



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



**“DURABILIDAD NATURAL EN ALBURA Y DURAMEN DE LA
MADERA *PINUS RADIATA* D. DON PROVENIENTE DEL
CENTRO POBLADO DE RAMIS DEL DISTRITO DE TARACO”**

Bach. Yony Elver Hallasi Quello

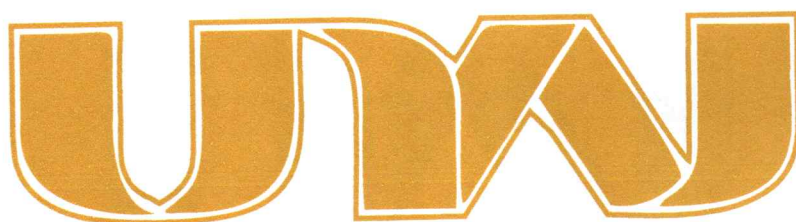
**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor: Dra. Eliana Mullisaca Contreras

Juliaca - 2025



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



**“DURABILIDAD NATURAL EN ALBURA Y DURAMEN DE LA
MADERA *PINUS RADIATA* D. DON PROVENIENTE DEL
CENTRO POBLADO DE RAMIS DEL DISTRITO DE TARACO”**

Bach. Yony Elver Hallasi Quello

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor: Dra. Eliana Mullisaca Contreras



Juliaca - 2025

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



**“DURABILIDAD NATURAL EN ALBURA Y DURAMEN DE LA
MADERA *PINUS RADIATA* D. DON PROVENIENTE DEL
CENTRO POBLADO DE RAMIS DEL DISTRITO DE TARACO”**

Bach. Yony Elver Hallasi Quello

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL
Y FORESTAL**

Asesor: Dra. Eliana Mullisaca Contreras

Juliaca – Perú

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Hallasi, Y. E. (2025). *Durabilidad natural en albura y duramen de la madera Pinus radiata D. Don proveniente del centro poblado de Ramis del distrito de Taraco.*

(Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Yony Elver Hallasi Quello

TÍTULO: Durabilidad natural en albura y duramen de la madera *Pinus radiata* D. Don proveniente del centro poblado de Ramis del distrito de Taraco.

PUBLICACIÓN: Octubre, 2025

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (130 pp)

NOTA: Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal – Universidad Nacional de Juliaca

CÓDIGO: 01-000062-01/H18

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR: Dra. Eliana Mullisaca Contreras

PALABRAS CLAVE: Albura, durabilidad natural, duramen, *Pinus radiata*, propiedades físicas.

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

**“DURABILIDAD NATURAL EN ALBURA Y DURAMEN DE LA
MADERA *PINUS RADIATA* D. DON PROVENIENTE DEL
CENTRO POBLADO DE RAMIS DEL DISTRITO DE TARACO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

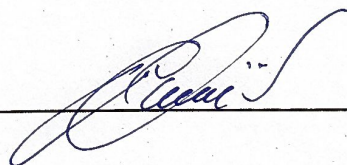
Presentado por:

Bach. Yony Elver Hallasi Quello

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

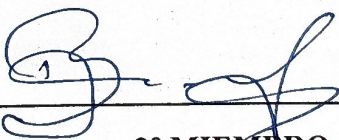
Dr. Wile Mamani Navarro

PRESIDENTE DEL JURADO



M. Sc. Jael Calla Calla

JURADO (Secretario)



2° MIEMBRO

M. Sc. Ebed David Paredes Rodríguez

JURADO (Vocal)



3° MIEMBRO



Dra. Eliana Mullisaca Contreras
ASESOR DE TESIS

YONY ELVER HALLASI QUELLO

DURABILIDAD NATURAL EN ALBURA Y DURAMEN DE LA MADERA PINUS RADIATA D. DON PROVENIENTE DEL CENTR...

Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:513369978

141 páginas

Fecha de entrega

5 oct 2025, 4:19 p.m. GMT-5

31.995 palabras

Fecha de descarga

5 oct 2025, 4:27 p.m. GMT-5

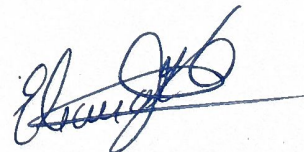
156.514 caracteres

Nombre del archivo

T_YONY HALLASI QUELLO.pdf

Tamaño del archivo

1.8 MB



8% 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

- 7% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 5% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

- **Texto oculto**
4 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

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.

DEDICATORIA

Esta Tesis se dedica con profundo reconocimiento y cortesía a mis distinguidos docentes de la Universidad Nacional de Juliaca, quienes, mediante su compromiso, instrucción y paciencia, me orientaron a lo largo de este proceso académico. Su ininterrumpido respaldo y formación me dotaron de los conocimientos requeridos para la realización de este trabajo, además, que también me motivaron a mejorar como persona y profesional. Mi sincero agradecimiento a cada uno de ustedes por compartir su experiencia y por siempre motivarme a lograr mis objetivos.

A mis padres, por su apoyo incondicional, sacrificio y confianza en mí. A mi familia, por ser el motor que me impulsa diariamente. Agradezco constantemente su presencia, proporcionándome fortaleza y respaldo en cada fase de este camino. A mis hermanos, por su compañía constante y por hacer de cada instante un motivo para avanzar. Este hito también es de su contribución, dado que, sin su respaldo y afecto persistente, la realización de este logro hubiera sido inviable.

AGRADECIMIENTO

Mi más profundo agradecimiento a la Dra. Eliana Mullisaca Contreras, mi asesora de tesis, por su valiosa dirección, compromiso y orientación en todo el proceso de investigación. Su continua asistencia y precisas recomendaciones fueron fundamentales para la culminación exitosa de este estudio de investigación.

A mi familia, por su afecto incondicional y por ser el sustento que me ha proporcionado a lo largo de mi trayectoria académica. Agradezco su paciencia, comprensión y apoyo incondicional, que me facilitaron abordar los desafíos inherentes a esta investigación y a mi trayectoria académica.

Mi reconocimiento a la Universidad Nacional de Juliaca, mi institución formativa, por proporcionarme la posibilidad de adquirir formación profesional en un entorno académico de alta calidad, y por constituir el fundamento de mi desarrollo intelectual y personal.

Un agradecimiento profundo a mis jurados de tesis: Dr. Wile Mamani Navarro, M. Sc. Jael Calla Calla y el M. Sc. Ebed David Paredes Rodríguez, por su valiosa revisión, sugerencias y contribuciones, que han contribuido significativamente al enriquecimiento de este estudio de investigación.

En última instancia, deseo expresar mi gratitud hacia mis compañeros académicos y profesionales por su constante respaldo moral y apoyo durante la ejecución de esta investigación. Su colaboración y solidaridad desempeñaron un papel crucial en mantenerme motivado a lo largo de todo el proceso.

Yony Elver Hallasi Quello

ÍNDICE GENERAL

	Pag.
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación problemática.....	5
1.2 Formulación del problema.....	6
1.2.1 Problema general.....	6
1.2.2 Problemas específicos.....	6
1.3 Objetivos de investigación.....	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	7
1.4 Justificación.....	7
1.5 Formulación de hipótesis.....	8
1.5.1 Hipótesis general.....	8
1.5.2 Hipótesis específicas.....	9

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA O MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes internacionales.....	10
2.2	Antecedentes nacionales.....	13
2.3	Antecedentes locales.....	16
2.4	Marco referencial.....	17
2.4.1	La madera.....	17
2.4.2	<i>Pinus radiata</i> D. Don.....	17
2.4.3	Albura y duramen.....	18
2.4.4	Durabilidad natural de la madera.....	19
2.4.5	Clasificación de la durabilidad natural.....	20
2.4.6	Agentes destructores de la madera.....	21
2.4.7	Propiedades físicas de la madera.....	22
2.4.8	Método de cementerio de estacas.....	27
2.4.9	Características de la madera.....	27
2.4.10	Factores ambientales.....	28
2.4.11	Normas Técnicas Peruanas (NTP).....	29

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	Ámbito de estudio.....	31
3.2	Aspectos climáticos del ámbito de estudio.....	31
3.3	Tipo y diseño de investigación.....	32
3.4	Unidad de análisis.....	32
3.5	Población y muestra.....	32
3.6	Materiales y equipos.....	32
3.7	Extracción de la especie.....	33
3.8	Determinación de las propiedades físicas en albura y duramen de la madera <i>Pinus radiata</i> D. Don.....	33

3.8.1	Preparación de probetas.....	33
3.8.2	Determinación del contenido de humedad en equilibrio	34
3.8.3	Determinación de la densidad básica.....	35
3.8.4	Determinación de la contracción volumétrica de la madera.....	35
3.9	Determinación del grado de resistencia a la degradación en albura y duramen de la madera <i>Pinus radiata</i> D. Don	37
3.9.1	Preparación de probetas.....	37
3.9.2	Establecimiento del ensayo de campo	38
3.9.3	Clasificación de la durabilidad natural	38
3.10	Análisis estadístico	39
3.10.1	Análisis de la estadística descriptiva	39
3.10.2	Análisis de la estadística inferencial.....	39

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Propiedades físicas de <i>Pinus radiata</i> D. Don en duramen y albura.....	41
4.1.1	Determinación del contenido de humedad en equilibrio	41
4.1.2	Determinación de la densidad básica.....	47
4.1.3	Determinación de la contracción volumétrica	52
4.2	Grado de resistencia de la madera <i>Pinus radiata</i> D. Don.....	58
4.2.1	Estadísticos descriptivos.....	58
4.2.2	Análisis de estadística inferencial.....	60
4.2.3	Clasificación de durabilidad natural de <i>Pinus radiata</i> D. Don.....	63

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones	66
5.2	Recomendaciones	66

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Posición taxonómica del Pinus radiata D. Don</i>	18
Tabla 2 <i>Clasificación de durabilidad natural de la madera</i>	20
Tabla 3 <i>Clasificación del contenido de humedad en equilibrio de la madera</i>	23
Tabla 4 <i>Clasificación de la densidad básica de la madera</i>	24
Tabla 5 <i>Clasificación de la contracción volumétrica de la madera</i>	26
Tabla 6 <i>Coordenadas UTM de los árboles de pino</i>	32
Tabla 7 <i>Estadísticos descriptivos de contenido de humedad en equilibrio</i>	41
Tabla 8 <i>Estadísticos descriptivos de contenido de humedad de albura y duramen</i>	42
Tabla 9 <i>Clasificación de contenido de humedad en madera</i>	45
Tabla 10 <i>Estadísticos descriptivos densidad básica</i>	48
Tabla 11 <i>Estadísticos descriptivos de densidad básica en albura y duramen</i>	48
Tabla 12 <i>Clasificación de la densidad básica de la madera</i>	52
Tabla 13 <i>Estadísticos descriptivos de contracción volumétrica</i>	53
Tabla 14 <i>Estadísticos descriptivos de albura y duramen contracción volumétrica</i>	53
Tabla 15 <i>Clasificación de la contracción volumétrica</i>	57
Tabla 16 <i>Estadísticos descriptivos de pérdida de masa</i>	58
Tabla 17 <i>Estadísticos descriptivos para la pérdida de masa en albura y duramen</i>	60
Tabla 18 <i>Condiciones óptimas de desarrollo de agentes degradadores de la madera</i> . 63	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Sección transversal del árbol de duramen y albura</i>	19
Figura 2 <i>Mapa de ubicación de la investigación</i>	31
Figura 3 <i>Dimensiones de la probeta para propiedades físicas de la madera</i>	33
Figura 4 <i>Dimensiones de la probeta para ensayo de durabilidad natural</i>	37
Figura 5 <i>Comparación de contenido de humedad en albura y duramen</i>	43
Figura 6 <i>Dispersión del contenido de humedad de la albura y duramen</i>	44
Figura 7 <i>Contenido de humedad en equilibrio en albura y duramen</i>	45
Figura 8 <i>Comparación de densidad básica en albura y duramen</i>	49
Figura 9 <i>Dispersión de densidad en albura y duramen</i>	50
Figura 10 <i>Promedio de densidad básica en duramen y albura</i>	51
Figura 11 <i>Promedio de contracción volumétrica</i>	54
Figura 12 <i>Dispersión de la contracción volumétrica</i>	55
Figura 13 <i>Promedio de contracción volumétrica en albura y duramen</i>	56
Figura 14 <i>Promedio de pérdida en masa en los arboles de pino</i>	59
Figura 15 <i>Dispersión de pérdida de masa en albura y duramen</i>	61
Figura 16 <i>Promedio de porcentaje de pérdida de masa en albura y duramen</i>	62

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I. <i>Panel fotográfico preparación de probetas</i>	74
Anexo II. <i>Panel fotográfico de los ensayos realizados</i>	79
Anexo III. <i>Registro de contenido de humedad en equilibrio</i>	84
Anexo IV. <i>Registro de datos de densidad básica</i>	91
Anexo V. <i>Datos de registro de contracción volumétrica</i>	98
Anexo VI. <i>Registro de datos de pérdida de masa</i>	105
Anexo VII. <i>Reporte de aspectos climáticos de centro poblado Ramis</i>	112
Anexo VIII. <i>Pruebas de normalidad</i>	116
Anexo IX. <i>Pruebas de significancia</i>	119
Anexo X. <i>Reporte de radiación solar</i>	122

RESUMEN

La madera es un material natural, flexible y resistente; y conocer su durabilidad y características físicas es crucial para su uso adecuado. El objetivo de esta investigación fue evaluar la durabilidad natural de la albura y el duramen de tres ejemplares de *Pinus radiata* D. Don, provenientes de Ramis, distrito de Taraco, a 3826 m.s.n.m. con una temperatura promedio de 8.3 °C y una humedad relativa promedio anual de 54 %. La metodología empleada para determinar las propiedades físicas como el contenido de humedad en equilibrio, la densidad básica y la contracción volumétrica se basó en las Normas Técnicas Peruanas: NTP 251.012:2015, NTP 251.011:2014 y NTP 251.010:2011. Para evaluar la durabilidad natural, se consideraron los criterios de las normas UNE-EN 252:2015 y UNE-EN 350:2016, mediante el ensayo de exposición en cementerio de estacas durante 182 días. Los resultados mostraron que la albura presentó un contenido de humedad significativamente mayor (12.71 %) que el duramen (11.89 %), clasificándolas como maderas muy secas para uso interior. La densidad básica fue mayor en el duramen (0.48 g/cm³) que en la albura (0.46 g/cm³), ambas ubicadas en el grado III de densidad media. En cuanto a la contracción volumétrica, los valores fueron similares: 9.15 % en albura y 9.16 % en duramen, lo que corresponde al grado II de contracción volumétrica baja. La pérdida de masa por degradación fue mayor en la albura (8.85 %) que en el duramen (7.63 %), ambas clasificadas con durabilidad moderada (vida útil de 10 a 15 años en contacto con el suelo). Aunque las condiciones frías y secas limitan los agentes bióticos, se observó un deterioro progresivo, principalmente por la alta radiación solar.

Palabras clave: Albura, durabilidad natural, duramen, *Pinus radiata* D. Don, propiedades físicas.

ABSTRACT

Wood is a natural, flexible, and resistant material, and understanding its durability and physical characteristics is crucial for its proper use. The objective of this research was to evaluate the natural durability of the sapwood and heartwood of three specimens of *Pinus radiata* D. Don, from Ramis, Taraco district, at 3826 m. s.n.m. with an annual temperature of 8.3 °C and an average relative humidity of 54 %. The methodology used to determine physical properties such as equilibrium moisture content, basic density, and volumetric shrinkage was based on Peruvian Technical Standards: NTP 251.012:2015, NTP 251.011:2014, and NTP 251.010:2011. To evaluate natural durability, the criteria of standards UNE-EN 252:2015 and UNE-EN 350:2016 were considered, using the stake cemetery exposure test for 182 days. The results showed that the sapwood had a significantly higher moisture content (12.71 %) than the heartwood (11.89 %), classifying them as very dry woods for indoor use. The basic density was higher in the heartwood (0.48 g/cm³) than in the sapwood (0.46 g/cm³), both classified as grade III medium density. In terms of volumetric shrinkage, the values were similar: 9.15 % in sapwood and 9.16 % in heartwood, corresponding to grade II low volumetric shrinkage. The loss of mass due to degradation was higher in the sapwood (8.85 %) than in the heartwood (7.63 %), both classified as having moderate durability (useful life of 10 to 15 years in contact with the ground). Although cold and dry conditions limit biotic agents, progressive deterioration was observed, mainly due to high solar radiation.

Key words: Sapwood, natural durability, heartwood, *Pinus radiata* D. Don, physical properties.

INTRODUCCIÓN

La durabilidad natural de la madera constituye una propiedad fundamental que determina la capacidad de un material para resistir a la acción de agentes bióticos y abióticos, lo que influye directamente en su durabilidad a largo plazo. Esta propiedad resulta fundamental para las especies como *Pinus radiata* D. Don, ampliamente utilizada en la construcción y la fabricación de productos derivados de la madera debido a su rápido crecimiento y versatilidad (Ontiveros et al., 2024). En condiciones de servicio, la madera se ve expuesta a factores ambientales, físicos, mecánicos y químicos, además de la acción de organismos biológicos capaces de provocar deterioro considerable (Silva et al., 2020). Este conocimiento es esencial para optimizar el uso y la conservación de las especies forestales, especialmente las utilizadas en la industria.

Las propiedades físicas de la madera son determinantes para su empleabilidad y trabajabilidad, especialmente en la región de Puno, donde las especies alternativas podrían ofrecer mejores opciones para su aprovechamiento de recursos forestales locales (Díaz et al., 2019). Un aspecto clave es la evaluación de las diferencias en cuanto a propiedades físicas en albura y duramen, debido a que estas áreas presentan características distintas que impactan su durabilidad y resistencia, aspectos que son de gran relevancia para la industria maderera (Riesco y Díaz, 2007).

Las especies de *Pinus* han sido naturalizadas en diversas partes del mundo debido a su versatilidad y rápido crecimiento. En el Perú, *Pinus radiata* D. Don ha sido introducida con fines de forestación y reforestación en las zonas andinas (MINAM, 2019 citado por Rodríguez y Santillana, 2021) y las plantaciones forestales comerciales de esta especie también se consideran una estrategia efectiva para mitigar la sobreexplotación de los bosques naturales (Sigala et al., 2023). Estas plantaciones no solo contribuyen con la sostenibilidad ambiental, sino que también ofrecen un recurso valioso para la industria maderera local.

La durabilidad de la madera está influenciada por varios factores, como la resistencia a la degradación causada por agentes bióticos (hongos, insectos y termitas) y abióticos (humedad, temperatura y radiación solar). En el caso de *Pinus radiata* D. Don, se observa generalmente que el duramen es más resistente que la albura debido a su mayor densidad y menor contenido de agua (López et al., 2022). Sin embargo, son limitados los estudios sobre cómo estas características afectan la durabilidad bajo condiciones específicas en la

región andina. En cuanto a la metodología el cementerio de estacas es ampliamente utilizado para evaluar la durabilidad natural de la madera, especialmente en condiciones de campo donde la madera está sometida a la acción de agentes de degradación por un periodo prolongado (Vargas et al.,2023). Dado que la información sobre la durabilidad natural de *Pinus radiata* D. Don. en condiciones ambientales similares a las del distrito de Taraco es limitada, la presente investigación tiene por objetivo general evaluar la durabilidad natural en albura y duramen de tres especies de *Pinus radiata* D. Don provenientes del centro poblado de Ramis del distrito de Taraco.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación problemática

La durabilidad natural de la madera es una propiedad esencial para su resistencia frente a factores bióticos (hongos, insectos y termitas) y abióticos (humedad, temperatura y radiación), lo que incide directamente en su vida útil y aptitud para diferentes aplicaciones (Ren et al., 2023). Además, el duramen es más denso y resistente a la descomposición, la albura tiene mayor contenido de humedad, lo que la hace más vulnerable a los agentes biológicos (Bravo et al., 2016). En regiones de gran altitud como Taraco (3826 m.s.n.m.), las condiciones climáticas extremas y la radiación solar podrían alterar las propiedades, lo que plantea incertidumbres sobre su durabilidad, Investigaciones previas muestran que el clima afecta la adaptabilidad de la madera frente a factores abióticos (De la Cruz et al., 2018).

