UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL

"DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE PINO CHUNCHO A TRES NIVELES DEL FUSTE DEL ÁRBOL SOMETIDOS A LA ACCIÓN DE HONGOS XILÓFAGOS, ALTO INAMBARI-PUNO"

Yessica Chupa Ancco

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesor: Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo

Juliaca – 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL

"DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE PINO CHUNCHO A TRES NIVELES DEL FUSTE DEL ÁRBOL SOMETIDOS A LA ACCIÓN DE HONGOS XILÓFAGOS, ALTO INAMBARI-PUNO"

Yessica Chupa Ancco

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesor: Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo

Juliaca - 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL

"DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE PINO CHUNCHO A TRES NIVELES DEL FUSTE DEL ÁRBOL SOMETIDOS A LA ACCIÓN DE HONGOS XILÓFAGOS, ALTO INAMBARI-PUNO"

Yessica Chupa Ancco

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesor: Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo

Juliaca, 2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Chupa, Y. (2025). *Durabilidad natural de la madera de pino chuncho a tres niveles del fuste del árbol sometidos a la acción de hongos xilófagos, Alto Inambari-Puno*
(Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR	:	Yessica Chupa Ancco
TÍTULO	:	Durabilidad natural de la madera de pino chuncho a tres niveles del fuste del árbol sometidos a la acción de hongos xilófagos, Alto Inambari-Puno
PUBLICACIÓN	:	Juliaca, 2026
DESCRIPCIÓN	:	Cantidad de páginas (99 páginas)
NOTA	:	Tesis de Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal Facultad Ciencias de la Ingeniería Universidad Nacional de Juliaca
CÓDIGO	:	01-000094-91/T19
NOTA	:	Incluye bibliografía
ASESOR	:	Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo
PALABRA CLAVE	:	Durabilidad natural, madera, pino chuncho, *Trametes sp*, *Polyporus sp*.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL

"DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE PINO CHUNCHO A TRES NIVELES DEL FUSTE DEL ÁRBOL SOMETIDOS A LA ACCIÓN DE HONGOS XILOFAGOS, ALTO INAMBARI-PUNO"

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Presentada por:

Bach. Bach. YESSICA CHUPA ANCCO

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Dra. Eliana Mullisaca Contreras

PRSIDENTE JURADO

M.Sc. Jael Calla Calla

JURADO (Secretario)

2° MIEMBRO

M.Sc. Ebed David Paredes Rodriguez

JURADO (Vocal)

3° MIEMBRO

Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo

ASESOR DE TESIS

Yessica Chupa Ancco

“DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE PINO CHUNCHO A TRES NIVELES DEL FUSTE DEL ÁRBOL SOMETIDOS A LA AC...

Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::3117:646609221

Fecha de entrega
29 oct 2026, 11:10 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
29 oct 2026, 11:30 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
YESSICA CHUPA ANCCO-TESIS.pdf

Tamaño del archivo
4.8 MB

99 páginas

20.703 palabras

118.725 caracteres

Firmado digitalmente por AQUINO LARICO Elmer Rodrigo FAU 20448261272 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 30.10.2026 09:07:29 -05:00

14% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

13% Fuentes de Internet
1% Publicaciones
5% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.° de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
Firmado digitalmente por AQUINO LARICO Elmer Rodrigo FAU 20448261272 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 30.10.2025 09:07:49 -05:00

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía constante, darme fuerzas en los momentos difíciles y la luz en los momentos de incertidumbre. Gracias por abrir caminos donde parecían no haberlos encontrado y acompañarme silenciosamente en cada paso de este proceso.

A mi papá Félix, por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, la responsabilidad y la perseverancia. Este logro también es suyo, porque detrás de él hay sacrificios, enseñanzas y mucho cariño que siempre llevaré en mi corazón.

A mi mamá Francisca, por su amor sin límites, sus palabras de aliento, su paciencia infinita y su fé constante en mí.

A Christopher quien me inspira en cada uno de mis pasos y me recuerda día a día el verdadero significado del esfuerzo y superación.

Este logro no solo es mío, es también por ustedes. Gracias por darme las bases, el amor y el coraje para llegar hasta aquí.

AGRADECIMIENTO

A Dios, quien ha sido mi compañía durante esta etapa de mi vida. Le agradezco por no soltarme en los momentos de duda y permitirme alcanzar esta meta tan importante en mi vida.

A mis padres, por enseñarme que las cosas se logran trabajando con humildad y sin rendirse. Este logro también les pertenece, ya que siempre estuvieron presentes en mi camino.

Agradezco especialmente al Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo po su asesoramiento quien me brindó su apoyo constante, su paciencia, sus consejos sinceros y por estar durante todo el proceso de mi investigación desde la idea hasta el final

A los miembros de jurado, Dr. Eliana Mullisaca Contreras, M.Sc. Jael Calla Calla y M.Sc. Ebed David Paredes Rodriguez por sus aportes y su contribución en la mejora de la presente investigación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA ..... **i**

AGRADECIMIENTO ..... **ii**

INDICE GENERAL ..... **iii**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **viii**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **ix**

ÍNDICE DE ANEXOS ..... **x**

ACRÓNIMOS ..... **xi**

RESUMEN **12**

ABSTRACT **13**

INTRODUCCIÓN **14**

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 El problema de investigación 16

1.2 Pregunta de la investigación 17

1.2.1 Problema general 17

1.2.2 Problema especifico 17

1.3 Objetivos de investigación 17

1.3.1 Objetivo general 17

1.3.2 Objetivos específicos 17

1.4 Hipótesis de investigación 18

1.4.1 Hipótesis general 18

1.4.2 Hipótesis especifico 18

1.5 Justificación 18

1.5.1 Justificación Ambiental 18

1.5.2 Justificación Tecnológica 19

1.5.3 Justificación económica 19

1.5.4 Justificación Social 19

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la investigación 21
2.1.1 Antecedentes internacionales 21
2.1.2 Antecedentes nacionales 24
2.1.3 Antecedentes locales 26
2.2 Marco teórico 26
2.2.1 La madera 26
2.2.2 Composición química de la madera 28
2.2.2.1 Celulosa 28
2.2.2.2 Hemicelulosa 28
2.2.2.3 Lignina 28
2.2.3 Propiedades físicas de la madera 28
2.2.3.1 Peso específico 28
2.2.3.2 Contenido de humedad 29
2.2.4 Propiedades biológicas 29
2.2.5 Descripción botánica de la especie en estudio 29
2.2.6 Variación longitudinal de la madera en el fuste 31
2.2.7 Albura y duramen 31
2.2.8 Durabilidad natural 32
2.2.9 Métodos para determinar la durabilidad natural de la madera 33
2.2.9.1 Método de campo o cementerio de estacas 33
2.2.9.2 Pruebas aceleradas de laboratorio 34
2.2.10 Hongos 34
2.2.10.1 Hongos xilófagos 34
2.2.11 Factores fundamentales para el desarrollo de hongos 36

2.2.11.1 Humedad 36
2.2.11.2 Temperatura 36
2.2.11.3 Oxígeno 37
2.2.11.4 Sustrato 37
2.2.12 Ciclo de desarrollo de hongos xilófagos 37
2.2.13 Hongos de prueba de ensayo 38
2.2.13.1 *Trametes vesticolor* 38
2.2.13.2 *Polyporus sanguineus* 39
2.2.14 Pérdida de masa 41
2.2.15 Peso específico básico 41
2.2.16 Tablas de clasificación de la durabilidad natural 41
2.2.16.1 Clasificación según la norma ASTM D -2017 41
2.2.16.2 Clasificación de Findlay 43
2.2.17 Normas técnicas usadas 43
2.2.17.1 Norma Técnica Peruana (NTP) 251.008:2016 43
2.2.17.2 Norma Técnica Peruana (NTP) 251.010:2020 43
2.2.17.3 Norma Técnica (ANSI/ASTM) D2017-05 43

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.2 Ámbito de estudio 45
3.3 Tipo de Investigación 46
3.4 Nivel de investigación 46
3.5 Población y Muestra 46
3.5.1 Población 46
3.5.2 Muestra 46
3.6 Materiales 46
3.6.1 Equipos 46

3.6.2 Materiales....47
3.6.3 Reactivos y soluciones....47
3.6.4 Otros....47
3.7 Procedimiento Metodológico....47
3.7.1 Determinación de prueba de resistencia de la madera frente a hongos xilófagos....47
3.7.1.1 Talado y trozado....47
3.7.1.2 Elaboración de probetas....48
3.7.1.3 Acondicionamiento inicial de las probetas....49
3.7.1.4 Esterilización y humedecimiento de probetas....49
3.7.1.5 Selección y colección de hongos....49
3.7.1.6 Cultivo de hongos....50
3.7.1.7 Preparación de las cámaras de pudrición....50
3.7.1.8 Propagación in vitro de hongos....50
3.7.1.9 Proceso de deterioro....51
3.7.1.10 Acondicionamiento final de las probetas....51
3.7.1.11 Determinación de pérdida de peso....51
3.7.11 Determinación de la influencia del peso específico básico....52
3.8 Análisis estadístico....52
3.8.1 Análisis estadístico descriptiva....52
3.8.2 Variables....52
3.8.2.1 Variable dependiente....52
3.8.2.2 Variables independientes....53
3.8.3 Diseño Experimental....53
3.8.4 Procedimiento de prueba de hipótesis....53
3.8.4.1 Planteamiento de hipótesis....54
3.8.4.2 Nivel de significancia....54

3.8.4.3 Estadístico de prueba 54

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Determinación de la pérdida de peso causado por los hongos *Trametes sp* y *Polyporus sp* en sus tres niveles del fuste de pino chuncho 56

4.1.1 Análisis descriptivo 56

4.2 Influencia del peso específico básico en la resistencia a la descomposición causado por los hongos 60

4.3 Análisis estadístico 64

4.3.1 Prueba de normalidad 64

4.3.2 Prueba de hipótesis 64

4.3.3 Prueba de hipótesis 65

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones 67

5.2 Recomendaciones 67

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 69

ANEXOS 78

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. *Clasificación taxonómica de los árboles de pino chuncho* *30*
Tabla 2. *Clasificación taxonómica de Trametes vesticolor* *39*
Tabla 3. *Clasificación taxonómica de Polyporus sanguineus* *39*
Tabla 4. *Criterio de clasificación de resistencia para pruebas* *41*
Tabla 5. *Clasificación de la durabilidad natural de la madera en años* *42*
Tabla 6. *Coordenadas UTM de los árboles de Pino chuncho* *45*
Tabla 7. *Estadísticos descriptivos de porcentaje de pérdida de peso promedio causado por los hongos Trametes sp y Polyporus* *56*
Tabla 8. *Relación entre el peso específico básico y la pérdida de masa de la madera de pino chuncho según el tipo de hongo y nivel del fuste* *61*
Tabla 9. *Correlación de Spearman entre pérdida de masa y peso específico básico* ... *87*
Tabla 10. *Prueba de normalidad Shapiro Wilk para la pérdida de masa y peso específico básico* *87*
Tabla 11. *Prueba de Kruskal-Wallis para la pérdida de masa según nivel del fuste* ... *88*
Tabla 12. *Prueba de Mann-whitney para la pérdida de masa según el tipo de hongo* . *88*
Tabla 13. *Pérdida de masa promedio % de Trametes sp* *89*
Tabla 14. *Pérdida de masa promedio (%) de Polyporus sp* *90*
Tabla 15. *Grado de resistencia y clase para el hongo Trametes sp* *91*
Tabla 16. *Grado de resistencia y clase de hongo Polyporus sp* *92*
Tabla 17. *Datos del peso específico básico* *92*
Tabla 18. *Peso específico básico* *94*

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Estructura macroscópica de la madera.* *26*
Figura 2. *Característica macroscópica de Schizolobium parahiba* *30*
Figura 3. *Corte transversal de la madera* *32*
Figura 4. *Madera degradada por el micelio de hongo* *36*
Figura 5. *Características macroscópicas de Trametes vesticolor* *39*
Figura 6. *Característica macroscópica de Polyporus sanguineus* *40*
Figura 7. *Mapa de ubicación del área de estudio del distrito de Alto Inambari* *45*
Figura 8. *Seccionado de trozas* *48*
Figura 9. *Codificación de probeta* *49*
Figura 10. *Promedio de pérdida de masa de pino chuncho* *58*
Figura 11. *Dispersión de pérdida de masa* *59*
Figura 12. *Correlación de pérdida de peso y peso específico básico para Tramete sp* *62*
Figura 13. *Correlación de pérdida de peso y peso específico para Polyporus sp* *63*
Figura 14. *Toma de datos de los árboles de pino chuncho* *78*
Figura 15. *Medición y trozado* *78*
Figura 16. *Toma de datos de las trozas* *79*
Figura 17. *Elaboración de probetas* *79*
Figura 18. *Codificación y acondicionamiento de muestras de pino chuncho* *80*
Figura 19. *Secado de las muestras en estufa* *81*
Figura 20. *Obtención del peso seco inicial (PSI) de las muestras* *81*
Figura 21. *Selección y colección in situ de hongos Hongos* *82*
Figura 22. *Hongos Trametes sp y Polyporus sp* *82*
Figura 23. *Esterilización de materiales para la inoculaciónInoculación* *83*
Figura 24. *Inoculacón de hongos* *83*
Figura 25. *Esterilización de frascos de vidrio* *84*
Figura 26. *Inóculos de hongos Trametes sp y Polyporus sp* *85*
Figura 27. *Frascos inoculados con hongos Polyporus sp y Trametes sp después de 90 días* *84*
Figura 28. *Probetas contaminadas con Polyporus sp y Trametes sp* *85*
Figura 29. *Limpieza de probetas del resto de los hongos* *86*
Figura 30. *Obtención del peso seco final (PSF) después de la exposición a hongos* *86*

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I. *Elaboración de probetas*.....*78*

ANEXO II. *Preparación de probetas para ser inoculadas*.....*81*

ANEXO III. *Recolección de muestras de Trametes sp y Polyporus sp*.....*82*

ANEXO IV. *Proceso de inoculación de hongos*.....*83*

ANEXO V. *Tablas de evaluación*.....*86*

ANEXO VI. *Solicitud del uso de equipos y materiales del laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca – UNAJ* *93*

ACRÓNIMOS

ASTM D2017:	American Society for Te
NTP:	Norma Técnica peruana
CH:	Contenido de humedad
PEB:	Peso Específico Básico
SERFOR:	Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
Vv:	Volumen verde
A1:	Árbol N° 1
PSI:	Peso Seco Inicial
PSF:	Peso Seco Final
%PP:	Porcentaje de Pérdida de Peso
GPS:	Sistema de Posicionamiento Global
PS:	Peso Seco o Anhidro
∫w:	Densidad del Agua
MEA:	Agar Extracto de Malta
NaCl:	Cloruro de Sodio
NaClO:	Hipoclorito de Sodio
HPB:	Hongo de pudrición blanca
HPP:	Hongo de pudrición parda

RESUMEN

La degradación biológica de la madera representa un problema relevante en el aprovechamiento adecuado y sostenible de los recursos forestales, por lo que la especie de pino chuncho es de gran interés por su rápido crecimiento y uso potencial en la industria maderera, aunque se dispone de escasa información sobre su durabilidad natural. En este contexto, se tiene por objetivo evaluar la durabilidad natural de la madera de pino chuncho a tres niveles del fuste del árbol sometidos a la acción de hongos xilófagos. La metodología empleada fue según los lineamientos de la norma ASTM D 2017 – 07, la cual establece el procedimiento para evaluar la resistencia natural de la madera frente al ataque de hongos xilófagos a nivel de laboratorio. Para lo cual se obtuvo 108 probetas de 2 x 2 x 2 cm, cada nivel fue expuesto a los hongos *Trametes sp* y *Polyporus sp* bajo condiciones controladas de laboratorio por un periodo de 90 días; para el análisis de datos se aplicó el diseño completamente al azar con arreglo factorial de 2x3, con 6 tratamientos y 18 repeticiones por tratamiento. Los resultados obtenidos de pérdida de masa en promedio por descomposición causado por hongos *Trametes sp* fue (32.689%) y para *Polyporus sp* (44.354%) quien presentó mayor pérdida de masa, clasificando a la madera de pino chuncho como moderadamente resistente; así mismo, se evidenció una disminución gradual de peso específico básico desde la base hacia el ápice del fuste. Estos resultados nos permitirán realizar un mejor uso de la madera según su durabilidad y aporta información relevante para el sector forestal y maderero.

Palabras clave: Durabilidad natural, madera, Pino chuncho, *Trametes sp* y *Polyporus sp*.

ABSTRACT

The biological degradation of wood poses a significant problem for the proper and sustainable use of forest resources; therefore, the chuncho pine species is of great interest due to its rapid growth and potential use in the timber industry, although little information is available regarding its natural durability. In this context, the objective is to evaluate the natural durability of chuncho pine wood at three levels of the tree trunk subjected to the action of xylophagous fungi. The methodology employed followed the guidelines of ASTM D 2017–07, which establishes the procedure for evaluating the natural resistance of wood against attack by xylophagous fungi under laboratory conditions. To this end, 108 test specimens measuring 2 x 2 x 2 cm were obtained; each level was exposed to the fungi Trametes sp. and Polyporus sp. under controlled laboratory conditions for a period of 90 days. For data analysis, a completely randomized design with a 2x3 factorial arrangement was applied, with 6 treatments and 18 replicates per treatment. The average mass loss due to decomposition caused by Trametes sp. was 32.689%, while that caused by Polyporus sp. was 44.354%—the latter resulting in greater mass loss—classifying chuncho pine wood as moderately resistant; likewise, a gradual decrease in basic specific gravity was observed from the base toward the apex of the stem. These results will allow us to make better use of wood based on its durability and provide relevant information for the forestry and timber industries.

Key words: Natural durability, wood, pino chuncho, *Trametes sp*., and *Polyporus sp.*

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la madera ha adquirido mayor relevancia a nivel global como material renovable y sostenible, promovido por el desarrollo de la bioeconomía y la necesidad de reducir el uso de recursos no renovables (Martín & López, 2023). No obstante, su naturaleza orgánica la hace susceptible al deterioro biológico, principalmente por la acción de hongos xilófagos los cuales degradan sus componentes como la celulosa, hemicelulosa y lignina mediante procesos enzimáticos que reducen su resistencia y vida útil del material (Goodell et al., 2020). Frente a este contexto, la durabilidad natural de la madera se ha convertido en un aspecto clave de investigación, siendo evaluada mediante ensayos de laboratorio que determinan la pérdida de masa ocasionada por diferentes especies de hongos bajo condiciones controladas (Brischke et al., 2021), ya que cobra relevancia no solo para optimizar su uso adecuado, sino también para promover prácticas responsables de manejo forestal (Brischke et al., 2019).

Las propiedades de la madera como la estructura anatómica, densidad, composición química y los tratamientos biológicos influyen directamente en su resistencia al ataque de hongos, así como en su desempeño en aplicaciones estructurales y de uso industrial (Presley et al., 2022). Asimismo, se ha demostrado que tanto el nivel del fuste como el tipo de hongo pueden generar diferencias altamente significativas en la pérdida de masa de la madera, lo que resalta la importancia de evaluar estos factores de manera conjunta para optimizar su aprovechamiento (Martín & López, 2023).

En el Perú, el aprovechamiento sostenible de los recursos forestales como la madera es un pilar estratégico para el desarrollo económico, la conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático (SERFOR, 2023). No obstante, la gran parte de las especies nativas de rápido crecimiento, como *Schizolobium parahyba* (pino chuncho), carecen de información técnica sobre su comportamiento frente a agentes de deterioro biológico, lo que limita su incorporación segura en la industria maderera (Ramos, 2014).

