la reproducción anterior, ese grupo permite ubicar al epicentro u origen de la plaga en la madera.
- c) Moradores: Se caracteriza por no causar daños a la madera ya que solo habitan en ella, pero puede ocasionar ciertos destrozos al momento de establecer sus nidos.

Calderón (2018) menciona que, entre los órdenes de insectos más comunes en la madera se conoce a dos grupos (pp 6-9):

- a) Coleópteros: los que mayor daño ocasiona a la madera, destacándose los siguientes

- Anobidos (Carcomas)
- Bostriquidos
- Escolitidos
- Platipodidos
- Cerambicios (Taladros)
- b) Isópteros
- Termitas (hormigas blancas)

#### **2.2.4. Agentes degradadores climáticos y edáficos**

##### **2.2.4.1 *Temperatura***

Núñez (2004) menciona que, “al igual que las plantas, los hongos se desarrollan más rápido en climas cálidos que en climas fríos”. “El rango de temperatura ideal para el desarrollo de los hongos es de 20 a 30 °C, y las no optimas por debajo de 3 °C y sobre los 40 °C” (Remacha, s.f.). “La madera suele ser alimento para los agentes degradadores biológicos que la atacan, por lo que la temperatura puede ser también un factor determinante para combatir estos microorganismos” (Ramírez, 2001).

##### **2.2.4.2 *Precipitación y humedad relativa***

La humedad relativa “es una propiedad que describe el contenido de agua previa a una precipitación y se presenta a menudo en materiales con capacidades de absorción” (Martines, 2007). “La precipitación aumenta el contenido de humedad en la superficie causando que la madera tienda a hincharse, originándose así tensiones superficiales y posteriormente la aparición de grietas, favoreciendo el ataque de agentes bióticos” (Barrerio & Hirsch, 2011).

El contenido de agua en la madera es un factor determinante para que pueda ocurrir ataques de los organismo degradadores bilógicos (Cabalec, 2017). El porcentaje de humedad óptimo para que se genere la producción de hongos degradadores de la madera tiene que ser superior al 20%, siendo el rango más favorable entre el 30% a 50% (Remacha, s.f.).

### **2.2.4.3 Radiación solar**

Delucis *et al.* (2016) afirman que, la radiación solar es un agente degradador abiótico más visible que se puede presentar en la madera, dado que la luz solar llega directamente a las caras superficiales de la misma ocasionando así la fotodegradación.

(Barrerio y Hirsch, 2011) señalan que, existen dos tipos de radiación solar que afectan a la madera; la radiación ultravioleta y la infrarroja (pp 9).

- a) Radiación ultravioleta: Químicamente degrada la celulosa cerca de la superficie de la madera ocasionando que se oscurezca, este haz de luz penetra solamente a una pequeña profundidad debajo de la superficie y no afecta en grandes proporciones a las estructuras físico-mecánicas.
- b) Radiación infrarroja: Es la luz visible que el sol emite directamente a la madera, el cual incrementa la temperatura en la zona afectada y posteriormente provoca que esta se caliente, ocasionando la pérdida de humedad y contracción en la misma lo que conlleva a la aparición de micro grietas y aperturas.

### **2.2.4.4 Suelo**

“El suelo es una capa superficial de la tierra y constituye el medio en el cual se crea un hábitat para la biodiversidad microbiana, sean hongos, bacterias, protozoos y algas” (Pacasa *et al.*, 2017). Para la proliferación de los micelios y esporas del hongo, “el pH debe estar entre los valores ácidos de 5,00 – 6,00” (Vaca, 1998). Los suelos alcalinos disuelven la celulosa y hemicelulosa y los suelos ácidos pueden hacer que se pierda la resistencia mecánica de la madera. “El nitrógeno y fósforo ayudan a que los hongos se puedan desarrollar con mayor facilidad en el suelo” (Organización Internacional de maderas Tropicales [OIMT], 2012).

## **2.2.5. Tipos de pudrición de la madera**

### **2.2.5.1 Blanda**

“Es causada principalmente por hongos ascomycetes, los cuales degradan los carbohidratos de la madera y producen un reblandecimiento superficial, además atacan la celulosa de las paredes celulares y forman a menudo cavidades microscópicas en la pared celular

secundaria” (Jiménez, 2006). “La madera que contiene un alto contenido de humedad en contacto con el suelo causa que la parte superior de la misma se reblandezca” (Touza, 2013).

#### **2.2.5.2 Blanca**

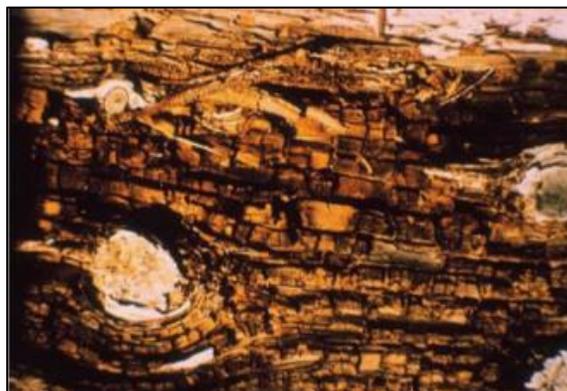
La madera se vuelve fibrosa, toma un color blancuzco y se desmenuza con facilidad. El elemento químico que degrada el patógeno a la madera es la lignina, esto a través de un proceso de oxidación (Jiménez, 2006). También se conoce que a etapas avanzadas de degradación la madera se debilita en cantidades altas (Chaparro y Rosas, 2006).

#### **2.2.5.3 Parda**

Según menciona Remacha (s,f ), esta pudrición es aquella en la cual “el hongo va degradando la madera que afecta a la celulosa e hidratos de carbono, lo que separa a la lignina, la madera por lo tanto se torna de un color pardo”. Esto, provoca un agrietamiento excesivo en las tres direcciones; largo, alto y ancho (Calonger y Sánchez, 1999).

#### **Figura 2.**

*Pudrición parda o cubica de la madera*



Fuente: Peña y Rojas, (2006)

### **2.2.6. Ensayo de campo para determinar la durabilidad natural de la madera**

#### **2.2.6.1 Cementerio de maderas**

Es un método de campo mediante el cual se expone a la madera en contacto con el suelo con la finalidad de determinar la capacidad de resistir naturalmente el ataque de agentes degradadores, así como también de las condiciones climáticas (pp 2) (Ibáñez et al., 2016).

Este tipo de ensayo es considerado como un metodo confiable en comparacion con las pruebas aceleradas, ya que permite evaluar el proceso de degradación de la madera en conjunto con el ambiente y los agentes bióticos - abióticos presentes en el área de estudio (pp 11-17) (Márquez et al., 2009)

## 2.2.7. Tablas de Clasificación de la Durabilidad Natural

### 2.2.7.1 Clasificación de la madera respecto al grado de resistencia

Según (González y Yataco, 2011) mediante la tabla 1 muestra cuatro clases de grado de resistencia, en la cual se mide la pérdida de peso en porcentaje y se clasifica de acuerdo al valor obtenido.

**Tabla 1**

*Clasificación de la madera respecto a su resistencia natural*

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

**Fuente:** Recuperado de González y Yataco (2011) citado por Ruíz (2017)

### 2.2.7.2 Clasificación según la norma ASTM D -2017

Norma ASTM D-2017 muestra cuatro categorías de durabilidad natural siendo cada una determinada por su pérdida de peso correspondiente al ataque de los hongos xilófagos, tal y como se puede visualizar en la tabla 2.

**Tabla 2**

*Clasificación según la resistencia al hongo xilófago*

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

**Fuente:** Recuperado de Norma ASTM D-2017

## **2.2.8. Descripción de la especie *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**

### **2.2.8.1 Taxonomía y morfología**

Familia: MYRTACEAE

Género: *Eucalyptus*

Nombre científico: *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

Nombre común: Eucalipto, eucalipto grandis, flooded gum, rose gum

### **2.2.8.2 Descripción botánica**

Es un árbol de rápido crecimiento, el cual en su lugar de origen puede alcanzar de 43 a 55 m de altura, tronco cilindro recto de hasta los 2m de DAP, corteza de superficie lisa y de color blanquecino a grisáceo e inclusive verdosa el cual se desprende en bandas, las hojas jóvenes son opuestas, sésiles de color azul grisáceo, las hojas adultas tienen una disposición alterna, lanceolada, falcada con ápice acuminado. Posee una inflorescencia axilar agrupadas en umbelas o panículas terminal de hasta 3 cm de diámetro, con numerosos estambres de color blanquecino. El Fruto es tipo subpiriforme de 7-8 mm de largo por 4-6 mm de ancho con un disco a nivel o descendente de 4 o 5 valvas exertas (pp 23) (Darriba y Pando, 2016).

### **2.2.8.3 Hábitat y distribución**

“Es originaria de Australia distribuyéndose por las costas del sur, en ciertas áreas del centro y norte del continente oceánico, las condiciones climáticas ideales para su desarrollo son de zonas templadas en dirección al sur y tropicales hacia el norte” (Sánchez *et al.*, 2005). En cuanto a la altitud para su adaptación y desarrollo se establece hasta los 1100 msnm y con temperaturas promedios de 24 °C y 32 °C máximas y entre 3 °C y 17 °C mínimas (Dellepine, 2019).

### **2.2.8.4 Descripción y usos de la madera**

“Posee una madera semidura con una tonalidad rosada con ciertas variaciones al gris y marrón, es de fácil trabajabilidad frente al cepillado, lijado y atornillado, las pinturas y el barniz se impregna sin presentar grandes dificultades” (Sánchez, 2012).

La madera es utilizada principalmente para la construcción, elaboración de muebles, leña, carbón y para la fabricación de madera estructural (Iglesias-Abad *et al.*, 2018).

## **2.2.9. Descripción de la especie *Fraxinus americana* L**

### **2.2.9.1 Taxonomía y morfología**

Familia: OLEACEAE

Género: *Fraxinus*

Nombre científico: *Fraxinus americana* L

Nombre común: Fresno americano, Fresno blanco

### **2.2.9.2 Descripción botánica**

Árbol caduco, dioico, de rápido crecimiento, de hasta 18-20 m, tronco recto y cilíndrico con una copa amplia y globosa, su corteza es rugosa y persistente. Las Hojas son de 7-11 folíolos, enteras o denticuladas, oblongo-lanceolados a elípticos de color verde en el haz y glaucas en el envés. Sus Flores están dispuestas en panojas, sin corola, con el cáliz persistente en el fruto. El Fruto es una sámara derecha con el ala sin decurrencia en la semilla. Persisten en el árbol luego de caer las hojas (pp 3) (Romero y Grau, 2010).

### **2.2.9.3 Hábitat y distribución**

La especie es nativa de la región norte del continente americano (este de E.E.U.U y Canadá) desde Nueva Escocia al oeste de Minnesota a Wyoming, y desde el sur al norte de Florida y el suroeste del estado de Texas (pp 151-159) (Marchin et al., 2008).

### **2.2.9.4 Descripción y usos de la madera**

La madera es de color blanco en su componente de albura y amarillo pálido en el duramen, además, es densa y fuerte con un grano recto que le permite ofrecer una buena trabajabilidad (pp 26-41) (Barrios et al., 2015). Asimismo Ruíz (2020) menciona que, en sus propiedades físicas y mecánicas orientadas en sus caras tangenciales, se la clasifica como media tipo C y con un contenido humedad relativamente medio. “El uso que brinda la madera de esta especie es para la elaboración de artículos deportivos principalmente el bate de beisbol, muebles, chapas y mangos de herramientas” (IFLA, 1995).