La alta dependencia de madera proveniente de la Amazonía ha conllevado a la tala de más de 146 575 hectáreas de bosques amazónicos en el año 2023, según datos de SERFOR. Además, desde Madre de Dios se transportan aproximadamente 1180 m³ de madera al mes hacia la región Puno, la subutilización de recursos locales como el *Pinus radiata* D. Don, cultivado en zonas altoandinas como Taraco. Su aprovechamiento se ve limitado por la escasa información sobre sus propiedades físicas y su resistencia natural a la degradación. Aunque estudios en otras regiones de altitud sugieren que las condiciones extremas pueden mejorar ciertas propiedades de la madera (Hernández et al., 2020), aún existen vacíos importantes en su caracterización en contextos andinos, lo que restringe el desarrollo de cadenas de valor locales (De la Cruz et al., 2018).

La carencia de información sobre la durabilidad y las propiedades físicas de *Pinus radiata* D. Don en el altiplano puneño ha generado una subutilización de este recurso local, esto impide el aprovechamiento adecuado de la madera, que podrían ser competitivos en el mercado local y nacional. La ausencia de estudios comparativos entre albura y duramen también restringe el uso de la madera en aplicaciones (Ren et al., 2023). Este vacío en el conocimiento contribuye al uso de especies importadas, lo cual no solo afecta la sostenibilidad del manejo forestal, sino también la viabilidad económica para las comunidades locales, que podrían beneficiarse del aprovechamiento de los recursos naturales disponibles (Bravo et al., 2016).

Este estudio tiene como objetivo evaluar la durabilidad natural de la albura y el duramen de *Pinus radiata* D. Don en el altiplano puneño mediante el método de cementerio de estacas, un enfoque ampliamente utilizado para evaluar la resistencia a la degradación de maderas en condiciones reales de exposición (Ren et al., 2023). La hipótesis que guía la investigación es que el duramen presentará propiedades superiores en cuanto a resistencia a la degradación frente a la albura, lo que podría modificar la percepción actual sobre la calidad de la madera en esta región. A través de este análisis, se espera generar evidencia técnica local que respalde el uso de esta madera en aplicaciones estructurales y decorativas, promoviendo un manejo forestal más eficiente y sostenible, y contribuyendo al desarrollo económico de las comunidades altoandinas (De la Cruz et al., 2018).

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es la durabilidad natural en albura y duramen de la especie *Pinus radiata* D. Don proveniente del centro poblado Ramis frente a agentes bióticos y abióticos?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles son las propiedades físicas (contenido de humedad en equilibrio, densidad básica y contracción volumétrica) en albura y duramen de la madera *Pinus radiata* D. Don proveniente del centro poblado Ramis?
- ¿Qué grado de resistencia presenta la albura y el duramen de *Pinus radiata* D. Don frente a la degradación por agentes bióticos y abióticos, mediante el método del cementerio de estacas?

1.3 Objetivos de investigación

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la durabilidad natural en albura y duramen de la especie de *Pinus radiata* D. Don, proveniente del centro poblado Ramis, ubicado en el distrito de Taraco a través de la resistencia frente a agentes bióticos y abióticos en condiciones ambientales locales.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas en la albura y duramen de la madera *Pinus radiata* D. Don proveniente del centro poblado Ramis, en el distrito de Taraco.
- Determinar el grado de resistencia a la degradación de agentes bióticos y abióticos en albura y duramen de la madera *Pinus radiata* D. Don por el método de cementerio de estacas.

1.4 Justificación

A nivel ambiental, la albura y el duramen de la madera son dos zonas fisiológicamente diferentes en la madera del árbol vivo, lo que hace esencial evaluar su durabilidad natural en cada una de estas partes. La determinación de la clasificación de durabilidad natural de la especie *Pinus radiata* D. Don en albura y duramen permitirá establecer su empleabilidad en el medio local, ya que la madera es un importante material renovable y polivalente, ampliamente utilizado para muebles, construcción, pasta, papel, biocombustibles (Ren et al., 2023). Además, la creciente demanda de productos comerciales de la madera en la región de Puno, procedentes principalmente de la región de Madre de Dios, es por ello, la necesidad urgente de minimizar el impacto por la sobreexplotación de especies maderables comerciales que están en peligro de extinción (Jacobs et al., 2019). La evaluación de las propiedades físicas y durabilidad natural de *Pinus radiata* D. Don generará alternativas de aprovechamiento forestal maderable que contribuyan al uso sostenible de los recursos forestales (De la Cruz et al., 2018).

A nivel económico, la madera es la principal materia prima por excelencia para alcanzar una economía sostenible. *Pinus radiata* D. Don, es una especie forestales de alto valor económico (Torres et al., 2011) asimismo, es una de las principales especies forestales cultivadas a nivel mundial, estimándose cuatro millones de hectáreas implantadas (Mead, 2013), al evaluar las propiedades físicas y su durabilidad esta especie incrementará su valor en el mercado, optimizando la trazabilidad de la extracción forestal a través de plantaciones comerciales. Lo que permitirá agregar un valor al producto final y contribuirá al desarrollo económico regional.

A nivel tecnológico, la evaluación de las propiedades físicas y su durabilidad natural en albura y duramen proporcionará información clave para su adecuada empleabilidad, ya que estas características son esenciales para determinar su comportamiento para aplicaciones estructurales o decorativas (Pimentel, 2021). Además los resultados de la investigación generarán conocimiento tecnológica útil para la industria maderera, por ello, se determinará la durabilidad de la madera, que pueden ser: pruebas de campo y de laboratorio, las pruebas de campo aseguran condiciones más realistas (Plaschkies et al., 2014). Las plantaciones forestales comerciales son una estrategia eficaz para proteger la sobreexplotación a los bosques naturales, por lo que es importante, conocer la propiedades físicas y la durabilidad de la madera es crucial para fomentar la sostenibilidad (Goche et al., 2023).

En el contexto social peruano, existen diversas plantaciones de *Pinus radiata* y otras especies de pino introducidas al país a través de semillas y se han propagado a lo largo de la cordillera peruana. Las comunidades que han iniciado la gestión de estas plantaciones de especies forestales han evidenciado mejoras en sus condiciones de vida mediante la conservación y administración sostenible de los recursos forestales (Incahuamán, 2019). El estudio de la durabilidad natural de la madera *Pinus radiata* D. Don en el centro poblado de Ramis contribuirá al desarrollo de prácticas de gestión forestal que resultan beneficiosas tanto para los productores agrícolas como para las comunidades locales, garantizando un uso responsable y sostenible de los recursos forestales. Además, la ubicación seleccionada es idónea debido al potencial desarrollo de las plantaciones de pino, la accesibilidad y la capacidad de transporte del producto forestal (Fasanando, 2023).

1.5 Formulación de hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

La especie de *Pinus radiata* D. Don presenta una buena durabilidad natural en el duramen bajo las condiciones locales para su empleabilidad en madera de decoración y estructural.

1.5.2 Hipótesis específicas

Las propiedades físicas de la madera *Pinus radiata* D. Don en duramen presentan mejor características que en albura, con un contenido de humedad 12.5 %, una densidad básica 0.50 g/cm³ contracción total de 9.8 %.

El grado de resistencia a la degradación a la intemperie de la especie *Pinus radiata* D. Don en duramen es clasificado como durable, mientras que en la albura es moderadamente resistente a la degradación de agentes bióticos y abióticos.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA O MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes internacionales

Cruz et al. (2025) evaluaron la durabilidad natural mejorada de *Pinus* en Portugal, mediante impregnación con ácido cítrico en diferentes concentraciones, en un estudio de 12 meses. Las muestras tratadas mostraron una mejor retención de densidad (4.3 % a 2.6 %) y una menor pérdida de dureza (36.3 % a 8.8 %) en comparación con las no tratadas, lo que evidencia que el ácido cítrico es una alternativa eficaz y ecológica para mejorar la durabilidad y estabilidad dimensional de la madera expuesta a condiciones exteriores.

Kacmaz et al. (2024) realizaron investigación sobre la durabilidad de *Pinus sylvestris* y *Quercus petraea* expuestas al ambiente exterior durante 12 meses. Se emplearon muestras sin tratar (grupo control) y tratadas con taninos (100 % extracto de nogal o mezcla con taninos de pino o roble). En muestras sin tratar, la densidad disminuyó un 4.3 % en pino y un 4.7 % en roble, junto con una pérdida de dureza de 36.3 % y 28.7 % respectivamente. Las muestras tratadas conservaron mejor sus propiedades, con reducciones de densidad del 2.6 % y 1.6 %, y pérdida de dureza reducida al 8.8 % (pino) y 11.2 % (roble).

Ontiveros et al. (2024) evaluaron la degradación de la madera de siete especies comerciales: *Pinus durangensis*, *Pinus cooperi*. Se utilizaron muestras que permanecieron en contacto directo con el suelo durante un periodo de 12 meses, enterrando el 50 % de su longitud. El estudio se desarrolló siguiendo los lineamientos de la norma europea UNE 252:2025 y UNE-EN 350:2016, que establece los criterios para determinar su durabilidad. Los resultados permitieron clasificar a las maderas de *Pinus strobiformis* y *Pinus durangensis* como pertenecientes a la clase 2 de durabilidad, lo que indica un nivel de deterioro moderado.

Cacuango (2023) evaluó la durabilidad natural de la madera de *Fraxinus americana* frente a agentes bióticos y abióticos. Los ensayos mostraron que esta especie presentó una pérdida de masa menor al 4 %, clasificándola como resistente (clase 2), mientras que *Eucalyptus grandis* superó el 12 % de pérdida, siendo moderadamente resistente (clase 3). Concluyó que *Fraxinus americana* es más adecuada para usos industriales, mientras que *Eucalyptus grandis* requiere tratamiento adicional.

Uquillas (2022) evaluó la durabilidad natural de la madera aserrada de *Pinus radiata* de la empresa Aglomerados Cotopaxi frente al ataque de hongos xilófagos. Los resultados indicaron que *Pinus radiata* presenta una alta resistencia al hongo *A. niger*, con una vida útil estimada entre 15 y 25 años, lo que la hace adecuada para aplicaciones en la industria maderera.

Mena et al. (2022) identificaron a los hongos xilófagos, especialmente los de pudrición blanca y parda, como los principales agentes bióticos que degradan la madera, afectando su resistencia mecánica. En laboratorio, se observó una pérdida de masa superior al 15 % en 90 días. La albura de especies del género *Pinus* mostró mayor susceptibilidad, con pérdidas de hasta 12 %, debido a su alto contenido de humedad (30 - 35 %), que favorece el desarrollo fúngico.

Morán (2021) demostró la durabilidad natural de la madera *Gmelina arborea* en contacto con el suelo, la investigación experimental implicó en la elaboración de 25 probetas de duramen, las cuales se estructuraron 4 parcelas, tras la finalización del trabajo en campo y de retirar todas las probetas, se clasificó la durabilidad natural según a la pérdida de peso, para lo cual la madera duramen de *Gmelina arborea* tuvo una pérdida de peso de 3.28 %, por lo cual tiene una clasificación como resistente.

Vega et al. (2019) evaluaron las características físicas de *Pinus sp.* en el distrito de Pedro Juan Caballero, utilizando seis árboles de 25 años seleccionados aleatoriamente. Se determinó una densidad básica promedio de 0.625 g/cm³ y un contenido de humedad de 70.3 %. Las contracciones tangencial, radial, longitudinal y volumétrica fueron de 6.41 %, 5.99 %, 0.51 % y 12.5 %, respectivamente. La madera se clasificó como pesada y con buena trabajabilidad.

González et al. (2015) destacan que la porosidad y la densidad básica son factores determinantes en la penetración y actividad de agentes xilófagos, ya que influyen en la facilidad con la que los organismos degradadores invaden la estructura de la madera, se señala que una madera con densidad promedio de 0.47 g/cm³ puede presentar un riesgo moderado de ataque biológico. Estos factores combinados afectan directamente la durabilidad natural de la madera y su comportamiento frente a la degradación en ambientes expuestos.

Evans et al. (2008) han señalado que condiciones ambientales como la altitud elevada, bajas temperaturas y baja humedad relativa pueden limitar significativamente la actividad de hongos e insectos, incrementando la durabilidad efectiva de la madera, incluso cuando la densidad no es óptima.

Simpson (1998) estudio el comportamiento higroscópico de la madera y establecieron que los hongos de pudrición solo pueden desarrollarse cuando la madera alcanza un contenido de humedad superior al 20 %–30 %, umbral conocido como el punto de saturación de la fibra (PSF). Por debajo de este valor, la madera se considera inhóspita para la actividad fúngica, lo que reduce significativamente su vulnerabilidad a la degradación biológica.

Forest Products Laboratory (2010) indica que la madera debe superar el 20 % de humedad para activar el desarrollo de hongos xilófagos, lo que incrementa el riesgo de degradación biológica. Existe una relación directa entre la absorción de humedad, la contracción dimensional y el deterioro estructural. Al ganar o perder agua, la madera puede presentar fisuras que facilitan el ingreso de agentes degradadores.

Siau (1995) realizó una evaluación de durabilidad natural de dos especies forestales, los resultados detallan un porcentaje de peso superior a 36 % para las dos especies forestales, interpretando, que son maderables con una clasificación “C” y con un grado de resistencia “moderadamente resistente” de las especies de *Eucalyptus*. En cuanto a la densidad básica y resistencia no presentan ninguna correlación alguna.

La FAO (1995) establece que la contracción volumétrica puede clasificarse como baja (5 - 10 %), media (10 - 15 %) y alta (>15 %), lo cual sirve como referencia para evaluar la estabilidad dimensional de especies como el *Pinus sp.* De manera similar, Hernández et al. (2014) ubican los valores de contracción entre 5 % y 10 % como indicativos de una estabilidad baja a media, en estudios de especies tropicales.

Según IAWA (1989) indica que las propiedades físicas conforme a las Normas Técnicas Peruanas. Los resultados indican que la densidad básica y contracción volumétrica promedio de *Miconia amazónica* son (0.57 g/cm³ y 12.73 %), mientras *Erythrina ulei*, caracterizada por una muy baja densidad (0.29 g/cm³) y presenta una contracción volumétrica baja (8.12 %), las maderas de ambas exhiben una notable estabilidad.

Panshin y de Zeeuw (1980) precisan que la densidad básica promedio en coníferas suele oscilar entre 0.40 y 0.70 g/cm³, donde valores inferiores a 0.40 se consideran de muy baja densidad, asociados a alta porosidad y mayor vulnerabilidad a hongos e insectos.

Chudnoff (1984) señala que una densidad entre 0.40 y 0.55 g/cm³ corresponde a madera de baja a media densidad, con resistencia moderada frente a agentes bióticos, mientras que densidades mayores a 0.56 g/cm³ se asocian a mayor durabilidad y resistencia estructural.

2.2 Antecedentes nacionales

Forestal Pama (2025) reporta que la madera de *Pinus radiata* presenta una baja durabilidad natural frente al ataque de hongos e insectos xilófagos, con una vida útil estimada entre 2 y 2.5 años cuando se encuentra en contacto directo con el suelo, el estudio se realizó en condiciones templadas húmedas, con alta humedad relativa y presencia continua de agentes bióticos.

Paitán (2024) evaluó la durabilidad natural de la madera de albura y duramen de *Miconia sp.* en un ensayo tipo cementerio de estacas en Satipo (Junín, Perú), exponiendo las muestras durante 197 días para determinar el deterioro causado por hongos e insectos. Los resultados, clasificados por grado de ataque, mostraron que en la base del fuste el 19.4 % de las probetas presentaron ataque leve (grado 1), el 52.8 % ataque moderado (grado 2) y el 25.0 % ataque severo (grado 3).

Sigala et al. (2023) señalan que *Pinus radiata* D. Don presenta un rápido crecimiento, con incrementos de hasta 25 m³/ha/año y buena adaptabilidad. Sin embargo, advierten que no se ha evaluado adecuadamente su resistencia a hongos, termitas y factores climáticos en zonas altoandinas, como aquellas por encima de los 3500 m.s.n.m. Esta ausencia de información técnica limita su aplicación en proyectos forestales sostenibles e industrias que requieren maderas naturalmente durables.

Vásquez y Silva (2023) evaluaron las propiedades físico mecánicas de la madera de *Pinus radiata* D. Don en Santa Clara (Cajamarca), bajo condiciones similares a las zonas altoandinas de Puno. En un análisis de 40 probetas, encontraron un contenido de humedad de 12.75 %, una densidad básica promedio de 0.50 g/cm³, concluyeron que, con un diseño estructural adecuado, esta madera puede emplearse en elementos como pilares, correas, armaduras y tijerales.

Goche et al. (2023) señalan que en Perú persiste una carencia de información técnica sobre la durabilidad natural de especies como *Pinus radiata*. Su investigación enfatiza que, para optimizar el rendimiento de las plantaciones comerciales y reducir la dependencia de especies sobreexplotadas, es crucial estudiar las propiedades físicas y la resistencia a la descomposición biológica de especies introducidas.

Vásquez (2023) reportó densidades básicas de 0.50 g/cm³ y 0.34 g/cm³, respectivamente para *Pinus radiata* D. Don. Estas diferencias reflejan la gran variabilidad de esta propiedad según la zona geográfica, el manejo forestal y la edad, además confirma la clasificación de esta madera como de densidad media (categoría C), recomendando su uso principalmente en aplicaciones no estructurales.

Osis (2022) reportó una densidad básica de 0.57 g/cm³ para la madera de *Pinus radiata* D. Don, ubicándola en un rango medio alto dentro de la especie. Esta propiedad es fundamental para estimar su resistencia mecánica y su durabilidad natural frente a agentes degradantes, aunque el autor advierte que estos valores pueden variar según las condiciones ambientales y altitudinales del sitio de crecimiento.

Cóndor y Pardo (2021) registraron una densidad básica de 0.46 g/cm³ en *Pinus radiata* D. Don de 26 años de edad, un valor inferior al reportado en otros estudios. Los autores atribuyen esta variación a factores como la edad del árbol y las condiciones específicas de crecimiento, lo que resalta la necesidad de evaluaciones locales para una caracterización precisa de la especie.

González y Pérez (2019) identificaron que la humedad en la madera puede variar significativamente debido a factores ambientales como la temperatura y la humedad relativa. En contextos con altitud elevada y baja humedad ambiental, como zonas altoandinas, la madera tiende a estabilizarse en niveles inferiores al 15 %, clasificándola como “seca” según normas higroscópicas.

De la Cruz et al. (2018) investigaron la durabilidad natural bajo la influencia de agentes bióticos y abióticos, considerando la durabilidad en microcosmos terrestres como la pérdida de masa y de módulo de elasticidad dinámica. Los hallazgos, de acuerdo con la Norma Europea 350-1, categorizan la madera en tres categorías: moderadamente durable (*Juniperus deppeana*, *P. cooperi* y *P. durangensis*), poco durable (*P. teocote*) y no durable (*P. strobiformis*, *Quercus sideroxyla* y *Arbutus spp.*).

Claros et al. (2017) evaluaron la durabilidad natural de las especies *Pinus oocarpa* y *Pinus tecunumanii* en plantaciones ubicadas en San Alberto, Oxapampa (Pasco), empleando ensayos con hongos xilófagos de pudrición blanca (*Pycnoporus sanguineus* y *Schizophyllum commune*) bajo los criterios de la norma ASTM D 2017. Los resultados indicaron que *Pinus oocarpa* presentó una resistencia alta (clase B), mientras que *Pinus tecunumanii* fue clasificada como moderadamente resistente (clase C). Asimismo, se encontró que el contenido de extractivos solubles en alcohol benceno osciló entre 4.09 % y 6.64 %, influyendo en el grado de deterioro. Estos hallazgos, aunque centrados en otras especies, aportan un marco comparativo útil para evaluar el comportamiento de *Pinus radiata* frente a agentes degradantes en condiciones similares de la región andina peruana.

De Avila et al. (2016) establecieron que la degradación superficial de la madera de exteriores es atribuible a una combinación de factores meteorológicos intrínsecos al entorno de exposición y a la colonización de organismos xilófagos. La monitorización de las variaciones en el material se llevó a cabo mediante estimaciones cromáticas hasta completar un período de 360 días de exposición. Se constató que las muestras de madera *Corymbia citriodora* exhibieron una mayor resistencia al deterioro en comparación con las muestras de *Eucalyptus tereticornis*.