A nivel nacional, reportes técnicos han señalado la necesidad de fortalecer la investigación en durabilidad natural de especies forestales para mejorar su aprovechamiento adecuado y promover un uso sostenible de los recursos (MINAM, 2022). Así mismo, es fundamental generar información específica sobre especies de rápido crecimiento como *Schizolobium parahyba*, a fin de optimizar su uso adecuado, disminuir pérdidas por deterioro biológico y

contribuir al desarrollo económico de las poblaciones que dependen del recurso forestal.

En la región de Puno, distrito de Alto Inambari, las explotaciones forestales han comenzado a enfocarse en especies de rápido crecimiento como la bolaina, capirona y pino chuncho; sin embargo, se tiene escasa información de ataque de hongos xilófago. Por ende, la presente investigación tiene como finalidad evaluar la durabilidad natural de la madera de Pino chuncho cuyos resultados no solo contribuirán con datos científicos valiosos para el aprovechamiento responsable y sostenible de esta especie, sino también contribuir a las estrategias de manejo forestal que promuevan la diversificación de especies comerciales y el valor agregado en la cadena productiva de la madera, apoyando así el desarrollo económico de la población aledaña (Arce,2019).

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 El problema de investigación

A nivel mundial, el deterioro biológico de la madera continúa representando una problemática importante para el sector forestal y la industria maderera, debido a las pérdidas económicas y estructurales ocasionadas por la acción de hongos xilófagos; ya que estos organismos degradan progresivamente los componentes principales de la madera, afectando su resistencia mecánica, estabilidad y durabilidad natural, lo que limita su desempeño en diferentes condiciones de uso (Goodell et al., 2020). De esta manera, millones de metros cúbicos de madera son reemplazados anualmente debido a daños ocasionados por agentes biológicos, incrementando los costos de mantenimiento y aprovechamiento del recurso forestal como indica (Van Niekerk et al., 2021).

En Latinoamérica, las condiciones climáticas como la humedad y temperatura favorecen el desarrollo de agentes bióticos, acelerando los procesos de deterioro biológico y reduciendo la durabilidad natural de especies forestales (Brischke & Alfredsen, 2021). No obstante, en muchos países de la región todavía es limitada la disponibilidad de estudios orientados a evaluar experimentalmente la interacción entre el nivel del fuste y el tipo de hongo, lo que dificulta establecer criterios técnicos adecuados para el aprovechamiento y uso eficiente de la madera (Li et al., 2022).

En el Perú, la actividad forestal representa un sector estratégico para el desarrollo económico y la generación de empleo, especialmente en regiones amazónicas; sin embargo, gran parte de las especies maderables utilizadas en construcción, mobiliario y carpintería se ven afectadas por la degradación causada por agentes bióticos (SERFOR, 2023). Esta problemática se agrava debido a que, en la mayoría de los casos, el aprovechamiento y comercialización de la madera no considera evaluaciones previas de su durabilidad natural, lo que conduce a pérdidas económicas significativas y al uso ineficiente de los recursos forestales, sobre todo cuando está expuesta a la intemperie (Ramos et al., 2016).

La actividad forestal en el distrito de Alto Inambari**,** región de Puno, persiste limitaciones

importantes en el conocimiento técnico sobre la calidad y durabilidad de especies forestales que se utilizan, especialmente aquellas de rápido crecimiento como el pino chuncho, lo cual obstaculiza su utilización y comercialización, ocasionando una imagen negativa sobre su calidad de madera por ser una madera de baja densidad es susceptible al ataque de hongos (de Lima et al., 2018). A través de este estudio se espera generar información técnica que respalde el uso adecuado de esta madera en aplicaciones como cajonería liviana, pulpa y papel, laminados, mueblería liviana, tableros y artesanía de esta manera promoviendo un manejo forestal más eficiente y sostenible, y contribuyendo al desarrollo económico de las comunidades de la selva puneña (Athnazio et al., 2018).

Ante esta problemática surge la necesidad de evaluar la durabilidad natural de pino chuncho a tres niveles del fuste del árbol sometidos a la acción de hongos xilófagos.

1.2 Pregunta de la investigación

1.2.1 Problema general

¿Cómo varía la durabilidad natural de la madera de pino chuncho a tres niveles del fuste del árbol sometidos a la acción de hongos xilófagos, Alto Inambari-Puno?

1.2.2 Problema especifico

- ¿Cuál es el porcentaje de pérdida de masa en la madera de pino chuncho a tres niveles del fuste ante la inoculación de los hongos *Trametes sp* y *Polyporus sp*?
- ¿Cómo influye el peso específico básico en la resistencia a la descomposición a tres niveles del fuste de pino chuncho causado por los hongos *Trametes sp* y *Polyporus sp*?

1.3 Objetivos de investigación

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la durabilidad natural de la madera de pino chuncho a tres niveles del fuste del árbol sometidos a la acción de hongos xilófagos, Alto Inambari-Puno.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar el porcentaje de pérdida de masa de madera pino chuncho y su variabilidad a niveles de longitud del fuste por inoculación de hongos *Trametes*

sp y *Polyporus sp*.

- Determinar la influencia del peso específico básico en la resistencia al deterioro a tres niveles del fuste de pino chuncho causado por los hongos *Trametes sp* y *Polyporus sp*

1.4 Hipótesis de investigación

1.4.1 Hipótesis general

La durabilidad natural de la madera de Pino chuncho varía significativamente en los tres niveles del fuste del árbol, siendo la sección del ápice más susceptibles a la degradación por hongos xilófagos.

1.4.2 Hipótesis especifico

- El porcentaje de pérdida de masa de la madera de pino chuncho varía según a la posición longitudinal del fuste y a la inoculación de hongos *Trametes sp* y *Polyporus sp*, siendo más significativa en la parte del ápice.
- El peso específico básico de la madera Pino chuncho tiene una relación directa con la resistencia al deterioro causado por los hongos *Trametes sp* y *Polyporus sp*.

1.5 Justificación

1.5.1 Justificación Ambiental

La investigación contribuye a la conservación y uso sostenible de los recursos forestales, evitando la sobreexplotación y favoreciendo el manejo responsable (De la Cruz et al., 2018); así mismo conocer la resistencia natural de la madera frente a hongos xilófagos permite reducir el uso de preservantes químicos sintéticos, disminuyendo la contaminación del ecosistema (FAO, 2022). Además, al comprender el comportamiento de la madera frente a organismos xilófagos, permite optimizar su aprovechamiento evitando talas innecesarias y fomentando la conservación de los bosques naturales, en coherencia con las estrategias globales de mitigación del cambio climático (Roberts et al., 2022). De esta manera, se apoya la conservación de la biodiversidad y la gestión forestal sostenible.

1.5.2 Justificación Tecnológica

A nivel tecnológico, la presente investigación se justifica porque la evaluación de las propiedades físicas y biológicas proporcionará información relevante para su adecuada empleabilidad; de esta forma proporcionará el desarrollo de tecnologías de clasificación y tratamiento más eficientes, mejorando el desempeño de la madera en aplicaciones estructurales y disminuyendo los costos de mantenimiento (Momohara et al., 2021). Además la transferencia de estos conocimientos al sector maderero potenciará la innovación en productos con mayor valor agregado y favoreciendo la innovación en productos derivados de la madera, por ello se determinará la durabilidad de la madera de pino chuncho mediante método de laboratorio, debido a que permite evaluar en condiciones controladas de temperatura y humedad de esta forma obteniendo resultados más rápido y precisos en comparación con los ensayos de campo (Mucha, 2024).

1.5.3 Justificación económica

En las comunidades del distrito Alto Inambari, la cadena productiva forestal constituye una de las fuentes principales de ingreso para pequeños carpinteros, madereros y comercializadores, quienes dependen del procesamiento y venta de productos maderables para el sostén de sus hogares. Por ello, las especies de rápido crecimiento como el pino chuncho poseen un valor económico importante debido a su corto ciclo de producción y capacidad de abastecer materia prima en menor tiempo, contribuyendo a la generación de ingresos para productores y comunidades vinculadas a la actividad forestal (López et al., 2015); Asimismo, investigaciones señalan que las plantaciones de *Schizolobium parahyba* son financieramente rentables, especialmente cuando la madera es destinada a laminados y productos con valor agregado, reduciendo el ciclo de aprovechamiento forestal hasta aproximadamente 13 años (Schwartz et al., 2017). Esto puede generar un incremento en los ingresos económicos y fortalecer la economía local, considerando que una parte significativa de la población en zonas depende del aprovechamiento de los recursos (SERFOR, 2021).

1.5.4 Justificación Social

Finalmente, en el aspecto social, la creciente demanda de productos maderables hace

necesario disponer de información técnica que permita un aprovechamiento adecuado y sostenible de los recursos forestales (Neto et al., 2020); así mismo, los resultados obtenidos podrán servir de apoyo para productores, carpinteros y profesionales del sector forestal, permitiendo de esta forma adoptar medidas de prevención que incrementen la vida útil de la madera y reduzcan pérdidas económicas ocasionadas por el deterioro biológico contribuyendo de esta manera al bienestar de la población vinculada al aprovechamiento d ellos recursos forestales (Martín & López, 2023).

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Souza et al., (2025) en su investigación evaluaron la durabilidad natural de cinco especies amazónicas en dos diferentes ambientes de deterioro. Utilizaron 200 muestras para determinar el comportamiento de las especies frente al deterioro y al ataque de termitas. Los resultados evidenciaron que *Aspidosperma populifolium* y *Mezilaurus itauba* presentaron mayor durabilidad natural, alcanzando un índice de sanidad del 100 %, mientras que *Parkia pendula* y *Rauvolfia paraensis* fueron más susceptibles.

Ariyanti et al., (2024), determinaron la resistencia a la descomposición de la madera *Tectona grandis Linn.f*. frente a hongos *Pycnoporus sanguineus, Dacryopinax spathularia* y *Schizophyllum commune.* Los resultados indicaron una gradación en la pérdida de peso a lo largo del tronco, siendo la menor en la base (1,84%), en medio (3%) y alcanzando su máximo en la parte superior (5,38%). Por otro lado, el hongo que causo mayor cantidad de pérdida de peso fueron *P. sanguineus* (4,99%) y *S. commune* (5,04%).

Levicoy y Morales, (2023), estudiaron la biodegradación in vitro de *Trametes versicolor* y *Schizophyllum commune* como potenciales biocontroladores de *Acacia melanoxylon*, estudiaron el grado de degradación in vitro en madera de *A. melanoxylon*, donde realizaron ensayos de biodeterioro en probetas de madera durante cuatro meses. Obtuvieron como resultado el mayor nivel significativo con 25,3 % en pérdida de masa con el hongo *Trametes versicolor* el cual presenta mayor tasa de deterioro y 6,1 % alcanzado *por S. commune* que es menos agresiva.

Oh et al., (2023), en la investigación de la durabilidad natural de siete maderas duras importadas sometidos a hongos de descomposición (*Fomitopsis palustris, Gloeophyllum trabeum, Trametes versicolor* e *Irpex lacteus*) y la termita

subterránea, estudiaron las especies como el ipe, el jarrah y el merbau donde demostraron que estas especies fueron altamente durables, mientras que la especie de bangkirai, burckella, kempas y malas se clasificaron como moderadamente durables; de igual forma todas las especies de madera, excepto el merbau, fueron altamente resistentes frente al ataque de termitas, este estudio probablemente se deba al contenido de extractivos de las maderas.

Elgueta et al., (2023), en su investigación durabilidad natural de la madera de renoval de Tepa (*Laureliopsis philippiana Looser*), la metodología lo realizaron según indicaciones de la norma UNE- EN350, CEN-TS 15083/1 y la clasificación de Findlay. Los resultados obtenidos definen la durabilidad natural de la madera renoval de Tepa en duramen como Poco durable, con pérdidas de masa entre el 10 - ≤30% y entre el 15 - ≤30%, respectivamente.

Cacuango, (2023), determinó la durabilidad natural de la madera de *Fraxinus americana* y *Eucalyptus grandis* frente a agentes bióticos y abióticos. Los autores encontraron que *F. americana* mostró una pérdida menor al 4%, clasificándose como resistente, mientras que *E. grandis* superó el 12% de pérdida, considerándose de resistencia moderada. Por ello, se estableció que la primera especie es más apta para aplicaciones industriales, a diferencia de *E. grandis*, que requiere de tratamientos adicionales para mejorar su durabilidad.

Mena et al., (2022), investigaron las aplicaciones biotecnológicas de la degradación bioquímica de madera frente a la acción de hongos xilófagos especialmente los de pudrición parda y blanca. Los resultados indican que hay una amplia variedad de aplicaciones como la producción de ácidos policarboxílicos en hongos de la podredumbre marrón; de igual forma se han investigado formas de aprovechar las enzimas generadas por los hongos de podredumbre blanca, entre las cuales destacan la degradación de colorantes y restos de pesticidas, así como el pretratamiento de la biomasa lignocelulósica para producción de biogás.

Uquillas, (2022), evaluó la durabilidad natural de madera aserrada de la especie *Pinus radiata* de la empresa Aglomerados Cotopaxi, en reacción a un hongo xilófago. La metodología que desarrolló es según la norma ASTM D-2017, pero

según la clasificación de Findlay. Los resultados muestran que hubo una pérdida de peso del 2,05 % frente al hongo xilófago *Aspergillus niger*, durante seis semanas de exposición. Se concluye según la clasificación de Findlay a la madera de *Pinus radiata* como "Altamente Resistente" de clase A, pudiendo tener una vida útil de 15 a 25 años, en caso de ser atacado por las dosis estudiadas de *Aspergillus niger*.

Godoy et al., (2021), determinó la durabilidad natural en maderas de *Araucaria angustifolia* y *Ruprechtia laxiflora*. Los resultados indican que los hongos *Laetiporus sulphureus* y *Gloeophyllum sp*, fueron los que causaron mayores valores de pérdida de peso a la especie *A. angustifolia*; en el caso de *R. Laxiflora*, los hongos que provocaron mayores valores de pérdida de peso fueron *Ganoderma applanatum* y *Pycnoporus sanguineus*, clasificando a las dos especies como maderas precederas frente al ataque de estos hongos. Mientras que para ambas especies el hongo que menor daño produjo fue *Pleurotus sajor-caju*, con 1.76% de pérdida de peso para *A. angustifolia*, considerando como madera muy resistente y con 11,15% de pérdida de peso para *R. laxiflora*, considerándose como madera moderadamente resistente.

Vargas, (2021), evaluó la durabilidad natural de la madera de dos especies forestales a la acción de un hongo xilófago en condiciones de laboratorio. La metodología realizó según la Norma ASTM D-2017 y la tabla de Findlay frente a la acción destructiva del hongo xilófago *Ganoderma sp*. Los resultados muestran pérdida de peso obtenida para la especie de *Eucalyptus globulus* es de 30.41%, mientras que para *Eucalyptus nitens* es de 36.82% respectivamente; así mismo clasifico a estas especies como Moderadamente durable (C), Con un promedio de vida útil que va de 10 a 15 años de dichas maderas.

Zabel y Morrell, (2020) en su investigación sobre el deterioro biológico de la madera, estudiaron los principales mecanismos de deterioro de la madera a la acción de diversos hongos xilófagos. En el cual describieron que estos microorganismos degradan los componentes estructurales de la madera, principalmente la celulosa, hemicelulosa y lignina, provocando una disminución de sus propiedades físicas y mecánicas, así como una reducción de su durabilidad natural; igualmente, señalaron que la susceptibilidad al ataque fúngico varía según

las características de cada especie maderable y las condiciones ambientales en las que se desarrolla.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Mucha, (2024), en su investigación de durabilidad natural de *Alnus acuminata* y *Pinus patula* frente a la acción de dos hongos xilófagos, se obtuvo como resultado pérdidas de peso entre 3.28% al 3.31% para la especie de *A. acuminata* clasificándose como "Altamente resistente", asimismo *P. patula* presenta 4.31% de perdida frente a la acción del hongo *Ganoderma applanatum*; mientras que para *Schizoplhyllum commune* pierde 12.35% "Resistente".

Belito et al., (2024), llevaron a cabo una investigación sobre inventario de hongos xilófagos y su impacto en la degradación estructural de la madera, en el cual el estudio lo realizaron en especies de hongos xilófagos que afectan la madera de Eucalipto, Aliso y Pino. Los resultados indican que el hongo *Ganoderma applanatum* produjo mayor degradación en todas las especies forestales, mientras que *Trametes cinnabarina* y *Stereum hirsutum* afectaron principalmente al Eucalipto y Aliso, y *Heterobasidion annosum* al pino.

Chuquizuta (2023), evaluó el biodeterioro de Micrandra spruceana (Baill.) R.E. Schult. bajo la acción de dos hongos xilófagos. La metodología se realizó aplicando las normas ASTM D 2017 – 05 y NTP 251.011. Los resultados indican que *P. sanguineus* reportó mayor pérdida de masa con 9,73%, que el *T. versicolor* con 7,22%. En cuanto a la densidad el *T. versicolor* reportó mayor deterioro con 0,75 g/cm3 más que el *P. sanguineus* con 0,73 g/cm3. Se concluye a los tres niveles de fuste como altamente resistentes en ambos hongos; así mismo la densidad básica no influye indirectamente en la pérdida de masa comprobado a través de una correlación negativa (-0.487).

Duran (2023), evaluó el efecto de dos preservantes en la madera de *Schizolobium amazonicum* frente a la acción del hongo *Pycnoporus sanguineus*. Los resultados muestran que la madera preservada con Vortex presenta una pérdida de peso de 13.71%, la madera preservada con P. sódico 29.66% y la madera sin preservar 52.75%. En conclusión, la retención más alta en la madera de *S. amazonicum* se da

con el preservante Vortex (529.93 kg/m3); así mismo el preservante con mayor eficacia en la madera *de S. amazonicum* frente a la acción del hongo *P. sanguineus* es el Vortex, con el cual la madera pierde 13.71% de su peso.

Rivera, (2023), estudió la anatomía y propiedades físicas de la madera de *Schizolobium amazonicum*. En donde encontró como resultado que *S. amazonicum* es una madera de color blanco, grano entrecruzado y textura media, con una densidad básica de 0.32 g/cm³, diámetro tangencial de 219 µm y longitud de vasos de 225µm. Estos resultados permiten evaluar su durabilidad contribuyendo al aprovechamiento sostenible de estas especies.

Paytan (2022), determino la durabilidad natural de la madera *Terminalia oblonga* (Ruiz & Pav) de la Comunidad Centro Anapiari-Pichanaki, las cuales fueron sometidas a la acción de tres hongos xilófagos *Trametes elegans* (Spreng.) Fr., *Pycnoporus sanguineus* (L.) Murrill, y *Schizophyllum commune* Fr. Los resultados muestran que *P. sanguineus* presento pérdidas de peso mayores con 3.92%, mientras que *T. elegans* y *S. commune* arrojaron porcentajes de 3.53 y 3.09%. Asimismo, el porcentaje de extractivos de T. oblonga es de 15.11% mostrando una relación directa con la resistencia a la pudrición. Se concluye que la madera de T. oblonga a la acción de los hongos es Altamente Resistente.

Vasconez (2021), determino la durabilidad natural de la madera de dos especies forestales a la acción de un hongo xilófago con pruebas aceleradas en laboratorio. La durabilidad se evaluó mediante el porcentaje de pérdida de peso de las probetas de madera e interpretado con la Norma ASTM D-2017. Los resultados indican que para la especie Gmelina arbórea Roxb. ex Sm. es; 66,13% y para *Tectona grandis* L.f; 57,82% respectivamente. Se concluye que las dos especies forestales estudiadas según el grado de resistencia al hongo *Ganoderma sp* se clasifican como maderas "No resistentes" adquiriendo así una clasificación "D" y mediante la tabla de interpretación de Findlay se espera una vida útil de 5 años.

Fabián, (2020), estudió la resistencia a la degradación de la madera de *Tectona grandis* L.f. Los resultados indican que en la albura tuvo una pérdida de peso del 26.8% y 11.25% en duramen sometidos a hongos *Polyporus sanguineus*, de esta

forma se clasifica según su durabilidad como resistente en el duramen y moderadamente resistente en la albura, con pérdidas de peso que incrementan desde la base hacia el ápice del fuste del árbol.