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación del sitio

##### 3.1.1. Política

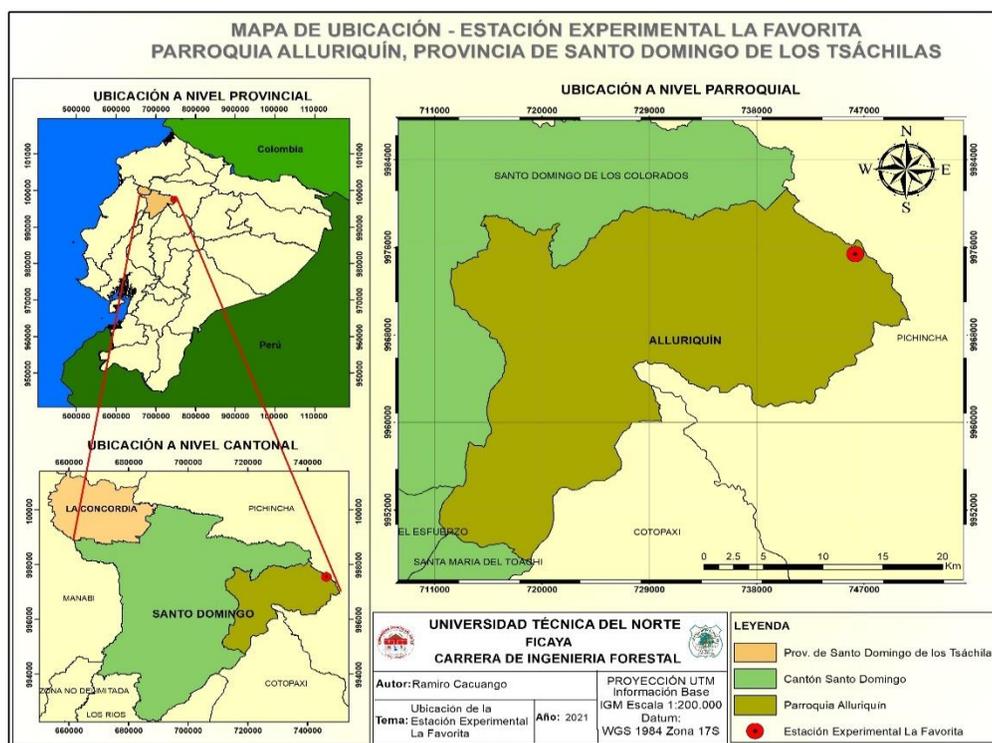
La presente investigación tuvo dos fases; de campo y laboratorio

- Fase de Campo

Se desarrolló con madera proveniente del campus experimental La Favorita, predio de la Universidad Técnica del Norte, ubicada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, parroquia Aulliriquín, vía Chiriboga; ver figura 3. Cabe indicar que el material experimental (madera aserrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. y *Fraxinus americana* L.) fue tomado de las investigaciones realizadas por (J, Ruíz y J, Bustos 2020).

#### Figura 3

*Ubicación del material experimental*



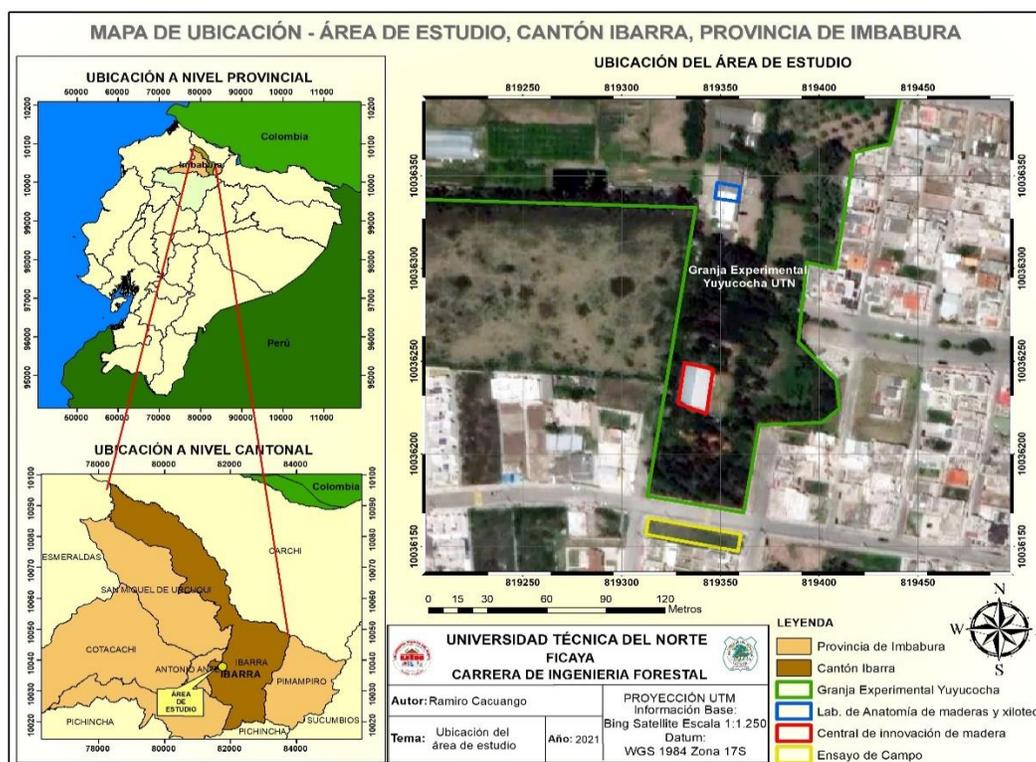
Se instaló el ensayo de campo (cementerio de maderas) en un predio perteneciente Al campus Yuyucocha, parroquia Caranqui, cantón Ibarra, provincia de Imbabura, ver figura 4, respecto a la ubicación del sitio.

- Fase de laboratorio

Se desarrolló en el central de innovación de madera, y el laboratorio de Anatomía de Maderas y Xiloteca; ubicados en el campus experimental Yuyucocha ver figura 4

#### Figura 4

*Ubicación del área de estudio*



### 3.1.2. Geográfica

El campus “La Favorita” se localiza a  $78^{\circ} 47' 02.93''$  de longitud W y  $00^{\circ} 12' 48.78''$  de latitud N. a una altitud de 1600 a 2200 m.s.n.m.

El campus Yuyucocha se localiza a 78° 07' 52,93" de longitud W y 00° 19' 38,67" de latitud N, a una altitud de 2247 m.s.n.m.

### 3.2. Datos climáticos

La temperatura media de la parroquia caranqui es de 15,90°C y la precipitación anual es de 1000 mm. Los meses lluviosos son marzo, mayo, octubre, y los meses con menor precipitación son junio y septiembre (Gobierno Autonomo Descentralizado San Miguel de Ibarra [GAD], 2015).

La temperatura media del campus experimental “La Favorita” es de 16°C con una precipitación anual de 3000 mm, Cuamacás y Rosero (2005) citado por Montoya (2017).

### 3.3. Materiales, equipos y software

Se utilizaron los siguientes equipos mencionados a continuación en la tabla 3.

**Tabla 3**

*Materiales, equipos, maquinaria y software.*

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Maquinaria</b>	<b>Software</b>
Probetas de <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden. y <i>Fraxinus americana</i> L.	Balanza de precisión digital	Sierra circular de mesa.	Infostat
Libreta de campo	Horno de secado	Cepilladora	Microsoft Word 2019
Etiquetas plásticas	GPS Garmin eTrex.	Canteadora	Excel 2019
palas, barras, Martillo, piola	Higrómetro digital	Tractor Retroexcavadora	ArcGIS 10.5

### 3.4. Metodología

En la presente investigación se tomó como referencia la metodología de Salazar et al., (2001) utilizada por Ruiz (2017), modificando la selección de individuos y apeado, debido a que ya se contaba con la madera aserrada de las especies estudiadas. Se aplicaron las normas; INEN 1158 para seleccionar los individuos con las mejores características dasométricas, fenológicas y fitosanitarias, y la INEN 1159 para la corta y extracción de los bloques de 1,5 m de largo.

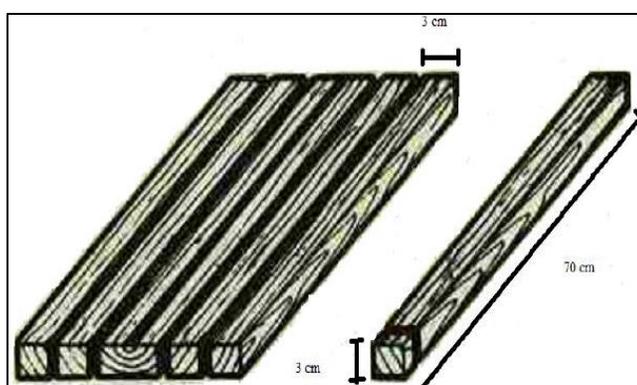
### 3.4.1. Adquisición y preparación de las probetas de duramen y albura

Para la obtención de las probetas se tomó en cuenta lo estipulado por las normas ASTM D 17 (1978) y se realizó el siguiente proceso:

1. Se elaboraron tiras con un corte en dirección tangencial con dimensión de 3,00 x 3,00 x 70,00 cm como se muestra en la figura 5, que luego se separaron en las zonas de albura y duramen (Martínez, 1981).

#### Figura 5

*Dimensión de probetas*



Fuente: Martínez (1981) citado por Ruiz (2017)

2. Se cepillaron las tiras reduciendo 0.50 de un lado, obteniendo así las probetas para el estudio, cuyas dimensiones son de 2,50 x 2,50 x 65,00 cm (Salazar et al., 2001).
3. Se elaboró etiquetas para codificar e identificar cada probeta (Ruiz, 2017). A continuación, se ilustran los códigos.

*Etiqueta con el código para la especie uno*

SP1-A-P1-PB1

Dónde:

SP1 = *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

A = Albura

P1 = Parcela uno

PB1 = Probeta uno

*Etiqueta con el código para la especie dos*

SP2-D-P16-PB25
----------------

Dónde:

SP2 = *Fraxinus americana* L.

D = Duramen

P16 = Parcela dieciséis

PB25 = Probeta veinticinco

### **3.4.2. Secado de las probetas**

Una vez dimensionado las probetas se realizó un tipo de secado de manera natural bajo cubierta (Junta del Acuerdo de Cartagena [JUNAC], 1998), con la finalidad de mantener el color original y desarrollar un equilibrio higroscópico con el área de estudio (Franco, Castaño y Ortiz, 2009). El tiempo de secado se realizó durante nueve meses, lo mínimo recomendado para un secado natural Schrewe (1983), específicamente en la central de innovación de maderera del campus Yuyucoha. Posteriormente se pesó cada probeta en una balanza de precisión, obtenido así un valor de peso anhidro inicial.

### **3.4.3. Instalación del ensayo cementerio**

El establecimiento del ensayo se realizó en el predio perteneciente al campus Yuyucoha con una superficie de 495,48 m<sup>2</sup> (46,65m de largo y 11,64m de ancho).

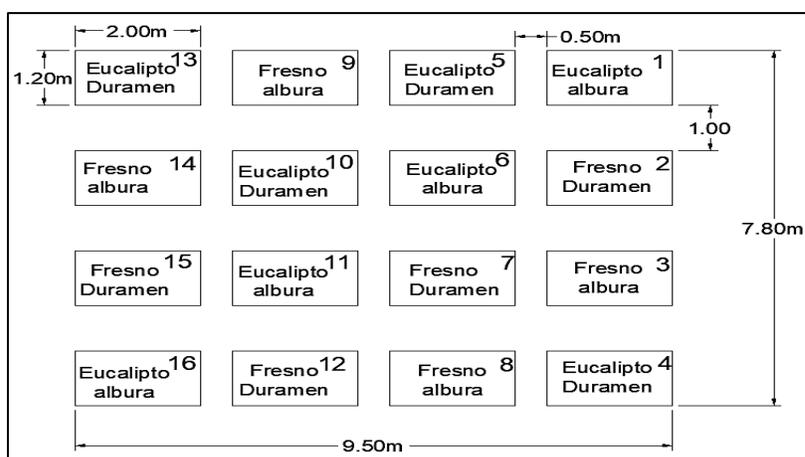
Se realizó el desbroce del material vegetal, la limpieza de la superficie, y se instaló el ensayo tomando en cuenta el siguiente procedimiento:

1. Se removió la tierra y maleza presente en el sitio mediante el uso de un tractor retroexcavadora.
2. Se clasifico las probetas según la especie y su componente (albura y duramen), obteniendo así los tratamientos para cada unidad experimental.

- Se estableció 16 unidades experimentales o parcelas para las probetas de albura y duramen, cada una con dimensiones de 1.20 m ancho por 2.70 m de largo y se distribuyó en cuatro filas y cuatro columnas, con un espaciamiento de 1.00 m entre filas y 0.50 m entre columnas (Salazar et al., 2001).
- Se agrupó a las probetas en 25 unidades por cada tratamiento y posteriormente se distribuyó al azar en cada parcela; tal y como se puede observar en la figura 6.