Medina Sánchez (2013) señala que la contracción volumétrica entre 5 % y 10 % indica una estabilidad dimensional de baja a media, lo cual es relevante para maderas expuestas a cambios de humedad. Valores inferiores al 5 % reflejan buena estabilidad, mientras que contracciones elevadas aumentan el riesgo de deformaciones.

Castro y Márquez (2003) evaluaron de la madera de pino caribe (*Pinus caribaea*), melina (*Gmelina anborea*) y teca (*Tectona grandys*). Los agentes primordiales que deterioran la madera incluyen: termitas, hongos de pudrición blanda de tipo I y bacterias de tipo túnel (tuneling bacteriano), cuyo ataque combinado configura un patrón de degradación de estas especies de madera en esta región del país.

2.3 Antecedentes locales

Chura y Muchica (2024) evaluaron la factibilidad del uso estructural de la madera de *Pinus radiata* para la construcción de tijerales en viviendas del centro poblado Trapiche Moho, región Puno. El estudio, conforme a normas técnicas peruanas, empleó cinco árboles y 36 vigas ensayadas en condiciones reales. Los resultados revelaron una densidad básica de 0.45 g/cm^3 , humedad del 13.25 %. Si bien la madera no alcanzó los valores mínimos estructurales del grupo C según la norma RNE E.010, con un buen diseño puede emplearse en tijerales para viviendas unifamiliares.

Díaz et al. (2019) estudiaron las propiedades físicas de la madera de *Pinus sp.* en San Gabán, Puno. En donde presentó una densidad básica de 0.47 g/cm^3 y un contenido de humedad en equilibrio 43.5 %, mientras que *Erythrina* tuvo una densidad menor (0.29 g/cm^3). Estos valores permiten evaluar su estabilidad, durabilidad y posible uso industrial, contribuyendo al aprovechamiento sostenible de estas especies locales.

Riesco y Díaz (2007) llevaron a cabo un estudio sobre la densidad, contracción, higroscopicidad y punto de saturación de la pared celular en la madera de ejemplares jóvenes de tres especies relevantes en la producción maderera. *Pinus pinaster*, *Pinus syvestris* y *Pinus radiata*. Las características preocupantes a la estabilidad dimensional fueron análogas en la madera joven examinada y en la madera de pies adultos, siendo la madera joven la que demostró mayor estabilidad en comparación con la madera adulta. La heterogeneidad entre las zonas del fuste y entre los individuos se evidencia en las variables densidad y peso específico, incluso en el escenario de árboles seleccionados en un mismo rodal y estación.

Alvis et al. (2017) llevaron a cabo una investigación sobre las características físico-mecánicas de la madera perteneciente a la especie (*Ocotea brevipetiolata*), con el propósito de establecer su relevancia a partir de su calidad y utilidad en la producción de diversos productos. Para ello, se realizaron a cabo pruebas de propiedades físicas como densidad y contracción, con una densidad básica de 0.54 g/cm^3 , considerada como una madera de peso medio.

2.4 Marco referencial

2.4.1 La madera

La madera se destaca como el material más noble, renovable, saludable y respetuoso con el medio ambiente, proporcionando una notable resistencia y estética (Jankunas, 2020). La madera (derivado del latín materia), la xilema (derivado del griego lignificarse) o el leño (derivado del latín lignum) constituye la parte sólida de los árboles que se encuentra por debajo de la corteza. Se refiere al compendio de componentes lignificados, conocidos también como tráqueas o traqueidas (Giménez et al., 2005).

La madera se caracteriza por ser una sustancia higroscópica, experimenta una pérdida y adquisición de humedad como consecuencia de las variaciones atmosféricas de temperatura y humedad. Además, es susceptible al ataque de hongos y ciertos microorganismos de insectos, y posee propiedades combustibles, particularmente en condiciones de sequía (Arroyo, 1983). La madera se distingue por sus características anisotrópicas, higroscópicas y polares (Vignote y Jiménez, 1996) y está constituida por células de sostén, almacenamiento y conductores y desempeñan diversas funciones (Nutsch, 2000).

Actualmente, la utilización de la madera puede ser de crucial relevancia debido a su uso relativamente reducido de energía para su producción, lo que contribuye significativamente a la preservación del medio ambiente. No obstante, para garantizar un uso adecuado y adecuado, es imprescindible familiarizarse con sus propiedades intrínsecas (Cruz, 2011).

2.4.2 *Pinus radiata* D. Don

Pinus radiata, una especie originaria de Australia, se ha utilizado ampliamente en reforestación debido a su rápido crecimiento y a su versatilidad en diversas aplicaciones (Rodríguez y Santillana, 2021) pero se ha plantado ampliamente en otros lugares (Freeman et al., 2022) *Pinus radiata* D. Don, con una altura de 60 metros y un diámetro de 100 cm en la altura de pecho (DAP), posee un tronco cónico y recto, una corteza agrietada, una copa alargada y cónica, Se necesita un suelo arenoso franco, con un pH neutro a moderadamente ácido, con alta demanda en fósforo, boro y zinc, además de su fácil conservación. (Taype, 2020).

Una característica sobresaliente es su versatilidad, con aplicaciones tanto estructurales como ornamentales, incluyendo marcos, paredes, vigas, chapas y tableros. En años recientes, la utilización de estas plantaciones como depósitos de carbono, así como para la generación de biomasa, ha incrementado sus ventajas significativamente. (Merino et al., 2003).

Fernández et al. (2011) determinaron las propiedades mecánicas del *Pinus radiata*, la densidad (500 kg/m³), resistencia a flexión estática (874 kg/cm²), módulo de elasticidad (90000 kg/cm²), resistencia a la compresión (434 kg/cm²), en la tabla 1 se aprecia la posición taxonómica del *Pinus radiata* D. Don.

Tabla 1

Posición taxonómica del Pinus radiata D. Don

Categoría taxonómica	
Reino	Vegetal
División	Pinopyta
Clase	Pinopsida
Orden	Pinales
Familia	Pinácea
Género	Pinus
Especie	<i>Pinus radiata</i> D. Don

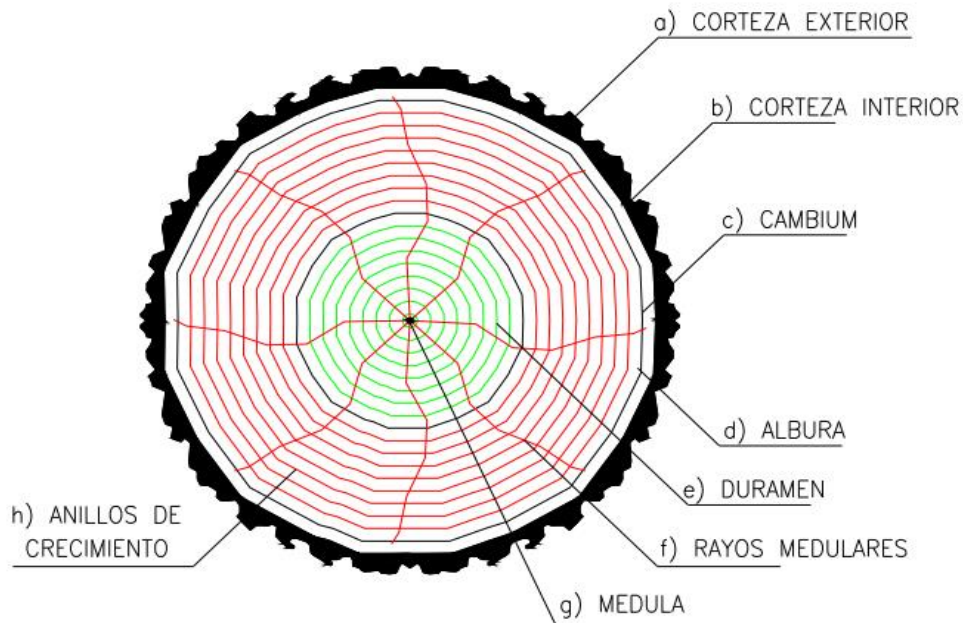
Fuente: Rodríguez y Santillana (2021)

2.4.3 Albura y duramen

La albura constituye la parte activa del xilema, que en el árbol vivo, es por ello que alberga células vivas y material de reserva (IAWA, 1964), 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 (Ferreira y Guillen, 2022). Las normas IRAM (1997) definen a la albura como la porción naturalmente más susceptible a la alteración total o parcial cuando el árbol ha sido abatido. Además, la albura 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, asimismo en la figura 1 se aprecia de la sección transversal cómo se distribuye la albura.

Figura 1

Sección transversal del árbol de duramen y albura



Fuente: FONTEC (2003).

El duramen, un leño biológicamente inactivo que desempeña funciones de sostén en la región del tronco entre la médula y la albura, suele presentar una estructura más compacta y una coloración más oscura en comparación con la albura (Giménez et al., 2005), el duramen es el responsable del sostén del vegetal; se trata de un tejido fisiológicamente inactivo, es decir no realiza la conducción de los líquidos y minerales por el cuerpo vegetal (Ferreira & Guillen, 2022), IAWA (1964) lo define como las capas internas de la madera, carentes de células vivas y en las que el material de reserva (almidón) ha sido removido o construido a partir de las sustancias del duramen. Además, la causa fisiológica de la formación del duramen se atribuye al proceso de envejecimiento del árbol, en la figura 1 se observa la parte del duramen delineado con color verde en la parte céntrica.

2.4.4 Durabilidad natural de la madera

La durabilidad natural de la madera se refiere a la capacidad inherente de la madera para resistir la descomposición causada por agentes bióticos, como hongos, insectos y bacterias, así como por agentes abióticos, tales como la radiación solar, la humedad y las variaciones de temperatura (Ontiveros et al., 2024; Ren et al., 2023).

Serna et al. (2020) afirman que la durabilidad natural se refiere a la capacidad de la madera para resistir la acción de agentes degradantes químicos, físicos y biológicos sin ser sometida a tratamiento, en función de su composición química, permeabilidad, contenido de humedad, temperatura y las condiciones de uso, además Farje (2018) sostiene que la durabilidad natural de la madera es la resistencia que opone la madera a la pudrición, de manera similar Paes (2002) señala que la durabilidad natural de la madera se define como la característica inherente de la madera que le confiere la resistencia al ataque de agentes degradantes químicos, físicos y biológicos, sin la necesidad de un tratamiento externo de preservación.

Berrocal y Rojas (2007) indican que otros elementos pueden justificar la prolongada durabilidad, tales como: una reducción en el contenido de humedad, una disminución en la tasa de difusión y el bloqueo de las cavidades celulares por gomas, resinas y tálides presentes en los vasos, entre otros. Los procedimientos para la determinación de una madera incluyen el método de campo y los métodos de laboratorio.

2.4.5 Clasificación de la durabilidad natural

La clasificación de la durabilidad natural se basa en la pérdida de masa que experimenta la madera después de un periodo de exposición a agentes biodegradadores. La clasificación se detalla en la tabla 2:

Tabla 2

Clasificación de durabilidad natural de la madera

Grado	Pérdida de masa (%)	Tiempo de vida útil esperada (años)
Altamente resistente	0 -1	25
Resistente	1 - 5	15 – 25
Moderadamente resistente	5 – 10	10 – 15
Muy poco resistente	10 – 30	5 – 10
No resistente	30	5

Fuente: Findlay (1985)

- a) Altamente resistente (Clase 1): pérdida de masa: 0 – 1 %, tiempo de vida útil esperado: 25 años o más, maderas altamente resistentes que se caracterizan por una excelente capacidad para resistir la descomposición.
- b) Resistente (Clase 2): pérdida de masa de 1 – 5 %, tiempo de vida útil esperado: 15 - 25 años, maderas resistentes que ofrecen una buena durabilidad y pueden utilizarse en condiciones exteriores sin tratamiento adicional.
- c) Moderadamente resistente (Clase 3): pérdida de masa de 5 – 10 %, tiempo de vida útil esperado: 10 - 15 años, maderas con resistencia moderada a los agentes de descomposición. Son adecuadas para aplicaciones exteriores en climas secos.
- d) Poco resistente (Clase 4): pérdida de masa de 10 – 30 %, tiempo de vida útil esperado: 5 - 10 años, maderas que muestran una resistencia limitada a la descomposición y deben ser tratadas para su uso en ambientes exteriores.
- e) No resistente (Clase 5): pérdida de masa de más de 30 %, tiempo de vida útil esperado: Menos de 5 años, maderas con muy baja resistencia a la descomposición, que requieren tratamiento para su uso en exteriores. Son muy susceptibles al ataque de hongos y otros organismos biodegradadores.

2.4.6 Agentes destructores de la madera

a) Hongos xilófagos

Los hongos xilófagos son biológicamente significativos como parásitos de árboles y recicladores de material lignocelulósico en la naturaleza, además de tener relevancia económica al provocar el deterioro de productos forestales (Pinzon et al., 1982), son los agentes responsables, en gran parte, de la desintegración de la materia orgánica de la madera (Hidalgo, 2016).

Tapia (2010) concluye que los hongos de pudrición parda se concentran principalmente en la celulosa y los hidratos de carbono, dejando al final residuos de lignina de color pardo rojizo; en contraste, la pudrición blanca tiende a consumir la lignina, resultando en residuos de celulosa de tonalidad blanquecina.

b) Insectos

Farje (2018) categoriza a los insectos xilófagos como el segundo conjunto de organismos vivos que poseen enemigos naturales de la madera. La mayoría de estos agentes destructivos se ubican taxonómicamente dentro del orden de los coleópteros, con los escarabajos y los isópteros, como las termitas, como los más destacados.

2.4.7 Propiedades físicas de la madera

Las propiedades físicas de la madera comprenden la densidad, la humedad, la contracción, la expansión y el comportamiento frente a la humedad. Estas propiedades son esenciales para la calidad y la capacidad de uso de la madera en una variedad de aplicaciones. Según Pimentel (2021), la densidad de la madera guarda una correlación directa con su resistencia mecánica y su resistencia frente a la descomposición. La humedad constituye otro elemento crucial, dado que las variaciones en su contenido pueden afectar las características dimensionales (Jacobs et al., 2019).

a) Contenido de humedad en equilibrio

La humedad constituye una de las características más significativas de la madera, dado que condiciona su habilidad para absorber y liberar agua, influyendo en su estabilidad dimensional y su resistencia a la descomposición (Arroyo, 1983). La madera es un material higroscópico, implicando que puede incrementar o disminuir su nivel de humedad en respuesta a las variaciones en la humedad ambiental (Tornari et al., 2019), por lo tanto, el contenido de humedad en la madera fluctúa en función de las variaciones en las condiciones atmosféricas circundantes (Siegwolf et al., 2022).

El nivel de humedad de la madera se ve afectado por factores climáticos, geográficos y de la especie, con la albura siendo más susceptible a las variaciones de humedad en comparación con el duramen, que se caracteriza por su menor contenido de agua (Morrell, 2021). Además, la humedad relativa tiene un impacto significativo en el desarrollo de hongos y otros organismos biológicos, acelerando su análisis en entornos cálidos y húmedos (Silva et al., 2020).

De acuerdo con Goche et al. (2023), las fluctuaciones de humedad y temperatura afectan directamente la tasa de degradación de las maderas de coníferas, disminuyendo su vida útil y modificando sus propiedades estructurales.

El contenido de humedad de equilibrio (EMC) de la madera se refiere al nivel de humedad que esta alcanza cuando ha estado expuesta durante un tiempo suficiente a condiciones constantes de temperatura y humedad relativa del aire, sin ganar ni perder humedad de forma significativa. Este equilibrio depende principalmente de la humedad relativa (HR) del ambiente (Simpson, 1998). Es relevante para comprender su estabilidad dimensional y susceptibilidad frente a agentes degradadores. Esto podemos observar en la tabla 3 la clasificación del CHE.

Tabla 3*Clasificación del contenido de humedad en equilibrio de la madera*

Denominación	Humedad %	Lugar de ubicación
Madera muy húmeda	80 >	Bajo cubierta en el bosque
Madera húmeda	25 – 80	Recién cortada la intemperie
Madera poco seca	20 – 25	Aire libre
Madera seca al aire	15 – 20	Bajo techo
Madera muy seca	8 -15	Interiores
Madera anhidra	0	Laboratorio

Fuente: Vizcarra (1998)

b) Densidad de la madera

Se refiere a la relación entre la masa y el volumen de un objeto, y la densidad de la madera es inferior a la del agua (1 g/cm^3), lo que le confiere la capacidad de flotar (Ruiz, 2020). La densidad de las especies maderables se constituye propiedad física altamente valiosa y frecuentemente empleada para determinar las propiedades tecnológicas de las especies (Ferreira y Guillen, 2022).

La densidad se define como la proporción entre la masa y el volumen de la madera, la cual experimenta variaciones en función de la humedad, es decir, un incremento en la densidad implica un aumento en la densidad (Fank et al., 2016), además Igartúa y Monteoliva (2009) destacan la relevancia de conocer la densidad, dado que esta es crucial para el comportamiento, adaptabilidad, modificaciones y la capacidad de uso que la madera ofrece.

La densidad básica de la madera es fundamental para establecer las aplicaciones industriales de la madera. La resistencia mecánica de la madera, tal como su resistencia a la compresión y flexión, se correlaciona directamente con su densidad. Las maderas de alta densidad tienden a ser más robustas, dimensionalmente estables y menos propensas a la evaluación biológica (Santiago et al., 2013). Además, la densidad de la madera influye en su trabajabilidad, dado que las maderas de mayor densidad pueden presentar mayor dificultad para su corte y manipulación debido a su mayor rigidez.

c) Clasificación de la densidad básica:

La densidad básica de la madera puede ser categorizada en diversas categorías tal como se aprecia en la tabla 4, en función de su valor intrínseco. Se exponen a continuación algunas categorías habituales para las maderas empleadas en el sector industrial (Vega et al., 2019), densidad reducida: se refiere a maderas de crecimiento acelerado, como el pino.

Tabla 4

Clasificación de la densidad básica de la madera

Grupo	Rango (g/cm³)	Clasificación
I	< 0.30	Muy baja (MB)
II	0.31 - 0.40	Baja (B)
III	0.41 - 0.60	Media (M)
IV	0.61 - 0.80	Alta (A)
V	0.81 >	Muy alta (MA)

Fuente: Fasanando (2023).

- Baja densidad: menor de 0.40 g/cm³ (maderas de crecimiento rápido como el pino).
- Media densidad: entre 0.40 y 0.60 g/cm³ (algunas especies de coníferas como *Pinus radiata*).
- Alta densidad: mayor de 0.60 g/cm³ (maderas duras como el roble y la teca).

d) Elementos que influyen en la densidad básica

La densidad fundamental se ve afectada por diversos factores:

- Especie del árbol: las especies arbóreas ejercen una influencia considerable en la densidad básica. Los árboles de crecimiento rápido suelen exhibir una densidad inferior en comparación con aquellos de crecimiento lento (Silva et al., 2020).
- Edad del árbol: la densidad básica de los árboles más jóvenes suele ser inferior en comparación con los árboles maduros, dado que la madera juvenil (albura) presenta una mayor proporción de agua y un contenido de lignina inferior (Morrell, 2021).

- Ubicaciones y condiciones de crecimiento: los árboles que se desarrollan bajo condiciones de estrés, tales como en suelos de baja calidad o en regiones de elevada altitud, suelen evolucionar hacia una madera de mayor densidad como mecanismo de adaptación (Hernández et al., 2022).

e) **Contracción de la madera**

La contracción se refiere a la disminución dimensional que sufre la madera debido a la variación en su contenido de humedad por debajo del punto de saturación de las fibras (Arroyo, 1983), estos ocurren en sentido radial, tangencial y longitudinal, (Santiago et al., 2013), el grado en que la madera se encoje y se hincha al cambiar el contenido de humedad es una propiedad importante que determina su idoneidad para diferentes aplicaciones (Sargent, 2019), de la misma manera (Juarez, 2019) precisa que, la madera sufre contracciones o viceversa, cuando absorbe más humedad aumenta su volumen, estas variaciones es perceptible en fibras jóvenes y en la madera suaves.