Ramos et al., (2016), investigaron la durabilidad natural de pino chuncho a la acción de dos hongos de pudrición, los resultados indican que presento perdidas de masa del 46.22% expuesto a hongos *Pycnoporus sanguineus* y 31.74% con hongos *Shizophyllum commune* clasificando de esta forma a esta especie forestal como "No Resistente a la pudrición" (Clase D).

Ramos, (2014), evaluó la durabilidad natural de tres especies forestales a la acción de dos hongos xilófagos, el procedimiento se realizó según la Norma Técnica ASTM D2017-05. Los resultados muestran que la madera caoba presentó una alta resistencia a la pudrición, clasificándose como "Altamente Durable" (A). Sin embargo, la especie marupa y pino chuncho no mostraron resistencia a la pudrición, siendo clasificados como maderas "No durables" (D).

2.1.3 Antecedentes locales

Hallasi, (2025), evaluó la durabilidad natural en albura y duramen de la madera *Pinus radiata* D. Don. Se determinó que la albura presentó un contenido de duramen fue de 0.48 g/cm³ y en la albura 0.46 g/cm³; así mismo la pérdida de masa por degradación fue mayor en la albura con 8.85 % que en el duramen 7.63 %, ambas clasificadas con durabilidad moderada.

2.2 Marco teórico

2.2.1 La madera

Ruiz (2020), señala que, la madera es un recurso natural de origen vegetal proveniente de los tejidos leñosos de los árboles, por lo que se considera un elemento abundante, comparativamente económico y renovable con disponibilidad compatible con las demandas del mercado de la construcción y garantiza la sostenibilidad ambiental del proceso constructivo. Igualmente, Cacuango (2023), indica que, por ser un material orgánico natural, le facilita el crecimiento y la supervivencia del propio elemento, y ofrece muchos beneficios industriales gracias

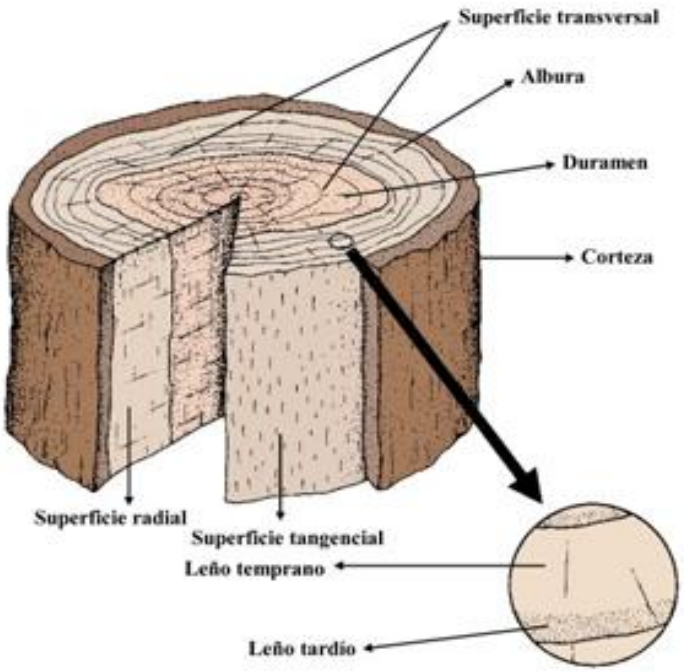
a sus propiedades físico-mecánicas.

La madera forma la parte sólida de los árboles que se encuentra por debajo de la corteza y se refiere al compendio de componentes lignificados, conocidos también como tráqueas o traqueidas (Hallasi, 2025). Su aprovechamiento puede ser relevante debido a su uso relativamente reducido de energía para su producción, lo que favorece significativamente a la preservación del medio ambiente (Cruz et al., 2025); no obstante, para garantizar un uso adecuado y sostenible de la madera es imprescindible conocer sus propiedades intrínsecas.

Uno de los aspectos relevantes para el uso adecuado de la madera es la resistencia natural, un factor que puede limitar el uso de la madera en diferentes condiciones de servicio, especialmente en países tropicales, estos organismos xilófagos pueden actuar severamente, acelerando así significativamente el daño y deterioro de este biomaterial (Batista et al., 2022).

Figura 1

Estructura macroscópica de la madera.



Fuente: Paz (2008).

2.2.2 Composición química de la madera

Por ser un material orgánico, la madera está constituida principalmente por celulosa, hemicelulosa, y lignina, estos componentes poliméricos forman la estructura fibrosa de la madera, mientras que los extractivos influyen en color y durabilidad, Estos componentes son responsables de las propiedades físicas, mecánicas y biológicas de la madera, influyendo directamente en su resistencia, densidad y durabilidad natural (Guillermo et al., 2013)

2.2.2.1 Celulosa

Es el principal componente estructural de la madera y representa aproximadamente entre 40 % y 44 % de su composición total; asimismo, este compuesto proporciona resistencia y rigidez a la pared celular debido a la disposición ordenada de sus microfibrillas (Álvarez et al., 2012); no obstante, la celulosa es el principal material de refuerzo de la madera.

2.2.2.2 Hemicelulosa

Es un polisacárido no celulósico que constituye entre el 15 y el 32% de la pared celular de la madera, cuya función principal es unir las microfibrillas de celulosa con la lignina, contribuyendo a la estabilidad estructural de la pared celular; de esta forma presenta menor resistencia química y mayor susceptibilidad a la degradación por agentes biológicos (Batres, 2009).

2.2.2.3 Lignina

Representa entre el 18 y el 35 % de la pared celular de la madera y es un heteropolímero compuesto por unidades repetitivas de fenilpropano, un compuesto fenólico muy complejo que proporciona rigidez y resistencia a la compresión en la madera, además de actuar como barrera natural frente al ataque de hongos xilófagos y otros organismos degradadores como los hongos xilófagos (Batista et al., 2022).

2.2.3 Propiedades físicas de la madera

2.2.3.1 Peso específico básico (PEB)

Es una de las propiedades físicas más importantes de la madera, ya que de

ella dependen la mayoría de sus características físicas y mecánicas; asimismo, la práctica sirve para clasificarlas, puede decirse que las más pesadas son más resistentes, elásticas y duras que las maderas livianas, pero son de más difícil trabajabilidad y pueden presentar mayor variación volumétrica (Suirezs & Berger, 2009).

2.2.3.2 Contenido de humedad (CH)

Un árbol recién cortado contiene gran cantidad de agua, variando su contenido según la época del año, la región y la especie; además las maderas más livianas, por ser más porosas, contienen mayor cantidad de agua libre que las maderas pesadas, ya que el agua se encuentra en tres diferentes formas en la madera como gua libre, agua higroscópica y agua de constitución como indica Suirezs & Berger (2009).

2.2.4 Propiedades biológicas

Las propiedades biológicas de la madera están relacionadas con su capacidad para resistir el ataque y deterioro ocasionado por organismos degradadores como hongos xilófagos, termitas, bacterias e insectos; estas propiedades dependen principalmente de factores como la composición química, contenido de extractivos, densidad y humedad de la madera, los cuales influyen directamente en su durabilidad natural y vida útil de la madera (Goodell et al., 2020). Así mismo, algunas especies forestales presentan mayor resistencia biológica debido a la presencia de compuestos fenólicos y sustancias extractivas que actúan como agentes protectores frente a estos hongos.

2.2.5 Descripción botánica de la especie en estudio

La madera de *S. parahyba* es liviana y tiene aplicaciones industriales de contrachapados es su principal uso, aunque también se utiliza para aglomerados y en otros países pulpa para papel, por ser una madera blanda; sin embargo, se usa en elementos de mobiliario como puertas, divisiones interiores y más trabajos de carpintería como cajonería de embalaje, juguetería partes y piezas en la construcción de interiores (López et al., 2015).

El pino chuncho es una especie arbórea de crecimiento acelerado perteneciente a la familia Fabaceae, distribuida en regiones tropicales húmedos, esta especie se

caracteriza por su rápido crecimiento, su altura fluctúa entre 18 y 25 m y diámetro 30-70 cm, fuste recto y cilíndrico. La corteza externa es lisa a agrietada de color marrón rojizo a grisáceo con ritidoma en placas rectangulares a cuadrangulares pequeñas; corteza interna homogénea de color amarillo blanquecino (Rivera, 2023). Presenta hojas compuestas bipinnadas de gran tamaño y flores amarillas dispuestas en racimos terminales y frutos en forma de vaina alada que usualmente contienen una semilla dura y aplanada de color marrón rojizo o marrón oscuro (Torres, 2009).

Figura 2

Característica macroscópica de Schizolobium parahiba



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Tabla 1

Clasificación taxonómica de Schizolobium parahiba

Reino	**Plantae**
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familia	CAESALPINIACEAE
Género	*S. parahyba*
Especie	*Schizolobium parahiba*

Fuente: Reyes (2018).

2.2.6 Variación longitudinal de la madera en el fuste

El fuste de los árboles presenta variaciones físicas, anatómicas y químicas a lo largo de su altura, diferenciándose en tres secciones como base, medio y ápice; estas variaciones son consecuencia de los procesos de crecimiento y de las funciones estructurales que cumple cada sección dentro del árbol (Panshin & Zeeuw, 1980). La base del fuste del árbol suele presentar mayor densidad, resistencia mecánica y durabilidad natural debido a la presencia de madera más madura y una mayor acumulación de sustancias extractivas; mientras que la parte basal presenta características intermedias, y el ápice generalmente contiene madera juvenil con menor densidad y menor resistencia al deterioro biológico (Rowell, 2013).

Igualmente, la variación longitudinal de la madera influye en propiedades como el peso específico, la contracción, la permeabilidad y la susceptibilidad al ataque de organismos xilófagos; a su vez, estas diferencias están relacionadas con cambios en la estructura celular, el espesor de las paredes celulares y la proporción de duramen y albura presentes en cada sección del fuste; por ello, la evaluación de la madera en la base, parte media y ápice resulta importante para comprender su comportamiento tecnológico y su resistencia frente a agentes degradadores (Tsoumis, 1991).

2.2.7 Albura y duramen

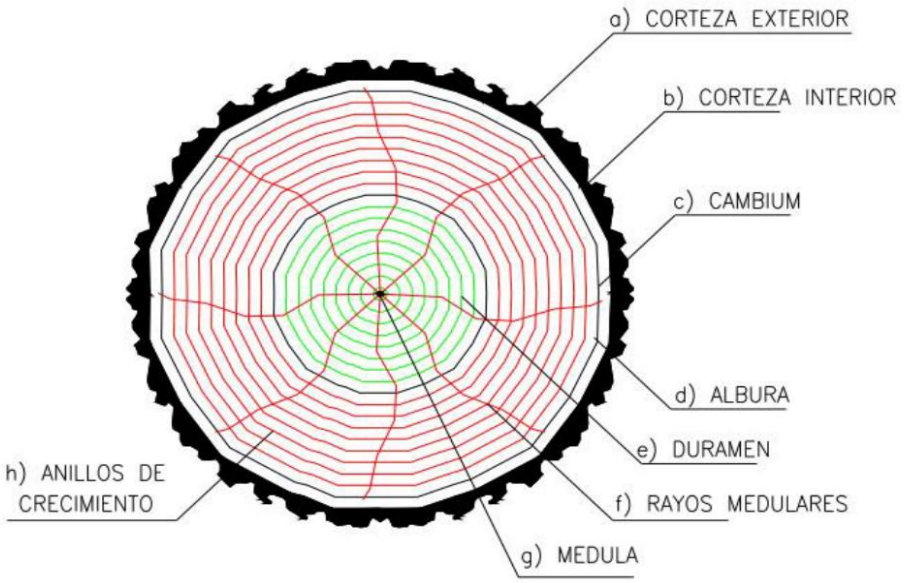
La albura forma la parte activa de la xilema, es por ello que alberga células vivas y material de reserva, su función principal es la conducción de líquidos y minerales a través del cuerpo vegetal, y su color suele ser más claro que el duramen; asimismo, también se define a la albura como la porción naturalmente más susceptible a la alteración total, ya que conduce una cantidad considerable de agua y sales en solución desde la raíz hasta las hojas, proporciona rigidez al tallo y actúa como reservorio de sustancias (Hallasi, 2025).

El duramen, es la porción interna de la madera un leño biológicamente inactivo que desempeña funciones de sostén en la región del tronco entre la médula y la albura, el duramen es el responsable del sostén del vegetal; de esta manera esta zona se caracteriza por la acumulación de extractivos, tales como taninos, resinas y compuestos fenólicos, los cuales le confieren mayor durabilidad natural y

resistencia al ataque de hongos e insectos en comparación con la albura que es más susceptible al ataque fúngico como indica (Rowell, 2013).

Figura 3

Corte transversal de la madera



Fuente: Rowell (2013).

2.2.8 Durabilidad natural

La durabilidad natural se refiere a la resistencia inherente de la madera frente al ataque de organismos destructores. Los factores responsables de la durabilidad natural son numerosos, algunos dependen de las características intrínsecas de la madera y otros se relacionan con las circunstancias de uso; asimismo la invasión de agentes de deterioro muestra una sucesión natural en función del contenido de humedad de la madera (Guevara & Lluncor, 1993; Jebrane et al., 2014)

Uno de los principales aspectos evaluados para el uso adecuado de la madera dura es la resistencia natural un factor que puede limitar el uso de la madera en diferentes condiciones cuando este prestando servicio, especialmente en países tropicales, ya que las condiciones ambientales y la presencia de organismos xilófagos pueden incrementar de manera considerable el deterioro de la madera, disminuyendo rápidamente su vida útil. Además, no todos los entornos ni aplicaciones permiten el uso de madera tratada químicamente; por ello, las especies maderables con elevada durabilidad natural resultan especialmente valiosas, ya que pueden

prolongar su tiempo de servicio sin necesidad de tratamientos químicos (Batista et al., 2022).

La mayoría de las maderas tienen una durabilidad diferente frente a los organismos que provocan su degradación; por lo tanto, hay maderas más durables en relación con otras. Así mismo se menciona que la durabilidad de la madera se puede ver afectada por el medio ambiente y el tiempo que estas estén expuestas a dichos organismos no benéficos (Vargas, 2021). En tanto, Huaynalaya (2018) afirma que las propiedades de la madera varían entre las diferentes especies leñosas, entre los diferentes árboles de una misma especie, y aun dentro de un mismo árbol. Esto se debe al factor genético de la especie, sitio, clima, edad, altitud, entre otro más, que hacen de una especie heterogénea en su interior.

2.2.9 Métodos para determinar la durabilidad natural de la madera

Según, Hidalgo (2020), la durabilidad de la madera se puede determinar de dos formas, la primera por ensayos de campo o cementerio de estacas; donde los estudios se llevan a cabo en el campo conocidas también como pruebas definitivas, proporcionan datos precisos, pero tienen aspectos desfavorables de demandar mucho tiempo y una alta inversión. Es por eso que los métodos más generalizados son los de corta duración conocidos como pruebas aceleradas de laboratorio, que permiten obtener índices de resistencia de la madera bastante aceptables.

2.2.9.1 Método de campo o cementerio de estacas

Se realizan en áreas seleccionadas por las características climáticas como la temperatura y humedad relativa, la presencia de hongos xilófagos y termites subterráneas, vegetación y tipo de suelo. El periodo de exposición varía de 2 a 5 años, dependiendo del comportamiento de la madera. El procedimiento consiste en instalar una serie de estacas (probetas) en contacto con el suelo y al aire libre enterradas hasta la mitad de la longitud, y efectuar revisiones periódicas del estado sanitario. Los resultados permiten concluir sobre la durabilidad natural de la madera y eventualmente la toxicidad y resistencia a la lixiviación (Elgueta et al., 2023).

2.2.9.2 Pruebas aceleradas de laboratorio

Para determinar las pruebas aceleradas existen dos métodos conocidos como: Método Soil/block según la norma ASTM D 2017 y el método agar/block según la norma EN 350 -1. Ambas con una duración de tres a seis meses, bajo el mismo principio de someter a las probetas de madera a un especie de hongo; en el cual cada norma describe el procedimiento a seguir, y cuentan con información en tablas para clasificar las maderas según el porcentaje de peso que pierde después del ataque de los hongos al que se sometió (Fabián, 2020).

De esta manera, las pruebas aceleradas de laboratorio se convierten en una de las opciones más utilizadas para el manejo sostenible de los recursos forestales, ya que permiten clasificar las especies según su resistencia biológica, orientan su uso adecuado en condiciones ambientales específicas y reducen la necesidad de prolongar a ensayos en campo.

2.2.10 Hongos

Bobadilla (2004) manifiesta que los hongos son plantas saprófitas por no ser capaces de generar sus propios alimentos, también indica que estos hongos requieren de condiciones óptimas para poder segregar sus enzimas, con el propósito de oxidar un cuerpo orgánico como la madera, luego descomponerla y poder alimentarse.

2.2.10.1 Hongos xilófagos

Vargas (2021) indica que los hongos xilófagos son los responsables de grandes pérdidas económicas al deteriorar la madera aserrada y productos terminados, esto se debe al ataque de un sistema complejo de enzimas específicas que actúan sobre los principales componentes de la pared celular como la celulosa, lignina y hemicelulosa degradándolas y alterando sus propiedades físicas, mecánicas, químicas, estéticas, organolépticas y anatómicas.

Estos hongos que causa más deterioro en especies forestales están dentro

del grupo de los Basidiomicetes en la cual las familias más dañinas son Agaricaceae y Polyporaceae (Bustos, 2020), la primera se conoce como hongos de sombrero o setas, y la segunda son conocidos como hongos en repisa o casco de caballo (Equihua, 2018).

Los hongos descomponedores de la madera se agrupan en dos categorías de pudrición blanca y de pudrición parda, debido a su capacidad para degradar las paredes celulares de la madera (Elgueta et al., 2021).

a) Pudrición blanca

Es causada principalmente por hongos *Ascomycetes*, los cuales tienen la capacidad de degradar todos los componentes de las paredes celular polisacáridos y lignina a través de un arsenal de hidrolasas, enzimas oxidativas y mediadores de bajo peso molecular (Murace, 2019). Algunos hongos de podredumbre blanca degradan todos los componentes de la madera simultáneamente; otros degradan selectivamente la lignina, pero no los polisacáridos, mientras que otros grupos combinan una deslignificación selectiva y una descomposición simultánea. Sin embargo, esta clasificación no es sencilla porque muchos hongos de podredumbre blanca presentan diferentes tipos de descomposición (Martín & López, 2023).

b) Pudrición parda

Entre los hongos de descomposición parda están los basidiomicetos, capaces de metabolizar polisacáridos de la pared celular pero no lignina, aunque la disposición de este último polímero puede modificarse durante un ataque; ya que los hongos de podredumbre parda divergieron de los hongos de podredumbre blanca al perder peroxidasas extracelulares y, en consecuencia, la capacidad de degradar lignina; por ende a descomposición por hongos de podredumbre parda se considera el tipo de daño más grave a la madera en servicio (Martín & López, 2023).

Figura 4

Madera degradada por el micelio de hongo



Fuente: Elaboración propia, 2026.

2.2.11 Factores fundamentales para el desarrollo de hongos

2.2.11.1 Humedad

La humedad es un factor determinante para la actividad fisiológica de los hongos xilófagos, como la germinación de esporas, la actividad enzimática la absorción y transporte de substancias, para que el hongose desarrolle necesita altos contenidos de humedad superior al 20%, para que estos hongos proliferen; asimismo los hongos que atacan a la madera, para su crecimiento requieren la combinación adecuada de alimento, humedad y temperatura para que estos se encuentran en un ambiente óptimo donde desarrollarse (Ortiz, 2014)

2.2.11.2 Temperatura

El desarrollo y crecimiento de los hongos xilófagos, requiere una temperatura óptima, las cuales a menudo varían según su etapa de desarrollo, crecimiento del micelio, formación de los cuerpos fructíferos

y germinación de las esporas; puesto que, la temperatura más favorable para su desarrollo está entre 18 y 36ºC (Garcia, 2015).