**Figura 6**

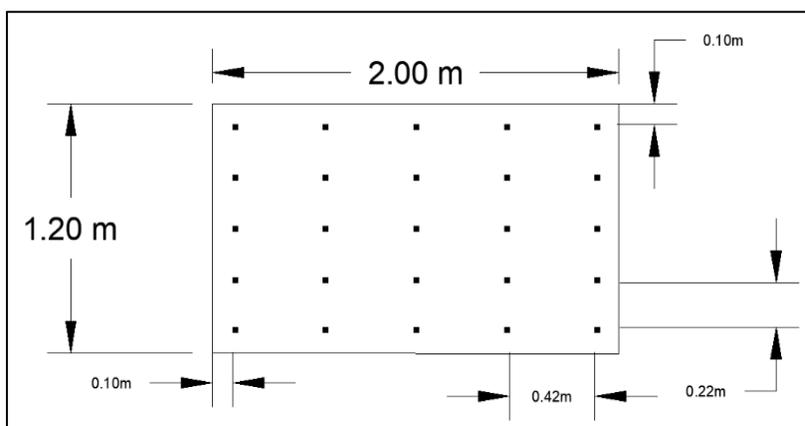
*Esquema del ensayo cementerio de maderas*



- Las 25 probetas se distribuyeron sistemáticamente en cada unidad experimental en forma de hieleras y columnas con un efecto de borde de 10 cm por cada lado. Se colocaron un total de 400 probetas en todo el ensayo. En la figura 7 se puede apreciar el diseño la parcela con sus respectivos espaciamientos.

**Figura 7**

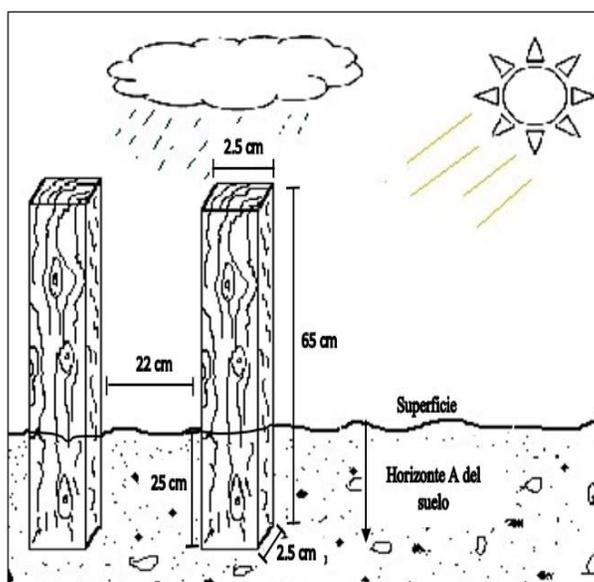
*Distribución de las probetas en la unidad experimental*



6. Las probetas se enterraron a una profundidad de 25,00 cm (Ibáñez et al., 2016) en la intersección de las hieleras y columnas, en la figura 8 se puede observar cómo va enterrada la probeta en cada unidad experimental.

### Figura 8

*Probetas enterradas en la unidad experimental*



7. Durante el ensayo se solicitó los datos climatológicos del INAMHI que fueron; temperatura media, Humedad relativa, precipitación y heliofanía (Ruiz, 2017).

#### 3.4.4. Análisis de suelo

No fue necesario realizar análisis de suelo en vista que el ensayo fue instalado en el mismo sitio de la investigación realizado por Ruiz (2017), y en el transcurso del tiempo hasta la fecha de instalación no se alteró la propiedad físicas y químicas del suelo.

#### 3.4.5. Tiempo de ensayo

El ensayo tuvo una duración de seis meses, tiempo en el cual se expuso a las probetas en contacto con el suelo bajo condiciones de intemperie y sin ningún tipo de tratamiento o preservante. Se realizó tres tomas de datos; al segundo, al cuarto y sexto mes; obtenido así los valores para el cálculo del porcentaje de pérdida de peso.

### 3.4.6. Cálculo de la pérdida de peso de las probetas

Se procedió a tomar muestras de cada unidad experimental, es decir de cada parcela se escogió cinco probetas al azar (Bobadilla et al., 2005), que luego fueron pesadas en condición verde (extraídas del suelo) y estado anhidro. Posteriormente a las probetas se las volvió a colocar en sus respectivas parcelas.

#### 3.4.6.1 Contenido de humedad absorbida

Para el cálculo de contenido de humedad se aplicó la ecuación 1.

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

**Fuente:** Norma COPANT

Dónde:

**CH%:** Contenido de humedad expresado en porcentaje (%)

**PV:** peso de la probeta en estado verde expresado en gramos (g)

**PSH:** peso de la probeta en estado seco al horno expresado en gramos (g)

#### 3.4.6.2 Porcentaje de pérdida de peso

a) Se calculó el volumen de las probetas con la ecuación 2 (Salvo et al., 2013).

$$V = LxAxE \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde:

V: Volumen (cm<sup>3</sup>)

L: Largo (cm)

A: Ancho (cm)

E: Espesor (cm)

b) Se calculo la densidad de cada probeta aplicando la fórmula de la ecuación 3 (Salvo et al., 2013).

$$db = \frac{Po}{Vv} \quad \text{Ec. 3}$$

Dónde:

db: Densidad básica (gr/cm<sup>3</sup>)

Po: Peso anhidro (gr)

Vv: Volumen en verde (cm<sup>3</sup>)

- c) De la ecuación 3 se despejó el peso anhidro obteniendo así la ecuación 4, con lo que su vez se midió el volumen de la superficie enterrada y se determinó el valor del peso final de la probeta.

$$Po = dbxVv \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

Po: Peso anhidro (gr)

db: Densidad básica (gr/cm<sup>3</sup>)

Vv: Volumen en verde (cm<sup>3</sup>)

- d) Se realizó una diferencia entre el peso anhidro inicial y el peso anhidro final obteniendo así la pérdida de peso total de toda la probeta.
- e) Por último, se efectuó la equivalencia de los 25cm y se obtuvo el porcentaje de pérdida de peso (Ruiz, 2017).

### **3.4.7. Comparación de las dos especies forestales.**

La comparación del proceso de degradación de las maderas se realizó mediante un diseño experimental en el cual se toma en cuenta como análisis funcional de estudio al porcentaje de pérdida de peso.

#### **3.4.7.1 Diseño experimental**

Se optó por usar un Diseño Irrestricto al Azar (DIA) con arreglo bi factorial A x B, tomando en cuenta que; el factor A son las especies a estudiar (*Fraxinus americana* L. y *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden) y el factor B es el componente (albura y duramen). En la tabla 4 se describe el esquema de análisis de varianza para el experimento.

**Tabla 4***Esquema del análisis de varianza*

<b>FV (Factores de Variación)</b>	<b>GL (Grados de Libertad)</b>
Tratamientos	$t-1 = (4 - 1) = 3$
Factor A: Especie	$(2 - 1) = 1$
Factor B: Componente	$(2 - 1) = 1$
Interacción AxB	$(2 - 1)(2 - 1) = 1$
Error	$t \times (n-1) = 4(4 - 1) = 12$
Total	$(t \times n) - 1 = (4 \times 4) - 1 = 15$

- Tratamientos

A continuación, en la tabla 5 se describen los distintos tratamientos establecidos para el ensayo.

**Tabla 5***Descripción de los tratamientos*

<b>Tratamiento</b>	<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
T1	SP1-A	<i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maide Albura
T2	SP1-D	<i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden Duramen
T3	SP2-A	<i>Fraxinus americana</i> L. Albura
T4	SP2-D	<i>Fraxinus americana</i> L. Duramen

- Descripción de las características del experimento

A continuación, en la tabla 6 se detalla las características para el campo experimental

**Tabla 6***Características del experimento*

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Número de tratamiento	4
Número de repeticiones	4
Número de unidades experimentales	16
Número de probetas por unidad experimental	25
Número de especies	2
Número de componentes (albura y duramen)	2
Número de probetas por componente	200
Número de probetas por especies	200
Número de probetas totales	400

Para el análisis funcional del porcentaje de pérdida de peso, se realizó un estudio de los supuestos paramétricos con el fin de aplicar el análisis de varianza y una posterior prueba de Tukkey con una significancia del 95%. Se propuso también que de no cumplirse con el supuesto de normalidad se aplicará una prueba de Kruskal Wallis.

### 3.4.8. Evaluación de la Fotodegradación

En la evaluación de la fotodegradación de las probetas se usó principalmente una tabla de Munsell empleada para la descripción de suelos. Luego de haber finalizado el ensayo de cementerio se seleccionó al azar una probeta de albura y otra de duramen de las dos especies, y se comparó el color con las probetas que no fueron expuestas al ambiente (Ruiz, 2017).

### 3.4.9. Clasificación según el grado de resistencia y clase

Al establecer la clasificación de las probetas que fueron evaluadas, se optó por usar la tabla 7 propuesta por (González y Yataco, 2011).

Al finalizar el ensayo, se clasificó basándose principalmente en los valores obtenidos en los promedios de pérdida de peso y peso residual, estableciendo así el grado de resistencia y clase para cada especie (*Fraxinus americana* L. y *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden) y su componente respectivo (albura y duramen),

**Tabla 7**

*Criterio seleccionado para determinar la durabilidad natural de las probetas*

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

**Fuente:** Recuperado de González y Yataco (2011) citado por Ruiz (2017).

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1. Resultados

##### 4.1.1. Análisis de suelo

En función del análisis de suelo realizado por Ruiz (2017), se pudo determinar que en las propiedades químicas sus elementos no presentan valores aptos para la proliferación de agentes degradadores de la madera, sobre todo en Magnesio y Fósforo, debido a que para el desarrollo de hongos xilófagos el rango ideal es de 1,00 – 4,00 ppm (Ayala, 2020). En cuanto al pH, para que los hongos xilófagos puedan desarrollar esporas y micelios es de; 5,00 – 6,00 (Restrepo et al., 2019), en el presente estudio se determinó que el valor del pH, es ligeramente alcalino por lo cual limita las posibilidades de ataque del patógeno en la madera.

Sin embargo, los únicos elementos que se encuentran con valores adecuados para la aparición de hongos son; Nitrógeno y Potasio y que según menciona Gil (2020) es por ello que se pudo comprobar cierta incidencia y ataque de estos patógenos hacia las probetas evaluadas, ver tabla 8.

**Tabla 8**

*Análisis de las propiedades químicas del suelo.*

Elementos	Valor	Unidad
N	36,12	ppm
P	176,83	ppm
S	8,27	ppm
K	1,69	meq/100ml
Mg	3,17	meq/100ml
Mn	6,87	ppm
pH	7,57	

ppm: Partes por millón; meq/100ml: Miliequivalentes sobre cien milímetros

**Fuente:** LABNORT citado por Ruíz (2017).

#### 4.1.2. Datos climatológicos

La temperatura promedio durante la evaluación fue de 15,4 °C la cual no se considera un valor óptimo para el desarrollo de agentes degradadores, hongos xilófagos ya que el rango ideal es de 20 a 30 °C (Remacha, s.f.). La precipitación durante los tres últimos meses de evaluación presentó valores relativamente altos en comparación a los otros meses ver figura 9, lo que conllevó a que el contenido de humedad de las probetas durante ese tiempo haya superado del 20% y hasta el 30%. Asimismo, estos valores no permiten la proliferación de agentes degradadores bióticos (Remacha, s.f.). En cuanto a la heliofanía, los valores promedios obtenidos en los meses de julio, agosto, septiembre contribuyeron a que las probetas sean expuestas a mayor horas luz y por ende la radiación solar logró afectar y cambiar de color a la parte aérea de la probeta, ver tabla 9.