La contracción tangencial se produce cuando las dimensiones de la madera disminuyen en la dirección perpendicular a los radios del tronco, siendo esta la forma más significativa de contracción durante el secado. Esta reducción dimensional puede generar problemas estructurales en el proceso de secado, especialmente en maderas de baja densidad y alta porosidad, donde la contracción es más pronunciada. Su intensidad varía según la especie, la densidad y el nivel inicial de humedad del material (Sargent, 2019).

Por otro lado, la contracción radial ocurre a lo largo del radio del tronco, desde la médula hacia la corteza. Aunque es menos intensa que la tangencial, también puede causar deformaciones, especialmente en maderas con estructura celular irregular. Esta contracción se debe al acercamiento de las fibras conforme disminuye el contenido de humedad, y su magnitud varía dependiendo de la especie y la edad del árbol (Santiago et al., 2013).

La contracción longitudinal se refiere a la disminución en la longitud de la madera; Sin embargo, esta modalidad de contracción es considerablemente menor en comparación con las contracciones tangenciales y radiales. Las fibras de la madera se encuentran predominantemente orientadas en la dirección longitudinal, lo que les confiere una estabilidad considerable en esta orientación. El valor de la contracción longitudinal suele oscilar entre 0,1% y 0,3%, en función de la especie, y su relevancia disminuye en la mayoría de las aplicaciones (Sargent, 2019).

Tabla 5*Clasificación de la contracción volumétrica de la madera*

Grado	Rango (%)	Clasificación
I	< 7	Muy baja (MB)
II	7.1 - 10	Baja (B)
III	10.1 – 13	Media (M)
IV	13.1 – 15	Alta (A)
V	15 >	Muy alta (MA)

Fuente: Ferreira y Guillen (2022)

La contracción volumétrica se define como la sumatoria de las contracciones tangencial, radial y longitudinal. Este valor constituye un indicador esencial de la estabilidad dimensional de la madera a lo largo del proceso de secado y en su utilización final. Las especies que exhiben una elevada contracción volumétrica suelen exhibir una mayor estabilidad y una mayor susceptibilidad a agrietarse o deformarse durante el proceso de secado. La contracción volumétrica puede presentar variaciones significativas en función del tipo de madera (Ferreira y Guillen, 2022).

f) Factores que afectan a la contracción

La contracción de la madera se ve afectada por una serie de factores, entre los que se incluyen:

- **Contenido de humedad:** la contracción más significativa de la madera se produce cuando el contenido de humedad disminuye por debajo del punto de saturación de las fibras. La madera experimenta una pérdida de humedad libre, lo que resulta en una disminución en su volumen (Tornari et al., 2019).
- **Especie:** diversas especies de madera exhiben tasas de contracción variadas, atribuibles a las fluctuaciones en sus propiedades anatómicas y la distribución de las fibras (Pimentel, 2021).
- **Condiciones de secado:** el método de secado (aire, horno, o secado en vacío) junto con las condiciones ambientales (temperatura y humedad relativa) ejercen un impacto significativo en la contracción de la madera. Un proceso de secado acelerado puede incrementar la probabilidad de deformaciones, tales como el agrietamiento (Silva et al., 2020).

- Edad y parte del árbol: la madera proveniente de los anillos de crecimiento más antiguos y del duramen suelen presentar una tasa de contracción inferior en comparación con la albura, que presenta una mayor sensibilidad a las variaciones de humedad (Hernández et al., 2022).

2.4.8 Método de cementerio de estacas

El método de cementerio de estacas es una técnica comúnmente utilizada para evaluar la durabilidad natural de la madera frente a la degradación biológica y abiótica en condiciones de campo. Este método consiste en enterrar estacas de madera en un terreno específico (Vargas et al., 2023). Este enfoque proporciona datos realistas sobre la resistencia de la madera frente a factores ambientales, como la humedad, la temperatura y la acción de organismos descomponedores.

Vargas et al. (2023) indican que el método de cementerio de estacas es especialmente útil en condiciones locales, como las que se presentan en la región de Puno, donde las fluctuaciones de temperatura y humedad pueden afectar significativamente la durabilidad de la madera. Al aplicar este método, se puede obtener información valiosa sobre el comportamiento de especies como *Pinus radiata* en el contexto local y sus posibles aplicaciones en la industria maderera.

2.4.9 Características de la madera

La madera es un material orgánico formado por componentes lignificados de los árboles y se percibe como una estructura compacta compuesta por células que desempeñan tres roles: resistencia mecánica, transporte del agua y almacenamiento y distribución de sustancias de reserva (Santiago et al., 2013).

a) Textura

La textura se refiere al tamaño y el espacio relativo de las células. Las maderas con textura suave poseen células de escasa espacialidad, mientras que las maderas con textura áspera exhiben células de dimensiones relativamente amplias.

Además, la textura se utiliza para caracterizar la distribución celular en relación con los anillos de crecimiento anuales. La diferencia entre la madera temprana y la tardía no es significativa, la madera presenta una textura lisa, mientras que la madera que exhibe contrasta significativos entre los diversos anillos de crecimiento exhibe una textura desigual (Ceballos, 2013).

b) Secado de la madera

El proceso de secado de la madera consiste en la eliminación del agua libre y una proporción significativa de la humedad absorbida por las paredes celulares. A medida que la madera se seca, el agua se desplaza de las cavidades celulares hasta que únicamente las paredes celulares conserven humedad. (Ceballos, 2013).

2.4.10 Factores ambientales

Los factores ambientales son determinantes para la durabilidad de la madera, ya que las condiciones climáticas y los organismos bióticos (como hongos y bacterias) interactúan de forma compleja para influir en el proceso de descomposición. Según Plaschkies et al. (2014), la radiación ultravioleta (UV) es uno de los principales factores abióticos que contribuyen a la degradación de la madera en condiciones de exposición al aire libre, ya que induce la descomposición de la lignina y afecta a la estabilidad estructural de la madera.

La presencia de humedad también desempeña un papel crítico, ya que favorece el crecimiento de los microorganismos responsables de la descomposición. Los hongos de pudrición blanca y blanda son agentes comunes de pudrición que pueden reducir significativamente la vida útil de la madera (Serna et al., 2020).

El clima de la región altiplánica de Puno fluctúa entre frío y moderado; se distingue por tres etapas: la etapa de escasez pluvial (junio a septiembre), la etapa de precipitaciones (diciembre a marzo). De los 3812 hasta los 4000 m. s. n. m., el clima es frígido y a altitudes superiores se torna extremadamente frígido y glacial. La temperatura máxima se sitúa en 22 °C y el mínimo se sitúa en 1.4 °C, asimismo Rivera (2018) sostiene que la periodicidad y la intensidad de las precipitaciones han experimentado una modificación, y en la actualidad se evidencia un comportamiento anómalo.

Puno es un departamento caracterizado por una orografía y condiciones climáticas complejas, albergando 18 tipos de climas en el circunlacustre del lago Titicaca. La temperatura atmosférica y las precipitaciones se ven afectadas y moderadas por la influencia del lago, B(o,i)C', con condiciones de humedad deficientes durante los meses de otoño e invierno. La prevalencia del departamento se manifiesta en las provincias de Melgar, norte de Azángaro, sur de Carabaya, sureste de Sandia y Huancané (SENAMHI, 2021).

2.4.11 Normas Técnicas Peruanas (NTP)

NTP 251.012:2015: esta normativa técnica estipula los protocolos a seguir en la ejecución de pruebas para cuantificar la contracción radial, tangencial, longitudinal y volumétrica de la madera.

NTP 251.011:2014: desarrolla los procedimientos a implementar para la realización del ensayo de densidad de la madera bajo condiciones variadas de contenido de humedad.

NTP 251.010:2014: define los procedimientos de evaluación para la determinación del contenido de humedad (CH) en la madera.

2.4.12 Análisis estadístico

- a) La prueba de normalidad se emplea con el objetivo de corroborar si los datos de una muestra se adhieren a una distribución normal (gaussiana). La normalidad de la información es esencial para numerosas evaluaciones estadísticas, dado que diversas técnicas inferenciales, como la prueba t, postulan que los datos se originan de una distribución normal. En caso de que los datos no se adhirieran a una distribución normal, es imperativo emplear técnicas estadísticas no paramétricas, tal como la prueba de Mann-Whitney U (Razali et al, 2011). Se pueden realizar diversos ensayos de normalidad, tales como la prueba de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov. Estas evaluaciones posibilitan la evaluación de la hipótesis nula para datos de distribución normal.
- b) La prueba paramétrica de Student se emplea para contrastar las medias de dos grupos independientes o relacionados, con el objetivo de establecer si existe una diferencia estadísticamente significativa entre ellos. Esta evaluación resulta apropiada cuando los datos se distribuyen de manera normal y se comparan las medias de dos muestras (Student, 1908).

Existen dos tipos principales de pruebas t:

- Prueba t para muestras independientes: compara las medias de dos grupos independientes.
- Prueba t para muestras relacionadas: compara las medias de dos grupos emparejados o dependientes (pres test y post test de un tratamiento).

La hipótesis nula de la prueba t es que no hay diferencia en las medias de los dos grupos.

c) La prueba de Mann-Whitney U constituye una prueba estadística no paramétrica empleada para contrastar dos muestras independientes en situaciones donde los datos no se adhieren a una distribución normal. Esta evaluación se utiliza cuando se busca comparar las medianas de dos conjuntos, en vez de sus respectivos medios. La evaluación Mann Whitney U se presenta como una opción alternativa a la prueba t de Student para muestras independientes, particularmente cuando los datos no satisfacen la suposición de normalidad (Mann y Whitney, 1947). El cálculo del estadístico U se realiza mediante la ordenación de las posiciones de los datos en ambas muestras. En caso de que el valor de U sea reducido, esto indica una discrepancia significativa entre los grupos. Esta evaluación no exige que los datos se adhieran a una distribución normal, lo que la convierte en una herramienta eficaz para datos ordinales o de rango.

CAPÍTULO III

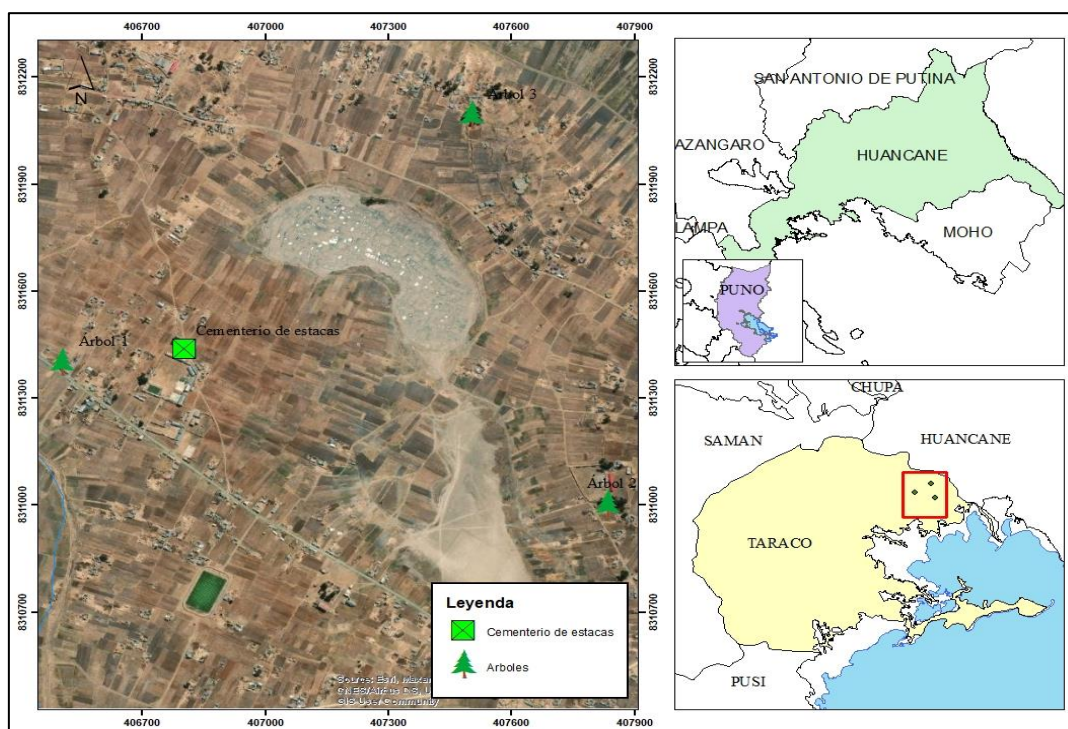
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ámbito de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el centro poblado de Ramis, ubicado en el distrito de Taraco, provincia de Huancané, en el departamento de Puno. Esta localidad se encuentra dentro de la región altiplánica andina, a una altitud aproximada de 3826 m.s.n.m., en proximidad al lago Titicaca. Las coordenadas geográficas específicas se muestran en la figura 2, Esta zona presenta condiciones climáticas frías y secas durante, lo que la convierte en un entorno representativo para evaluar la madera.

Figura 2

Mapa de ubicación de la investigación



Fuente: elaboración propia (2025).

3.2 Aspectos climáticos del ámbito de estudio

El ensayo de durabilidad se llevó a cabo en el centro poblado de Ramis, ubicado en el distrito de Taraco. En la tabla 6 se presentan las coordenadas geográficas del área de estudio en formato UTM.

Tabla 6*Coordenadas UTM de los árboles de pino*

N°	descripción	Coordenadas este	Coordenada norte
1	Árbol 1	406505.00 m E	8311405.00 m S
2	Árbol 2	407835.00 m E	8311008.00 m S
3	Árbol 3	407502.00 m E	8312097.00 m S

Fuente: elaboración propia (2025).

Esta zona se caracteriza por una humedad relativa promedio anual del 54 %, con valores que oscilan entre 42 % y 47 % durante la estación seca (junio a octubre), y que pueden alcanzar entre 60 % y 65 % en sectores cercanos al lago Titicaca. La temperatura promedio anual registrada en el área es de 8.3 °C, lo que refleja un clima frío típico de los Andes del sur del Perú.

3.3 Tipo y diseño de investigación

La investigación es experimental de tipo cuasi experimental de nivel descriptivo longitudinal y correlacional el cual permitió evaluar la durabilidad natural de la madera *Pinus radiata* D. Don, a través de la información recopilada de las probetas y valores registrados en campo (Morán, 2021).

3.4 Unidad de análisis

Para la presente investigación la unidad de análisis fue centrado en evaluar la madera como: durabilidad natural y propiedades físicas de la especie de *Pinus radiata* D. Don proveniente del centro poblado Ramis.

3.5 Población y muestra

La población fue las especies de *Pinus radiata* D. Don provenientes del centro poblado Ramis, en donde se empleó la muestra no probabilística de tres árboles de *Pinus radiata* D. Don con un total de 240 probetas de madera, se efectuó ensayos para determinar las propiedades físicas y los grados de pérdida de masa en campo.

3.6 Materiales y equipos

Materiales de campo: motosierra Husqwarna 125 cm³, sierra circular Bosh, disco de corte, flexómetro de 5m Truper, vernier con escala en mm, combo de 2 kg, barreta de punta plana, cuaderno de campo, cámara fotográfica, marcador, arnés, guantes, lentes, chaleco de campo. Los equipos: Horno, balanza digital de precisión (0.01 g), GPS. Los materiales de gabinete: laptop Lenovo, libros, hojas papel bond A4, lapicero.

3.7 Extracción de la especie

Para el presente estudio se empleó tres especies del árbol de *Pinus radiata* D. Don (Pecho et al, 2005) ubicados en el centro poblado de Ramis, se empleó la madera de duramen y albura con diámetro de tronco mayor a 12” (Vasquez, 2023).

Una vez seleccionado de los árboles, se procedió al tumbado del árbol con la motosierra, las cuales se cortaron a 30 cm del suelo (Morvely et al., 2014) para la extracción de trozas se obtuvo a partir 1.50 m de la base del fuste para obtener tablones centrales y compactos; este proceso se puede apreciar en el Anexo 1.2, donde se documenta fotográficamente el tumbado del árbol durante el trabajo de campo.

3.8 Determinación de las propiedades físicas en albura y duramen de la madera

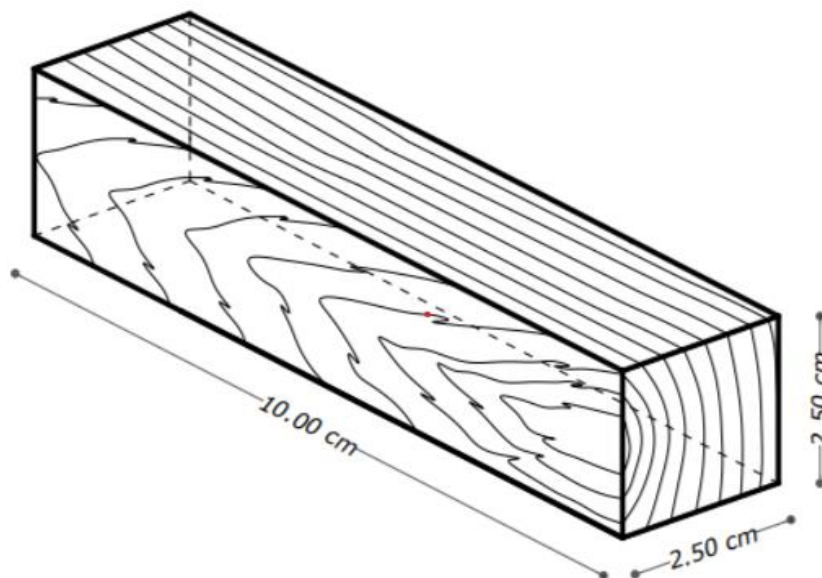
Pinus radiata D. Don

3.8.1 Preparación de probetas

Se emplearon 120 probetas de madera de *Pinus radiata* D. Don así como se aprecia en el anexo 1.8, para el ensayo de las propiedades físicas de duramen, de las cuales 60 probetas se emplearon para el ensayo distribuidas en 20 probetas por cada árbol (Céspedes y Gaitán, 2020), de igual manera para madera en albura también se emplearon 60 probetas y 20 probetas por cada árbol.

Figura 3

Dimensiones de la probeta para propiedades físicas de la madera



Nota. Fuente Céspedes y Gaitán (2020).

Para la elaboración de estas probetas se utilizó la sierra circular y cepilladora en el centro de transformación de la madera “Antón”, se procedió a la elaboración de las probetas para los ensayos físicos (Anchundia, 2021) de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM D143, en la figura 3 se presentan las dimensiones de 2.5 x 2.5 x 10 cm para los ensayos de propiedades físicas.

Se realizó la codificación de las 240 probetas para el ensayo de las propiedades físicas y durabilidad, en donde se asigna un código a cada probeta para facilitar su identificación y diferenciación. Este código se interpreta de la siguiente manera: P representa la especie del árbol, en este caso, *Pinus radiata* D. Don; 1, 2, 3 corresponde al número de árbol, es decir, si es el árbol 1, 2 o 3 de *Pinus radiata* D. Don; D indica el tipo de madera, siendo "D" para duramen (parte central de la madera) y "A" para albura (parte más externa de la madera); y finalmente, 1, 2, 3...20 es un número secuencial que identifica cada probeta (Morejón, 2018).

3.8.2 Determinación del contenido de humedad en equilibrio

Se procedió a pesar cada una de las probetas utilizando la balanza digital de precisión de 0.01g tal como se muestra en el anexo 2.1, para determinar el contenido de humedad de las probetas, se siguieron las Normas Técnicas Peruanas, utilizando probetas pre dimensionadas, se pesó la probeta con exactitud. Luego, se secó la probeta hasta una masa constante a una temperatura de 103 °C ± 2 °C (Céspedes y Gaitán, 2020). NTP 251.010, para calcular el contenido de humedad se aplicó la siguiente formula (1).

$$C.H \% = \left[\frac{Ph - Po}{Po} \right] \times 100 \quad (1)$$

Donde:

C.H. : contenido de humedad en equilibrio de la madera (%)

Ph : peso de la madera húmeda o inicial estable a la humedad del medio (g)

Po : peso de la madera anhidra (g)

El contenido de humedad en equilibrio de las 60 probetas de albura y las 60 probetas de duramen se clasificó de acuerdo con la tabla 2, que presenta las clasificaciones de la madera según su contenido de humedad en equilibrio.