2.2.11.3 Oxígeno

Los hongos que degradan la madera, requieren de condiciones específicas para iniciar su actividad metabolica. Entre ellas, necesitan que al menos un 20% del volumen de los poros de la madera se encuentre ocupado por aire, ya que al ser organismos aerobios dependen del oxígeno para su metabolismo. Por ello, se ha señalado que incluso el aire contenido de forma natural en el duramen es suficiente para permitir el desarrollo fúngico, siempre y cuando se presenten otras condiciones favorables como una humedad superior al punto de saturación de la fibra y una temperatura adecuada (Gonzáles & Yataco, 2016).

2.2.11.4 Sustrato

El sustrato no solo actúa como fuente de nutrientes, sino que también regula la fisiología, agresividad y capacidad degradativa de los hongos xilófagos; puesto que, la madera es su alimento natural, y aunque no pueden alimentarse directamente de ella por combinación sumamente compleja de celulosa y lignina, lo hacen mediante la acción de enzimas que ellos mismos segregan, convirtiendo sus componentes estructurales en sustancias mucho más simples y asimilables (Gonzáles & Yataco, 2016). Además, los hongos tienen la capacidad de acidificar cualquier sustrato en que vegeten, puesto que se desarrollan sólo en un medio ácido, con un PH óptimo entre 4,5 y 5,5 %, que es la cifra aproximada que corresponde a la reacción normal de la madera frente a estos microorganismos (Garcia, 2015).

2.2.12 Ciclo de desarrollo de hongos xilófagos

Comienza con las esporas, las hifas, el micelio y los cuerpos de fructificación; además, las esporas de los hongos se encuentran en todas partes y en gran cantidad, y son dispersadas por el viento, la lluvia o los animales. Este ciclo inicia cuando encuentran unas condiciones favorables para su germinación, cuando las esporas emergen las hifas que son células muy finas y se introducen en la madera (Hidalgo,

2016).

La madera será más sensible a la acción de los hongos cuanto mayor sea su grado de humedad de 20% a 70%, estos se encuentran en un ambiente optimo donde desarrollarse; además de los almidones y azucares, así como algunos de los elementos de las paredes celulares, constituyen su principal fuente de nutrientes, estos microorganismos pueden desarrollarse en la superficie o en grietas sobre maderas en condiciones de conservación muy desfavorables como indica (Garcia, 2015).

2.2.13 Hongos de prueba de ensayo

2.2.13.1 *Trametes vesticolor*

Es un basidiomiceto de podredumbre blanca perteneciente a la familia Polyporaceae ampliamente distribuido en todo el mundo conocido como cola de pavo, que actúa como hongo saprófito en la madera muerta, degradando la lignina y otros polímeros de la pared celular de la madera (Yang & Hu, 2025); de igual manera parasita principalmente en árboles de hoja ancha, troncos, y madera en descomposición.

Las características morfológicas de *T. versicolor* exhiben variaciones notables, particularmente en términos de color del sombrero, tamaño y estructura de la superficie, el sombrero muestra bandas concéntricas de varios colores, que generalmente incluyen marrón, amarillo, blanco y rojo. Estas diferencias de color a menudo están estrechamente relacionadas con factores ambientales como la temperatura y la humedad (Bari et al., 2020). Es una de las especies muy frecuente que puede hacer acto de aparición en cualquier época del año si las condiciones ambientales son favorables.

Figura 5.

Características macroscópicas de Trametes vesticolor



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Tabla 2

Clasificación taxonómica de Trametes vesticolor

Reino	**Fungi**
División	Basidiomicete
Clase	Agaricomycete
Orden	Polyporales
Familia	Coriolaceae
Género	Tramentes
Especie	*Trametes vesticolor*

Fuente: Ortiz (2014)

2.2.13.2 *Polyporus sanguineus*

Es unos de los hongos que causa mayor daño y habita sobre troncos, ramas y maderas en descomposición, como hongo saprófito no ataca árboles vivos sino madera muerta siendo su estructura miceliar, en el interior de la misma, de color rojo, descompone la lignina y algo de

celulosa y hemicelulosa. Además de su papel ecológico en el reciclaje de la madera muerta, esta especie es relevante biotecnológicamente por la producción de pigmentos (Bobadilla et al., 2005). De esta familia, *P. sanguineus* es un género representativo de los basidiomicetos saprófitos que tienen un potencial lignocelulítico el cual se vincula con el género *Trametes* por sus caracteres similares, excepto el color rojo brillante (R. Cruz et al., 2015).

Figura 6.

Característica macroscópica de Polyporus sanguineus



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Tabla 3

Clasificación taxonómica de Polyporus sanguineus

Reino	**Fungi**
División	Basidiomycota
Clase	Liliopsida
Orden	Polyporales
Familia	Polyporaceae
Género	*Pycnoporus*
Especie	*Sanguineus*

Fuente: Cruz et al., (2015)

2.2.14 Pérdida de masa

Es uno de los principales indicadores utilizados para determinar el nivel de degradación de la madera frente al ataque de hongos xilófagos; este indicador expresa la reducción del peso seco de las muestras de madera después de la exposición a organismos degradadores (ASTM, 2005). Asimismo, la pérdida de masa permite evaluar la durabilidad natural y resistencia biológica de las especies forestales, debido a que mayores porcentajes de pérdida indican menor resistencia frente al biodeterioro (Polanco et al., 2003).

2.2.15 Peso específico básico

Este parámetro representa la relación entre el peso seco al horno y su volumen verde, es decir, cuando las cavidades celulares se encuentran saturadas de agua (INDECOPI, 2006).

Según la Norma Técnica Peruana NTP 251.011 (INDECOPI, 2006) el peso específico básico (PEB) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{PEB = \frac{PS}{Vv * \rho w}}$$

Donde:

$\boldsymbol{PEB}$**:** Peso específico básico.

$\boldsymbol{PS}$**:** Peso seco al horno o peso anhidro.

$\boldsymbol{Vv}$: Volumen verde.

$\int \boldsymbol{w}$: Densidad normal del agua

Simpson (1993), en su investigación indica que el peso específico básico es una medida fundamental que permite comparar maderas de diferentes especies y regiones, ya que sintetiza la influencia combinada de la estructura anatómica, el contenido de humedad y la proporción de paredes celulares. Igualmente, ha demostrado que un mayor peso específico básico suele asociarse con mayor resistencia mecánica y, en algunos casos, con una mejor durabilidad frente al ataque de organismos xilófagos.

2.2.16 Tablas de clasificación de la durabilidad natural

2.2.16.1 Clasificación según la norma ASTM D -2017

La Sociedad Americana de Prueba de Materiales (ASTM) valida los

ensayos de laboratorio, con su normativa para ensayos de resistencia de la madera a la pudrición; así mismo la evaluación de la durabilidad natural y resistencia de la madera a la pudrición es expresada en porcentaje de su peso seco inicial, es muy empleado por ser un método rápido y aplicado en maderas susceptibles al deterioro (Mucha, 2024).

Norma ASTM D-2017 muestra categorías de durabilidad natural de la madera siendo cada una determinada por su pérdida de peso correspondiente frente al ataque de los hongos xilófagos, como se puede visualizar en la tabla 4.

Tabla 4.

Criterio de clasificación de resistencia para pruebas

Clase	Pérdida de peso (%)	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: ASTM (2005).

a) Clase A “Altamente resistente”: pérdida de masa: 0 – 10 %, tiempo de vida útil esperado más de 20 años, unas maderas altamente resistentes.
b) Clase B “Resistente”: pérdida de masa de 11 – 24%, tiempo de vida útil esperado de 15 - 25 años, maderas resistentes que ofrecen una buena durabilidad.
c) Clase C “Moderadamente resistente”: pérdida de masa del 25 – 44 %, tiempo de vida útil esperado de 10 - 15 años, maderas con resistencia moderada, adecuadas para aplicaciones exteriores en climas secos.
d) Clase D “No resistente”: pérdida de masa superior a 45 %, tiempo de vida útil esperado menor de 5 años, maderas livianas con muy baja resistencia a la descomposición fúngica, que requieren tratamientos químicos adicionales para su uso en exteriores.

2.2.16.2 Clasificación de Findlay

También conocida como la tabla de cinco grados de la durabilidad de la madera, en un tiempo equivalente entre los 5 y 25 años, esto con respecto a la pérdida de peso en la madera, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5.

Clasificación de la durabilidad natural de la madera en años

Clase de durabilidad	Descripción	Tiempo de vida útil en años
A	Muy durable	Mas de 20 años
B	Durable	15 a 20 años
C	Moderadamente durable	10 a 15 años
D	Poco durable	5 a 10 años
E	No durable	Menos de 5 años

Fuente: Bobadilla et al. (2005).

2.2.17 Normas técnicas usadas

2.2.17.1 Norma Técnica Peruana (NTP) 251.008:2016

Esta norma establece los procedimientos a seguir para realizar la selección y colección de muestras destinadas al estudio de la propiedad física, mecánicas y biológicas de las maderas, que permitan obtener resultados representativos y comparables.

2.2.17.2 Norma Técnica Peruana (NTP) 251.010:2020

Esta norma define los métodos para determinar el contenido de humedad en la madera.

2.2.17.3 Norma Técnica (ANSI/ASTM) D2017-05 "Método estándar de prueba de laboratorio acelerado de resistencia al deterioro natural de las maderas"

Este método establece un método de ensayo acelerado en laboratorio que permite evaluar la durabilidad natural de la madera frente al ataque de

hongos xilófagos. Este procedimiento consiste en exponer probetas de madera a cultivos de hongos bajo condiciones controladas, para posteriormente determinar la pérdida de masa mediante la comparación del peso inicial y final de las muestras. De esta manera, se puede conocer el grado de resistencia natural de la madera frente al deterioro ocasionado por estos organismos y comparar su comportamiento ante la acción de diferentes hongos.

CAPÍTULO III

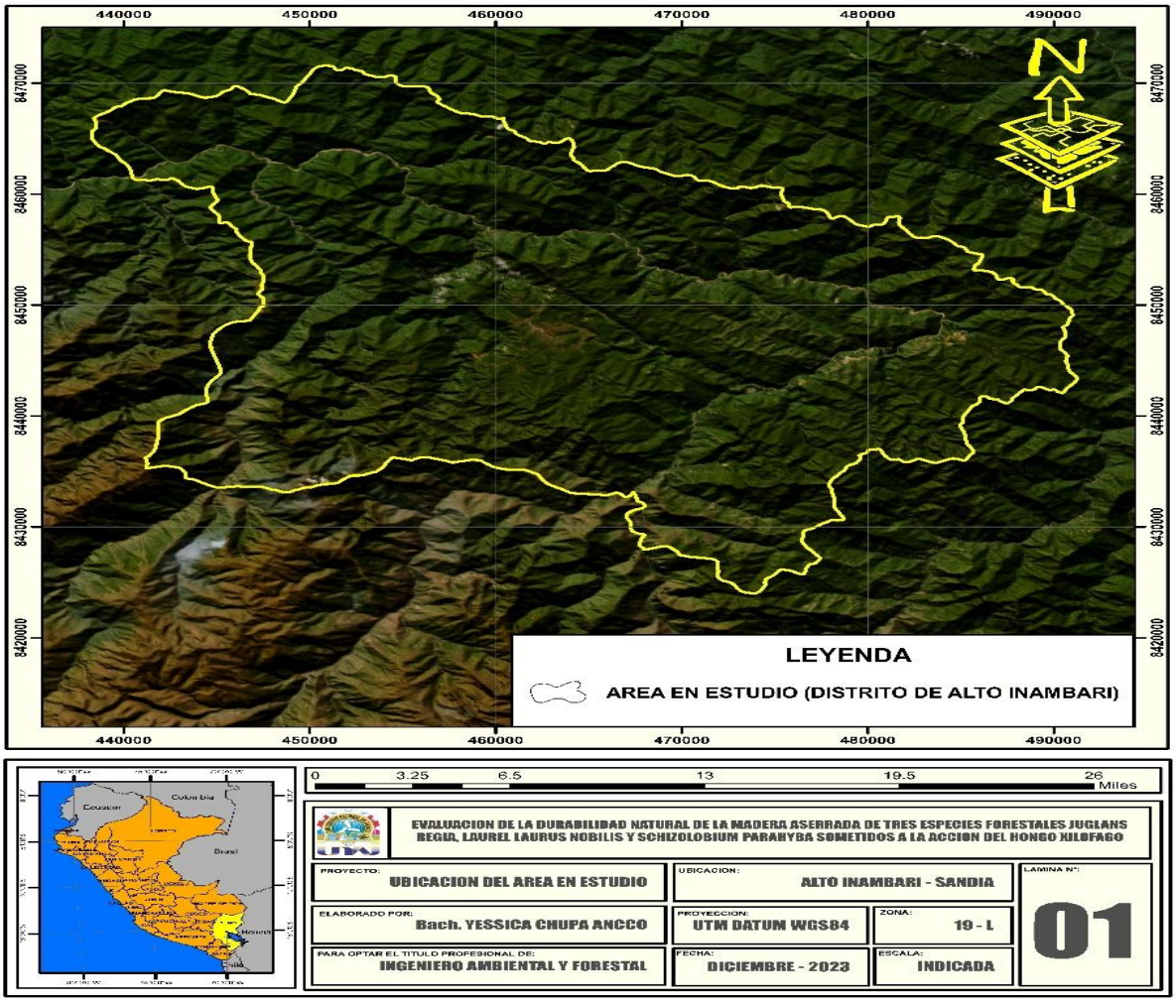
MATERIALES Y MÉTODOS

3.2 Ámbito de estudio

El estudio se realizó en la comunidad de Mayohuanto-Vilcabamba que está ubicado a 259.2 km en la zona norte de la región de Puno en el distrito de Alto Inambari de la provincia de Sandia, región de Puno, tiene una altitud de 1,600 m.s.n.m., comprendido en el área quechua, región de la selva alta y parte de la selva baja. Los puntos de muestreo se registraron mediante coordenadas geográficas en el sistema WGS84: (-14.105076, -69.269658), (-14.104949, -69.269558) y (-14.105008, -69.270253).

Figura 7.

Mapa de ubicación del área de estudio del distrito de Alto Inambari



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Tabla 6.

Coordenadas UTM de los árboles de pino chuncho

Descripción	Coordenadas este (E)	Coordenadas norte (N)
Árbol 1	470 893 m E	8 440 636 m N
Árbol 2	470 904 m E	8 440 650 m N
Árbol 3	470 829 m E	8 440 643 m N

Fuente: Elaboración propia, 2016.

3.3 Tipo de Investigación

Es una investigación de tipo aplicada.

3.4 Nivel de investigación

El presente estudio fue de nivel experimental y correlacional, ya que busca evaluar la relación de la durabilidad de la madera en función al peso específico básico.

3.5 Población y Muestra

3.5.1 Población

Para el presente estudio, se consideró como universo los árboles de la especie pino chuncho de la comunidad de Mayohuanto - Vilcabamba perteneciente al distrito de Alto Inambari - Sandia - Puno.

3.5.2 Muestra

Estuvo conformada por 3 árboles de pino chuncho dentro de la categoría diamétrica (40-45cm), la selección se realizó de manera aleatoria según la Norma Técnica Peruana (NTP) 251.008 2016, del cual se obtuvieron 108 probetas de albura y duramen de los 3 niveles del fuste de cada árbol.

3.6 Materiales

3.6.1 Equipos

Autoclave de esterilización (MMM STERILAB), estufa (PRECISIÓN THELCO-TEMP RANG E), incubadora (MEMMERT-IPP260), cámara climática, balanza analítica (SARTORIUS BASIC-BA110S), plancha de calentamiento (ROBAX),

Cámara fotográfica (REDMI NOT 10 PRO), laptop (LENOVO I5), GPS (GARMIN), motosierra (HUSQVARNA), vernier digital, sierra radial (DEWALT), sierra de disco, sierra circular (DEWALT) y cepilladora (DEWALT).

3.6.2 Materiales

Matraz Erlenmeyer de 100ml, 250 ml y 500 ml, probetas de 50ml y 100ml, vasos precipitados de 50ml, 100ml y 250ml, varilla de vidrio, espátula de laboratorio, luna de reloj, bandeja de plástico, mechero Bunsen, placas Petri 90x14 mm, algodón, papel Kraft, frascos de vidrio con tapa metálica de rosca y sin empaquetadura de 350ml, asa bacteriológica, cuter, bisturí y lijas para madera.

3.6.3 Reactivos y soluciones

Agar extracto de Malta (MEA), Cloruro de sodio (NaCl), agua destilada, agua ultra pura, alcohol al 96°, hipoclorito de sodio (NaClO) y ceftriaxona.

3.6.4 Otros

Bata de laboratorio, gorro, guantes látex, barbijo, cooler, marcador indeleble, lápiz, papel Kraf, bolsa herméticas pequeños y grandes, libreta de campo, chaleco, sombrero, botas, cinta métrica de 100 m, flexómetro de 5 m, pintura esmalte de color amarillo y aluminio, libreta de campo y saco de polipropileno.

3.7 Procedimiento Metodológico

3.7.1 Determinación de prueba de resistencia de la madera frente a hongos xilófagos

Para determinar la durabilidad de la madera de Pino chuncho causado por los hongos *Trametes sp* y *Polyporus sp* se empleó como referencia las Normas Técnicas ANSI/ASTM D2017-05 Standard method of Accelerated Laboratory test of Natural Decay Resistance of Woods, la Norma Técnica Peruana 251.008 2016 para la selección de árboles y la obtención de muestras representativas y la norma técnica peruana 251.010, 2020, método para determinar el contenido de humedad.

3.7.1.1 Talado y trozado

Los árboles de pino chuncho fueron talados con motosierra, teniendo en consideración la Norma Técnica Peruana 251.008 2016, el cual indica que los árboles deben estar con adecuadas condiciones fitosanitarias y garantizar

la accesibilidad del lugar; seguidamente fueron seccionados en tres partes de 10 cm de largo correspondientes a la base, medio y ápice como se muestra en figura.

Figura 8

Seccionado de trozas



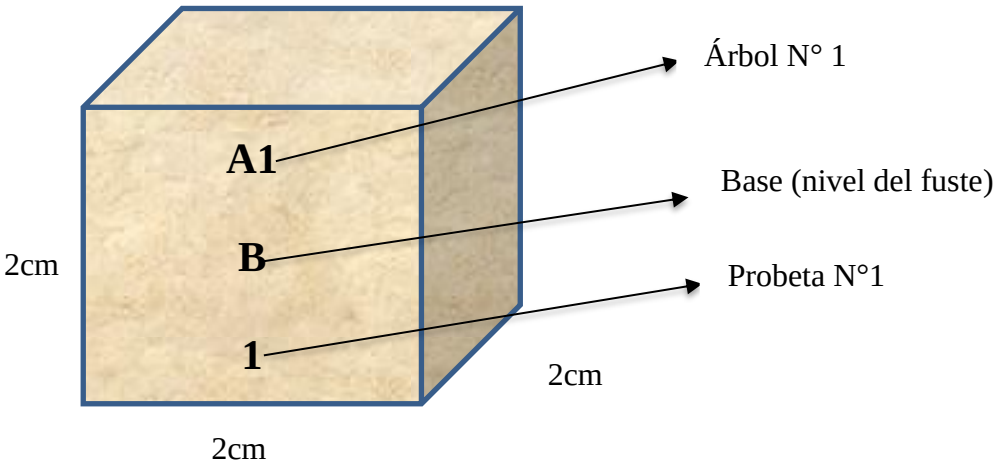
Fuente: Elaboración propia, 2026.