**Tabla 9**

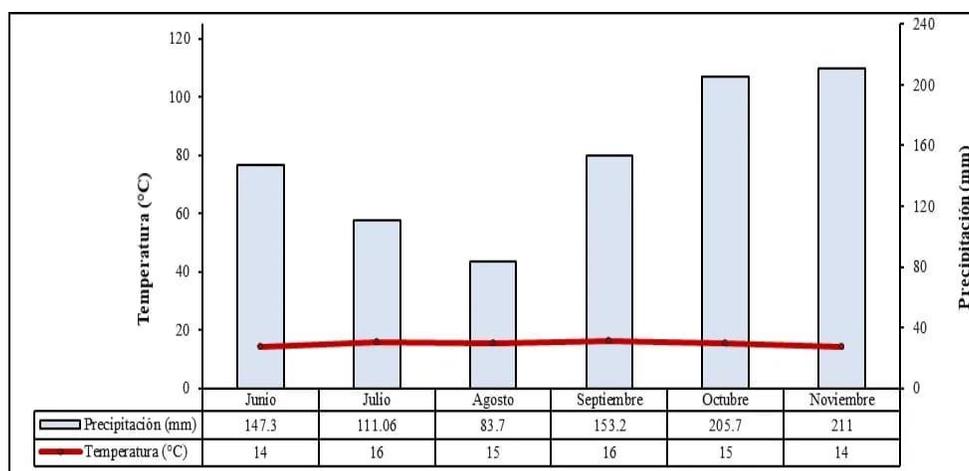
*Variables climatológicas registradas durante el tiempo de evaluación*

Variables	Junio	Julio	agosto	septiembre	octubre	Noviembre
Temperatura media (°C)	14,2	15,6	15,4	16,05	15,3	14,3
Humedad relativa (%)	77,00	81,00	76,00	80,00	76,00	81,00
Precipitación (mm)	147,3	111,06	83,7	153,2	205,7	211,0
Heliofanía (horas)	150,10	170,7	167,4	172,6	166,3	150,85

Fuente: INAMHI (2020)

**Figura 9**

*Diagrama ombrotérmico del área de estudio*



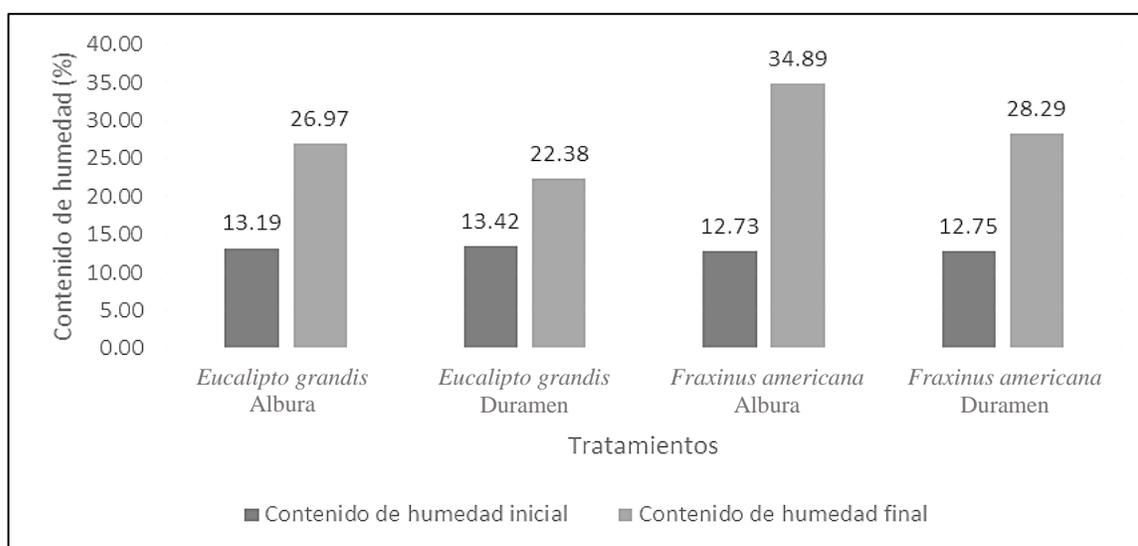
### 4.1.3. Contenido de humedad absorbida

#### 4.1.3.1 Primera evaluación a los dos meses

El contenido de humedad inicial de *Fraxinus americana* L. y *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden y sus respectivos componentes (albura y duramen) no superaron el 20%, mientras que el contenido de humedad final si logro superar dicho valor principalmente la especie *Fraxinus americana* L cuyo promedio fue de 34,89 % ver figura 10.

**Figura 10**

*Promedios del contenido de humedad inicial y final de los tratamientos a los dos meses*

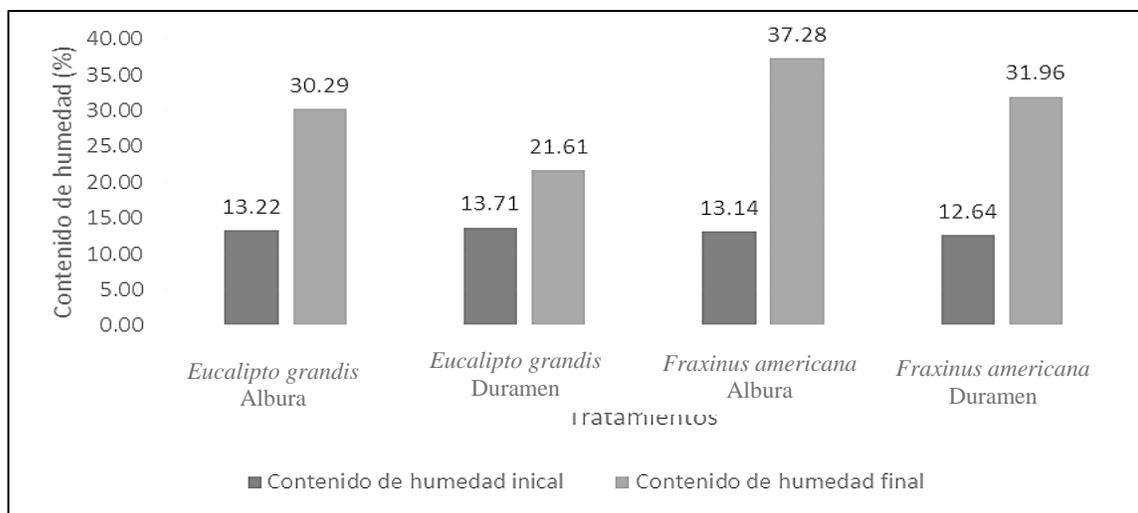


#### 4.1.3.2 Segunda evaluación a los cuatro meses

El contenido de humedad inicial de *Fraxinus americana* L. y *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden y sus respectivos componentes (albura y duramen) no superaron el 20%, mientras que el contenido de humedad final para esta evaluación se incrementó siendo la especie *Fraxinus americana* L. en la albura la que mayor valor registro con 37,28 %, ver figura 11.

**Figura 11**

*Promedios del contenido de humedad inicial y final de los tratamientos a los cuatro meses*

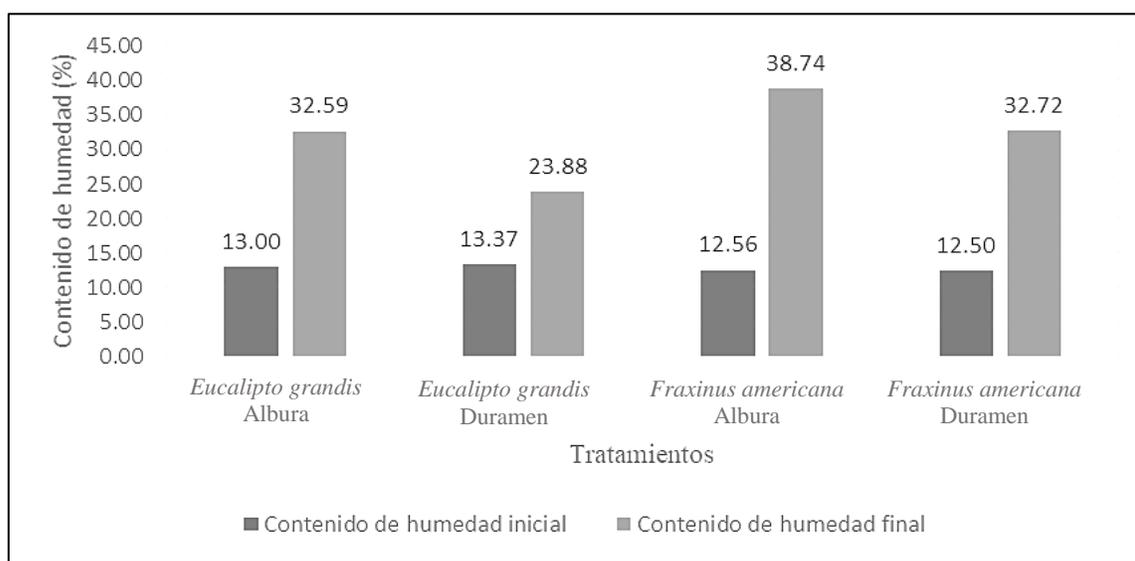


#### 4.1.3.3 Tercera evaluación a los seis meses

El contenido de humedad final de las probetas en tres de los cuatro tratamientos fue mayor al 30%, únicamente el tratamiento establecido para la especie *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden con su componente duramen alcanzo el 23.88 %, ver figura 12.

**Figura 12**

*Promedios del contenido de humedad inicial y final de los tratamientos a los seis meses*



#### 4.1.4. Pérdida de peso de las probetas evaluadas

El análisis de los supuestos paramétricos del porcentaje de pérdida de peso, muestra que en los valores obtenidos en cada evaluación existen normalidad (Shapiro-Wilks, p-valor > 0.05) y homocedasticidad (Levene, p-valor > 0.05), se aplicó el análisis de varianza y una prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95% de probabilidad estadística.

##### 4.1.4.1 Primera evaluación a los dos meses

La especie *Fraxinus americana* L. fue la que mayor pérdida de peso registro, principalmente en su componente albura, mientras que la especie *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden presento una mayor durabilidad, sobre todo en su componente duramen, ver tabla 10.

**Tabla 10**

*Promedio de la pérdida de peso registrados en la primera evaluación*

ESPECIE	COMPONENTE	Pérdida de peso (%)
<i>Fraxinus americana</i> L	Albura	19.07
	Duramen	16.92
<i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden	Albura	16.55
	Duramen	11.30

Luego de realizado el análisis de varianza del ensayo de la primera evaluación se concluye que en los tratamientos el valor de fisher calculado es mayor a sus respectivos tabulares al 95% y 99% de probabilidad estadística, es así que existen diferencias altamente significativas; se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula. Por tanto, en al menos uno de los tratamientos la durabilidad de la madera entre las dos especies y componentes estudiadas es diferente, ver tabla 11.

**Tabla 11**

*Análisis de varianza de la primera evaluación*

<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>		<b>F0.05</b>	<b>F0.01</b>
Tratamientos	130.81	3	43.60	33.03	**	3.49	5.95
Especie	68.92	1	68.92	52.21	**	4.75	9.33
Componente	56.75	1	56.75	42.98	**	4.75	9.33
Espe*Comp	10.18	1	10.18	7.71	*	4.75	9.33
Error	15.84	12	1.32				
Total	146.65	15	9.78				
CV	7.20						

*Nota.* \*\*: Diferencias altamente significativas; \*: Diferencias significativas

El rango de Tukey "A" asignado a la madera de *fraxinus americana* L. refleja que presenta un mayor proceso de degradación, principalmente en su componente albura, a su vez el componente duramen comparte el rango Tukey B con la madera de *Eucalypto grandis* albura, lo cual indica que existe un proceso de degradación estadísticamente similar entre ellos. Por otra parte, la madera *Eucalypto grandis* con su componente duramen al ser asignado el rango de Tukey "C" refleja que posee un porcentaje de pérdida bajo y con la mayor durabilidad natural; ver tabla 12.

**Tabla 12**

*Rangos Tukey de los tratamientos a los dos meses*

<b>Especie</b>	<b>Componente</b>	<b>Pérdida de peso de las medias (%)</b>	<b>Rangos Tukey</b>	
<i>Fraxinus americana</i> L	Albura	19.07	A	
	Duramen	16.92	A	B
<i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden	Albura	16.55		B
	Duramen	11.30		C

#### **4.1.4.2 Segunda evaluación a los cuatro meses**

La madera de *Fraxinus americana* L en su componente albura, fue la que mayor degradación presento ya que contiene el porcentaje de pérdida de peso más alto, mientras que la madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en su componte duramen registro un porcentaje de pérdida de peso menor al resto de tratamientos; ver la tabla 13.

**Tabla 13**

*Promedio de la pérdida de peso registrados en la segunda evaluación*

ESPECIE	COMPONENTE	Pérdida de peso (%)
<i>Fraxinus americana</i> L	Albura	24.35
	Duramen	21.47
<i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden	Albura	20.06
	Duramen	13.70

El análisis de varianza del ensayo de la segunda evaluación determina que, en los tratamientos, especies y componente, el valor de fisher calculado es mayor a sus respectivos tabulares al 95% y 99% de probabilidad estadística, por lo tanto, existen diferencias altamente significativas; es decir, se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula, lo cual determina que en al menos uno de los tratamientos la durabilidad de la madera entre las dos especies y componentes estudiadas es diferente, ver tabla 14.

**Tabla 14**

*Análisis de varianza de la segunda evaluación*

FV	SC	GL	CM	F		F0.05	F0.01
Tratamientos	242.62	3	80.87	88.63	**	3.49	5.95
Especie	146.10	1	146.10	160.11	**	4.75	9.33
Componente	85.89	1	85.89	94.12	**	4.75	9.33
Espe*Comp	11.63	1	11.63	12.74	**	4.75	9.33
Error	10.95	12	0.91				
Total	253.57	15	16.90				
CV	4.80						

*Nota.* \*\*: Diferencias altamente significativas

El rango Tukey "A" indica que la madera de *fraxinus americana* L presenta un alto proceso de degradación, principalmente en su componente albura, mientras que su componente duramen comparte el rango Tukey B con la madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden albura, lo cual indica que existe un proceso de degradación estadísticamente similar entre ellos. Por último, el rango Tukey C determina que, el *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden con su

componente duramen posee una mayor durabilidad natural ya que muestra un bajo porcentaje de pérdida de peso, ver tabla 15 a continuación.