3.8.3 Determinación de la densidad básica

Para la determinación de la densidad básica, las probetas se sumergieron en agua hasta su saturación para obtener su volumen húmedo o volumen en estado verde, posteriormente, se secaron durante 24 horas a temperatura ambiente y se colocaron a la estufa de secado a una temperatura de 103 °C hasta obtener su peso anhidro (Vega et al., 2019), este procedimiento se ilustra en el anexo 2.3, para calcular la densidad básica se empleó la formula (2).

$$\text{Densidad básica} = \text{PSH}/V_v \quad (2)$$

PSH : peso seco al horno (g)

V_v : volumen verde (cm^3)

Se efectuó la clasificación de la densidad básica en albura y duramen de acuerdo a las tabla 3.

3.8.4 Determinación de la contracción volumétrica de la madera

Para la determinación de la contracción tangencial, radial y longitudinal de la madera se procedió a saturar la madera, en donde se tomaron las medidas iniciales en verde, posteriormente se redujo el contenido de humedad en equilibrio del ambiente, en donde se tomaron las dimensiones finales. (Vega et al., 2019), de acuerdo a la tabla 4 se procedió a clasificar la contracción volumétrica.

a) Contracción tangencial

Utilizando un calibrador vernier analógico se tomó la medida de la dimensión inicial en milímetros de la probeta en sentido perpendicular a los radios de la madera en verde y después del secado al horno y acondicionado a la humedad en equilibrio del medio se procedió a registrar la dimensión final en milímetros (Santiago et al., 2013) empleando la formula (3).

$$C_t = \frac{D_{vt} - D_{sht}}{D_{vt}} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

C_t : contracción tangencial (%)

D_{vt} : dimensión tangencial de la probeta en verde (mm)

D_{sht} : dimensión tangencial de la probeta seca al horno (mm)

b) Contracción radial

Empleando el instrumento calibrador vernier analógico se registró la dimensión inicial de la probeta en el sentido de sus radios posterior a ello, se registró la dimensión final una vez que la probeta que haya sometido al secado al horno y acondicionado a la humedad en equilibrio del medio (Santiago et al., 2013) empleando la formula (4).

$$C_r = \frac{D_{vr} - D_{shr}}{D_{vr}} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

C_r : contracción radial (%)

D_{vr} : dimensión radial de la probeta en verde (mm)

D_{shr} : dimensión radial de la probeta seca al horno (mm)

c) Contracción Longitudinal

Empleando el instrumento calibrador vernier analógico se tomó medidas milimétricas iniciales en sentido longitudinal de la probeta en verde tal como se aprecia en el anexo 2.4, una vez que la probeta se haya sometido al secado en horno y acondicionado a la humedad en equilibrio del medio se procedió a registrar la dimensión final longitudinal en milímetros empleando la formula (5) para calcular la contracción longitudinal.

$$C_l = \frac{D_{vl} - D_{shl}}{D_{vl}} \times 100 \quad (5)$$

Donde:

C_l : contracción longitudinal (%)

D_{vl} : dimensión longitudinal de la probeta en verde (mm)

D_{shl} : dimensión longitudinal de la probeta seca al horno (mm)

d) Contracción volumétrica total

Para determinar la contracción volumétrica total se empleó la formula (6); para efectuar su cálculo se procede a sumar la contracción tangencial, contracción radial y la contracción longitudinal.

$$C_v = C_t + C_r + C_l \quad (6)$$

Donde:

C_v : contracción volumétrica total

C_r : contracción radial total

C_t : contracción tangencial total

C_l : contracción longitudinal total

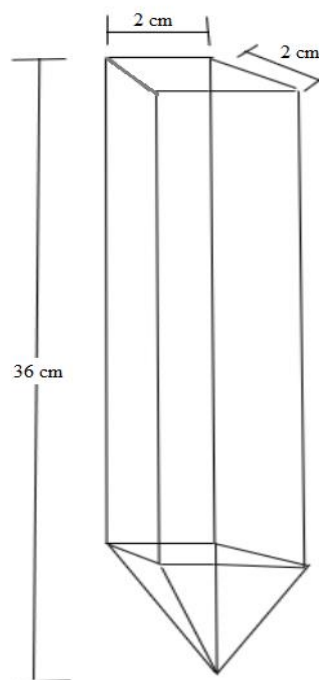
3.9 Determinación del grado de resistencia a la degradación en albura y duramen de la madera *Pinus radiata* D. Don

3.9.1 Preparación de probetas

Se seleccionaron trozas de madera de *Pinus radiata* D. Don como se muestra en el anexo 1.3, por el tipo de madera y el tamaño de las probetas, por la característica de la especie se admitieron nudos firmes y sanos (Taraborelli, 2016), se seleccionaron 60 probetas para la albura y 60 probetas para duramen, ver anexo 1.5 (Carrillo et al., 2011) cuyas dimensiones fueron 360 mm x 20mm x 20 mm, como se observa en la figura 5, con cortes longitudinales, radiales y tangenciales respectivamente (Stake et al., 2020).

Figura 4

Dimensiones de la probeta para ensayo de durabilidad natural



Fuente: Taraborelli (2016)

Además de que se estabilizaron al horno, y posterior a ello se logró estabilizar a un contenido de humedad relativa (De Avila et al., 2016). Finalmente, utilizando una balanza de precisión, se registraron los pesos iniciales de las probetas de albura y duramen de los tres árboles, sin presencia de degradación (Morán, 2021) tal como se aprecia en el anexo 2.5.

3.9.2 Establecimiento del ensayo de campo

La evaluación del grado de resistencia de la madera *Pinus radiata* D. Don, se realizó mediante un ensayo de campo conocido también como cementerio de estacas (Morán, 2021), se aprecia en el anexo 2.6 estableciendo una parcela de 50 m², en donde se dispuso de manera aleatoria, manteniendo una distancia de 90 cm entre filas y 60 cm entre columnas (Marquez et al., 2008) colocadas verticalmente al suelo y se instaló de forma que la mitad de las probetas quedaran por debajo de la línea de suelo (Stake et al., 2020).

Las probetas fueron expuestas durante 182 días (Claros et al., 2017) con controles regulares como se evidencia en el anexo 2.7 además el mantenimiento mediante cinco sesiones de limpieza manual del terreno (Morán, 2021).

3.9.3 Clasificación de la durabilidad natural

Al término del periodo de exposición, las probetas fueron extraídas del campo de ensayo, para luego llevar a la estufa a 105 °C ± 1°C por 24 horas (González y Yataco, 2016), se registró los pesos después de los ensayos de cementerio de estacas. Para calcular el porcentaje de pérdida de peso se empleó la fórmula (7) empleada por Vera (1996), además dichos valores son interpretados según la Norma ASTM 02017-62t, para la clasificación de las especies forestales en base a su durabilidad natural la cual se especifica por:

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \left[\frac{P_{si} - P_{sf}}{P_{si}} \right] \times 100 \quad (7)$$

Donde:

P_{si} : peso seco al horno inicio de ensayo

P_{sf} : peso seco al horno al finalizar el ensayo

La determinación de la clasificación de durabilidad de la madera frente a organismos como los hongos de la descomposición de la madera y los insectos, se describe en la EN 350:2016 teniendo en cuenta los ensayos de laboratorio y los ensayos de campo se han unificado (Jacobs et al., 2019).

Para el procedimiento de datos, una vez concluido el ensayo de campo, empleará la clasificación de la durabilidad de acuerdo a la tabla 6 de los rangos establecidos por Findlay (1985), en relación a la pérdida de peso de las probetas.

3.10 Análisis estadístico

3.10.1 Análisis de la estadística descriptiva

Para procesar los datos de contenido de humedad en equilibrio, densidad, contracción, pérdida de masa en albura y duramen de la madera de *Pinus radiata* D. Don se empleó el Software IBM SPSS Statistics versión 26.0 se analizó la estadística descriptiva de los datos cuantitativos como: medidas de tendencia central, medidas de dispersión y distribución de frecuencias.

3.10.2 Análisis de la estadística inferencial

Para procesar los datos cuantitativos de las medias de contenido de humedad, densidad contracción y pérdida de peso en albura y duramen de la madera de *Pinus radiata* D. Don, se aplicaron pruebas paramétricas (prueba t para muestras independientes) en caso de normalidad, y no paramétricas (Mann-Whitney U) cuando los datos no siguieron una distribución normal.

Las medias se calculan usando intervalos de confianza del 95 %. Los análisis de varianza para los cambios en dimensiones se realizaron usando modelos mixtos, tratando el sitio como un factor fijo y el árbol como un factor aleatorio. Se analizó la densidad usando un modelo mixto que considera el sitio y la posición radial como efectos fijos, y el árbol y su interacción con la posición radial como efectos aleatorios. Para determinar la diferencia entre los pesos secos iniciales y finales en albura y duramen, se usará la prueba t con un 5% de probabilidad estadística (Cacuango, 2023). Se utilizó el Software IBM SPSS Statistics versión 26.0.

a) La prueba de hipótesis

Hipótesis nula (H_0): No existe diferencia significativa de propiedades de la madera de *Pinus radiata* D. Don en albura y duramen.

Hipótesis alterna (H_1): Existe diferencia significativa de propiedades de la madera de *Pinus radiata* D. Don en albura y duramen.

b) Regla de decisión.

Si valor $p \geq 0.05$, se acepta la H_0 (no hay diferencia significativa entre las medias de albura y duramen) y se rechaza la H_1 .

Si valor $p < 0.05$, se acepta la H_1 (existe una diferencia significativa entre las medias de albura y duramen) y se rechaza la H_0 .

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Propiedades físicas de *Pinus radiata* D. Don en duramen y albura

4.1.1 Determinación del contenido de humedad en equilibrio

a) Análisis de estadísticos descriptivos

En la tabla 7 se presentan los estadísticos descriptivos del contenido de humedad en equilibrio de la madera de *Pinus radiata* D. Don, evaluados en albura y duramen de tres árboles (Primer árbol, segundo árbol y tercer árbol). Los datos completos que sirvieron de base para estos cálculos se encuentran en el Anexo 3.

Tabla 7

Estadísticos descriptivos de contenido de humedad en equilibrio

	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Varianza
Albura*	20	3.00	10.98	13.98	12.89	0.94	0.89
Duramen*	20	3.40	10.06	13.46	11.98	0.99	0.98
Albura**	20	5.10	10.74	15.84	12.51	1.28	1.65
Duramen**	20	4.65	9.31	13.96	11.86	1.36	1.86
Albura***	20	2.17	12.05	14.22	12.72	0.66	0.44
Duramen***	20	4.21	10.25	14.46	11.83	1.07	1.14

Nota: primer árbol *, segundo árbol**, tercer árbol***.

Fuente: elaboracion propia (2025).

Para el contenido de humedad en equilibrio del primer árbol presenta una media 12.89 % con una desviación estándar de 0.94 en albura, una media de 11.98 % con una desviación estándar de 0.99 en duramen, la albura de la madera *Pinus radiata* D. Don presenta mayor contenido de humedad respecto al duramen con una diferencia de 0.91 %.

Para el contenido de humedad en equilibrio del segundo árbol se tiene una media 12.50 % con una desviación estándar 1.28 en albura, una media de 11.86 % con una desviación estándar de 1.36 en duramen, el segundo árbol de la madera *Pinus*

radiata D. Don; la albura presenta mayor contenido de humedad respecto al duramen con una diferencia de 0.64%.

Para el contenido de humedad en equilibrio del tercer árbol se tiene una media 12.72 % con una desviación estándar 0.66 en albura y una media de 11.83 % con una desviación estándar de 1.07 en duramen, en el tercer árbol de la madera *Pinus radiata* D. Don; en albura presenta mayor contenido de humedad respecto al duramen con una diferencia de 0.89 %.

Los estadísticos descriptivos del contenido de humedad en equilibrio de la madera de *Pinus radiata* D. Don, tanto en albura como en duramen, se presentan en la tabla 8, con base en 60 ensayos para cada tipo de tejido. Este análisis se vincula directamente con uno de los objetivos específicos del estudio: determinar las propiedades físicas del contenido de humedad en la albura y el duramen.

Tabla 8

Estadísticos descriptivos de contenido de humedad de albura y duramen

	Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Albura	12.71	60	0.99	0.12
Duramen	11.90	60	1.14	0.14

Fuente: elaboracion propia (2025).

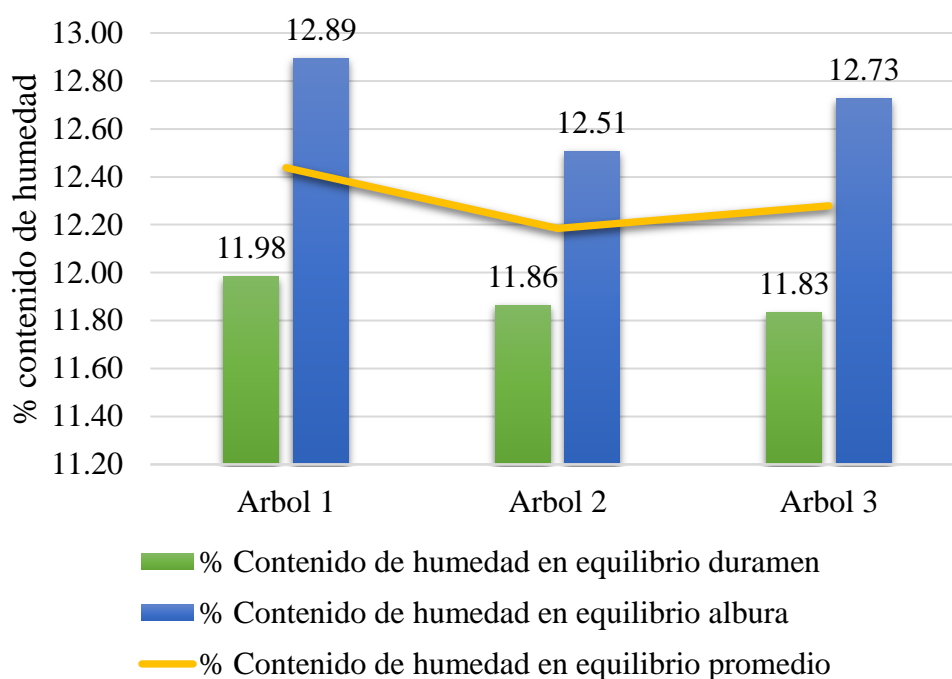
El contenido de humedad en equilibrio en *Pinus radiata* D. Don fue mayor en la albura (12.71 %) que en el duramen (11.90 %), con una diferencia de 0.81 %. La desviación estándar fue baja en ambos casos (0.99 y 1.14, respectivamente), lo que indica poca variabilidad en las mediciones. Asimismo, los errores estándar (0.12 en albura y 0.14 en duramen) reflejan una alta precisión en la estimación de las medias. Estos resultados permiten afirmar con confianza que la albura retiene más humedad que el duramen, de forma consistente y confiable dentro de la muestra analizada.

En la figura 5 la albura presenta una tendencia de mayor contenido de humedad en equilibrio que el duramen debido a su función activa en el transporte de agua y su estructura más porosa. Morrell (2021) coinciden en que esta diferencia es

fisiológicamente normal, ya que el duramen, al estar compuesto por células muertas y extractivos, retiene menos humedad bajo condiciones ambientales constantes.

Figura 5

Comparación de contenido de humedad en albura y duramen



Fuente: elaboración propia (2025).

b) Análisis de estadística inferencial

De acuerdo a la prueba de normalidad que se aprecia en el Anexo 8.1, no sigue una distribución normal, por ello, se empleó el modelo de comparación de la prueba no paramétrica de Mann Whitney U para los datos de contenido de humedad relativa de albura y duramen de la madera *Pinus radiata* D. Don.

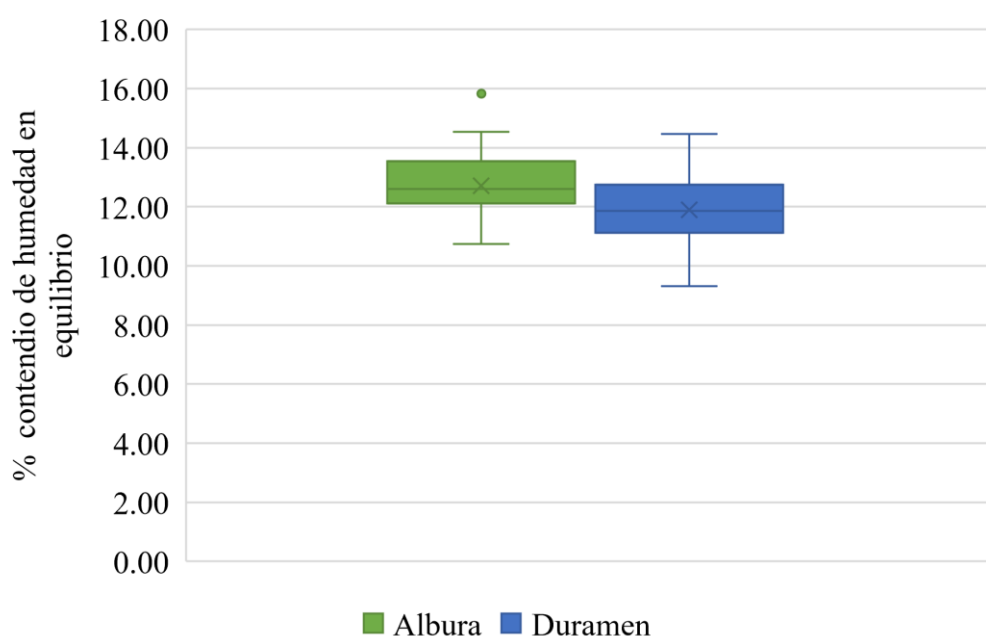
Los resultados de la prueba de significancia de Mann Whitney U del anexo 9.1 nos da un valor p menor a 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula de igualdad entre ambos grupos. Esto indica que las dos zonas de la madera presentan comportamientos diferentes en cuanto a absorción y retención de humedad, lo cual es relevante para su evaluación tecnológica y su uso estructural.

La figura 6 evidencia que la albura presenta un contenido de humedad en equilibrio promedio de 12.71 %, superior al del duramen, que alcanza 11.90 %. La dispersión de 1.06 se considera baja y adecuada para el análisis estadístico. Los

intervalos de confianza al 95 % (albura: 12.45 - 12.95 %; duramen: 11.60 - 12.19 %) no se superponen, lo que confirma una diferencia estadísticamente significativa entre ambos tejidos. Estos resultados coinciden con lo señalado por Siegwolf et al. (2022), quien indica que el contenido de humedad en la madera varía en función de las condiciones atmosféricas circundantes.

Figura 6

Dispersión del contenido de humedad de la albura y duramen

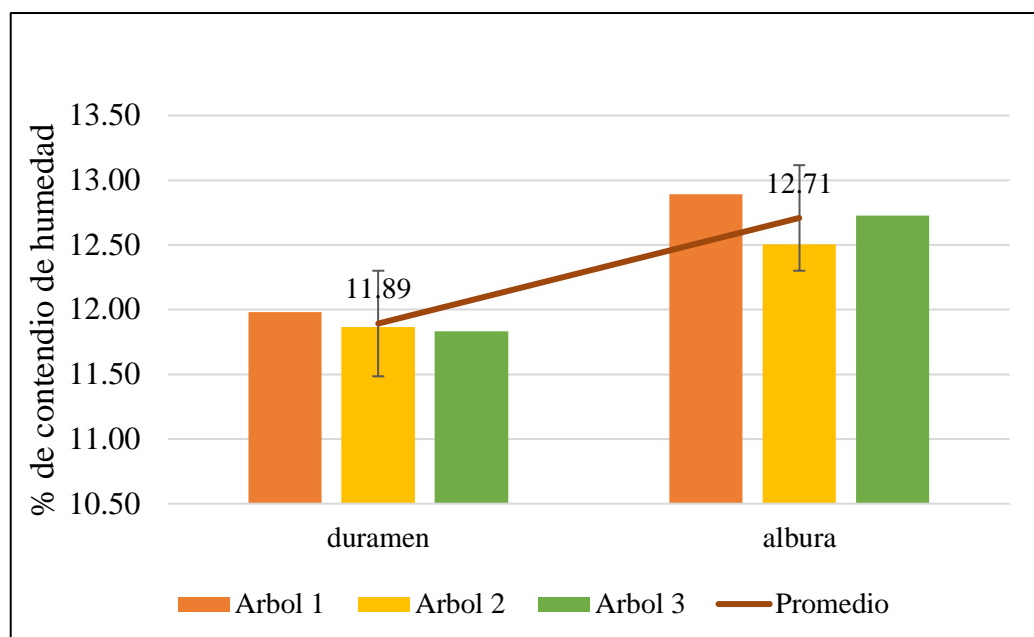


Fuente: elaboración propia (2025).