3.7.1.2 Elaboración de probetas

Las probetas se elaboraron en un taller de carpintería por método cruciforme siguiendo los lineamientos descritos en el método ASTM D2017-05 con dimensiones de 2 cm de ancho; es decir 8 cm3 (2 x 2 x 2 cm) debidamente orientadas, estas fueron procesadas sobre una sierra de disco, luego con la ayuda de cepilladora y una lija de grano de 120 se eliminaron los restos de aserrín y astillas del material de muestra, del cual se habilitaron probetas libres de cualquier tipo de defectos grietas, rajaduras y sin muestras visibles de evidencia de infección, del cual se obtuvieron 12 probetas por cada sección del fuste y 36 probetas por árbol, siendo un total de 108 probetas, estos fueron debidamente codificadas indicando número de árbol, nivel de altura y el número o repetición de la probeta, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 9.

Codificación de probeta



Fuente: Elaboración propia, 2026.

3.7.1.3 Acondicionamiento inicial de las probetas (AIB)

Como referencia se tomó la investigación realizada por Avalos & Aviles (2020), una vez codificada las probetas se desecaron sobre estufa regulada durante 24 horas a 103 ± 1 °C, hasta obtener finalmente un peso seco constante. Posterior a este proceso, se pesaron en una balanza analítica con 0,01 g de precisión, considerándose el peso seco inicial (PSI) siguiendo la Norma Técnica Peruana (NTP 251.010, 2020).

3.7.1.4 Esterilización y humedecimiento de probetas

Una vez obtenido el peso seco inicial de cada probeta, fueron humedecidas por inmersión con agua destilada durante 72 horas, con la finalidad de que alcancen un contenido de humedad adecuada entre 70 y 80%. Seguidamente, las probetas se esterilizaron en autoclave a 121 °C de temperatura, durante 30 min para eliminar cualquier tipo de contaminantes, quedando así aptas para ser introducidas en las cámaras de pudrición (Claros et al., 2017).

3.7.1.5 Selección y colección de hongos

Los hongos se seleccionaron y colectaron de diferentes zonas del distrito de Alto Inambari, donde se encuentran árboles muertos que están infectados de *Trametes sp* y *Polyporus sp*, estos cuerpos fructíferos fueron colectados

con una parte del tronco evitando causar algún tipo de daño, seguidamente se puso en bolsas de papel kraft por separado, etiquetada y puestas en una caja de tecnopor para ser llevadas al laboratorio.

3.7.1.6 Cultivo de hongos

Para obtener sepas puras, los cuerpos fructíferos colectados de *Trametes sp* y *Polyporus sp* se desinfectaron por inmersión con cloruro de sodio al (2%) durante 2 min, y después se lavó duramente 10 min con agua destilada. Para el desarrollo de las cepas se preparó un medio de cultivo Agar extracto de Malta, luego se esterilizó en autoclave juntamente con las placas Petri, seguidamente se vertió 30 ml de medio de cultivo y una vez solidificado se procedió a sembrar con la ayuda de una pinza 5 rodajas de 0,5 cm de diámetro este procedimiento se repetido 10 veces por especie de hongo con la finalidad de obtener cultivos puros. Luego fueron llevados a la cámara de incubación a 25 ºC de temperatura y 50% de humedad relativa en donde se desarrollaron los hongos durante 7 días siguiendo la Norma Técnica ASTM D-2017.

3.7.1.7 Preparación de las cámaras de pudrición

En cada frasco de vidrio previamente esterilizadas se vertió 40 ml de medio Agar extracto de malta y se esterilizó nuevamente en autoclave durante 15 minutos, seguidamente los frascos se dejaron sobre la cámara de flujo hasta la solidificación. Después, la mezcla fue calentada y uniformizada por agitación hasta la ebullición. Preparado el medio de cultivo se dejó entibiar dentro de la cámara de flujo laminar para agregar 0,5 g de ceftriaxona con la finalidad de evitar el desarrollo de hongos patógenos.

3.7.1.8 Propagación in vitro de hongos

Según menciona Paytan (2022) una vez solidificado el medio de cultivo se tomó con la ayuda de asas bacteriológicas previamente esterilizadas 0,5 cm de micelio de cada uno de las cepas de *Trametes sp* y *Polyporus sp* y se colocaron a las superficies del agar en los frascos de vidrio ubicándola en el centro de medio de cultivo las mismas que se dejaron a una temperatura de 25 °C, por un periodo de 14 días hasta que el micelio se desarrolle en el frasco

sobre la superficie del agar. Esta labor se realizó cerca de mecheros donde fueron esterilizados las herramientas de uso de manera constante, sumergiendo en alcohol 96° y flameando sobre llama.

3.7.1.9 Proceso de deterioro

Luego de los 14 días de desarrollo de los hongos *Trametes sp y Polyporus sp*, con la ayuda de pinzas previamente esterilizadas se colocaron las probetas en los frascos de prueba sobre la capa micelial de los hongos y se cultivaron por un periodo de 90 días con temperatura de 23 ± 3°C y 70% de contenido de humedad iniciando de esta manera el proceso experimental. Durante este periodo de tiempo se monitoreo continuamente el crecimiento del micelio sobre las probetas de madera.

3.7.1.10 Acondicionamiento final de las probetas (AFP)

Al finalizar el período de pudrición, se retiraron las probetas de los frascos y luego se quitaron los micelios desarrollados. Seguidamente, se llevaron a la estufa a 103 ± 1ºC por 24 horas y finalmente se pesó en la balanza analítica para obtener su peso seco final (Chuquizuta, 2023).

3.7.1.11 Determinación de pérdida de peso

Para determinar el porcentaje de pérdida de peso, se realizó mediante la diferencia de pesos de las probetas en condición seca al inicio del experimento y el peso registrado después de la exposición a hongos como indica De la Cruz et al. (2018). La pérdida de peso se calculó empleando la siguiente fórmula (1).

$$\%\boldsymbol{PP} = \frac{\boldsymbol{PSI - PSF}}{\boldsymbol{PSI}} * \mathbf{100} \quad (1)$$

Donde:

$\%\boldsymbol{PP}$**:** Pérdida de peso en (%)

$\boldsymbol{PSI}$**:** Peso seco inicial (g) antes del proceso de pudrición

$\boldsymbol{PSF}$**:** Peso seco final (g) después del proceso de pudrición

3.7.11 Determinación de la influencia del peso específico básico

Para determinar el peso específico básico se utilizó las 108 probetas en donde se evaluaron la pérdida de masa, siguiendo las especificaciones de la norma NTP 251.011. consistió en medir directamente las 3 caras de las probetas (lado A x lado B x espesor) con un vernier digital cuando está totalmente saturado de agua, ya que esto representa el volumen máximo que pueda alcanzar la madera en estado natural. El peso seco (anhidro) es el peso seco inicial (PSI) antes de la exposición a los hongos que se obtuvo llevando a la estufa por 24 horas hasta que logre un peso constante.

Para determinar el peso específico básico de pino chuncho se utilizó la Ecuación (2):

$$\boldsymbol{GB = \frac{Ps}{Vv\ x\ \int w}} \qquad (2)$$

Donde:

$\boldsymbol{GB}$**:** Peso específico básico.

$\boldsymbol{PS}$**:** Peso seco al horno o peso anhidro.

$\boldsymbol{Vv}$: Volumen verde.

$\int \boldsymbol{w}$: Densidad normal del agua

3.8 Análisis estadístico

3.8.1 Análisis estadístico descriptiva

Se realizó el análisis de estadística descriptiva de los datos cuantitativos, considerando medidas de dispersión como desviación estándar con la finalidad de describir el comportamiento de la durabilidad natural de la madera. Además, se analizó la distribución de frecuencias para identificar la variabilidad y tendencia de los resultados que se obtuvo.

3.8.2 Variables

3.8.2.1 Variable dependiente

-Pérdida de masa

3.8.2.2 Variables independientes

-Tipo de hongos (*Trametes sp* y *Polyporus sp*)

-Nivel del fuste

3.8.3 Diseño Experimental

El diseño utilizado en esta investigación es un diseño experimental completamente al azar (DCA) con arreglo factorial de 2x3, siendo los dos factores principales: Tipo de hongo (*Trametes sp* y *Polyporus sp*) y nivel del fuste (base, medio y ápice). Se evaluaron 6 tratamientos con 18 repeticiones por tratamiento, obteniéndose un total de 108 unidades experimentales, estos datos se analizaron mediante el software R studio y se aplicaron las pruebas estadísticas de Shapiro–Wilk, Kruskal–Wallis, Mann–Whitney; asimismo se usó Excel para la construcción de las tablas.
El modelo estadístico utilizado para el análisis es:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (3)$$

Donde:

Y_{ijk} = Representa la observación experimental correspondiente al nivel (i) del factor tipo de hongo y al nivel del fuste (j).
μ = Media general o efecto constante de la variable evaluada.
A_i = Efecto producido por el i-ésimo del factor A (tipo de hongo).
B_j = Efecto del factor B (niveles del fuste).
$(AB)_{ij}$ = Efecto de interacción entre ambos factores.
εijk = Error aleatorio experimental.

3.8.4 Procedimiento de prueba de hipótesis

Cabe resaltar que el análisis estadístico se realizó considerando los supuestos requeridos para asegurar la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos. En primer lugar, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro–Wilk con el propósito de verificar la distribución de los datos. Al no cumplirse el supuesto de normalidad ($p < 0.05$), se optó por utilizar la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis, la cual

permite comparar los tratamientos sin asumir normalidad en los datos. Todo el análisis se efectuó empleando el software R-Studio.

3.8.4.1 Planteamiento de hipótesis

Prueba de normalidad (Shapiro–Wilk)

H_0: Los datos pertenecen a una población con distribución normal.

H_1: Los datos no pertenecen a una población con distribución normal.

Prueba de Kruskal–Wallis

H_0: No existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

H_1: Al menos uno de los tratamientos presenta diferencias significativas.

A un nivel de confianza del 95% y con un margen de error del 5%.

3.8.4.2 Nivel de significancia

Prueba de normalidad (Shapiro Wilk)
Se aplicó con un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0.05$) para verificar la normalidad de los datos. Los resultados mostraron valores $p < 0.05$, indicando que los datos no siguen una distribución normal.

Por tal motivo, se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis, la cual es adecuada cuando los datos no cumplen el supuesto de normalidad.

De acuerdo con el criterio estadístico, cuando el p-valor < 0.05, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que existen diferencias significativas entre los tratamientos; mientras que si el p-valor > 0.05, no se rechaza la hipótesis nula y se asume que no existen diferencias significativas.

3.8.4.2 Estadístico de prueba

Para el estadístico de prueba se tomaron en cuenta los siguientes supuestos que dan fiabilidad para garantizar la fiabilidad del análisis inferencial:

Prueba de normalidad (Shapiro–Wilk)

Prueba de normalidad de Shapiro–Wilk, para determinar la distribución de los datos.

Prueba de Kruskal–Wallis

Para evaluar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos de madera expuestos a hongos *Trametes sp* y *Polyporus sp.* Ambas pruebas se procesaron en el programa R-Studio, estableciendo un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, con el objetivo de asegurar la validez de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Determinación de la pérdida de peso causado por los hongos *Trametes sp* y *Polyporus sp* en sus tres niveles del fuste de pino chuncho

4.1.1 Análisis descriptivo

Los resultados estadísticos mediante el software R, muestran que las probetas sometidas a hongos *Trametes sp*, la pérdida de masa incrementó según a la posición longitudinal del fuste con pérdida media del 29.03% en la base, 33.13% en el medio y 35.89% en la parte del ápice, este resultado evidencia una resistencia moderada frente a este hongo; asimismo se observa que la pérdida de masa fue mayor en la parte del ápice en comparación con la base y medio, evidenciando una mayor susceptibilidad al ataque de hongos xilófagos, esto se debe a que esta zona del fuste está conformada principalmente por madera joven, con menor contenido de extractivos y caracterizada por tener una menor densidad.

Tabla 7

Estadísticos descriptivos de porcentaje de pérdida de peso promedio causado por los hongos Trametes sp y Polyporus sp

Hongos	Niveles del fuste	N° de probetas	Pérdida media (%)	Desv. estándar
Trametes sp	Base	18	29.03816	1.0324584
	Medio	18	33.13528	1.2875566
	Ápice	18	35.89409	1.1103425
Polyporus sp	Base	18	42.62134	0.9219474
	Medio	18	44.54607	1.6388392
	Ápice	18	45.8935	2.4130029

Fuente: Software estadístico R Studio.

En la tabla 7 de la presente investigación se evidencia que la madera de pino chuncho presentó una pérdida de masa promedio de 29,04 % en el nivel basal frente a la acción del hongo *Trametes sp*. Este resultado guarda similitud con lo reportado

por Levicoy & Morales (2023), quienes encontraron una pérdida de masa del 25 % en el mismo nivel del fuste. Aunque existe una diferencia de 4,04 puntos porcentuales entre ambos resultados, se observa un comportamiento relativamente similar en la degradación de la madera. Esta semejanza podría estar relacionada con las características propias de la madera y su composición, así como con las condiciones del ensayo realizado.

Por otra parte, Paytan (2022), en su investigación sobre la resistencia natural de la madera de *T. oblonga*, encontró que el hongo *Polyporus sanguineus* ocasionó una mayor pérdida de masa (3,92 %) en comparación con *Trametes elegans*, por lo que fue considerado el hongo más agresivo. Asimismo, el autor clasificó la madera de *T. oblonga* como «altamente resistente», debido a su baja pérdida de masa. Este comportamiento guarda relación con lo observado en la presente investigación, donde *Polyporus sp*. también ocasionó una mayor degradación de la madera de pino chuncho en comparación con *Trametes sp*. Cabe señalar que ambos estudios consideraron muestras procedentes de la parte basal del fuste, lo que permite establecer una comparación entre los resultados obtenidos.

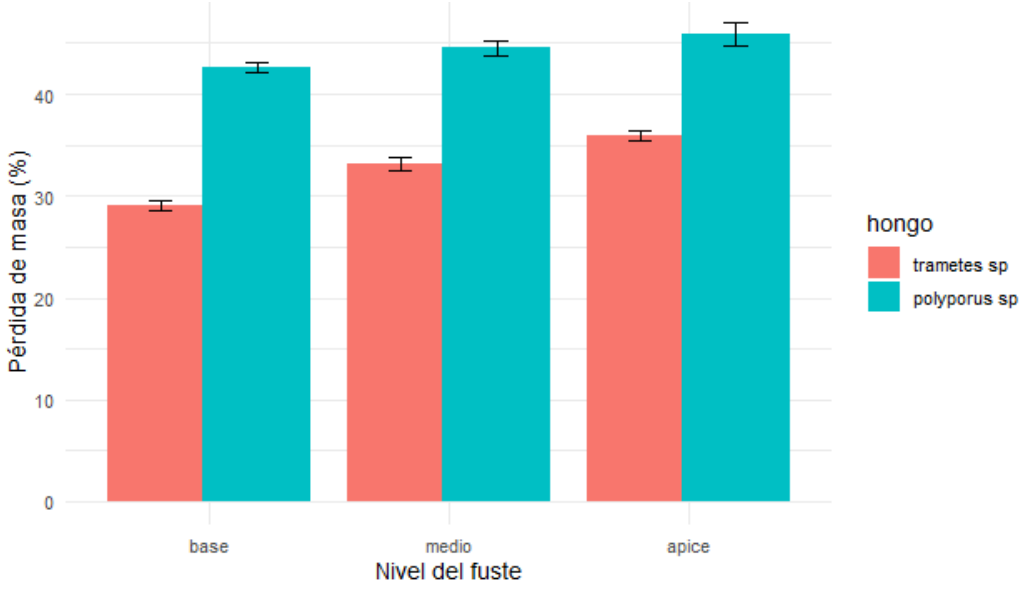
La pérdida de masa causados por el hongo *Polyporus sp* respecto a los tres niveles del fuste de la madera de pino chuncho fue de 42.62%, en la base, 44.54% en el medio y 45.89% en el ápice, evidenciando de esta forma un grado de resistencia como “Moderadamente resistente en la base y medio” y “no resistente en el ápice”.

Los valores obtenidos durante el estudio guardan similitud con los reportados por Avalos y Aviles, (2020), quienes evaluaron la durabilidad natural de la madera de *Schizolobium amazonicum* frente a la acción de los hongos *Pycnoporus* y *Lenzites erubescens*, clasificándola como poco o ligeramente resistente, con una pérdida de masa de 46,11 % ante la acción de *P. sanguineus*. Este resultado evidencia la capacidad degradadora de dicho hongo, cuyo comportamiento también se observó en la presente investigación, donde *Polyporus sp*. ocasionó mayores pérdidas de masa en comparación con *Trametes sp.* De manera similar, Fabián (2020), al evaluar la durabilidad natural de la madera de *Tectona grandis* frente a *P. sanguineus*, encontró que la pérdida de peso aumentó desde la base hacia el ápice del fuste, comportamiento que coincide con lo registrado en la presente

investigación, donde los mayores porcentajes de pérdida de masa se presentaron en la parte apical. Estas coincidencias permiten señalar que la degradación de la madera depende tanto del tipo de hongo al que se encuentra expuesta como de las características de la madera y su posición dentro del fuste.

Figura 10

Promedio de pérdida de masa de pino chuncho



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Los resultados en la Tabla 7 y Figura 10 muestran que el hongo *Polyporus sp* provocó un mayor porcentaje de pérdida de masa en comparación con *Trametes sp*., lo que evidencia su mayor capacidad degradativa frente a la madera de pino chuncho, esto se debe a que este hongo posee una elevada capacidad para producir enzimas degradadoras; ya que esta capacidad le permite colonizar rápidamente el sustrato y utilizar los compuestos de la madera como fuente de carbono y energía, generando mayores niveles de deterioro y pérdida de masa en comparación con *Trametes sp* ; asimismo, su rápido crecimiento micelial también favorece una mayor penetración y aprovechamiento de los nutrientes presentes en la madera (Schmidt, 2006). Este comportamiento concuerda con lo reportado por Godoy et al., (2021) quienes observaron en su investigación que el hongo *P. sanguineus* produjo mayores valores de pérdida de peso.

Por otra parte, Chuquizuta (2023)**,** en su investigación sobre el biodeterioro de la madera de *Micrandra spruceana*, encontró que la pérdida de masa aumentó

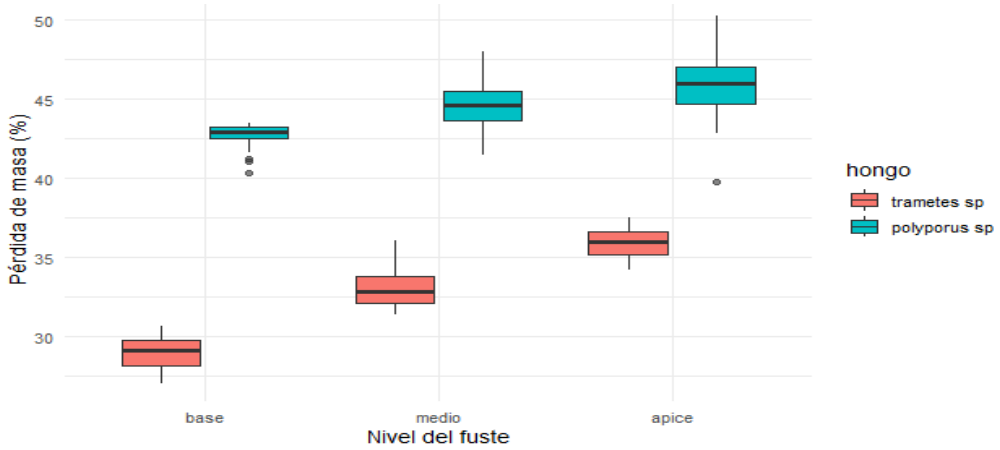
progresivamente desde la base hacia el ápice del fuste frente a la acción de los hongos *P. sanguineus* y *T. versicolor*. De manera similar, Ariyanti et al. (2024) reportaron que la madera de *Tectona grandis*, sometida a la acción de *Pycnoporus sanguineus*, presentó una pérdida de peso promedio de 4,99 %, por lo que fue clasificada como altamente resistente. Asimismo, señalaron que la pérdida de peso varió según la posición longitudinal del fuste. Estos antecedentes guardan relación con los resultados de la presente investigación, en la que también se observó un incremento de la pérdida de masa desde la base hacia el ápice del pino chuncho. No obstante, los porcentajes de pérdida de masa fueron diferentes entre las especies estudiadas, lo que podría estar relacionado con sus características propias y su resistencia natural frente al ataque de los hongos xilófagos.