**Tabla 15**

*Rangos Tukey de los tratamientos a los cuatro meses*

Especie	Componente	Pérdida de peso de las medias (%)	Rangos Tukey
<i>Fraxinus americana</i> L	Albura	24.35	A
	Duramen	21.47	B
<i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden	Albura	20.06	B
	Duramen	13.70	C

#### 4.1.4.3 Tercera evaluación a los seis meses

La especie que mayor porcentaje de pérdida de peso registró en esta última evaluación fue *Fraxinus americana* L principalmente en la zona de albura, por otra parte, la especie *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden presento poca degradación, siendo la zona de duramen la que posee una mayor durabilidad, ver tabla 16.

**Tabla 16**

*Promedio de la pérdida de peso registrados en la tercera evaluación*

ESPECIE	COMPONENTE	Pérdida de peso (%)
<i>Fraxinus americana</i> L	Albura	28.06
	Duramen	24.51
<i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden	Albura	25.19
	Duramen	15.55

El análisis de varianza del ensayo de la tercera evaluación establece que, en los tratamientos, especies y componente, el valor de fisher calculado es mayor a sus respectivos tabulares al 95% y 99% de probabilidad estadística, por lo tanto, existen diferencias altamente significativas, es decir se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula, por lo que en

al menos uno de los tratamientos la durabilidad de la madera entre las dos especies y componentes estudiadas es diferente, ver tabla 17.

**Tabla 17**

*Análisis de varianza de la segunda evaluación*

FV	SC	GL	CM	F		F0.05	F0.01
Tratamientos	351.09	3	117.03	45.26	**	3.49	5.95
Especie	145.00	1	145.00	56.07	**	4.75	9.33
Componente	175.51	1	175.51	67.87	**	4.75	9.33
Espe*Comp	31.58	1	31.58	12.21	**	4.75	9.33
Error	31.03	12	2.59				
Total	382.12	15	25.47				
CV	6.89						

Nota. \*\*: Diferencias altamente significativas

La madera de *fraxinus americana* L pertenece el rango Tukey "A", es decir que es la especie con mayor pérdida de peso, principalmente en su componente albura ya que el duramen también pertenece al rango Tukey "B" lo cual indica que el porcentaje de pérdida de peso es estadísticamente similar con el *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden albura. Mientras que el rango Tukey "C" se asignó al *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en su componente duramen debido a que representa al porcentaje más bajo en la pérdida de peso, tal y como se puede observar en la tabla 18.

**Tabla 18**

*Rangos Tukey de los tratamientos a los seis meses*

Especie	Componente	Pérdida de peso de las medias (%)	Rangos Tukey
<i>Fraxinus americana</i>	Albura	28.06	A
	Duramen	24.51	A B
<i>Eucalyptus grandis</i>	Albura	25.19	B
	Duramen	15.55	C

En el periodo de seis meses, la madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden presento una pérdida de peso promedio entre sus dos componentes de 13.52 % lo que equivale a 48.87 g, mientras que *Fraxinus americana* L mostro una de pérdida de peso promedio de 26.82 % entre sus componentes prorrateados igual a 62.58 g. También se evidenciaron dos tipos de pudrición;

blanca y parda, principalmente en la última evaluación, y eso se debió a que durante dicho periodo de tiempo los valores de precipitación fueron de 205,7 mm en octubre y de 211,0 mm para noviembre, lo que conlleva a un incremento en el contenido de humedad de las probetas superando el 20%, el cual según menciona Zanni (2008), a partir de este porcentaje se favorece las condiciones para la aparición de dichos patógenos.

Elgueta *et al.*, (2021) determinaron en *Eucalyptus nitens* un promedio de pérdida de peso de 38.1% utilizando el método de pruebas aceleradas de laboratorio, mientras que en *Eucalyptus grandis* se obtuvo una pérdida de peso promedio de 20.37%, esta diferencia se debe al tipo de método usado ya que en la presente investigación se empleó el ensayo cementerio de maderas y el cual según menciona (Ibáñez *et al.*, 2016) en este método el proceso de degradación es más lento pero determina la pérdida de peso natural en torno con el ambiente y los agentes de degradación dentro de un sector determinado.

Asimismo, estudios realizados por Candelier *et al.*, (2017) determinaron en *Fraxinus excelsior* L una pérdida de peso de 20% lo cual se contrapone con los resultados obtenidos en *Fraxinus americana* L ya que al finalizar el ensayo perdió un peso de 26.29 %, esta diferencia se debe a que en el presente estudio la madera no se sometió a ningún tratamiento ni modificaciones térmicas como se hizo con *Fraxinus excelsior* L y por lo tanto los agentes de degradación actuaron de manera más eficaz, según menciona Fallas (2015), la madera que es termo-tratada tiende a presentar una mayor durabilidad conforme la temperatura aumenta, ya que este tipo de tratamiento mejora las propiedades de resistencia mecánica de la madera.

#### **4.1.5. Comparación de la durabilidad natural de las dos especies forestales**

El grado de resistencia en base al porcentaje de pérdida de peso de las dos especies y sus componentes de albura y duramen obtenidos al finalizar la investigación se muestran en la tabla 19.

**Tabla 19**

*Peso promedio de las probetas bajo los 25cm de la superficie del suelo*

Especie	Componente	Peso (g)	Pérdida de peso de las medias (mes)			Grado de resistencia al finalizar el ensayo (Seis meses)
			Segundo	Cuarto	Sexto	
<i>Fraxinus americana</i> L	Albura	65.25	19.07%	24.35%	28.06%	Moderadamente resistente
	Duramen		16.92%	21.47%	24.51%	Moderadamente resistente
		59.90				
<i>Eucalyptus grandis</i>	Albura	63.50	16.55%	20.06%	25.19%	Moderadamente resistente
	Duramen	34.25	11.30%	13.70%	15.55%	Resistente

Los promedios de la pérdida de peso de las tres evaluaciones muestran que la especie *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden principalmente en su componente duramen siempre presentó una mayor durabilidad natural con respecto a *Fraxinus americana* L, el cual presento una mayor degradación sobre todo en la albura.

Este resultado se debe al tipo de componente orgánico estudiado, es decir albura y duramen, ya que según menciona Flores Y Pérez (1987), la madera de duramen tiende a ser más resistente a la pudrición que la albura, ya que segrega ciertas sustancias como; aceites esenciales, taninos, resinas, etc., lo cual se pudo evidenciar en algunas probetas extraídas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden pues a pesar del tiempo (seis meses) que se mantuvo bajo la superficie, la probetas de duramen no perdieron gran parte de su soporte dadas por las propiedades Físicas – mecánicas, resultados similares obtuvo Ríos (2012) en la especie *Eucalyptus globulus* Labill en el cual la madera de duramen presento valores menores de porcentaje de pérdida de peso.

La propiedad física de la madera como el contenido de humedad es considerado también como factor degradador que contribuyó al deterioro de la especie *Fraxinus americana* L, ya que presento un valor superior al 30% y que según Murace (2019) a partir de dicho valor se genera condiciones adecuadas para el ataque de agentes degradadores, principalmente los hongos de pudrición. En su investigación Wolf (1985) en la especie *Fraxinus cuspidata* Torr la cual se expuso a la madera al ambiente sin cubierta, determino un porcentaje de contenido de humedad de 32.4, cercano al que se obtuvo en el presente estudio, y por tal presento mayor susceptibilidad frente a los organismos de pudrición.

#### 4.1.6. Evaluación de la fotodegradación

A continuación, en la tabla 20 se detalla el cambio de color al concluir el ensayo de campo de la madera albura y duramen de la especie *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.

**Tabla 20**

*Cambio de color en las probetas de Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

Componente	Color original	Color al sexto mes de exposición al ambiente
Albura	Pardo amarillo	Amarillo pálido, olivo pálido
Duramen	Pardo amarillo claro	Olivo pardo, rojo débil

La madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden presento un cambio de color muy evidente en el abura ya que paso de amarillo pardo a pálido amarillo u olivo, de la misma manera para el duramen, pues el cambio de color fue de amarillo pardo claro a rojo débil o pardo olivo, estos resultados se asemejan a los obtenido por Delucis et al., (2016) mediante la monitorización de cambio colorimétricos, determinaron en *Eucalyptus tereticornis* una afectación gradualmente severa, perdiendo parte de su tonalidad roja y amarilla causadas por los ciclos combinados de foto-oxidación de la lignina y los compuestos extraíbles ocasionados por la acción de la radiación solar, cabe mencionar que dicho estudio se desarrolló durante 12 meses.

El cambio de color tanto en la albura como en duramen de la especie *Fraxinus americana* L. se detalla a continuación en la tabla 21.

**Tabla 21**

*Cambio de color en las probetas de Fraxinus americana* L

Componente	Color original	Color al sexto mes de exposición al ambiente
Albura	Blanco crema	Amarillo olivo, pardo amarillo
Duramen	Amarillo pálido	Olivo pálido, rojo débil

En cuanto a la madera de *Fraxinus americana* L el cambio de color fue de blanco crema a pardo amarillo en la albura, y de amarillo pálido a olivo pálido en el duramen. Además, se evidencio que ciertas partes de la cara superficial de las probetas se formaron micro grietas y pequeñas aperturas, y el cual según menciona Barrerio y Hirsch (2011), esto se debe a la luz

infrarroja que emite la radiación solar, el cual consecuentemente calienta la superficie de la madera y ocasiona dichos problemas.

Estudios realizados por Cai et al., (2020) determinaron en *Fraxinus excelsior* L el cambio de color de las probetas expuestas a la intemperie durante dos años las cuales previamente fueron termo-tratadas, los resultados se asemejan a las obtenidas con *Fraxinus americana* L. ya que perdió claridad durante los primeros meses de exposición, esto se debe a que según menciona Williams (2005), la composición química principalmente los extractivos alógenos, nitrógenos y sulfuros de la madera se degradan rápidamente en los primeros días por acción de la baja energía contenida en los rayos ultravioletas.

#### 4.1.7. Clasificación de la durabilidad natural de las dos especies evaluadas

La especie *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en su componente albura, presenta una pérdida de peso de 25.19 % por lo cual se determina que es una madera moderadamente resistente, es decir clase C. Mientras que la madera de duramen no sobre paso el 24% por lo tanto es catalogada como resistente, es decir clase B, ver tabla 22.

**Tabla 22**

*Clasificación de la madera de Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

Componente	Pérdida de peso (%)	Peso residual (%)	Grado de resistencia	Clase
Albura	25.19	74.81	Moderadamente resistente	C
Duramen	15.55	84.45	Resistente	B

La madera de *Fraxinus americana* L. en sus componentes albura y duramen, presentaron una pérdida de peso de 28.06 % y 24.51 % respectivamente, por lo tanto, poseen un grado moderadamente resistente y una clase tipo C, ver tabla 23.

**Tabla 23**

*Clasificación de la madera de Fraxinus americana* L.