La figura 7 presenta el gráfico de barras del contenido de humedad en equilibrio, con 12.71 % en la albura y 11.89 % en el duramen, valores que se encuentran dentro del rango de madera muy seca (8 – 15 %) según la clasificación de la Tabla 2. Este resultado es consistente con la literatura existente, que indica que la humedad en la madera de especies como *Pinus radiata* D. Don se mantiene dentro de estos valores, como señalan Riesco y Díaz (2007).

Figura 7

Contenido de humedad en equilibrio en albura y duramen



Fuente: elaboracion propia (2025).

El contenido de humedad en equilibrio determinado en este estudio fue de 12.71 % para la albura y 11.89 % para el duramen, con un promedio general de 12.35 %, ubicándose dentro del rango clasificado como madera seca (10 % - 15 %), según RLC Engineering, LLC. (2019) de la tabla 9 de clasificación de contenido de humedad en equilibrio, esta condición higroscópica indica una madera seca, con bajo riesgo de colonización fúngica, y es coherente con los valores esperados para zonas de alta altitud (3826 m.s.n.m.), además Tornari et al. (2019) indica que las condiciones microclimáticas limitan la absorción de humedad desde el ambiente.

Tabla 9

Clasificación de contenido de humedad en madera

Contenido de Humedad (%)	Clasificación	Condición higroscópica
< 10	Madera muy seca	Muy estable, difícil que sea atacada
10 – 15	Madera seca	Estable, dentro de límites seguros
16 – 20	Madera semiseca	Riesgo incipiente de ataque fúngico
> 20	Madera húmeda	Alta susceptibilidad a hongos e insectos

Fuente: RLC Engineering (2019)

Desde una perspectiva funcional y de acuerdo a la tabla 9, el comportamiento entre albura y duramen, con una humedad mayor en la albura en 0.85 %, coincide con lo descrito por Cabrera y Martínez (2016), quienes reportaron valores superiores en la albura en 0.94 %, debido a su ubicación periférica y mayor actividad fisiológica. Asimismo, Gonzales y Pérez (2019) explican este fenómeno señalando que la albura posee una estructura celular más porosa y activa, lo que la hace más susceptible a absorber humedad ambiental, a diferencia del duramen, cuya mayor densidad y contenido de extractivos limitan dicha absorción.

El presente estudio obtuvo un contenido de humedad en equilibrio de 12.35 %, obteniendo una denominación de madera seca, además, la humedad inferior al 15 % resulta relevante para la durabilidad natural de la madera. Estudios internacionales como los de Simpson (1998) y Siau (1995) indican que el desarrollo de hongos de pudrición requiere que la madera supere el 20 % - 30 % de humedad, rango correspondiente al punto de saturación de la fibra (PSF). Por tanto, al encontrarse la madera por debajo de ese umbral, se mantiene en una condición inhóspita para el crecimiento de organismos xilófagos, lo que ayuda a protegerla naturalmente de la biodegradación.

Este comportamiento fue comprobado en campo, ya que durante el ensayo de cementerio no se evidenció un deterioro significativo de las estacas, lo que sugiere que la baja humedad en equilibrio actuó como una barrera pasiva frente al ataque biológico. Este resultado es consistente con lo reportado por Uquillas (2022), quien también evaluó *Pinus radiata* y concluyó que su resistencia natural frente a agentes xilófagos puede extender su vida útil hasta 25 años, especialmente cuando se encuentra en ambientes poco favorables para la proliferación fúngica, como los de clima seco y altitud elevada.

En el contexto nacional, el promedio de contenido de humedad en equilibrio obtenido (12.35 %) concuerda con lo reportado por Vásquez y Silva (2023), quienes registraron un valor similar (12.75 %) en probetas de *Pinus radiata* provenientes de zonas altoandinas con condiciones climáticas comparables. Ambos valores se encuentran dentro del rango higroscópico considerado seguro para la madera, lo que indica una baja susceptibilidad a la absorción de humedad ambiental. Esta condición reduce significativamente el riesgo de deterioro

biológico, al limitar el desarrollo de agentes bióticos como hongos e insectos xilófagos. Por tanto, se reafirma la importancia de controlar el contenido de humedad en la madera como una estrategia clave para asegurar su estabilidad dimensional y durabilidad natural en ambientes andinos.

Los contenidos de humedad obtenidos en este estudio fueron 12.71 % en la albura y 11.89 % en el duramen para la madera de *Pinus radiata* D. Don, valores significativamente menores que los reportados por Mena et al. (2022) para albura no tratada (30 % a 35 %). Esta diferencia es relevante, ya que Mena et al. evidenciaron que altos niveles de humedad en la albura favorecen pérdidas de masa superiores al 12 % por ataque fúngico. En contraste, los valores bajos observados en este trabajo sugieren una menor susceptibilidad al deterioro biológico, lo cual se refleja en la baja degradación encontrada. Además, la similitud en los contenidos de humedad entre albura y duramen indica una estabilidad higroscópica que podría contribuir a la durabilidad natural de la madera estudiada.

4.1.2 Determinación de la densidad básica

a) Estadísticos descriptivos de densidad básica

En la Tabla 10 se presentan los estadísticos descriptivos de la densidad básica de la madera de *Pinus radiata* D. Don, evaluada en albura y duramen, calculados utilizando la fórmula (2). Los resultados indican que la densidad básica en la albura del primer árbol muestra una media de 0.460 g/cm³ con una desviación estándar de 0.04, mientras que en el duramen la media es 0.482 g/cm³ con una desviación estándar de 0.051. Esto implica que la densidad en el duramen es 0.022 g/cm³ superior a la de la albura. Los valores fueron calculados a partir de los datos detallados en el Anexo 4.

La densidad básica del segundo árbol de *Pinus radiata* D. Don en albura tiene una media de 0.482 g/cm³ con una desviación estándar de 0.04, mientras en duramen presenta una media de 0.485 g/cm³ con una desviación estándar de 0.034; La densidad en albura es ligeramente inferior en 0.002 g/cm³ respecto al duramen.

Tabla 10*Estadísticos descriptivos densidad básica*

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv.	
					estándar	Varianza
Albura*	20	0.37	0.58	0.46	0.04	0.002
Duramen*	20	0.38	0.58	0.48	0.05	0.003
Albura**	20	0.41	0.55	0.48	0.04	0.002
Duramen**	20	0.42	0.53	0.48	0.03	0.001
Albura***	20	0.39	0.58	0.45	0.04	0.002
Duramen***	20	0.43	0.56	0.48	0.04	0.002

Nota: primer árbol *, segundo árbol**, tercer árbol***.

Fuente: elaboracion propia (2025).

La tabla 10 indica que la densidad básica del tercer árbol de *Pinus radiata* D. Don en albura tiene una media de 0.456 g/cm³ con una desviación estándar de 0.044 y en duramen presenta una media de 0.485 g/cm³ con una desviación estándar de 0.042; la densidad en duramen es superior en 0.029 g/cm³ respecto a la albura.

Se presenta la tabla 11 de estadísticos descriptivos densidad básica de la madera *Pinus radiata* D. Don en relación a la albura y duramen con 60 ensayos respectivamente, en referencia a unos de los objetivos específicos; determinar las propiedades físicas en albura y duramen.

Tabla 11*Estadísticos descriptivos de densidad básica en albura y duramen*

Densidad básica	Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Albura	0.46	60	0.04	0.006
Duramen	0.48	60	0.04	0.005

Fuente: elaboracion propia (2025).

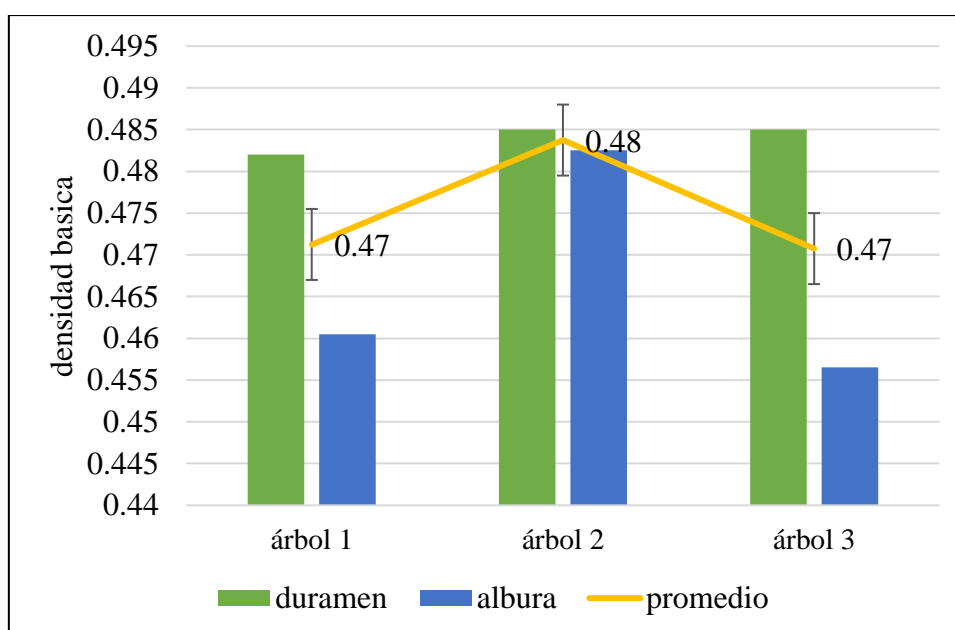
Los resultados presentados en la Tabla 11 muestran que la densidad básica de la madera de *Pinus radiata* fue ligeramente mayor en el duramen (0.48 g/cm³) que en la albura (0.46 g/cm³). La desviación estándar fue de 0.045 para la albura y 0.042

para el duramen, con errores estándar de 0.005 y 0.054 respectivamente. La diferencia estimada de 0.017 g/cm^3 entre ambas zonas indica una mayor compactación en el duramen. Este comportamiento es coherente con lo señalado por Ferreira y Guillén (2022), quienes explican que el duramen, al estar conformado por células muertas con mayor concentración de extractivos, tiende a desarrollar una estructura más densa y compacta en comparación con la albura. Esta diferencia estructural influye directamente en la resistencia mecánica y en la durabilidad natural de la madera.

La figura 8 evidencia que la densidad básica del duramen de *Pinus radiata* D. Don supera a la de la albura en 0.017 g/cm^3 , lo cual se mantiene constante en las tres muestras de fuste. Esta diferencia se relaciona con la naturaleza estructural de ambos tejidos: la albura, compuesta por células vivas que conducen agua y minerales, presenta menor compactación (IAWA, 1964; Ferreira y Guillén, 2022), mientras que el duramen, al ser fisiológicamente inactivo, acumula extractivos que aumentan su densidad y resistencia (Giménez et al., 2005). Por ello, los valores obtenidos son coherentes con la literatura que describe al duramen como la porción más densa y estructuralmente estable del tronco.

Figura 8

Comparación de densidad básica en albura y duramen



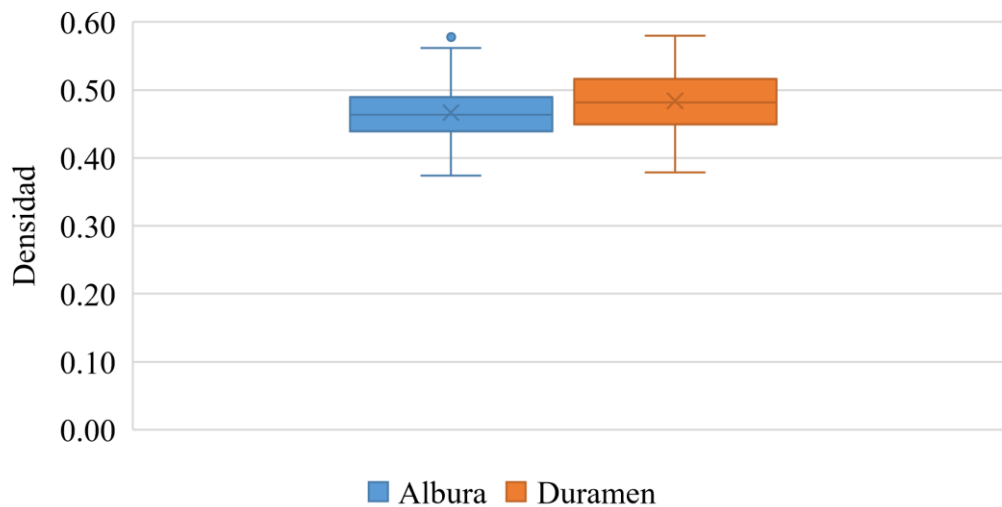
Fuente: elaboración propia (2025).

a) Análisis de estadística inferencial

De acuerdo a los resultados del Anexo 9 de la prueba de significancia, como p valor es menor que 0.05, por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula (H_0), es decir que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de densidad básica en albura y duramen, y aceptamos la hipótesis alterna (H_1). La densidad en albura 0.466 g/cm^3 es inferior a la densidad en duramen 0.484 g/cm^3 . La figura 9 evidencia que la albura presenta una densidad básica promedio de 0.46 g/cm^3 inferior al del duramen, que alcanza 0.48 g/cm^3 . La dispersión de 0.06 se considera baja y adecuada para el análisis estadístico. Este resultado coincide con lo señalado por Ferreira y Guillén (2022).

Figura 9

Dispersión de densidad en albura y duramen

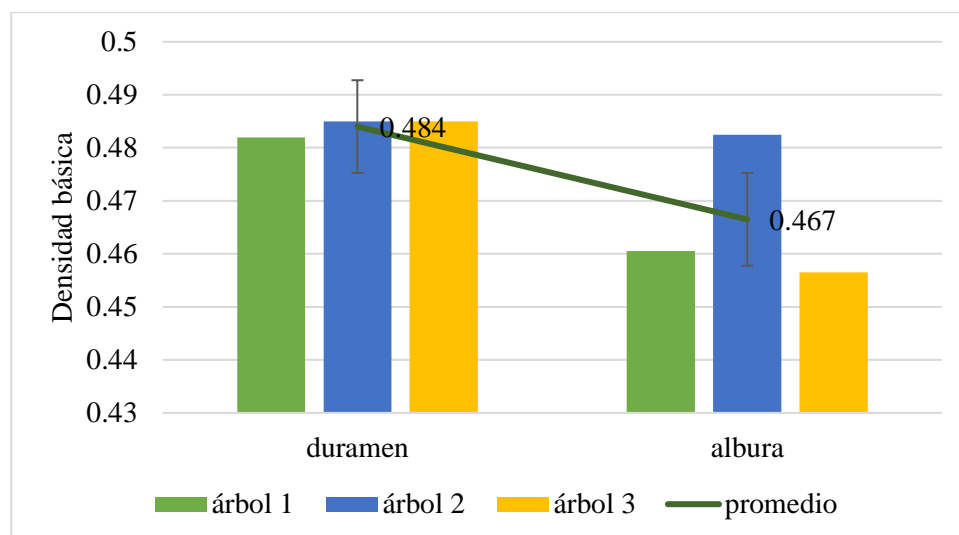


Fuente: elaboración propia (2025).

Diversos estudios han reportado variaciones en la densidad básica de *Pinus radiata* D. Don, influenciadas por factores como la edad, el sitio de crecimiento y las condiciones climáticas. En este estudio, se obtuvo una densidad básica de 0.48 g/cm^3 en el duramen y 0.46 g/cm^3 en la albura, valores similares a los reportados por Córdor y Pardo (2021) en árboles de 26 años (0.46 g/cm^3). En contraste, Osis (2022) registró un valor más alto (0.57 g/cm^3), mientras que Riesco y Díaz (2007) reportaron un valor más bajo (0.35 g/cm^3). Estas diferencias confirman que la densidad de la madera está fuertemente condicionada por el entorno ecológico y la etapa de desarrollo del árbol, Vásquez (2023) también recalca la influencia del clima, altitud y edad en las propiedades de la madera.

Figura 10

Promedio de densidad básica en duramen y albura



Fuente: elaboración propia (2025).

La figura 10 presenta un gráfico de barras que muestra una diferencia perceptible en la densidad básica entre la albura y el duramen de *Pinus radiata* D. Don, siendo esta de 0.017 g/cm³. Aunque la diferencia puede parecer reducida, es relevante desde el punto de vista técnico, ya que la densidad influye directamente en la resistencia y el comportamiento ante agentes degradantes.

La diferencia observada entre la densidad del duramen y la albura (0.017 g/cm³), aunque pequeña, es coherente con lo reportado en estudios sobre otras coníferas, donde el duramen tiende a presentar una densidad mayor debido a su mayor contenido de compuestos extractivos y menor proporción de células conductoras (Panshin & de Zeeuw, 1980). Esta diferencia puede incidir levemente en la resistencia mecánica y la durabilidad, especialmente cuando se selecciona madera para fines estructurales o expuestos.

El análisis de la densidad básica promedio de la madera de *Pinus radiata* D. Don (0.47 g/cm³) ubica esta especie dentro del rango de baja a media densidad (0.40 – 0.55 g/cm³), según la clasificación técnica propuesta por Chudnoff (1984) y Panshin y Zeeuw (1980). Esta categoría se asocia típicamente con maderas de resistencia moderada frente a ataques de agentes bióticos, debido a su mayor porosidad y facilidad de penetración por hongos e insectos (González et al., 2015).

Tabla 12*Clasificación de la densidad básica de la madera*

Densidad (g/cm³)	Clasificación	Durabilidad esperada	Comportamiento típico
< 0.40	Muy baja	Baja	Alta porosidad, vulnerable a hongos e insectos
0.40 – 0.55	Baja a media	Moderada	Moderada resistencia, permeabilidad media
0.56 – 0.70	Media a alta	Moderadamente alta	Mayor compacidad celular, menor ataque biológico
> 0.70	Alta	Alta	Alta resistencia, limitada penetración de agentes bióticos

Fuente: Evans et al. (2008).

Según la clasificación presentada en la tabla 12, la densidad básica de *Pinus radiata* D. Don indica una moderada vulnerabilidad a la descomposición biológica al estar por debajo de 0.55 g/cm³. No obstante, tras seis meses de exposición en el sitio de estudio (3826 m s.n.m.), no se evidenció deterioro visible en las estacas. Este resultado coincide con Evans et al. (2008) quienes señalan que en ambientes de alta montaña caracterizados por bajas temperaturas, baja humedad y alta radiación UV la actividad fúngica se reduce considerablemente, limitando la degradación de maderas incluso con densidad moderada.

4.1.3 Determinación de la contracción volumétrica

a) Estadísticos descriptivos

Se presenta la tabla 13 de los estadísticos descriptivos de las contracciones volumétricas en albura y duramen de la madera de *Pinus radiata* D. Don que previamente se hallaron a partir de los datos del anexo 5, para calcular la contracción radial, tangencial, longitudinal y volumétrica se emplearon las fórmulas (3,4,5,6) respectivamente. Para el análisis de los datos se presenta la contracción volumétrica sobre el cual se efectúa los análisis estadísticos.

La contracción volumétrica para el primer árbol de *Pinus radiata* D. Don en albura presenta una media 9.41 % con una desviación estándar de 0.573 y en duramen es 9.50 % con una desviación estándar de 0.52. La diferencia en la contracción volumétrica en albura es de 0.09 % frente al duramen.

Tabla 13

Estadísticos descriptivos de contracción volumétrica

Contracción volumétrica	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. estándar
Albura*	20	8.34	10.35	9.41	0.57
Duramen*	20	8.31	10.46	9.50	0.52
Albura**	20	8.12	10.33	9.18	0.62
Duramen**	20	7.98	10.76	9.38	0.67
Albura***	20	8.35	9.78	8.86	0.46
Duramen***	20	6.16	9.73	8.58	0.84

Nota: primer árbol *, segundo árbol**, tercer árbol***.