Así mismo; el ataque de los dos tipos de hongos en la parte superior de la madera demuestra una mayor pérdida de peso en comparación con la parte media e inferior de la madera de pino chuncho, esto se debe a que la parte inferior de la madera está dominada por el duramen, mientras que la parte superior, el duramen aún no se ha formado completamente y las células siguen activas como indica Zabel & Morrell (2020).

Los resultados de la figura 11 muestran una variabilidad por grupos frente a los hongos.

Figura 11

Dispersión de pérdida de masa



Fuente: Elaboración propia, 2026.

La base del fuste para ambos hongos presenta menores pérdidas de masa indicando mayor resistencia a la degradación. Esto coincide con los estudios realizados por (Paytan, 2022), quien encontró que partes específicas de la madera, como la base del fuste en pino chuncho, sufren ataques moderados y severos por hongos xilófagos. Estos estudios destacan la importancia de considerar las diferencias internas en la madera para evaluar su durabilidad y proteger mejor las zonas más vulnerables como el ápice.

4.2 Influencia del peso específico básico en la resistencia a la descomposición causado por los hongos

En la Tabla 8 se observa que el peso específico básico presentó una relación directamente proporcional con la resistencia a la pudrición de la madera de pino chuncho; en el caso del hongo *Trametes sp*, el peso específico básico promedio varió de 0.365 en la base, 0.352 en el medio y 0.338 en el ápice, mientras que las pérdidas de masa fueron de 29.03 %, 33.13 % y 35.89 %, respectivamente; de la misma forma los coeficientes de correlación mostraron valores de r = 0.78 en la base, r = 0.11 en el medio y r = 0.19 en el ápice, lo que evidencia una relación positiva aunque débil y no significativa en los niveles superiores del fuste; las pendientes obtenidas (β_1) fueron de 160.54, 18.87 y 31.21, lo que indica que el incremento de densidad contribuye en cierta medida a la degradación progresiva, pero no de forma uniforme en toda la longitud del fuste. Esto implica que a mayor densidad menor será la descomposición causada por hongos.

Por otro lado, el hongo *Polyporus sp* mostró densidades promedio similares: 0.364 en la base, 0.352 en el medio y 0.342 en el ápice; no obstante, las pérdidas de masa fueron notablemente mayores, alcanzando 42.62 %, 44.54 % y 45.89 % respectivamente y los coeficientes de correlación fueron r = 0.65 en la base, r = 0.33 en el medio y r = 0.27 en el ápice, con pendientes (β_1) entre 10.18 y 130.53, indicando una variación considerable en la respuesta del material frente al ataque de hongos como se muestra en la tabla 9.

Tabla 8

Relación entre el peso específico básico y la pérdida de masa de la madera de pino chuncho según el tipo de hongo y nivel del fuste

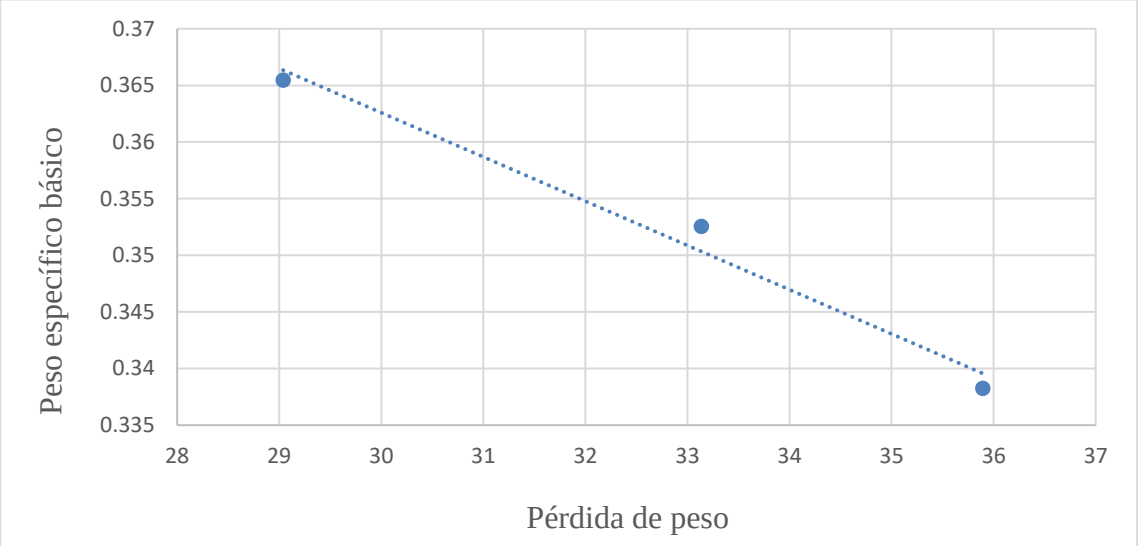
Hongo	Nivel del fuste	Peso específico básico	Desv. estándar densidad	Pérdida media (%)	Desv. estándar pérdida	Valor p
Trametes sp	Base	0.3654463	0.0050018	29.03816	1.0324584	0.00014
	Medio	0.3525632	0.0076685	33.13528	1.2875566	0.65693
	Ápice	0.3382625	0.0066662	35.89409	1.1103425	0.45653
Polyporus sp	Base	0.3647842	0.0075382	42.62134	0.9219474	0.00317
	Medio	0.3525384	0.0129011	44.54607	1.6388392	0.16851
	Ápice	0.3425403	0.0050319	45.8935	2.4130029	0.27449

Fuente: Software estadístico R-Studio.

A continuación, en la Figura 12 se observa la influencia del peso específico básico respecto a la pérdida de masa de la madera de pino chuncho causados por el hongo *Polyporus sp.* presentó una mayor capacidad degradadora en comparación con *Trametes sp.,* especialmente en los niveles medio y ápice, donde las maderas son menos densas, demostrando de esta manera que a medida que la madera es menos densa, la descomposición progresa con mayor intensidad, especialmente en el ápice ya que corresponde principalmente a una madera juvenil, mayor porción en lumen, lo que explica los valores menores de densidad registrados en la sección del fuste donde las correlaciones y pendientes son más altas como indica Rowell (2013).

Figura 12

Correlación de pérdida de peso y peso específico básico para Tramete sp



Fuente: Elaboración propia, 2026.

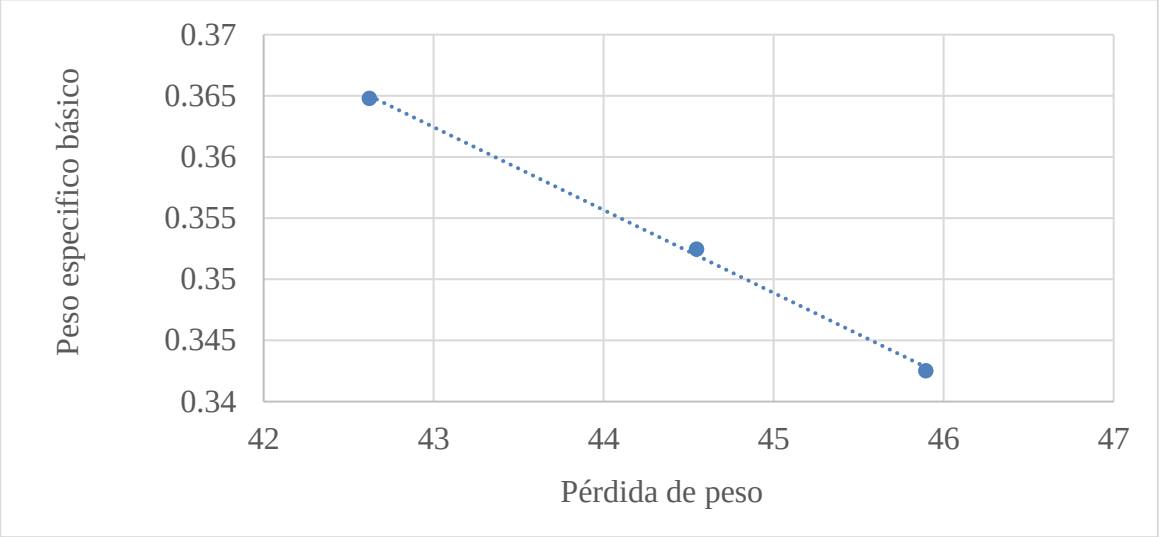
Los valores más altos del peso específico básico en la base del fuste, se explica por la presencia de madera madura, producto de una mayor edad y un mayor grado de lignificación, esta zona cumple una función estructural fundamental, ya que soporta el peso del árbol, motivo por la cual presenta paredes celulares más gruesas y mayor densidad básica.

Según Souza et al., (2025) en su investigación de durabilidad de cinco especies confirmaron que hay una correlación positiva entre la densidad y durabilidad, lo que indica que las especies con mayor densidad la pérdida de peso es inferior lo que evidencia una mayor durabilidad frente al ataque de hongos xilófagos, este comportamiento se debe a que las maderas con mayor densidad poseen paredes celulares más gruesas, menor porosidad . Sin embargo, es fundamental tener en cuenta que la resistencia de la madera no depende únicamente de la densidad sino también de los extractivos que influyen significativamente en la durabilidad de la madera.

En la figura 13 se observa la correlación de pérdida de peso causado por el hongo Polyporus sp y su peso específico básico. En la base con perdida media de 42.62134 y peso específico básico 0.3647842, medio 44.54607 y 0.3525384 y para ápice 45.8935 y 0.3425403 respectivamente.

Figura 13

Correlación de pérdida de peso y peso específico para Polyporus sp



Fuente: Elaboración propia, 2026.

Los resultados obtenidos fueron similares a los estudios realizados por Vasconez, (2021) donde encontró diferencia de la densidad de Pinus radiata que clasificó como semidura, debido a que presentó valores de pérdida de peso mayores al 50 % en maderas de baja densidad, en el cual indica que a mayor densidad de la madera existe menor pérdida de peso causados por los hongos xilófagos. No obstante, lo mencionado va en contra de los resultados obtenidos por Chuquizuta, (2023) que en su investigación no encontró correlación significativa entre la densidad básica de tres especies forestales con la variación de la pérdida de masa (%) por acción del hongo *Poliporus sanguineus*, esto se debe a que el autor al realizar el análisis de la densidad lo trabajó con la densidad después de la exposición a hongos.

Para corroborar la relación entre el peso específico básico y la pérdida de peso también se determinó mediante la prueba de correlación de Spearman (ρ) en el cual se observa que en ambos casos el $p< 0.05$ como se muestra en el Anexo 6. Se observó una correlación negativa fuerte y significativa para Trametes sp. ($\rho = –0.7429$, $p < 0.001$) y una correlación negativa moderada para Polyporus sp. ($\rho = –0.3362$, $p = 0.0133$).

Esta interpretación se sostiene en la literatura que relaciona densidad y tasa de descomposición: especies o partes de árbol con mayor densidad suelen descomponerse más lentamente. Así mismo, estos resultados confirman una relación directa entre el peso

específico básico y susceptibilidad frente al ataque fúngico, lo cual indica que mientras tenga mayor el peso específico básico la madera será mucho más duradera como se evidencia en la Figura 13.

En consecuencia, los resultados evidencian que el peso específico básico influye directamente en la resistencia a la pudrición. Asimismo, la dispersión de los datos indica de que pérdida de masa no depende únicamente de la densidad básica, sino también de otros factores intrínsecos de la madera, como la composición química, la cantidad de extractivos, la porosidad y las diferencias anatómicas presentes entre los niveles del fuste.

4.3 Análisis estadístico

4.3.1 Prueba de normalidad

Para la prueba de normalidad se utilizó la prueba de Shapiro Wilk mediante el software R studio.

4.3.2 Prueba de hipótesis

H0: Los datos pertenecen a una población con distribución normal
H1: Los datos no pertenecen a una población con distribución normal

A un nivel de confianza del 95% y con un margen de error del 5%, los resultados se muestran en el anexo 10.

En el Anexo 6 se muestran el análisis comparativo, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro–Wilk ($p > 0.05$) para evaluar si los datos de pérdida de masa y peso específico básico (PEB) seguían una distribución normal. Los resultados que esta condición no se cumplió en todos los casos. En *Trametes sp*, el nivel de base presentó una distribución no normal ($p = 0.0011$), mientras que los niveles medio y ápice sí mostraron una tendencia a la normalidad. Mientras que, en *Polyporus sp*, los valores de pérdida de masa en la base y medio también evidenciaron una distribución no normal ($p < 0.05$).

Por lo tanto, debido a que no todos los valores presentan un comportamiento normal, no se puede asumir una normalidad global de los datos, por consiguiente, para el análisis correlacional se utilizó una prueba no paramétrica, ya que los datos no

tienden a seguir una distribución normal, por consiguiente para el análisis correlacional se utilizó una prueba no paramétrica, la más adecuada para nuestro caso será la prueba de Kruskal Wallis y para los tres niveles de fuste y mann_Whitney para los dos tipos de hongos; asimismo se usara Rho de Sperman para la relación entre variables continuas. Esto implica que la hipótesis nula, que establece que los datos pertenecen a una población con distribución normal, se rechaza, mientras que la hipótesis alternativa se acepta, debido a que tiene una distribución de datos variados.

En el Anexo 6, Tabla 11 el valor de p es < que 0.05 que resulta mucho menor del límite, para ambos hongos, asimismo se obtuvo un Chi – cuadrado para *Trametes ps* χ^2 44.271 (p = 0.000), y para *Polyporus sp* el χ^2 fue de 23.977 (p = 0.000) en el cual se observa que hay diferencias significativas. Estos resultados demuestran que la degradación de la madera varía según a la posición longitudinal del fuste, siendo el ápice la zona que presentó mayor pérdida de masa.

Así mismo, resultados de la prueba de Mann–Whitney en el Anexo 6 entre los dos tipos de hongos muestran un p valor de 0.00, muy inferior al límite de 0.05, indicando que la pérdida de masa ocasionada por ambos hongos no es igual. En este sentido se afirma que el hongo *Polyporus sp* causó mayor pérdida de peso, lo que demuestra una mayor capacidad ligninolítica y celulolítica.

4.3.3 Prueba de hipótesis

HE_1 : La cantidad de pérdida de masa de la madera de phino chuncho varía según la posición longitudinal del fuste del árbol y a la inoculación de hongos *Trametes sp* y *Polyporus sp*, siendo más significativa en la parte del ápice.

De acuerdo a los resultados experimentales obtenidos, aceptamos la hipótesis debido a que expuestos a hongos *Trametes sp*, el porcentaje de pérdida de masa incrementó según al nivel del fuste de 29.03% en la base, 33.13% medio y 35.89% en la parte del ápice, de la misma forma se en el caso de *Polyporus sp*, presentó valores más altos, con un porcentaje de pérdida de masa en la base 42.62%, medio 44.54% y 45.89% en el ápice. Así mismo se obtuvo un Chi- cuadrado para *Tramenes ps* de 44.271 y para *Polyporus sp* de 23.977, que demuestra diferencias

altamente significativas, lo que respalda la hipótesis.

HE_2 : El peso específico básico de la madera pino chuncho tiene una relación estrecha con la resistencia a la pudrición causado por los hongos *Trametes sp* y *Polyporus sp*.

En este caso aceptamos la hipótesis, afirmando que al realizar la prueba inferencial de correlación de Spearman a cada uno de los hongos se obtiene que en ambos casos el p valor está por debajo de 0.05, por consiguiente, existe una relación significativa; así mismo se evidencia que mientras la densidad disminuye el porcentaje de pérdida de masa incrementa.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se determinó que la madera de pino chuncho presentó diferentes niveles de pérdida de masa frente al ataque de hongo *Trametes sp*, registrándose un 29.038% en la base, 33.135% en la parte media y 35.89% en el ápice. Asimismo, frente a la acción de hongo *Polyporus sp* se registraron pérdidas de masa de 42.621%, 44.546% y 45.8935% en las mismas secciones del fuste, clasificándolas como moderadamente resistente frente al ataque de dichos hongos.

El peso específico básico de la madera de pino chuncho influye positivamente en el porcentaje de pérdida de masa comprobado a través de una correlación inversa no obstante en ambos casos se obtuvo un coeficiente negativo, para *Tramenes sp* p= -0.7429, una correlación negativa fuerte y para *Polyporus sp*, se obtuvo un p= -0.3362, una correlación negativa moderada, lo que demuestra que a mayor densidad presenta mayor resistencia natural. Además, alcanzaron decrecimiento de la densidad a lo largo del fuste, siendo para el *Trametes sp* en el nivel del base (0,3654 g/cm3), medio (0,3525 g/cm3) y ápice (0,3382 g/cm3) y para el *Polyporus sp* en el nivel base (0,36478 g/cm3), medio (0,3525 g/cm3) y ápice (0,3425 g/cm3).

5.2 Recomendaciones

- Evaluar la durabilidad natural de la madera de pino chuncho no solo en condiciones de laboratorio, sino también en ensayos de campo, sometiéndola a ambientes con diferentes niveles de humedad y exposición directa a hongos xilófagos.

- Realizar estudios complementarios con insectos xilófagos (termitas, carcomas) para evaluar integralmente la resistencia natural de la madera.

- En especies de crecimiento rápido y baja durabilidad natural, se recomienda investigar la aplicación de preservantes naturales o químicos, para incrementar su resistencia.
- Se recomienda evaluar el comportamiento de la madera sometida a distintos

métodos de secado ya sea natural, horno o microondas, antes de la exposición a hongos xilófagos.

- Difundir los resultados del presente estudio a centros de investigación, instituciones y empresas del sector maderero, con la finalidad de promover el aprovechamiento adecuado y sostenible de la madera de pino chuncho.