Componente	Pérdida de peso (%)	Peso residual (%)	Grado de resistencia	Clase
Albura	28.06	71.94	Moderadamente resistente	C
Duramen	24.51	75.49	Moderadamente resistente	C

Böthig Y Doldán, J (2008), obtuvieron en *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, un grado de resistencia de clase C es decir que es una madera ``moderadamente resistente`` este resultado se asemeja al del presente estudio ya que a pesar de la diferencia de edad de los individuos (10 a 15 años) siendo la del presente estudio mayor, se obtuvo una clasificación similar.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- La especie *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden presenta una resistencia superior en sus dos componentes (albura y duramen); frente a *Fraxinus americana* L, la cual mostró una mayor degradación principalmente en la albura.
- *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en su componente duramen se clasificó como una madera resistente (clase B), mientras que *Fraxinus americana* L. en general se clasificó como madera moderadamente resistente (clase C) por lo tanto son diferentes

#### 5.2. Recomendaciones

- Continuar el ensayo con otro tipo de variables; a la vez, estudiar las especies con mayor tiempo a fin que se permita tener más elementos que intervienen en la propiedad de durabilidad natural.
- Al momento de seleccionar el sitio para instalar el ensayo cementerio, se recomienda ubicarlo en ambientes abiertos, con la finalidad de que la madera expuesta ponga a prueba su capacidad de resistencia natural.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, D. (2015). *Hongos Que Afectan la madera aserrada*.
- Aguirre, C., & Vizcaíno, M. (2010). *Aplicación de estimadores estadísticos y diseños experimentales en investigaciones forestales*. Editorial universitaria-Ibarra.
- Ayala Ponce, R. (2020). *Capacidad antifúngica de la medicarpina sobre hongos xilófagos y patógenos de árboles maderables*.
- Barrerio, S., & Hirsch, T. (2011). *Protección de la madera*. Universidad de La República Uruguay.
- Barrios Guzmán, A. J., García Enríquez, S., Manríquez-González, R., Rivera Prado, J. D. J., & Lomelí Ramírez, M. G. (2015). *Compósitos biodegradables elaborados a partir de almidón termoplástico y partículas de madera de fresno*. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(28), 26-41.
- Berrocal, A. (2006). *Clasificación de daños producidos por agentes de biodeterioro en la madera*. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 4(10), 54–62.
- Bobadilla, E. A., Pereyra, O., Silva, F., & Stehr, A. M. (2005). *Durabilidad natural de la madera de dos especies aptas para la industria de la construcción*. *Floresta*, 35(3).
- Bobadilla. (2004). *Durabilidad natural de la madera de cinco especies aptas para la industria de la construcción* [archivo PDF]. Recuperado de [http://mamcyp.unam.edu.ar/images/mamcyp/tesis/alicia\\_bobadilla.pdf](http://mamcyp.unam.edu.ar/images/mamcyp/tesis/alicia_bobadilla.pdf)
- Böthig, S., Sánchez, A., & Doldán, J. (2008). *Durabilidad natural de madera de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden de plantaciones de rápido crecimiento*. *Innotec*, (3), 7-16.
- Bustos Bolaños, J. J. (2020). *Propiedades físicas, mecánicas y trabajabilidad de eucalyptus grandis hill ex Maiden procedente de la estación experimental la favorita, Santo Domingo de los Tsachilas* (Bachelor's thesis).

- Cabalec, N. (2017). *Comportamiento de madera pinus elliotti por impregnación con anhídrido acético*. Universidad Tecnológica Nacional.
- Cai, C., Haapala, A., Rahman, M. H., Tiitta, M., Tiitta, V., Tomppo, L., ... & Heräjärvi, H. (2020). *Effects of two-year weather exposure on thermally modified Picea abies, Pinus sylvestris, and Fraxinus excelsior wood*. Canadian Journal of Forest Research, 50(11), 1160-1171.
- Calderón, A. (2018). *Preservación de maderas*.
- Candelier, K., Hannouz, S., Thévenon, M. F., Guibal, D., Gérardin, P., Pétrissans, M., & Collet, R. (2017). *Resistance of thermally modified ash (Fraxinus excelsior L.) wood under steam pressure against rot fungi, soil-inhabiting micro-organisms and termites*. European Journal of Wood and Wood Products, 75(2), 249-262.
- Carrasco, M. (2017). *Identificación y propuesta de gestión de insectos perforadores presentes en la pinada de la Devesa de Saler (Valencia)*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Chaparro y Rosas. (2006). *Aislamiento y evaluación de la actividad enzimática de hongos descomponedores de madera en la reserva natural la Montaña del ocaso, Quimbaya – Quindío*. Recopilado el 1 de junio del 2015. Recuperado de <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis250.pdf>
- Chávez, M., & Domine, M. (2013). *Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial*. Recuperado de <https://www.redalyc.org/>
- Corporación Nacional De Investigación Y Fomento Forestal (CONIF). (2002). *Guía forestal para Eucalipto (Eucalyptus grandis)*. CONIF. Bogotá.
- Cuadrado, J. L. C., Castañeda, H. B., Cuellar, F. T., & Flores, M. A. (2017). *Durabilidad natural de la madera de Pinus oocarpa y Pinus tecunumanii, proveniente de plantaciones forestales en San Alberto, Oxapampa*. Revista Forestal del Perú, 32(2), 70-77.
- Cuamacás, D., & Rosero, B. (2005). *Propuesta de Plan de Manejo de los Recursos Naturales de la Estación Experimental La Favorita*. [Tesis de grado], Universidad Técnica del

Norte, Ibarra.

- Cuesta, L. (2017). *Principales propiedades de la madera*. <https://www.forestmaderera.com/principales-propiedades-la-madera/>
- Darriba, A. F., & Pando, F. J. S. (2016). *El Género Eucalyptus (Myrtaceae) en Galicia: Claves y descripción*. Nova Acta Científica Compostelana, 23.
- De La Cruz Carrera, R., Carrillo Parra, A., Nájera Luna, J. A., Cruz Cobos, F., Javier Hernández, F., & Méndez González, J. (2018). *Durabilidad natural de la madera de siete especies forestales de El Salto, Durango*. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 9(46), 102–130. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.144>
- De la Cruz, J. (2005). *Entomología: morfología y fisiología de los insectos*. Palmira. Colombia: Diseño e impresión.
- Dellepiane Ruiz, J. P. (2019). *Estudio del estado hídrico, eficiencia en el uso del agua y crecimiento en clones de Eucalyptus grandis e híbridos interespecíficos de interés comercial*.
- Delucis, R., Herrera, R., Labidi, J., & Gatto, D. A. (2016). *Color de la madera de dos eucaliptos expuestas al intemperismo natural en tres entornos ambientales diferentes*. Maderas. Ciencia y Tecnología, 18(ahead), 0–0. <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2016005000014>
- Dussan, I. V., & Rincón, M. A. (2019). *Uso de la madera como materia prima de construcción para una solución de vivienda en un sector socioeconómico medio de la población en la ciudad de Villavicencio-Meta*.
- Elgueta, M., Hernández, C., Campos, P., & Arriagada Navarrete, I. (2021). *Durabilidad natural de la madera de Eucalyptus nitens (Deane & Maiden) Maiden*.
- Escudero, Ó. (2013). *Caracterización de la anisotropía de la madera de mobila por medios de las técnicas no destructivas del resistógrafo y del georradar con diferentes antenas*. [Universidad politecnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/35498>
- Fabián Hidalgo, K. N. (2020). *Durabilidad natural de madera de Teca (Tectona grandis Lf)*

*procedente de Chanchamayo-Junín.*

- Fallas-Valverde, L. I. (2015). *Durabilidad de madera termotratada de Gmelina arborea (Roxb. ex Sm) y Tectona grandis (Lf) en Costa Rica*
- Flores, V. R. G., & Pérez, A. Y. (1987). *Durabilidad natural de diez maderas de madre de dios a la acción de tres hongos xilofagos*. Revista Forestal del Perú, 14(1).
- Franco Santana, José Elí; Castaño Arboleda, Nicolás; Ortiz Ríos, Luz Mary. (2009). *Secado natural, manejo y transformación de la madera*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas- Sinchi. Bogotá, Colombia.
- GAD Municipal de San Miguel de Ibarra. (2015). *Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón Ibarra 2015-2023*. GAD Municipal de San Miguel de Ibarra, 339.[http://app.sni.gob.ec/snilink/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumento/final/1060000260001\\_PD\\_Y\\_OT\\_IBARRA\\_UNIFICADO\\_004\\_13-03-2015\\_17-34-44.pdf](http://app.sni.gob.ec/snilink/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumento/final/1060000260001_PD_Y_OT_IBARRA_UNIFICADO_004_13-03-2015_17-34-44.pdf)
- García, C. S. (2015). *Determinación de la higroscopicidad y comportamiento termodinámico de la madera juvenil y madura a través de sus isotermas de sorción* [Escuela Politécnica de Madrid]. [http://oa.upm.es/39036/1/CRISTINA\\_SIMON\\_GARCIA.pdf](http://oa.upm.es/39036/1/CRISTINA_SIMON_GARCIA.pdf)
- Gardner MK, Bouck DC, Paliulis LV, Meehl JB, O'Toole ET, Haase J, Soubry A, Joglekar AP, Winey M, Salmon ED, Bloom K, Odde DJ. (2008). *Chromosome congression by Kinesin-5 motor-mediated disassembly of longer kinetochore microtubules*. Research Support, N.I.H., Extramural.
- Gil Martínez, M. (2020). *Restauración de suelos contaminados por elementos traza: efecto de la vegetación arbórea en las comunidades de hongos del suelo*.
- Gírio, F., Fonseca, C., Carvalheiro, F., Duarte, L., Marques, S., Bogel-Lukasik, R. (2010). *Hemicelluloses for fuel ethanol: A review*. Bioresource Technology, 101: 4775-4800.
- Granda, P. (2006). *Monocultivos de árboles en Ecuador*. Quito: Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales.
- Ibáñez, C., Mantero, C., Rabinovich, M., Escudero, R., & Franco, J. (2016). *Preservation trial*

*for wood treated with zn and mn and effectiveness of treatment with borax to prevent leaching after five years of contact with soil.* Maderas: Ciencia y Tecnología, 18(2), 305–316. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2016005000028>

Iglesias-Abad, S., Alvarez-Vera, M., Vázquez, J., & Salas, C. (2020). *Biochar de biomasa residual de eucalipto (Eucalyptus globulus) mediante dos métodos de pirólisis.* Manglar, 17(2), 105-111

INAMHI. (2020). Anuario Meteorológico 2013. In (pp. 165). Quito-Ecuador.

INSTITUTO FORESTAL LATINOAMERICANO (IFLA) (1995). *Maderas comerciales de Venezuela.* Ficha Técnica N° 44. Fresno. Mérida Venezuela, p. 31.

Interián, V. M., de la Rosa, M. A., Valdez, J. I., García, E., Romero, A., & Vaquera, H. (2011). *Características anatómicas y propiedades físicas de la madera de Caesalpinia gaumeri Greenm en Dzan, Yucatán.* Madera Bosques, 17(1), 23–36. <https://doi.org/10.21829/myb.2011.1711152>

Jiménez, A. B. (2006). *Clasificación de daños producidos por agentes de biodeterioro en la madera.* Revista Forestal Mesoamericana Kurú, 4(10), 54-62.

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. (1988). *Manual del Grupo Andino para la Preservación de Maderas.* Lima, Perú.

Marchin, R. M., Sage, E. L., & Ward, J. K. (2008). *Population-level variation of Fraxinus americana (white ash) is influenced by precipitation differences across the native range.* Tree Physiology, 28(1), 151-159.

Márquez, A., Castro, F., Ramirez, E., Gómez, L., Toro, M. E., & Velásquez, J. (2009). *Resistencia natural de la madera de especies forestales latifoliadas en contacto con el suelo.* Revista Copérnico, 10(1), 11-17.

Martines, E. (2007). *Definiciones de humedad y su equivalencia* [archivo PDF]. Recuperado de <http://www.cenam.mx/>

Merino, F. (1998). *Recuperación de estructuras de madera.* In *Patología y técnicas de intervención: elementos estructurales* (Vol. 3, p. 475).

- Montoya, L. (2017). *Balance entre biomasa y carbono en plantación de Pinus tecunumanii eguiluz & perry(pino) y araucaria angustifolia(bertol.) KUNTZE (araucaria) en la estación experimental la favorita, provincia de santo domingo de los Tsáchilas*. Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte, Ibarra.
- Mora, N., & Encinas, O (2006). *Biodegradación de maderas*. Mérida, VE, Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Ingeniería Forestal, Grupo de Investigación en Conservación de la Madera, Laboratorio Nacional de Productos Forestales. 111 p.
- Murace, M. A. (2019). *Identificación y efectos de los hongos xilófagos sobre las características estructurales y químicas del leño de especies forestales* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Núñez, L. K. Z. (2004). *Estudio del biodeterioro en madera de Eucalyptus globulus Lab. por método gravimétrico*. Universidad de Chile.
- Organización Internacional de Maderas Tropicales. (2012). *Durabilidad natural de 11 maderas tropicales mexicanas (Resultados finales)*. Recopilado el 1 de junio del 2015.
- Pacasa, F., Loza, M., Bonifacio, A., Vino, L., & Canaviri, T. (2017). *Comunidad de hongos filamentosos en suelos del Agroecosistema de K'iphak'iphani*, Comunidad Choquenaira. Selva Andina Research Society, 24. <http://www.scielo.org>
- PDOT GAD Municipal de San Miguel de Ibarra. (2015). *Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón Ibarra 2015-2023*. GAD Municipal de San Miguel de Ibarra, 339.[http://app.sni.gob.ec/snlink/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/1060000260001\\_PD Y OT IBARRA UNIFICADO 004\\_13-03-2015\\_17-34-44.pdf](http://app.sni.gob.ec/snlink/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1060000260001_PD_Y_OT_IBARRA_UNIFICADO_004_13-03-2015_17-34-44.pdf)
- Peña, S. V., & Rojas, I. M. (2006). *Tecnología de la madera*. Mundi-Prensa Libros.
- Perez, P., Pulido, J., Jerz, D., Valero, S., Puentes, S. y Nieto, R. (2005). *Utilización de la madera de ramas de Fraxinus americana (fresno) en la fabricación de tableros de partículas*. Theoría 14(2), 57-64.