Fuente: elaboración propia (2025).

En la tabla 13 se aprecia la contracción volumétrica para el segundo árbol de *Pinus radiata* D. Don en albura presenta una media 9.18% con una desviación estándar de 0.626 y en duramen es 9.38 % con una desviación estándar de 0.67. La contracción volumétrica en duramen es ligeramente superior en 0.20 % respecto a la zona de albura.

La contracción volumétrica para el tercer árbol de *Pinus radiata* D. Don en albura presenta una media 8.86 % con una desviación estándar de 0.467 y en duramen es 8.58 % con una desviación estándar de 0.84. La contracción volumétrica en albura es levemente superior en 0.28 % respecto al duramen.

Tabla 14

Estadísticos descriptivos de albura y duramen para contracción volumétrica

Contracción volumétrica	Media	N	Desv. estándar	Media de error estándar
Albura	9.15	60	0.59	0.07
Duramen	9.15	60	0.79	0.10

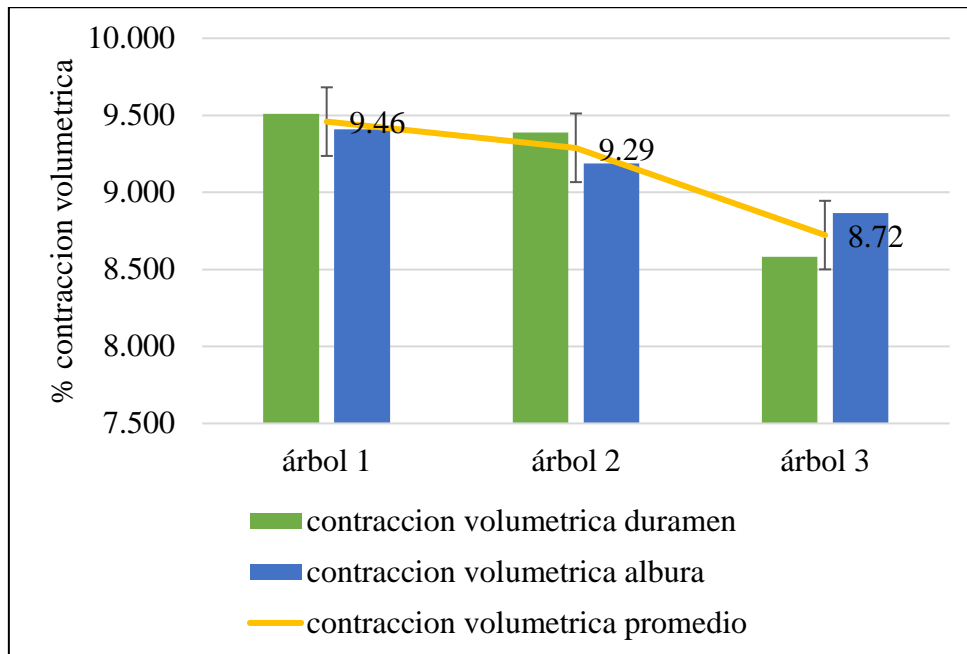
Fuente: elaboración propia (2025).

Los resultados de la tabla 14 muestran que tanto la albura como el duramen presentan una contracción volumétrica promedio similar de 9.15 %, lo que sugiere un comportamiento similar en términos de reducción de volumen; sin embargo, el duramen exhibe una mayor desviación estándar (0.79 frente a 0.59), lo que indica una mayor variabilidad en sus mediciones. Además, el error estándar es más bajo en la albura (0.07) que en el duramen (0.10), lo que implica que la estimación de la media en la albura es más precisa. En conjunto, aunque la media es igual, las diferencias en la dispersión y precisión podrían tener implicaciones prácticas en el uso de estos tipos de madera.

La contracción volumétrica obtenida fue de 9.15 % tanto en la albura como en el duramen. Esto indica un comportamiento dimensional uniforme, posiblemente influenciado por las condiciones de secado y la homogeneidad estructural de la especie. Aunque algunos estudios reportan menor contracción en el duramen por su mayor densidad (Juárez, 2019; Hernández et al., 2022), en este caso no se evidenció dicha variación. Esto coincide con lo señalado por Arroyo (1983), quien destaca el rol determinante del contenido de humedad en la contracción.

Figura 11

Promedio de contracción volumétrica



Fuente: elaboracion propia (2025).

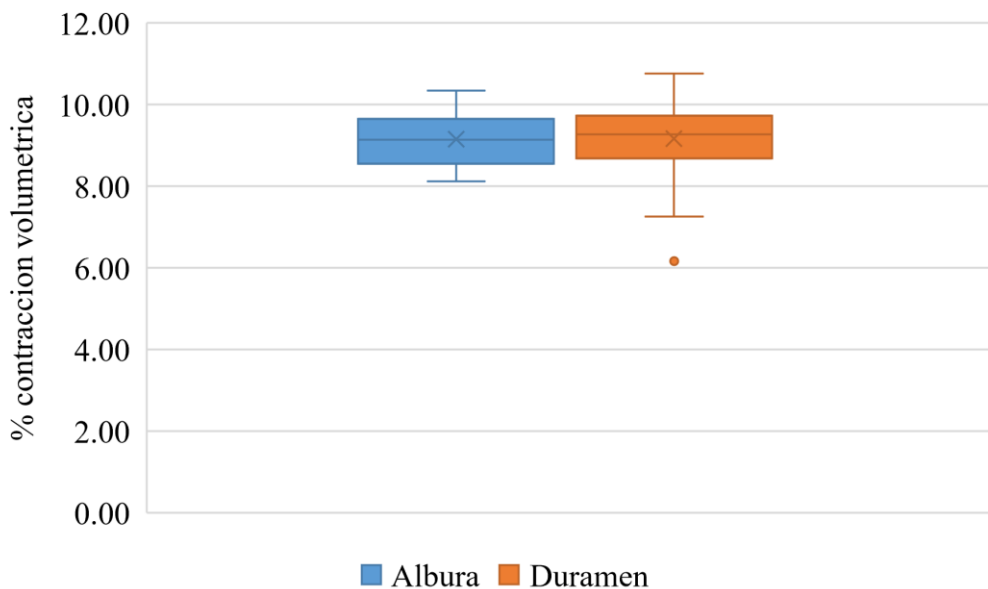
b) Análisis de estadística inferencial

Modelo de comparación de media mediante la prueba t para la contracción volumétrica en albura y duramen de la madera de *Pinus radiata* D. Don provenientes del dentro poblado de Ramis. De acuerdo los resultados del anexo 9 la prueba de significancia es de 0.972, lo cual está por encima del umbral.

Es decir, no existe una diferencia significativa entre las medias de contracción volumétrica del duramen y la albura, ya que ambos presentan un valor promedio de 9.15 %. Esto indica un comportamiento higroscópico similar entre ambas zonas. Además, la figura 12 muestra una dispersión moderada en los datos e indicar también la superposición de las medias en ambos grupos, con una desviación estándar de 0.69, lo que respalda la consistencia de los resultados.

Figura 12

Dispersión de la contracción volumétrica

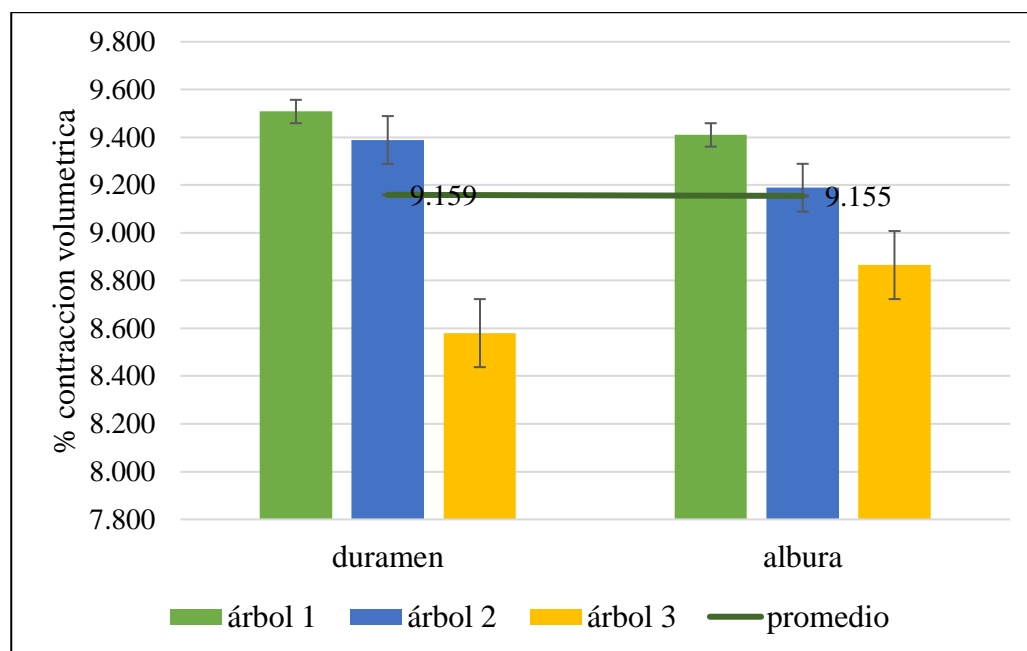


Fuente: elaboracion propia (2025).

En la figura 13 se aprecia el grafico de barras en la contracción volumétrica asimismo de acuerdo a la tabla 4 para la clasificación de la contracción volumétrica, tomando los valores obtenidos se encuentran en el grado II dentro del rango (del 7.1 a 10%) con una clasificación Baja (B).

Figura 13

Promedio de contracción volumétrica en albura y duramen



Fuente: elaboración propia (2025).

La contracción volumétrica obtenida en este estudio fue de 9.15 %, valor inferior al reportado por Córdor y Pardo (2021), quienes registraron 13.75 %, y al de Riesco y Díaz (2007), con 10.7 %. Estas diferencias podrían atribuirse a factores como la humedad ambiental, el contenido de humedad inicial de la madera, la edad de los árboles o las metodologías de secado aplicadas.

Como señalan diversos autores, las condiciones experimentales influyen significativamente en la medición de propiedades físicas, por lo que es fundamental considerar estos aspectos al comparar resultados entre estudios (Arroyo, 1983; Silva et al., 2020). La menor contracción observada en esta investigación sugiere un mejor comportamiento dimensional, posiblemente asociado a condiciones de secado más controladas o a características propias del material evaluado.

Los estudios de Condor y Pardo (2021) y Riesco y Díaz (2007) son fundamentales para entender las dimensiones del *Pinus radiata* D. Don, información clave para su aplicación en la construcción. Al comprender sus características dimensionales, se puede optimizar su uso en estructuras, mejorando su resistencia y rendimiento

Tabla 15*Clasificación de la contracción volumétrica*

Contracción Volumétrica (%)	Clasificación según FAO (1995)	Clasificación según Medina Sánchez (2013)
0 – 5	Muy baja	Muy baja
5 – 10	Baja	Baja
10 – 15	Media	Media
15 – 20	Alta	Alta
> 20	Muy alta	Muy alta

Fuente: FAO (1995)

En el presente estudio, la madera de *Pinus radiata* D. Don presentó una contracción volumétrica media de 9.15 %, valor que, de acuerdo a la tabla 15 clasificación de la contracción volumétrica, se sitúa dentro del rango medio. Según la FAO (1995), la contracción volumétrica puede clasificarse como baja (5 - 10 %), media (10 - 15 %) y alta (>15 %), mientras que otros autores como Medina Sánchez (2013) y Hernández et al. (2014) ubican valores entre 5 % y 10 % como baja a media, coincidiendo con los hallazgos del presente trabajo.

Una contracción volumétrica moderada, como la encontrada en este estudio (9.15 %), indica que la madera puede experimentar ciertos cambios dimensionales ante variaciones en el contenido de humedad, lo que podría inducir deformaciones o fisuras si no se gestiona adecuadamente. Esto favorece la absorción de humedad y la acción de microorganismos, reduciendo potencialmente la durabilidad natural (Siau, 1995; Simpson, 1998). Sin embargo, en zonas altoandinas como el centro poblado de Ramis (3826 m.s.n.m.), donde la humedad relativa del ambiente se mantiene relativamente baja (aproximadamente 45 % - 65 %), la madera tiende a alcanzar un equilibrio higroscópico más estable. En este contexto climático seco, los cambios dimensionales son menos intensos, lo que podría explicar el buen comportamiento dimensional observado y una menor contracción respecto a otras investigaciones realizadas en condiciones más húmedas.

Aunque el valor de contracción volumétrica sugiere una estabilidad dimensional limitada, en la práctica, bajo las condiciones climáticas locales, no se observaron daños visibles ni biodeterioro durante el ensayo de campo. Esto se debe a que la

madera no alcanzó los niveles críticos de humedad (>20 %) necesarios para que los hongos xilófagos puedan activarse, como señalan González et al. (2015) y Forest Products Laboratory (2010). En consecuencia, la durabilidad natural observada como moderada puede justificarse por una combinación de propiedades físicas intermedias (contracción, densidad) y un entorno ambiental restrictivo para los agentes degradadores.

4.2 Grado de resistencia de la madera *Pinus radiata* D. Don

4.2.1 Estadísticos descriptivos

En la tabla 16 se muestran los estadísticos descriptivos correspondientes a la pérdida de masa en la intemperie de las probetas de madera de *Pinus radiata* D. Don en albura y duramen, calculados a partir de los datos del Anexo 6.

Tabla 16

Estadísticos descriptivos de pérdida de masa

Pérdida de masa	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Albura*	20	6.87	9.57	8.30	0.86
Duramen*	20	5.32	9.12	7.15	0.91
Albura**	20	7.99	10.50	8.90	0.69
Duramen**	20	6.14	9.45	7.88	0.88
Albura***	20	8.18	10.01	9.34	0.43
Duramen***	20	6.31	8.96	7.86	0.72

Nota: primer árbol*, segundo árbol**, tercer árbol***.

Fuente: elaboración propia (2025).

La pérdida de masa para el primer árbol de *Pinus radiata* D. Don en albura es de 8.30 % de media, registrando el mínimo 6.87 %, un máximo de 9.57 % con una desviación estándar de 0.866. Por otra parte, en duramen se tiene una media de 7.15 %, registrando el mínimo 5.32 %, un máximo de 9.12 % con una desviación estándar de 0.91, el mayor porcentaje de pérdida de masa se dio en albura con una diferencia de 1.14 % respecto al duramen.

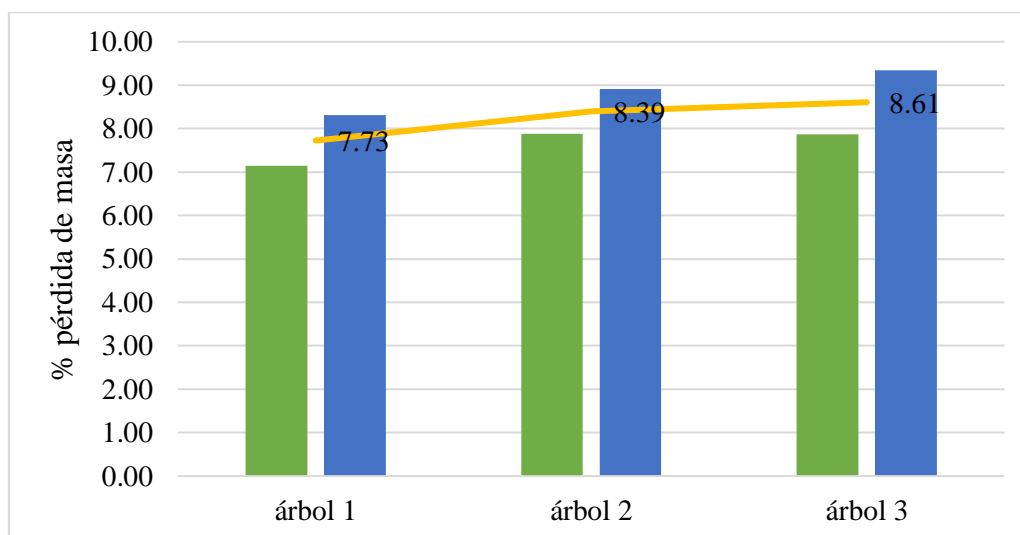
La pérdida de masa para el segundo árbol de *Pinus radiata* D. Don en albura es de 8.90 % de media, registrando el mínimo 7.99 %, un máximo de 10.50 % con una desviación estándar de 0.69. Por otra parte, en duramen se tiene una media de 7.88 %, registrando el mínimo 6.14 %, un máximo de 9.45 % con una desviación estándar de 0.885, el mayor porcentaje de la pérdida de masa se dio en albura con una diferencia de 1.02% respecto al duramen.

La pérdida de masa para el tercer árbol de *Pinus radiata* D. Don en albura es de 9.36 % de media, registrando el mínimo 8.18 %, un máximo de 10.01 % con una desviación estándar de 0.43. Por otra parte, en duramen se tiene una media de 7.86 %, registrando el mínimo 6.31%, un máximo de 8.96 % con una desviación estándar de 0.72, el mayor porcentaje de la pérdida de masa se dio en albura con una diferencia de 1.14 % respecto al duramen.

En la figura 14 se observa que la albura presenta una mayor pérdida de masa (8.85 %) en comparación con el duramen (7.63 %), lo cual se explica por sus características anatómicas y funcionales. La albura es la parte activa de la xilema, compuesta por células vivas, con alta permeabilidad y contenido de sustancias de reserva como almidón y azúcares. Estas condiciones la hacen más vulnerable al ataque de agentes degradantes biológicos y físicos una vez que el árbol ha sido abatido, tal como lo indican las normas IRAM (1997) y los autores IAWA (1964) y Ferreira y Guillen (2022).

Figura 14

Promedio de pérdida en masa en los arboles de pino



Fuente: elaboración propia (2025).

En contraste, el duramen es un tejido inactivo, más compacto, con menor contenido de humedad y rico en extractivos naturales como resinas y taninos, que actúan como protectores frente a hongos e insectos. Su estructura menos permeable y su función principal de sostén le otorgan una mayor durabilidad natural, tal como lo sostienen Paes (2002) y Serna et al. (2020). Por ello, la menor pérdida de masa observada en el duramen se alinea con su resistencia inherente a la degradación, confirmando lo expuesto en el marco teórico.

Tabla 17

Estadísticos descriptivos para la pérdida de masa en albura y duramen

	Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Albura	8.85	60	0.80	0.10
Duramen	7.63	60	0.89	0.11

Fuente: elaboración propia (2025).

Los resultados de la tabla 17 muestran que la pérdida de masa promedio fue de 8.85 % en la albura y 7.63 % en el duramen, con desviaciones estándar bajas (0.80 y 0.89) y errores estándar pequeños (0.10 y 0.11), lo que indica que los datos son consistentes y las medias representativas. Esto sugiere poca variabilidad entre las probetas y confiabilidad en los valores obtenidos.

La menor pérdida de masa en el duramen refleja su mayor durabilidad natural, en línea con Serna et al. (2020), quienes explican que esta resistencia depende de la composición química y propiedades físicas internas de la madera. Además, la presencia de compuestos protectores y menor humedad en el duramen dificulta la degradación, confirmando la importancia de considerar las diferencias anatómicas para evaluar la durabilidad de la madera.