- Fomentar el aprovechamiento de la madera de pino chuncho en la fabricación de tableros contrachapados, pulpa y papel, carpintería de interior otros usos no estructurales, considerando su condición de madera liviana y su adecuada trabajabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez, A., Pizarro, C., & Folgueras, M. B. (2012). *Caracterización química de biomasa y su relación con el poder calorífico* [Trabajo de Fin de Máster, Universidad de Ovideo] https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/17777/TFM_Ana_AlvarezProteg.pdf?sequence=6

Ariyanti, A., Yusran, Y., Erniwati, A. Y., Hapid, A., & Hamzari, H. (2023). Vertical position-based resistance of teak wood (*Tectona grandis Lin. f*.) against wood-decay fungi. International Journal of Design & Nature and Ecodynamics, 19_(3), 753–759. https://doi.org/10.18280/ijdne.190305

ASTM International. (2005). *Standard test method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods (ASTM D2017-05*. ASTM International. https://www.astm.org/d2017-05.html

Athnazio, J. C., Pacheco, L., Gaiad, N., Lara, H. A., & Wagner, A. (2018). Properties of young guapuruvu (*Schizolobium parahyba*) wood from a forest recovery area. *Floresta e Ambiente*, *_25_*(3), e20180366. https://doi.org/10.1590/2179-8087.036616

Avalos, A. G., & Aviles, J. E. (2020). Influencia de dos hongos xilófagos sobre la durabilidad natural de diez especies maderables de Ucayali, Perú. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, *_8_*(3), 425–438. http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/584

Bari, E., Daniel, G., Yilgor, N., Kim, J. S., Tajick, M. A., Singh, A., & Ribera, J. (2020). Comparison of the decay behavior of two white-rot fungi in relation to wood type and exposure conditions. *_Microorganisms*, *_8_*(12), 1931. https://doi.org/10.3390/microorganisms8121931

Batista, F. G., De Melo, R. R., De Medeiros, D. T., Lopes, P. J. G., & Gatto, D. A. (2022). Natural durability of five tropical wood species in field decay tests. *_Maderas: Ciencia y Tecnología*, *_24_*(24), 1–10. https://doi.org/10.4067/S0718-221X2022000100451

Batres, S. M. (2009). *Caracterización química de la madera del primer raleo de palo blanco*

(Tabebuia donnell-smithii, Rose) a nivel laboratorio, proveniente del Ingenio Pantaleón, Siquinalá, Escuintla, Guatemala. [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1109_Q.pdf

Belito, E. E., Montes, S. K., Montes, M., Cruz, D., & Quintana, F. (2024). Inventario de hongos xilófagos y su impacto en la degradación estructural de la madera en bosques de Eucalipto, Aliso y Pino del Centro Poblado de Viñas , Tayacaja-Huancavelica-2024. *Fitovida, 3*(1), 26–34. https://doi.org/10.56275/fitovida.v3i1.36

Bobadilla, E. A. (2004). *Durabilidad natural de la madera de cinco especies aptas para la industria de la construcción* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Misiones]. https://rid.unam.edu.ar/handle/20.500.12219/2448

Bobadilla, E. A., Pereyra, O., Silva, F., & Stehr, A. M. (2004). Durabilidad natural de la madera de dos especies aptas para la industria de la construcción. *_Floresta*, *35*(3), 419–428. https://rid.unam.edu.ar/handle/20.500.12219/2448

Brischke, C., & Alfredsen, G. (2020). Wood-water relationships and their role for wood susceptibility to fungal decay. *Applied Microbiology and Biotechnology, 104*, 3781-3795. https://doi.org/10.1007/s00253-020-10

Brischke, C., von Boch-Galhau, N., & Bollmus, S. (2022). Impact of different sterilization techniques and mass loss measurements on the durability of wood against wood - destroying fungi. *_European Journal of Wood and Wood Products*, *80*(1), 35–44. https://doi.org/10.1007/s00107-021-01745-8

Brischke, C., Emmerich, L., Nienaber, D. G. B., & Bollmus, S. (2019). Biological durability of sapling-wood products used for gardening and outdoor decoration.*_Forests*, *10*(12), 1152. https://doi.org/10.3390/f10121152

Cacuango, R. (2023). *Determinación de la durabilidad natural de la madera de Fraxinus americana L. y Eucalyptus grandis Hill ex Maiden* [Trabajo de grado, Universidad Técnica del Norte]. http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13534

Chuquizuta, E. (2023). *Biodeterioro de micrandra spruceana (Baill.) R.E Schult. (Shiringa Masha) causado por dos hongos xilófagos en Tingo María, Huánuco* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva].

https://hdl.handle.net/20.500.14292/2483

Claros, J. L., Baltazar, H., Trujillo, F., & Araujo, M. (2017). Durabilidad natural de la madera de *Pinus oocarpa* y *Pinus tecunumani*i, proveniente de plantaciones forestales en San Alberto, Oxapamp. *Revista Forestal del Perú*, *32*(2), 70–77. http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v32i2.1038

Cruz, L., Sell, M., Lopes, R., & Esteves, B. (2025). Enhancing *Pinus pinaster* wood durability through citric acid impregnation. *Sustainability*, 17(5) 1979. https://doi.org/10.3390/su17051979

Cruz, R., Piña, A., Yáñez, J., Valencia, G., Bautista, S., & Villanueva, R. (2015). Producción de pigmentos de *Pycnoporus sanguineus* en medio de cultivo sólido. *Agrociencia*, *49*(4), 347–359. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000400001

de la Cruz, R., Carrillo, A., Nájera, J. A., Cruz, F., Javier, F., & Méndez, J. (2018). Durabilidad natural de la madera de siete especies forestales de El Salto, Durango. *_Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *9*(46). https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.144

de Lima Melo, L. E., de Silva, C. de J., Protasio, T. de p., Mota, G. da S., Santos, I. S., Urbinati, C. V., Trugilho, P. F., I., & Mori, F. A. (2018). Planting density effect on some properties of Schizolobium parahyba wood. _Maderas. Ciencia y tecnología, *20*(3), 381–394. https://doi.org/10.4067/S0718-221X2018005003901

Elgueta, P., Hernández, G., Campos, R., & Arriagada, I. (2021). Durabilidad natural de la madera de *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden. *Instituto forestal*. https://doi.org/10.52904/20.500.12220/31293

Elgueta, P., Hernández, G., Campos, R., & Arriagada, M. (2023). Durabilidad natural de la madera de renoval de tepa (*Laureliopsis philippiana Looser*). Informe técnico N° 260). Instituto Forestal. https://doi.org/10.52904/20.500.12220/32649

Fabián, K. N. (2020). *Durabilidad natural de madera de Teca (Tectona grandis L.f.) procendentes de Chanchamayo - Junín* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria la Molina]. https://hdl.handle.net/20.500.12996/4388

FAO. (2022). The state of the world's forests 2022: *Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies.* FAO. https://doi.org/10.4060/cb9360en

García, B. D. (2015). *Biodeterioro de tres especies maderables Gallessia integrifolia, Azadichta indica, Cedrella odorata, causados por el hongo Trametes versicolor* [Tesis de pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/81

Godoy, H. M., Stehr, A. M., Suirezs, T. M., & Bragañolo, A. (2021). Durabilidad natural y absorción en maderas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. y *Ruprechtia Laxiflora Meisn*. del departamento Eldorado Misiones. *Revista Forestal País de Árboles*, (29), 73–82. https://rid.unam.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12219/4984/331Articulo_Godoy_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gonzáles, V. R., & Yataco, A. (2016). Durabilidad natural de diez maderas de Madre de Dios a la acción de tres hongos xilófagos._ *Revista Forestal del Perú V*,14_(1). https://doi.org/10.21704/rfp.v14i1.141

Goodell, B., Winandy, J. E., & Morrell, J. J. (2020). Fungal degradation of wood: Emerging data, new insights and changing perceptions. *Coatings*, *10*(12), 1–19. https://doi.org/10.3390/coatings10121210

Guevara, L., & Lluncor, D. (1993). Durabilidad natural y adquirida de 27 maderas tropicales en condición de campo. *Folia Amazónica*, *5*(1–2), 203–215. https://doi.org/10.24841/fa.v5i1-2.242

Guillermo, J., Santiago, P., Guevara, C. L., Espinoza, M. L., & Icochea, E. I. (2013). *Estudio de la composición química de la madera de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales*. Organización Internacional de las Maderas Tropicales. https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2929/Technical/Technical report - Estudio de composición química.pdf

Hallasi, Y. E. (2025). *Durabilidad natural en albura y duramen de la madera Pinus radiata D. Don provenientes del centro poblado de Ramis.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Juliaca]. https://repositorio.unaj.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c582b6bd-2014-4c2f-9294-cdb8b07152b0/content

Hidalgo, D. J. (2016). *Durabilidad natural de la madera de tres especies forestales sometidos a la acción del hongo Pycnoporus sanguineus (L.: Fr. Murrill).* [Tesis de pregrado, *Universidad Agraria de La Selva*] http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/592/T.FRS193.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectua. (2006). *NTP 251.011: Maderas. Determinación del peso específico básico*. INDECOPI.

Jebrane, M., Pockrandt, M., & Terziev, N. (2014). Natural durability of selected larch and Scots pine heartwoods in laboratory and field tests. *International Biodeterioration & Biodegradation*, *91*, 88–96. https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.03.018

Levicoy, V., & Morales, R. (2023). In vitro biodegradation of *Trametes versicolor* and *Schizophyllum commune* as potential biocontrols for *Acacia melanoxylon* in Chile. *Bosque*, *44*(1), 47–53. https://doi.org/10.4067/S0717-92002023000100047

Li, T., Cui, L., Song, X., Cui, X., Wei, Y., Tang, L., & Mu, Y. (2022). Wood decay fungi : An analysis of worldwide research. *Journal of Soils and Sediments*, *22*, 1688–1702. https://doi.org/10.1007/s11368-022-03225-9

López, N., Ruales, G., & Celi, H. (2015). Trabajabilidad de madera *Schizolobium parahyba (Vell.) S . F . Blake y diseño de un mueble prototipo con madera de pequeñas dimensiones*. Bosque latitud cero, _5_(2), 1-12.

Martín, J. A., & López, R. (2023). Biological Deterioration and Natural Durability of Wood in Europe. *Forests*, *14*(2). https://doi.org/10.3390/f14020283

Mena, C., Morales, C., Vargas, I., Villalobos, B., & Víquez, V. (2022). *Aplicaciones biotecnológicas de la degradación bioquímica de madera por acción de hongos*

xilófagos: pudrición parda y blanca.Tecnología en marcha, *36*(1), 97–105. https://www.redalyc.org/journal/6998/699877376013/html/

Ministerio del Ambiente. (2022). *Estado de los recursos forestales en el Perú*. Ministerio del Ambiente. https://www.gob.pe/minam

Momohara, I., Sakai, H., Kurisaki, H., Ohmura, W., Kakutani, T., Sekizawa, T., & Imamura, Y. (2021). Comparison of natural durability of wood by stake tests followed by survival analysis. *Journal of Wood Science*, *67*, 44. https://doi.org/10.1186/s10086-021-01976-6

Mucha, E. C. (2024). *Durabilidad natural de alnus acuminata y pinus patula a la acción de dos hongos xilófagos.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. https://repositorio.uncp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1981da05-2550-45ab-a395-cf39afbba2f3/content

Medeiros Neto, P. N. de, Paes, J. B., Oliveira, J. T., da Silva, J. G. M. da, Coelho, J. C. F., & Ribeiro, L. (2020). Durability of Eucalypts wood in soil bed and field decay tests. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, *22*(4), 447–456. https://doi.org/10.4067/S0718-221X2020005000403

Oh, J., Choi, Y., Kim, M., & Kim, G. (2023). Natural durability of some hardwoods imported into korea for deck boards against decay fungi and subterranean termite in accelerated laboratory tests. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, *2023*(25), 1–8. https://doi.org/10.4067/s0718-221x2023000100437

Ortiz, D. (2014). *Aislamiento e identificación de hongos de pudrición de maderas de alta durabilidad natural utilizadas en viviendas de la comuna de Achao, Chiloé* [Tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile]. http://repositoriobibliotecas.uv.cl/handle/uvscl/2990

Panshin, A. J., & de Zeeuw, C. (1980). *Textbook of Wood Technology: Structure, Identification, Properties, and Uses of the Commercial Woods of the United States and Canada* (4th ed.). McGraw-Hill.

Paytan, J. E. (2022). *Durabilidad natural de la especie forestal terminalia oblonga (ruiz & pav.) a la acción de hongos xilófagos* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del

Centro del Peru]. htt://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/9704/T010_41151458_T.pdf?sequence=8&isAllowed=y

Paz, F. J. (2008). *Determinación de la composición química de la madera obenida del primer clareo en árboles de melina (Gmelina arborea Roxb.), de una plantación proveniente del departamento de Izabal*. [Tesis pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1090_Q.pdf

Polanco, C. A., Caicedo, J. P., & Beltrán, D. H. (2003). Durabilidad natural y descripcion anatómica de la madera de la especie *Caryodaphnopsis cogolloi* Van der Werf. *_Colombia Forestal*, *17*(1), 29–39.http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v17n1/v17n1a02.pdf

Presley, G., Cappellazzi, J., & Eastin, I. (2022). Durability of thermally modified western hemlock lumber against wood decay fungi. *Frontiers in Forest and Global Change, 5*, 813080. https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.813080

Ramos, H. M. (2014). *Durabilidad natural de tres especies forestales a la acción de dos hongos xilófagos*. https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2353

Ramos, H. M., Trujillo, F., Guzmán, D., & Araujo, M. (2016). Durabilidad natural de la madera de pino chuncho (Shizolobium amazonicum Huber. ex Ducke) a la acción de dos hongos de pudrición.*_Revista Forestal del Perú*, *31*_(2), 81-94. https://doi.org/10.21704/rfp.v31i2.1029

Reyes, J. (2018). *Influencia de los diferentes sustratos en la calidad de plantones de schizolobium parahyba (pino chuncho) en fase de vivero, distrito Pueblo Nuevo, Huánuco, Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. https://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1669

Rivera, M. R. (2023). *Anatomía y propiedades físicas de la madera de Schizolobium amazonicum de once años asociada con cacao en San Martín, Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/6044

Roberts, G., Skinner, C., & Ormondroyd, G. A. (2022). The environmental and social impacts

of modified wood production: effect of timber sourcing._ *International Wood Products Journal*, *13*_(4), 236–254. https://doi.org/10.1080/20426445.2022.2117923

Rowell, R. M. (2013). *Handbook of wood chemistry and wood composites* (2nd ed.). https://doi.org/10.1201/b12487

Schilling, M., Levasseur, M., Barbier, M., Oliveira-correia, L., Henry, C., Touboul, D., Farine, S., Bertsch, C., & Gelhaye, E. (2023). Wood degradation by *fomitiporia mediterranea* M. Fischer:Exploring Fungal adaptation using metabolomic networking._*Journal of Fungi*, 9_(5), 536. https://doi.org/10.3390/jof9050536

Schmidt, O. (2006). *Wood and tree fungi: Biology, damage, protection, and use* (1st ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-32139-X

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2023). *Anuario forestal y de fauna silvestre* 2022. SERFOR. https://www.gob.pe/serfor

Simpson, W. T. (1993). Specific Gravity , moisture content , and density relationship for Wood. (*Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-76). U.S. Department of Agriculture Forest Service, Forest Products Laboratory*. https://research.fs.usda.gov/treesearch/5781

Souza, J. H.G. de, dos Santos, R. Q., Castelo, P. A., & Corassa, J. D. N. (2025). Natural durability of five amazonian species in two different decay environments._*Ciencia Rural*, *55*_(8), e20240356. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20240356

Suirezs, T. M., & Berger, G. (2009). *Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera*. Editorial universitaria de la Universida Nacional de Misiones.

Torres, F. de L. C. (2009). *Evaluación de las propiedades físico mecánicas de la especie pino chuncho (schizolobium amazonicum huber ex ducke) proveniente de plantaciones del bosque nacional Alexander von Humboldt - Ucayali* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/495

Tsoumis, G. (1991). *Science and technology of wood: Structure, properties, utilization* (1st ed.). Van Nostrand Reinhold.

Van Niekerk, P. B., Brischke, C., & Niklewski, J. (2021). Estimating the service life of timber

structures concerning risk and influence of fungal decay-A review of existing theory and modelling approaches. *Forests*, *12*_(5), 588. https://doi.org/10.3390/f12050588

Vargas, N. R. (2021). *Evaluación de la durabilidad natural de la madera en laboratorio de dos especies forestales, en reacción de un hongo xilófago* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. https://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/15877

Vasconez, D. K. (2021). *Durabilidad natural de la madera de dos especies forestales a la acción de un hongo xilófago con pruebas aceleradas en laboratorio.* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. https://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/15877

Yang, Y., & Hu, X. (2025). A chromosome-scale genome of *Trametes versicolor* and transcriptome-based screening for light-induced genes that promote triterpene biosynthesis. *Journal of Fungi*, *11*(1), 81. https://doi.org/10.3390/jof11010081

Zabel, R. A., & Morrell, J. J. (2020). *Wood microbiology: Decay and its prevention (2nd ed.)*. Academic Press. https://doi.org/10.1016/C2018-0-05117-8