- Ponce Macias, C. J. (2019). *Evaluación de áreas verdes y arbolado existente en la zona urbana del cantón Jipijapa* (Bachelor's thesis, JIPIJAPA-UNESUM).
- Ramirez, M. (2001). *Detección de la pudrición central en trozas de lenga (Nothofagus pumilio (Poepp et Endl.) Krasser) mediante técnicas ultrasónicas*. Memoria Ingeniero Forestal. Departamento de Ingeniería de la madera. Escuela de Cs. Forestales. Universidad de Chile. 208 p
- Remacha, A. (n.d.). *Degradación de la madera por los organismos xilofagos vegetales*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Restrepo Giraldo, K. J., Montoya Correa, M. I., Henao Jaramillo, P., Gutiérrez, L. A., & Molina Guzmán, L. P. (2019). *Caracterización de hongos micorrízicos arbusculares de suelos ganaderos del trópico alto y trópico bajo en Antioquia, Colombia*. Idesia (Arica), 37(1), 35-44.
- Ríos Rengifo, L. M. (2012). *Durabilidad natural en albura y duramen de Eucalyptus globulus Labil. a la acción de dos hongos Xilófagos en la Zona de Tingo María*.
- Rivas, S. (2014). *Valoración de Hemicelulosas de Biomasa Vegetal*. Universidad de Vigo.
- Rivera, P., & Uceda, M. (2014). *Características Físico - Químicas De La Madera Y Carbon De Once Especies Forestales De La Amazonia Peruana*. Revista Forestal Del Peru, 14(2), 1-8.
- Romero, S. E. G., & Grau, A. (2010). *Relevamiento de las plantas del jardín del rectorado de la Universidad Nacional de Tucumán*. Tucumán, Argentina. REDUCA (Biología), 3(3).
- Ruíz Castillo, J. P. (2020). *Propiedades físicas, mecánicas y trabajabilidad de fresno (fraxinus americana L.) proveniente de la estación experimental "la favorita", santo domingo de los tsáchilas* (Bachelor's thesis).
- Ruiz Salazar, D. E. (2017). *Determinación de la durabilidad natural de la madera de Carapa amorphocarpa W. Palacios Y Alnus nepalensis D. Don* (Bachelor's thesis).
- Ruiz, A. (2020). *Las propiedades de la madera y sus características* | Proyecto Ambulante. <https://www.proyectoambulante.org/propiedades-de-la-madera/>

- Sánchez Acosta, M. M. (2012). *Caracterización de la madera del nuevo híbrido Eucalyptus grandis, Hill ex Maiden x Eucalyptus tereticornis, Smith, su aptitud de usos en Argentina.*
- Sánchez Acosta, M., Zakowicz, N., Harrand, L., Cuffre, A., Torran, E., & Calvo, P. J. (2005). *Propiedades físico mecánicas de la madera de Eucalyptus grandis de las procedencias genéticas: Kendall (Australia), Huerto semillero de Sudáfrica y semilla local Concordia, plantadas comercialmente en Argentina.* In Congreso Mundial IUFRO
- Schlesinger, R. C. (1990). *Fraxinus americana L. White ash. Silvics of North America*, 2(654), 333.
- Schrewe, H. 1983. "Manual de Secado de la Madera". Proyecto PNUD/FAO/ PER-81/002. Lima-Perú. 84 p
- SEMPLADES. (2017). Plan Toda una Vida. Quito.
- Serna, Y. B., Torres, J. J., & Asprilla, Y. Y. (2019). *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>
- Serrano-Montero, J. R., & Moya-Roque, R. (2011). *Procesamiento, uso y mercado de la madera en Costa Rica: aspectos históricos y análisis crítico.* Revista Forestal Mesoamericana Kurú, 8(21), ág-1.
- Sotomayor, J., & Ramires, M. (2014). *Anisotropía del módulo de elasticidad y de resistencia en compresión de la madera de Pinus michoacana, Pinus douglasiana y Pinus pringlei.* Acta Universitaria, 24(5), 3–12.
- Tapia, J. C. (2010). *Durabilidad natural de Eucalyptus nitens frente al ataque de hongos xilófagos* [Universidad Austral de Chile]. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/fift172d/doc/fift172d.pdf>
- Touza Vázquez, M. " DURABILIDAD". *Guia de la Madera* [En línea]. CONFEMADER España:Centro de Innovación y Servicios Tecnológicos de la Madera de Galicia (GIS-MADERA), 2013. 19-20 [Consulta: 07 de enero de 2021.]. ISBN 9788469570449

- Trujillo, C., & González, F. (1995). *Durabilidad natural de ocho especies forestales del Perú en medio nutritivo natural*. Revista Forestal Del Perú, 13(1), 1–13. [http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos\\_RFP/Vol13\\_no1\\_85\\_\(17\)/vol13\\_no1\\_art5.pdf](http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol13_no1_85_(17)/vol13_no1_art5.pdf)
- Turrado, J., Saucedo, A. R., Ramos, J., & Reynoso, M. L. (2008). *Comportamiento de la fibra de celulosa reciclada en el proceso de hidratación*. Información Tecnológica, 19(5), 129–136. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.3955it.07>
- Urcelay, C., Robledo, G., Heredia, F., Morera, G., & Montañó, F. G. (2012). *Hongos de la madera en el arbolado urbano de Córdoba*. Córdoba, Argentina. Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (UNC-CONICET).
- Vaca. (1998). *Técnicas para la preservación de la madera*. Recopilado el 1 de junio del 2015. Recuperado de [http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/Pnacd119.pdf](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnacd119.pdf)
- Valderrama. (1998). Información Tecnológica. México: CIT.
- Wang, J, Mukhopadhyaya P, Morris PI (2014). *Sorption and capillary condensation in wood and the moisture content of red pine*. *Journal of Building Physics* 37:327-347
- Williams, S.R. 2005. *Weathering of Wood. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. Chapter 7. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI. pp. 139-185.
- Wolf, F. (1985). *Durabilidad natural de la madera de algunas especies del matorral del noreste de México*.
- Wuyts N, Lognay G, Swennen R and Waele D. 2006. *Nematode infection and reproduction in transgenic and mutant Arabidopsis and tobacco with an altered phenylpropanoid metabolism*. *Journal of Experimental Botany*. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erl044>
- Zanni, E. (2008). *Patología de la madera*. Editorial Brujas.
- Zavaleta, E., & Lagunes, E. (2015). *Función de la Lignina en la Interacción Planta-Nematodos Endoparásitos Sedentarios*. Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology, 43–63. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1506-7>

## CAPITULO VII

### ANEXOS

**Anexo A:** Datos de pérdida de peso y peso residual expresados en porcentaje (%)

**Anexo A1:** datos de la parcela 1

Segundo mes			Cuarto mes			Sexto mes		
Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual
SP1-A-P1-PB6	13,25	86,75	SP1-A-P1-PB3	23,53	76,47	SP1-A-P1-PB4	25,00	75,00
SP1-A-P1-PB12	19,90	80,10	SP1-A-P1-PB9	19,92	80,08	SP1-A-P1-PB7	26,61	73,39
SP1-A-P1-PB13	17,58	82,42	SP1-A-P1-PB14	17,67	82,33	SP1-A-P1-PB10	21,26	78,74
SP1-A-P1-PB19	13,58	86,42	SP1-A-P1-PB17	17,73	82,27	SP1-A-P1-PB15	22,47	77,53
SP1-A-P1-PB23	16,67	83,33	SP1-A-P1-PB21	19,10	80,90	SP1-A-P1-PB25	23,59	76,41

**Anexo A2:** datos de la parcela 2

Segundo mes			Cuarto mes			Sexto mes		
Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual
SP2-D-P2-PB2	15,52	84,48	SP2-D-P2-PB4	22,63	77,37	SP2-D-P2-PB6	27,35	72,65
SP2-D-P2-PB14	15,02	84,98	SP2-D-P2-PB9	21,99	78,01	SP2-D-P2-PB10	23,01	76,99
SP2-D-P2-PB15	20,70	79,30	SP2-D-P2-PB12	22,43	77,57	SP2-D-P2-PB13	24,90	75,10
SP2-D-P2-PB18	18,06	81,94	SP2-D-P2-PB22	25,68	74,32	SP2-D-P2-PB17	28,77	71,23
SP2-D-P2-PB19	18,86	81,14	SP2-D-P2-PB24	19,82	80,18	SP2-D-P2-PB23	23,61	76,39

**Anexo A3:** datos de la parcela 3

Segundo mes			Cuarto mes			Sexto mes		
Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual
SP2-A-P3-PB1	18,50	81,50	SP2-A-P3-PB3	28,49	71,51	SP2-A-P3-PB4	27,68	72,32
SP2-A-P3-PB20	23,27	76,73	SP2-A-P3-PB7	20,94	79,06	SP2-A-P3-PB6	33,82	66,18
SP2-A-P3-PB21	21,46	78,54	SP2-A-P3-PB11	25,64	74,36	SP2-A-P3-PB9	34,02	65,98
SP2-A-P3-PB23	24,37	75,63	SP2-A-P3-PB13	21,92	78,08	SP2-A-P3-PB15	31,66	68,34
SP2-A-P3-PB24	21,56	78,44	SP2-A-P3-PB18	25,35	74,65	SP2-A-P3-PB17	31,80	68,20

**Anexo A4:** datos de la parcela 4

Segundo mes			Cuarto mes			Sexto mes		
Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual
SP1-D-P4-PB1	10,00	90,00	SP1-D-P4-PB5	11,11	88,89	SP1-D-P4-PB6	13,10	86,90
SP1-D-P4-PB4	17,52	82,48	SP1-D-P4-PB10	13,69	86,31	SP1-D-P4-PB9	15,46	84,54
SP1-D-P4-PB8	9,44	90,56	SP1-D-P4-PB18	12,06	87,94	SP1-D-P4-PB12	14,42	85,58
SP1-D-P4-PB14	12,72	87,28	SP1-D-P4-PB21	15,47	84,53	SP1-D-P4-PB16	17,54	82,46
SP1-D-P4-PB15	8,06	91,94	SP1-D-P4-PB23	14,49	85,51	SP1-D-P4-PB24	15,29	84,71

**Anexo A5:** datos de la parcela 5

Segundo mes			Cuarto mes			Sexto mes		
Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual
SP1-D-P5-PB12	1,02	98,98	SP1-D-P5-PB2	11,00	89,00	SP1-D-P5-PB1	14,02	85,98
SP1-D-P5-PB17	17,51	82,49	SP1-D-P5-PB5	10,91	89,09	SP1-D-P5-PB7	13,18	86,82
SP1-D-P5-PB18	12,04	87,96	SP1-D-P5-PB9	17,86	82,14	SP1-D-P5-PB11	19,17	80,83
SP1-D-P5-PB19	12,25	87,75	SP1-D-P5-PB15	16,08	83,92	SP1-D-P5-PB14	18,53	81,47
SP1-D-P5-PB21	8,41	91,59	SP1-D-P5-PB24	17,65	82,35	SP1-D-P5-PB22	17,22	82,78

**Anexo A6:** datos de la parcela 6

Segundo mes			Cuarto mes			Sexto mes		
Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual
SP1-A-P6-PB4	15,33	84,67	SP1-A-P6-PB3	25,73	74,27	SP1-A-P6-PB2	27,00	73,00
SP1-A-P6-PB9	21,11	78,89	SP1-A-P6-PB6	23,83	76,17	SP1-A-P6-PB8	23,23	76,77
SP1-A-P6-PB18	21,95	78,05	SP1-A-P6-PB12	20,68	79,32	SP1-A-P6-PB11	23,92	76,08
SP1-A-P6-PB22	12,09	87,91	SP1-A-P6-PB14	17,24	82,76	SP1-A-P6-PB16	28,79	71,21
SP1-A-P6-PB25	14,96	85,04	SP1-A-P6-PB20	21,46	78,54	SP1-A-P6-PB23	25,62	74,38

**Anexo A7:** datos de la parcela 7

Segundo mes			Cuarto mes			Sexto mes		
Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual
SP2-D-P7-PB2	15,16	84,84	SP2-D-P7-PB7	19,17	80,83	SP2-D-P7-PB3	20,77	79,23
SP2-D-P7-PB5	14,69	85,31	SP2-D-P7-PB11	24,44	75,56	SP2-D-P7-PB8	27,75	72,25
SP2-D-P7-PB14	16,18	83,82	SP2-D-P7-PB15	24,07	75,93	SP2-D-P7-PB12	23,49	76,51
SP2-D-P7-PB16	20,87	79,13	SP2-D-P7-PB21	15,69	84,31	SP2-D-P7-PB17	19,37	80,63
SP2-D-P7-PB18	17,95	82,05	SP2-D-P7-PB24	19,44	80,56	SP2-A-P7-PB20	21,20	78,80

**Anexo A8:** datos de la parcela 8

Segundo mes			Cuarto mes			Sexto mes		
Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual
SP2-A-P8-PB1	19,14	80,86	SP2-A-P8-PB7	22,48	77,52	SP2-A-P8-PB3	23,26	76,74
SP2-A-P8-PB2	12,21	87,79	SP2-A-P8-PB10	26,83	73,17	SP2-A-P8-PB6	32,71	67,29
SP2-A-P8-PB5	17,78	82,22	SP2-A-P8-PB15	22,18	77,82	SP2-A-P8-PB12	22,90	77,10
SP2-A-P8-PB9	18,18	81,82	SP2-A-P8-PB21	21,88	78,13	SP2-A-P8-PB16	28,99	71,01
SP2-A-P8-PB18	23,26	76,74	SP2-A-P8-PB25	24,69	75,31	SP2-A-P8-PB20	26,19	73,81

**Anexo A9:** datos de la parcela 9

Segundo mes			Cuarto mes			Sexto mes		
Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual
SP2-A-P9-PB3	14,93	85,07	SP2-A-P9-PB6	24,67	75,33	SP2-A-P9-PB4	26,57	73,43
SP2-A-P9-PB9	20,16	79,84	SP2-A-P9-PB12	23,65	76,35	SP2-A-P9-PB8	23,97	76,03
SP2-A-P9-PB10	19,74	80,26	SP2-A-P9-PB15	26,15	73,85	SP2-A-P9-PB11	25,38	74,62
SP2-A-P9-PB16	16,93	83,07	SP2-A-P9-PB19	18,91	81,09	SP2-A-P9-PB14	28,46	71,54
SP2-A-P9-PB23	16,29	83,71	SP2-A-P9-PB21	26,61	73,39	SP2-A-P9-PB24	30,36	69,64

**Anexo A10:** datos de la parcela 10

Segundo mes			Cuarto mes			Sexto mes		
Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual
SP1-D-P10-PB1	8,71	91,29	SP1-D-P10-PB8	10,89	89,11	SP1-D-P10-PB2	13,95	86,05
SP1-D-P10-PB4	11,74	88,26	SP1-D-P10-PB10	12,08	87,92	SP1-D-P10-PB7	13,76	86,24
SP1-D-P10-PB5	12,81	87,19	SP1-D-P10-PB17	13,62	86,38	SP1-D-P10-PB12	16,67	83,33
SP1-D-P10-PB15	12,14	87,86	SP1-D-P10-PB20	14,29	85,71	SP1-D-P10-PB14	15,87	84,13
SP1-D-P10-PB23	18,42	81,58	SP1-D-P10-PB24	14,48	85,52	SP1-D-P10-PB18	17,35	82,65

**Anexo A11:** datos de la parcela 11

<b>Segundo mes</b>			<b>Cuarto mes</b>			<b>Sexto mes</b>		
<b>Código</b>	<b>Pérdida de peso</b>	<b>Peso residual</b>	<b>Código</b>	<b>Pérdida de peso</b>	<b>Peso residual</b>	<b>Código</b>	<b>Pérdida de peso</b>	<b>Peso residual</b>
SP1-A-P11-PB7	21,15	78,85	SP1-A-P11-PB1	19,63	80,37	SP1-A-P11-PB4	26,45	73,55
SP1-A-P11-PB11	11,81	88,19	SP1-A-P11-PB3	17,73	82,27	SP1-A-P11-PB6	26,96	73,04
SP1-A-P11-PB12	15,23	84,77	SP1-A-P11-PB15	20,43	79,57	SP1-A-P11-PB10	22,91	77,09
SP1-A-P11-PB20	17,25	82,75	SP1-A-P11-PB17	19,57	80,43	SP1-A-P11-PB14	23,41	76,59
SP1-A-P11-PB21	17,55	82,45	SP1-A-P11-PB25	24,71	75,29	SP1-A-P11-PB23	28,57	71,43

**Anexo A12:** datos de la parcela 12

<b>Segundo mes</b>			<b>Cuarto mes</b>			<b>Sexto mes</b>		
<b>Código</b>	<b>Pérdida de peso</b>	<b>Peso residual</b>	<b>Código</b>	<b>Pérdida de peso</b>	<b>Peso residual</b>	<b>Código</b>	<b>Pérdida de peso</b>	<b>Peso residual</b>
SP2-D-P12-PB3	16,46	83,54	SP2-D-P12-PB10	19,12	80,88	SP2-D-P12-PB1	22,83	77,17
SP2-D-P12-PB6	13,19	86,81	SP2-D-P12-PB12	24,02	75,98	SP2-D-P12-PB5	22,10	77,90
SP2-D-P12-PB8	15,38	84,62	SP2-D-P12-PB13	25,94	74,06	SP2-D-P12-PB11	25,19	74,81
SP2-D-P12-PB19	20,98	79,02	SP2-D-P12-PB16	17,62	82,38	SP2-D-P12-PB15	26,41	73,59
SP2-D-P12-PB23	17,21	82,79	SP2-D-P12-PB20	20,87	79,13	SP2-D-P12-PB17	22,06	77,94

**Anexo A13:** datos de la parcela 13

Segundo mes			Cuarto mes			Sexto mes		
Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual
SP1-D-P13-PB6	9,21	90,79	SP1-D-P13-PB2	12,62	87,38	SP1-D-P13-PB4	14,56	85,44
SP1-D-P13-PB9	16,03	83,97	SP1-D-P13-PB16	14,69	85,31	SP1-D-P13-PB8	17,50	82,50
SP1-D-P13-PB13	10,39	89,61	SP1-D-P13-PB17	11,42	88,58	SP1-D-P13-PB12	10,74	89,26
SP1-D-P13-PB14	8,86	91,14	SP1-D-P13-PB20	15,38	84,62	SP1-D-P13-PB18	18,03	81,97
SP1-D-P13-PB23	8,65	91,35	SP1-D-P13-PB22	14,29	85,71	SP1-D-P13-PB24	14,63	85,37

**Anexo A14:** datos de la parcela 14

Segundo mes			Cuarto mes			Sexto mes		
Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual
SP2-A-P14-PB4	16,39	83,61	SP2-A-P14-PB2	28,06	71,94	SP2-A-P14-PB7	30,73	69,27
SP2-A-P14-PB6	16,73	83,27	SP2-A-P14-PB13	25,37	74,63	SP2-A-P14-PB11	24,29	75,71
SP2-A-P14-PB8	22,17	77,83	SP2-A-P14-PB14	23,61	76,39	SP2-A-P14-PB19	27,68	72,32
SP2-A-P14-PB10	19,73	80,27	SP2-A-P14-PB18	20,70	79,30	SP2-A-P14-PB21	23,65	76,35
SP2-A-P14-PB17	18,67	81,33	SP2-A-P14-PB25	28,86	71,14	SP2-A-P14-PB22	27,16	72,84

**Anexo A15:** datos de la parcela 15

Segundo mes			Cuarto mes			Sexto mes		
Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual
SP2-D-P15-PB2	16,27	83,73	SP2-D-P15-PB7	21,94	78,06	SP2-D-P15-PB5	22,31	77,69
SP2-D-P15-PB3	16,26	83,74	SP2-D-P15-PB9	19,39	80,61	SP2-D-P15-PB8	27,19	72,81
SP2-D-P15-PB4	17,54	82,46	SP2-D-P15-PB12	24,44	75,56	SP2-D-P15-PB11	25,30	74,70
SP2-D-P15-PB16	18,10	81,90	SP2-D-P15-PB20	17,98	82,02	SP2-D-P15-PB14	28,76	71,24
SP2-D-P15-PB18	14,02	85,98	SP2-D-P15-PB23	22,66	77,34	SP2-D-P15-PB21	27,73	72,27

**Anexo A16:** datos de la parcela 16

Segundo mes			Cuarto mes			Sexto mes		
Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual	Código	Pérdida de peso	Peso residual
SP1-A-P16-PB1	11,42	88,58	SP1-A-P16-PB3	17,84	82,16	SP1-A-P16-PB4	30,81	69,19
SP1-A-P16-PB14	21,50	78,50	SP1-A-P16-PB6	19,47	80,53	SP1-A-P16-PB5	25,75	74,25
SP1-A-P16-PB22	19,18	80,82	SP1-A-P16-PB7	22,12	77,88	SP1-A-P16-PB12	22,50	77,50
SP1-A-P16-PB24	19,09	80,91	SP1-A-P16-PB10	16,49	83,51	SP1-A-P16-PB16	25,68	74,32
SP1-A-P16-PB25	10,37	89,63	SP1-A-P16-PB18	16,41	83,59	SP1-A-P16-PB21	23,19	76,81

**Anexo B: Registros fotográficos****Anexo B1: Limpieza del área de estudio****Ilustración 1.** Limpieza de maleza**Ilustración 2.** Barrido de la superficie**Anexo B2: Preparación de probetas****Ilustración 3.** Cepillado de las probetas**Ilustración 4.** Despunte de las probetas

**Anexo B3:** Registro de datos iniciales de las probetas

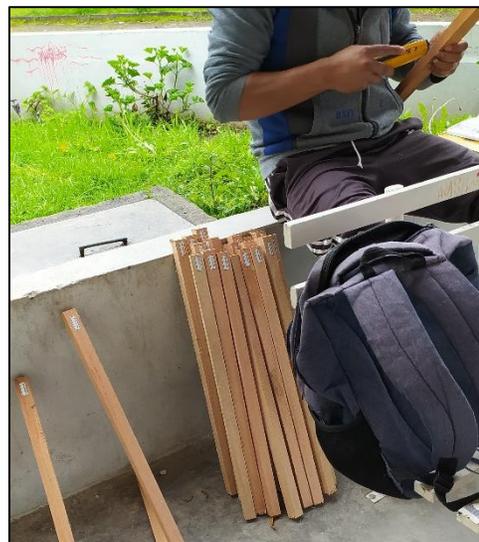
**Ilustración 5.** Registro del contenido de humedad



**Ilustración 6.** Registro del peso

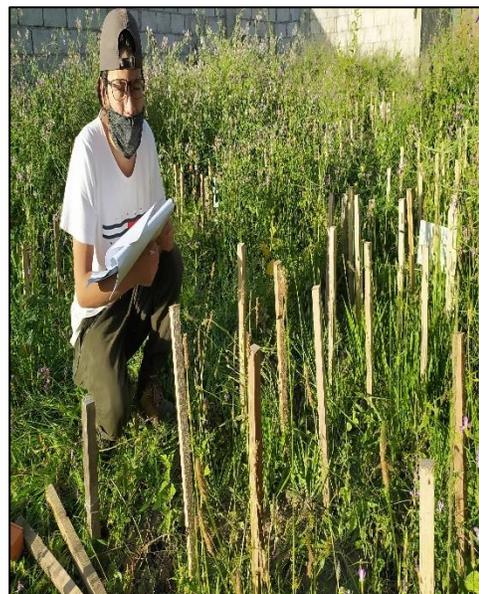
**Anexo B4:** Clasificación y etiquetado de las probetas

**Ilustración 7.** Etiquetado de probetas



**Ilustración 8.** Registro de las probetas clasificadas

**Anexo B5: Instalación de las parcelas****Ilustración 9.** Medición de parcelas**Ilustración 10.** Distribución de carteles para las parcelas**Anexo B6: Distribución e instalación de las probetas****Ilustración 11.** Distribución de las probetas**Ilustración 12.** Enterrado de probetas en las parcelas

**Anexo B6:** Evaluación y registro de datos del ensayo**Ilustración 13.** Evaluación de las probetas**Ilustración 14.** Registro de datos**Ilustración 15.** Probeta afectada por los agentes degradadores**Ilustración 16.** Registro del peso de la probeta extraída del suelo