ANEXOS

ANEXO I. Elaboración de probetas

Figura 14

Toma de datos de los árboles de pino chuncho



Figura 15

Medición y trozado



Figura 16

Toma de datos de las trozas



Figura 17

Elaboración de probetas



Figura 18

Codificación y acondicionamiento de muestras de pino chuncho



ANEXO II. Preparación de probetas para ser inoculadas

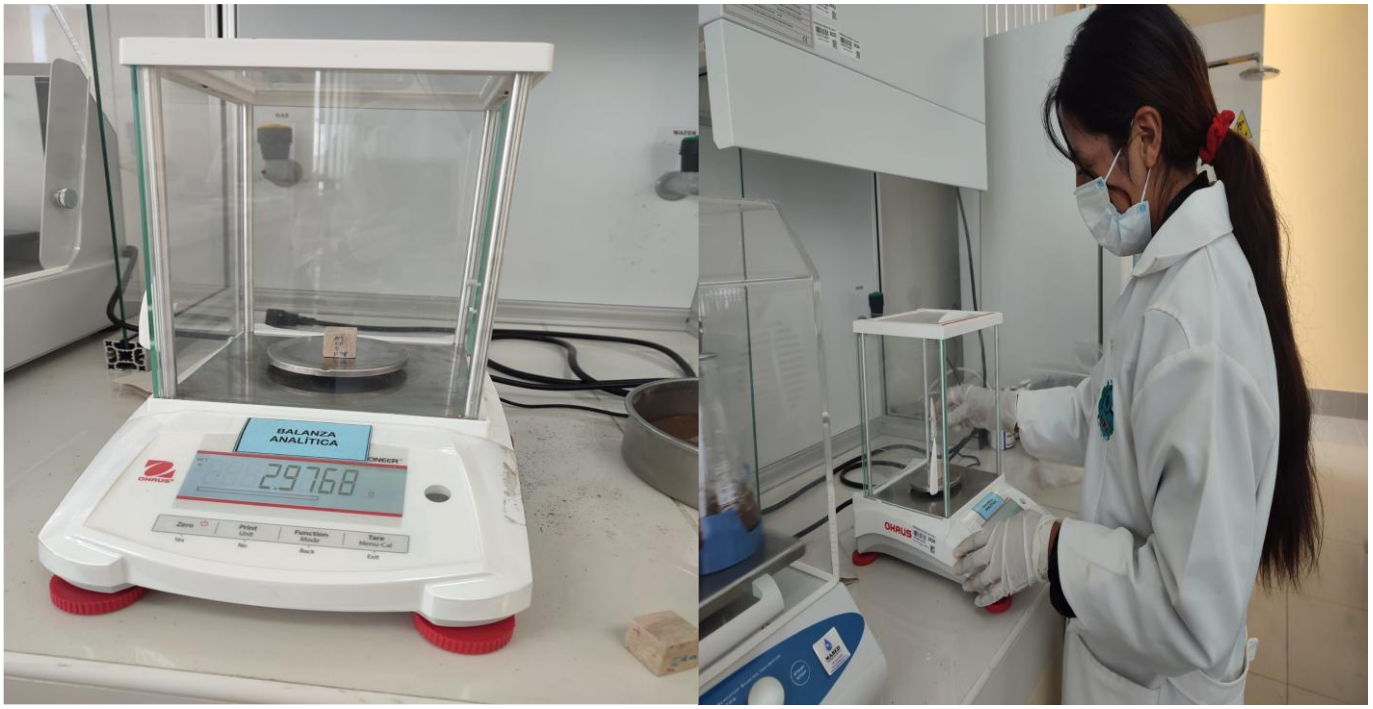
Figura 19

Secado de las muestras en estufa



Figura 20

Obtención del peso seco inicial (PSI) de las muestras



ANEXO III. Recolección de muestras de *Trametes sp* y *Polyporus sp*

Figura 21

Selección y colección in situ de hongos



Figura 22

Hongos Trametes sp y Polyporus sp



ANEXO IV. Proceso de inoculación de hongos

Figura 23

Esterilización de materiales para la inoculación



Figura 24

Inoculación de hongo

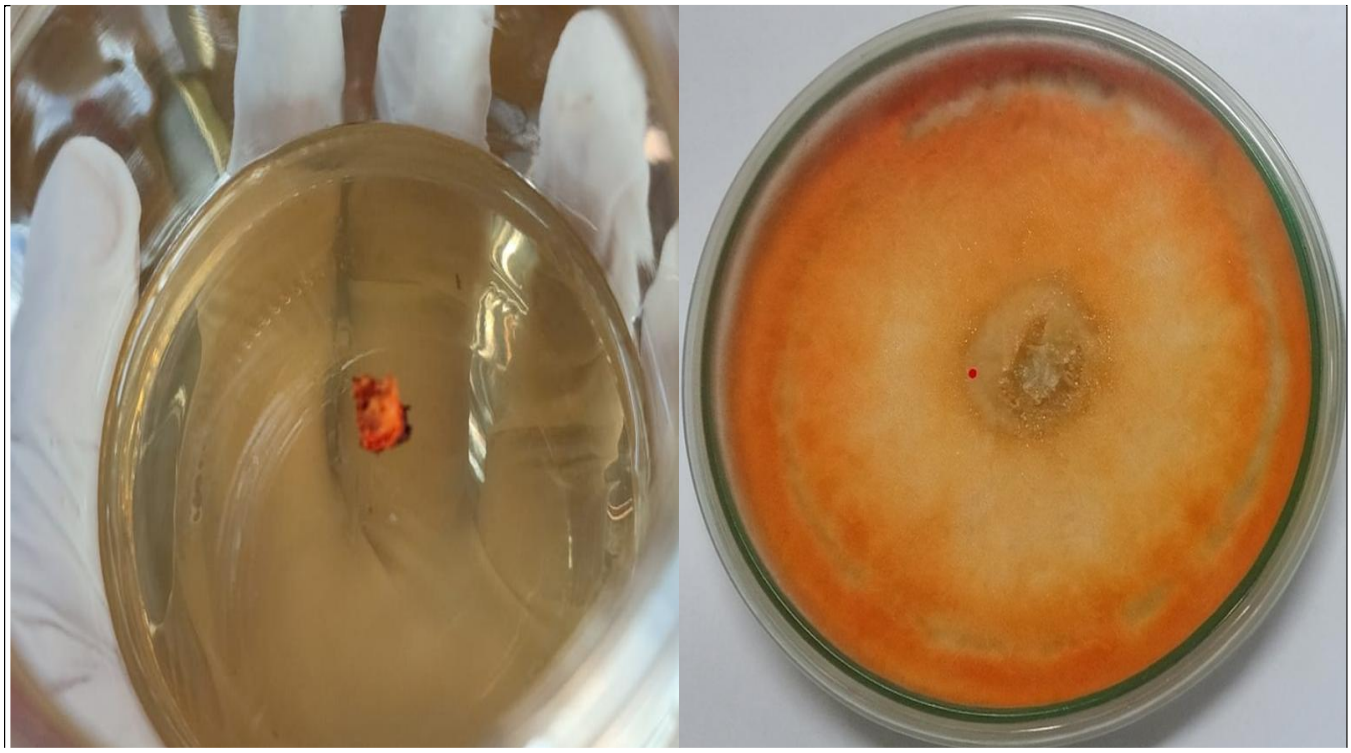


Figura 25

Esterilización de frascos de vidrio



Figura 26

Frascos inoculados con hongos Polyporus sp y Trametes sp después de 90 días



Figura 27

Inóculos de hongos Trametes sp y Polyporus sp



Figura 28

Probetas contaminadas con Polyporus sp y Trametes sp

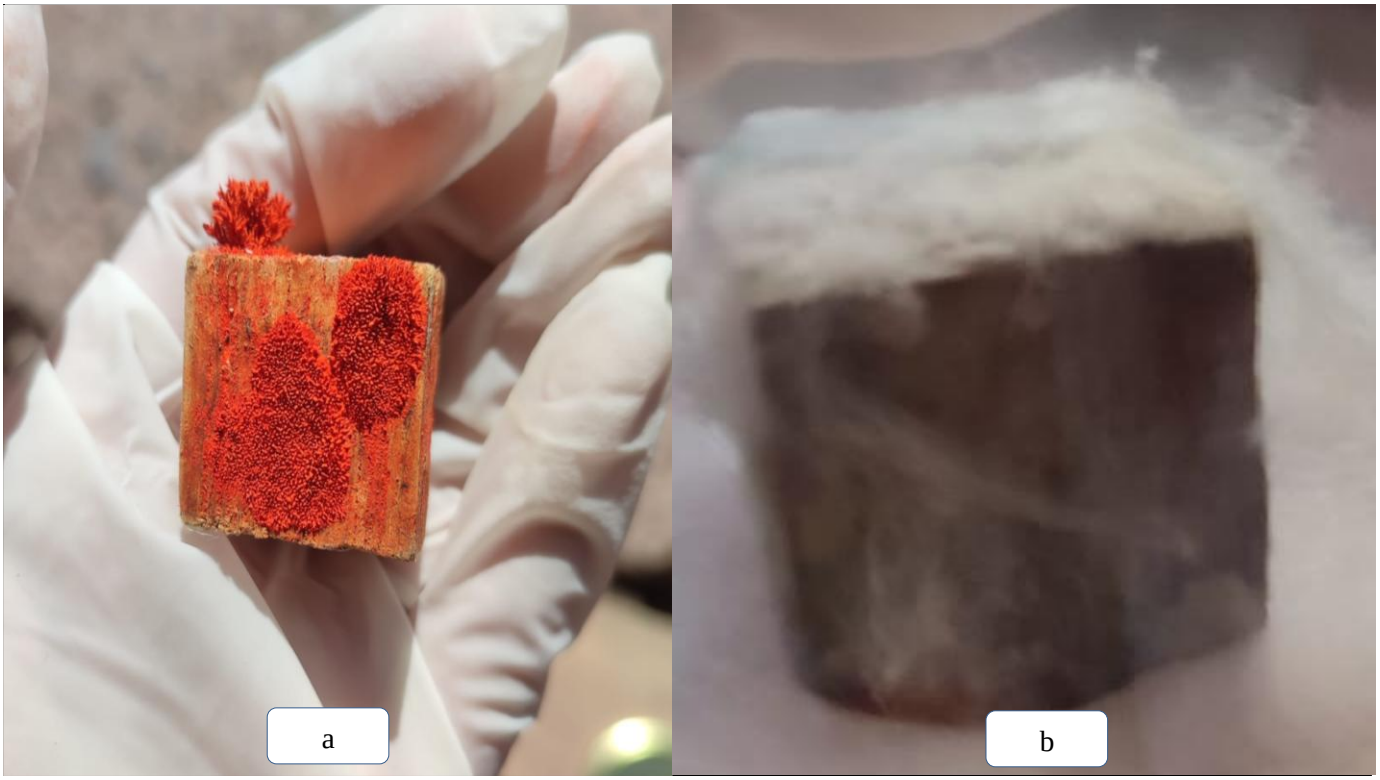


Figura 29

Limpieza de probetas del resto de los hongos



Figura 30

Obtención del peso seco final (PSF) después de la exposición a hongos



Anexo V. Tablas de evaluación

Tabla 9.

Correlación de Spearman entre pérdida de masa y peso específico básico

Variables	P (rho de Spearman)
Peso específico básico – Pérdida de masa (*Trametes sp*)	-0.9899
Peso específico básico– Pérdida de masa *(Polyporus sp*)	-0.9992

Fuente: Software estadístico R Studio.

Tabla 10.

Prueba de normalidad Shapiro Wilk para la pérdida de masa y peso específico básico

Hongo	Nivel del fuste	P – value pérdida de masa	P – value PEB
Trametes sp	Base	0.0011142	0.8347921
	Medio	0.8614564	0.1981622
	Ápice	0.9068009	0.1929623
Polyporus sp	Base	0.0079251	0.0052241
	Medio	0.0326291	0.9553099
	Ápice	0.767279	0.537121

Fuente: Software estadístico R Studio.

Tabla 11

Prueba de Kruskal-Wallis para la pérdida de masa según nivel del fuste

Hongo	χ^2 (Chi cuadrado)	gl	P – value
Trametes sp	44.271	2	0.000
Polyporus sp	23.977	2	0.000

Fuente: Software estadístico R Studio.

Tabla 12

Prueba de Mann-whitney para la pérdida de masa según el tipo de hongo

Comparación	Estadístico W	P – value
Trametes sp vs *Polyporus sp*	2916	< 0.00000000000000022

Fuente: Software estadístico R Studio.

Tabla 13

Pérdida de masa promedio % de Trametes sp

Combinación (Tipo de hongo X Nivel del fuste) |	Repetición	Peso seco inicial (PSI)	Peso seco final (PSF)	Pérdida de masa (%)
Trametes sp x Base	1	2.9634	2.0884	29.5226
Trametes sp x Base	2	2.9225	2.0931	28.3722
Trametes sp x Base	3	2.9134	2.0754	28.7277
Trametes sp x Base	4	2.9532	2.0754	29.7263
Trametes sp x Base	5	2.9538	2.0974	28.9806
Trametes sp x Base	6	2.9452	2.094	28.8997
Trametes sp x Medio	1	2.8669	1.9349	32.5083
Trametes sp x Medio	2	2.875	1.9339	32.7114
Trametes sp x Medio	3	2.8665	1.9087	33.4398
Trametes sp x Medio	4	2.8467	1.9165	32.6592
Trametes sp x Medio	5	2.904	1.9268	33.6449
Trametes sp x Medio	6	2.8896	1.9115	33.8481
Trametes sp x Ápice	1	2.7694	1.7774	35.7882
Trametes sp x Ápice	2	2.7774	1.7889	35.5897
Trametes sp x Ápice	3	2.7708	1.754	36.6994
Trametes sp x Ápice	4	2.7996	1.7925	35.9693
Trametes sp x Ápice	5	2.738	1.7468	36.1982
Trametes sp x Ápice	6	2.7915	1.8112	35.1197

Tabla 14

Pérdida de masa promedio (%) de Polyporus sp

Combinación (Tipo de hongo X Nivel del fuste)	Repetición	Peso seco inicial (PSI)	Peso seco final (PSF)	Pérdida de masa (%)
Polyporus sp x Base	1	2.9805	1.6955	43.1140
Polyporus sp x Base	2	2.9576	1.7075	42.2575
Polyporus sp x Base	3	2.8900	1.6668	42.3184
Polyporus sp x Base	4	2.9748	1.6823	43.4473
Polyporus sp x Base	5	2.8844	1.6699	42.0790
Polyporus sp x Base	6	2.9358	1.6877	42.5118
Polyporus sp x Medio	1	2.9460	1.6049	45.5266
Polyporus sp x Medio	2	2.8350	1.5872	44.0228
Polyporus sp x Medio	3	2.8287	1.5763	44.2605
Polyporus sp x Medio	4	2.8429	1.5694	44.8009
Polyporus sp x Medio	5	2.9403	1.6398	44.1914
Polyporus sp x Medio	6	2.8591	1.5868	44.4743
Polyporus sp x Ápice	1	2.8162	1.4752	47.6034
Polyporus sp x Ápice	2	2.8071	1.4950	46.7338
Polyporus sp x Ápice	3	2.8106	1.5540	44.6653
Polyporus sp x Ápice	4	2.8215	1.5262	45.9098
Polyporus sp x Ápice	5	2.7687	1.5101	45.4863
Polyporus sp x Ápice	6	2.7892	1.5351	44.9623

Tabla 15

Grado de resistencia y clase para el hongo Trametes sp

Repetición	Combinación (Tipo de hongo X Nivel del fuste)	Pérdida de peso promedio (%)	Grado de resistencia (GR)	Clase
1	*Trametes sp* x Base	29.52259521	Moderadamente resistente	C
2	*Trametes sp* x Base	28.37217535	Moderadamente resistente	C
3	*Trametes sp* x Base	28.72768826	Moderadamente resistente	C
4	*Trametes sp* x Base	29.72626987	Moderadamente resistente	C
5	*Trametes sp* x Base	28.98056842	Moderadamente resistente	C
6	*Trametes sp* x Base	28.89967483	Moderadamente resistente	C
1	*Trametes sp* x Medio	32.50827363	Moderadamente resistente	C
2	*Trametes sp* x Medio	32.71139479	Moderadamente resistente	C
3	*Trametes sp* x Medio	33.43978087	Moderadamente resistente	C
4	*Trametes sp* x Medio	32.65920648	Moderadamente resistente	C
5	*Trametes sp* x Medio	33.6448741	Moderadamente resistente	C
6	*Trametes sp* x Medio	33.84812854	Moderadamente resistente	C
1	*Trametes sp* x Ápice	35.78822498	Moderadamente resistente	C
2	*Trametes sp* x Ápice	35.58967638	Moderadamente resistente	C
3	*Trametes sp* x Ápice	36.69944177	Moderadamente resistente	C
4	*Trametes sp* x Ápice	35.96926164	Moderadamente resistente	C
5	*Trametes sp* x Ápice	36.19816531	Moderadamente resistente	C
6	*Trametes sp* x Ápice	35.11974846	Moderadamente resistente	C

Tabla 16

Grado de resistencia y clase de hongo Polyporus sp

Repetición	Combinación (Tipo de hongo X Nivel del fuste)	Pérdida de peso promedio (%)	Grado de resistencia (GR)	Clase
1	*Trametes sp* x Base	29.52259521	Moderadamente resistente	C
2	*Trametes sp* x Base	28.37217535	Moderadamente resistente	C
3	*Trametes sp* x Base	28.72768826	Moderadamente resistente	C
4	*Trametes sp* x Base	29.72626987	Moderadamente resistente	C
5	*Trametes sp* x Base	28.98056842	Moderadamente resistente	C
6	*Trametes sp* x Base	28.89967483	Moderadamente resistente	C
1	*Trametes sp* x Medio	32.50827363	Moderadamente resistente	C
2	*Trametes sp* x Medio	32.71139479	Moderadamente resistente	C
3	*Trametes sp* x Medio	33.43978087	Moderadamente resistente	C
4	*Trametes sp* x Medio	32.65920648	Moderadamente resistente	C
5	*Trametes sp* x Medio	33.6448741	Moderadamente resistente	C
6	*Trametes sp* x Medio	33.84812854	Moderadamente resistente	C
1	*Trametes sp* x Ápice	35.78822498	Moderadamente resistente	C
2	*Trametes sp* x Ápice	35.58967638	Moderadamente resistente	C
3	*Trametes sp* x Ápice	36.69944177	Moderadamente resistente	C
4	*Trametes sp* x Ápice	35.96926164	Moderadamente resistente	C
5	*Trametes sp* x Ápice	36.19816531	Moderadamente resistente	C
6	*Trametes sp* x Ápice	35.11974846	Moderadamente resistente	C

Tabla 17

Datos del peso específico básico

Combinación (Tipo de hongo X Nivel del fuste)	Repetición	Peso seco inicial (g)	Volumen verde (cm^3)	Peso específico básico
Trametes sp x Base	1	2.9634	8.0650	0.3674
Trametes sp x Base	2	2.9225	8.0250	0.3642
Trametes sp x Base	3	2.9134	8.0610	0.3614
Trametes sp x Base	4	2.9532	8.0383	0.3674
Trametes sp x Base	5	2.9538	8.0497	0.3670
Trametes sp x Base	6	2.9452	8.0610	0.3654
Trametes sp x Medio	1	2.8669	8.0673	0.3554
Trametes sp x Medio	2	2.8750	8.2311	0.3493
Trametes sp x Medio	3	2.8665	8.1852	0.3502
Trametes sp x Medio	4	2.8467	8.1296	0.3502
Trametes sp x Medio	5	2.9040	8.1597	0.3559
Trametes sp x Medio	6	2.8896	8.1531	0.3544
Trametes sp x Ápice	1	2.7694	8.1519	0.3397
Trametes sp x Ápice	2	2.7774	8.1242	0.3419
Trametes sp x Ápice	3	2.7708	8.2186	0.3371
Trametes sp x Ápice	4	2.7996	8.3064	0.3370
Trametes sp x Ápice	5	2.7380	8.1414	0.3363
Trametes sp x Ápice	6	2.7915	8.2744	0.3374

Tabla 18

Peso específico básico

Combinación (Tipo de hongo X Nivel del fuste)	Repetición	Peso seco inicial (g)	Volumen verde (cm^3)	Peso específico básico
Polyporus sp x Base	1	2.9805	8.0613	0.3697
Polyporus sp x Base	2	2.9576	8.0247	0.3686
Polyporus sp x Base	3	2.8900	8.0520	0.3589
Polyporus sp x Base	4	2.9748	8.0543	0.3693
Polyporus sp x Base	5	2.8844	8.0567	0.3580
Polyporus sp x Base	6	2.9358	8.0610	0.3642
Polyporus sp x Medio	1	2.9460	8.0670	0.3652
Polyporus sp x Medio	2	2.8350	8.2313	0.3444
Polyporus sp x Medio	3	2.8287	8.2200	0.3441
Polyporus sp x Medio	4	2.8429	8.1297	0.3497
Polyporus sp x Medio	5	2.9403	8.1493	0.3608
Polyporus sp x Medio	6	2.8591	8.1547	0.3506
Polyporus sp x Ápice	1	2.8162	8.1550	0.3453
Polyporus sp x Ápice	2	2.8071	8.1480	0.3445
Polyporus sp x Ápice	3	2.8106	8.2173	0.3420
Polyporus sp x Ápice	4	2.8215	8.2433	0.3423
Polyporus sp x Ápice	5	2.7687	8.1577	0.3394
Polyporus sp x Ápice	6	2.7892	8.1643	0.3416

Anexo VI. *Solicitud del uso de equipos y materiales del laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca – UNAJ*

SOLICITO AUTORIZACION PARA EL ACCESO Y USO DE LABORATORIOS, PARA EJECUCIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE TESIS.

SEÑOR VICEPRESIDENTE ACADÉMICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA.
Dr. ARRUFFO ALCANTARA HERNÁNDEZ

CON ATENCIÓN A: Laboratorios del Departamento Académico de Ciencias Básicas.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
TRAMITE DOCUMENTARIO
23 ABR 2025
Exp. N° ..... Folio: 24
Hora: 1552 Firma: .....

Yo, CHUPA ANCCO, Yessica Identificada con DNI N° 71115736 Cel. N° 918407185 y con domicilio en Av. Perú 576 Egresada de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca.

Ante Ud. me presento respetuosamente y expongo:

Que, habiendo sido aprobado mi Proyecto de Tesis, denominado: DURABILIDAD NATURAL DE PINO CHUNCHO A TRES NIVELES DEL FUSTE DEL ARBOL SOMETIDOS A LA ACCION DE HONGOS XILOFAGOS, ALTO INAMBARI-PUNO. los objetivos contemplados en el proyecto, recurro a su despacho para solicitarle el acceso a los equipos y materiales de laboratorio de las Instalaciones del Laboratorio de Biología del Departamento Académico de Ciencias Básicas, para ejecutar el proyecto de Tesis. Por un período de 02 meses contados a partir del 23 de abril del 2025 al 23 de junio del 2025, para lo cual haré el uso de los siguientes equipos y materiales:
Estufa, Autoclave, Baño maría, Balanza analítica, Agitadores magnéticos, entre otros.

Del mismo modo me comprometo a cumplir con los protocolos de seguridad de los laboratorios del DACB – UNAJ. Y de hacerme responsable por el cuidado de la utilización responsable de los equipos solicitados.

Para tal efecto, adjunto los siguientes documentos:

- ✔ COPIA DEL ACTA DE APROBACIÓN DE PROYECTO DE TESIS.
- ✔ PLAN DE TRABAJO DETALLADO. (Donde figuren los objetivos y metodología aprobados)
- ✔ COPIA DE DNI.

Por lo expuesto:
Solicito acceder a mi petición por ser justa y legal.

Juliaca, 23 de abril de 2025

Yessica Chupa Aneco
DNI: 71115736