4.2.2 Análisis de estadística inferencial

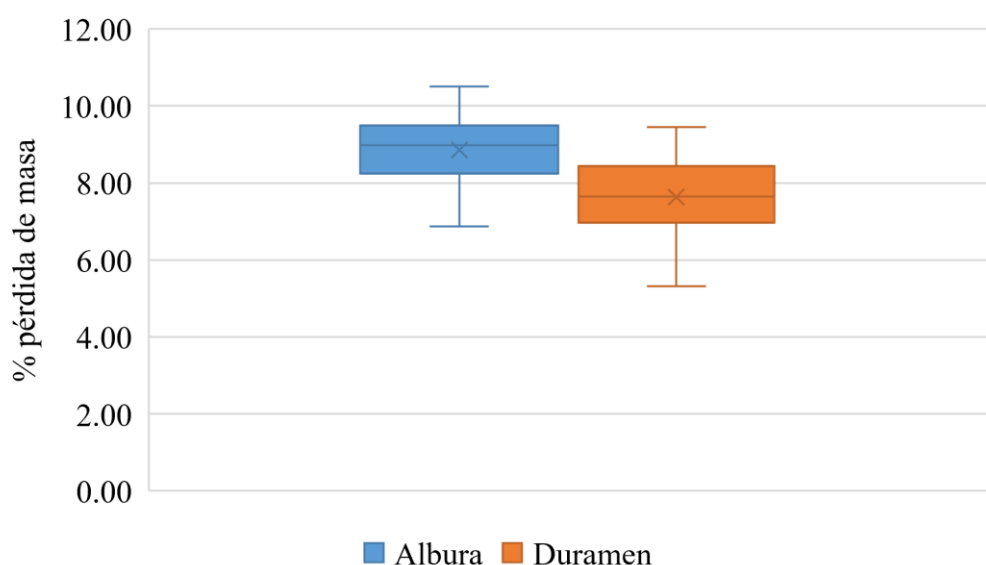
Dado que los resultados del anexo 8 de la prueba de Kolmogorov Simirnov indicaron que los datos de pérdida de masa en albura siguen una distribución normal, asimismo, los datos de pérdida de masa en duramen también siguen una distribución normal, se decidió utilizar la prueba paramétrica de t de student.

Modelo de comparación de media mediante la prueba t para la pérdida de masa en albura y duramen de la madera de *Pinus radiata* D. Don provenientes del dentro poblado de Ramis, el resultado del anexo 9 de la prueba de significancia es mayor a 0.05 rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_1), es decir, existe diferencia significativa de la pérdida de masa en albura y duramen.

La albura presenta un mayor porcentaje de pérdida de masa, con 8.85 %, frente al 7.63 % en el duramen. Además, en la Figura 15 se observa la dispersión de los datos en albura y duramen, con una media de dispersión de 0.69, este valor indica que los datos no presentan una gran dispersión, lo que es ideal para garantizar la confiabilidad de los análisis realizados.

Figura 15

Dispersión de pérdida de masa en albura y duramen



Fuente: elaboración propia (2025).

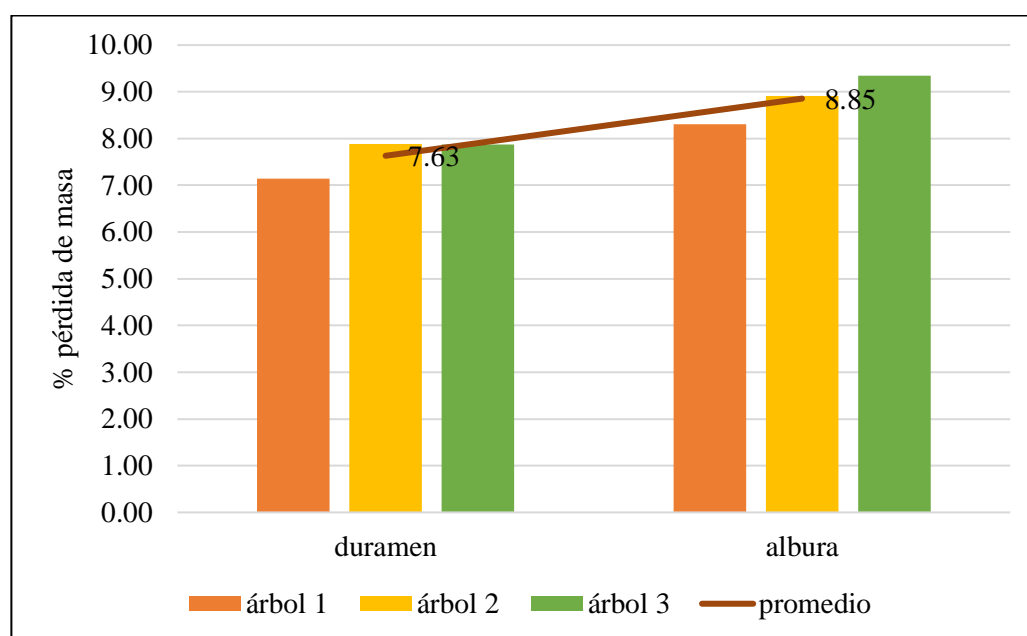
La albura presenta un mayor porcentaje de pérdida de masa, con 8.85 %, frente al 7.63 % en el duramen, lo que indica una mayor susceptibilidad a la degradación en esta zona de la madera. Estos resultados contrastan con los reportados por Uquillas (2022), quien deduce una pérdida de masa mucho menor para *Pinus radiata* (2.05%) bajo exposición al hongo xilófago *Aspergillus niger*, clasificándola como altamente resistente según la norma ASTM D-2017 y proyectando una vida útil de 15 a 25 años.

Sin embargo, esta percepción de alta durabilidad no es universal, ya que Torres et al. (2011) y Forestal Pama (2025) clasificaron la madera de *Pinus radiata* como no durable con una vida útil estimada de 2 y 2.5 años, lo que podría explicarse por diferencias en condiciones ambientales, métodos de evaluación o características locales de la madera. Estos resultados reflejan la importancia de considerar tanto el origen de la madera como los agentes degradantes específicos al evaluar su durabilidad natural.

Los resultados que se muestran en la figura 16 muestran que la albura de *Pinus radiata* presenta una mayor pérdida de masa (8.85 %) que el duramen (7.63 %), indicando menor resistencia a la degradación. Esto coincide con Paitán (2024), quien encontró que partes específicas de la madera, como la base del fuste en *Pinus sp.*, sufren ataques moderados y severos por hongos e insectos. Ambos estudios destacan la importancia de considerar las diferencias internas en la madera para evaluar su durabilidad y proteger mejor las zonas más vulnerables.

Figura 16

Promedio de porcentaje de pérdida de masa en albura y duramen



Fuente: elaboración propia (2025).

Por tanto, es fundamental considerar los factores que afectan la integridad de la madera a lo largo del tiempo, como el clima, la humedad y la acción de microorganismos. En consecuencia, es necesario aplicar un adecuado tratamiento y mantenimiento para preservar sus propiedades y asegurar un desempeño óptimo

durante toda su vida útil. Esto resalta la importancia de implementar métodos preventivos que reduzcan el deterioro de este material versátil y valioso en la construcción (Herrera et al., 2006).

4.2.3 Clasificación de durabilidad natural de *Pinus radiata* D. Don

La durabilidad natural de la madera de *Pinus radiata* D. Don frente a la descomposición en contacto con el suelo ha sido objeto de diversas investigaciones, dado su uso potencial en exteriores. En este estudio se observó una mayor pérdida de masa en la albura (8.85 %) frente al duramen (7.63 %), lo cual respalda la clasificación tradicional de esta especie como moderadamente durable (Findlay, 1985). Esta diferencia del 1.21 % confirma la mayor resistencia del duramen, atribuida a su mayor densidad y menor contenido de humedad, en línea con estudios previos (Camarero et al., 2010).

Tabla 18

Condiciones óptimas de desarrollo de agentes degradadores de la madera

Agente degradador	Requisitos óptimos	Condiciones en Ramis 3826 m. s.n.m.	Probabilidad de desarrollo
Hongos de pudrición	Temp. 20 - 30 °C, HR > 70%, suelo activo	Temp. 5 - 14 °C, HR 45 - 60%, suelo poco activo	Baja
Insectos xilófagos	Temp. > 18 °C, humedad del suelo > 50%	Temp. promedio 10 °C, humedad < 50%	Muy baja
Termitas subterráneas	Temp. > 25 °C, suelo húmedo y cálido	Temp. baja, suelo frío, sin humedad continua	Nula
Bacterias degradadoras	Suelo saturado, humedad > 80%	Suelo aireado, sin saturación	Nula

Fuente: Schmidt (2006); González et al. (2015); Wilkins et al. (2005).

En la tabla 18 se indica las condiciones climáticas evaluadas en el centro poblado de Ramis del distrito de Taraco, ubicados a 3826 m.s.n.m., desempeñan un papel determinante en la conservación de la madera. En ambas zonas, las bajas temperaturas promedio (9.1 °C), la humedad relativa moderada (45 - 60 %) y las

frecuentes heladas nocturnas limitan significativamente el desarrollo de organismos degradadores. Hongos de pudrición, insectos xilófagos, termitas y microorganismos bacterianos requieren ambientes cálidos y húmedos para prosperar, condiciones ausentes en estos ecosistemas altoandinos (Schmidt, 2006; González et al., 2015; Wilkins et al., 2005).

En consecuencia, durante el ensayo de campo no se registró actividad degradadora biológica sobre las estacas evaluadas. Tampoco se observaron hongos cromógenos responsables de manchas superficiales, debido a la intensa radiación solar y baja humedad, que actúan como factores inhibidores (Evans et al., 2008). Esta ausencia de deterioro biótico sugiere que, bajo ciertas condiciones ambientales de centro poblado Ramis, tanto la albura como el duramen de *Pinus radiata* pueden ofrecer una resistencia aceptable al deterioro, incluso sin tratamiento químico.

Sin embargo, la ventaja climática frente a los agentes bióticos se ve contrarrestada por la agresividad de los factores abióticos presentes en estas zonas. El reporte de la radiación solar directa (DNI: 2740 kWh/m²/año) y global (GHI: 2433 kWh/m²/año) para el centro poblado Ramis, sumada a la menor densidad atmosférica en altitud, favorecen la fotodegradación superficial. Esta incluye decoloración, agrietamiento y pérdida de propiedades mecánicas, afectando la longevidad de la madera, aún en ausencia de agentes biológicos (De Ávila et al., 2016; Chudnoff, 1984; Ontiveros et al., 2024).

Por otro lado, se plantea que la adaptación de *Pinus radiata* al entorno altoandino podría haber contribuido a mejorar su comportamiento frente al deterioro. El crecimiento en condiciones de baja humedad y temperatura puede inducir cambios en propiedades como densidad, contenido de humedad y presencia de compuestos protectores, lo que influye directamente en la resistencia natural de la madera (Zobel y van Buijtenen, 1989). Esta adaptación local refuerza la viabilidad del uso de esta especie en estructuras expuestas en ambientes similares.

El *Pinus radiata* D. Don no se considera una especie de alta durabilidad natural, por lo que en zonas como Taraco su uso se limita principalmente a aplicaciones interiores con fines decorativos. Sin embargo, Chura y Muchica (2024) evaluaron su factibilidad estructural en la región de Puno, empleando madera con una

densidad de 0.45 g/cm^3 para la construcción de tijerales en viviendas unifamiliares, conforme a las normas técnicas peruanas. Aunque dicha densidad es relativamente baja y no cumple con los requisitos mínimos del grupo estructural C según la norma RNE E.010, el estudio demostró que, mediante un diseño adecuado, la madera puede ser utilizada en elementos estructurales ligeros. Esto evidencia que, bajo condiciones controladas y criterios técnicos específicos, el *Pinus radiata* puede tener aplicaciones estructurales puntuales, pese a sus limitaciones físicas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Las propiedades físicas de la madera de *Pinus radiata* D. Don muestran diferencias significativas entre la albura y el duramen. El contenido de humedad en equilibrio fue mayor en la albura (12.71%) que en el duramen (11.89%), clasificándolas como maderas muy secas para interiores. La densidad básica fue de 0.46 g/cm³ en albura y 0.48 g/cm³ en duramen, ubicándolas en el grado III de densidad media, siendo esta diferencia estadísticamente significativa. En cambio, la contracción volumétrica fue muy similar (9.15 % en albura y 9.16 % en duramen), sin diferencias significativas, ambas clasificadas como de contracción baja grado II.

El grado de resistencia a la degradación evidenció que la albura presentó una pérdida de masa del 8.85 %, superior al 7.63 % registrado en el duramen. Esta diferencia fue estadísticamente significativa, lo que indica una mayor resistencia del duramen frente a la acción de agentes bióticos y abióticos. No obstante, ambas partes fueron clasificadas dentro de la categoría de madera poco durable, con una vida útil estimada de 10 a 15 años en contacto con el suelo, según la clasificación de Findlay. Cabe señalar que las condiciones climáticas de la localidad (3826 m.s.n.m. T: 8.3 °C y HR:62.5 %) limitan en parte el deterioro por agentes bióticos, aunque no ofrecen gran protección frente a los agentes abióticos, debido a la elevada radiación solar y la intensidad de los vientos.

5.2 Recomendaciones

Desarrollar estudios complementarios sobre propiedades mecánicas de la madera (flexión, compresión, dureza y elasticidad) provenientes de zonas altoandinas (>3800 m.s.n.m.), con el fin de evaluar su idoneidad para aplicaciones estructurales livianas y usos decorativos.

Aplicar tratamientos preservativos a la albura de la madera de *Pinus radiata* D. Don antes de su uso en exteriores o en contacto con el suelo, debido a su menor resistencia frente a agentes abióticos y bióticos, a fin de prolongar su vida útil y mejorar su desempeño en condiciones ambientales adversas.

Realizar ensayos de durabilidad a largo plazo (mayores a 12 meses) bajo condiciones de campo controladas que incluyan al menos un ciclo estacional completo, para validar de forma más precisa la proyección de vida útil y observar los efectos acumulativos del intemperismo, especialmente de agentes abióticos como radiación solar y viento.

Difundir los resultados del presente estudio a instituciones forestales, centros de investigación y empresas del sector maderero, para promover el aprovechamiento técnico de la madera de *Pinus radiata* D. Don y su inclusión en catálogos de especies aptas para usos específicos en regiones altoandinas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvis, J., Cabas, D. & Valencia, D. (2017). Propiedades Físico-Mecánicas De La Madera De Uraco (*Ocotea brevipetiolata* van der werff), Municipio De Sibundoy, Putumayo. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(1), 66–75.
- Anchundia, J. (2021). *Determinacion de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de Ochroma pyramidale (Cav. Ex Lam.) Urb. (Balsa) de tres años de edad.* Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Arroyo, J. (1983). *Propiedades fisico mecanicas de la madera.* Merida - Venezuela: Universidad los Andes.
- Berrocal, A. & Rojas, L. (2007). Resistencia de la madera de teca (*Tectona grandis* L.f.) proveniente de plantaciones forestales ante el ataque de termitas de madera seca *Cryptotermes brevis* (Walker). *Kurú: Revista Forestal*, Vol. 4, pp. 1–15.
- Cabrera, P. & Martínez, L. (2016). Propiedades físicas de la madera en especies de *Pinus*. *Revista de Investigación Forestal*, 8(4), 45–53.
- Cacuango, R. (2023). *Determinacion de la durabilidad natural de la madera de Fraxinus americana L. y Eucaliptus grandis Hill ex Maiden provenientes de la estacion experimental "La favorita" Santo Domindo de los Tsachilas.* Universidad Tecnica del Norte.
- Camarero, J., González, L. & García, C. (2010). Durabilidad de maderas en contacto con el suelo. *Revista de La Madera*, 43(2), 151–162.
- Carrillo, A., Hapla, F., Carsten, M. & Garza, F. (2011). Durabilidad de la madera de *Prosopis laevigata* y efecto de sus extractos en hongos que degradan la madera. *Madera y Bosques*, 17(1), 7–21.
- Castro, F. & Márquez, A. (2003). Biodegradacion de maderas venezolanas en ensayos de campo. *Congreso Forestal Mundial*, 6.
- Ceballos, D. (2013). *Desarrollo de un barniz hidrófobo para madera utilizando el proceso Sol - Gel.* Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cespedes, J. & Gaitan, J. (2020). *Caracterización de las propiedades físico-mecánicas de las especies de madera de acacia, eucalipto y pino caribe.* 1 -110. Retrieved from

- [https:// repository.usta.edu.co/bistream/handle/11634/21701/2020](https://repository.usta.edu.co/bistream/handle/11634/21701/2020).
- Chudnoff, M. (1984) *Tropical Timbers of the World* (Agriculture Handbook No. 607). United States Department of Agriculture, Forest Service.
- Chura, J. & Muchica, D. (2024). *Evaluación del uso estructural de la madera de Pinus radiata para la construcción de tijerales en viviendas del centro poblado Trapiche - Moho* Universidad Nacional del Altiplano de Puno. Repositorio Institucional – UNAP. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14070/5354>.
- Claros, J., Baltazar, H., Trujillo, F. & Araujo, M. (2017). Durabilidad natural de la madera de *Pinus oocarpa* y *Pinus tecunumanii*, proveniente de plantaciones forestales en San Alberto, Oxapampa. *Revista Forestal Del Perú*, Vol. 32, p. 70. <https://doi.org/10.21704/rfp.v32i2.1038>.
- Condor, J. & Pardo, O. (2021). *Caracterización de la anatomía, propiedades físico-mecánicas y químicas de Pinus radiata D.Don Y Pinus patula Schiede ex Schltdl. & Cham. – Cajamarca* (Universidad Nacional Del Centro Del Perú). Retrieved from <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5992>.
- Cruz, J. (2011). Consideraciones tecnológicas en la protección de la madera. In *CONAFOR* (Vol. 50). <https://doi.org/10.1128/AAC.03728-14>.
- 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>.
- De Avila, R., Herrera, R., Labidi, J. & Gatto, D. (2016). Color de la madera de dos eucaliptos expuestas al intemperismo natural en tres entornos ambientales diferentes. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 18(ahead), 0–0. <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2016005000014>.
- De La Cruz, R., Carrillo, A., Nájera, J., Cruz, F., Hernández, 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>.
- Díaz, A., Huanay, C., Medina, H., Aylas, M. & Paucar, C. (2019). Anatomía y propiedades físicas de la madera de dos especies del departamento de Puno.

Arnaldoa,26(2),595–606.<https://doi.org/http://doi.org/10.22497/arnaldoa.262.2>.

- Evans, P. D., McDonald, A. G., & Singh, T. (2008). *Environmental influences on the natural durability of wood: A global perspective*. Forest Products Research Institute.
- Food and Agriculture Organization. (1995). *Classification of volumetric shrinkage of wood and its implications for dimensional stability*. FAO Forestry Paper No. 123. Rome, Italy: FAO.
- Farje, D. (2018). *Eficacia de dos compuestos Bóricos en la preservación de madera de Pinus oocarpa provenientes de una plantación en Oxampampa - Perú*. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Fasanando, K. (2023). *Influencia de los niveles de fuste en las propiedades físicas de la madera de marupa (simarouba amara aubl.) de una plantación de 11 años de edad en Pucallpa*. Universidad Nacional de Ucayali.
- Fernández, M., Norero, A., Vera, J. & Pérez, E. (2011). A functionalstructural model for radiata pine (*Pinus radiata*) focusing on tree architecture and wood quality. *Annals of Botany*, 108(6). 1155-1178 <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/aob/mcr156>.
- Ferreira , C. & Guillen , G. (2022). *Guía de anatomía e identificación de 50 especies maderables comerciales en Selva Central, Perú*. Universidad Continental (UC). <https://10.18259/978-612-4443-43-5>.
- Findlay, W. (1985). *Preservation of Timber in the Tropics*. Dordrecht, The Netherlands.: Kluwer Academic Publishers.
- FONTEC. (2003). Centro de Transferencia Tecnológica Pino Radiata. In *CORMA*. Retrieved from <https://www.madera21.cl/wp-content/uploads/2016/11/Compendio-de-directrices-para-enseñanza-en-ingeniería.pdf>.
- Forestal Pama. (2025). Madera de *Pino radiata*: características y usos en el Perú. <https://forestalpama.com/madera-de-pino-radiata-caracteristicas-y-usos/>
- Freeman, J., Slavov, G., Butler, J., Frickey, T., Graham, N., Klápste, J., Dungey, H. (2022). High density linkage maps, genetic architecture, and genomic prediction of growth and wood properties in *Pinus radiata*. *BMC Genomics*, 23(1), 731. <https://doi.org/10.1186/s12864-022-08950-6>.

- Giménez, A., Moglia, J., Hernánadez, P. & Gerez, R. (2005). *Anatomía de madera* (Segunda ed). Retrieved from <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/sd-1-anatomia-de-madera.pdf>.
- Goche, J., Carrillo, M., Razo, S., Rodríguez, A. & Palacios, P. (2023). Efectos de factores climáticos en la durabilidad de la madera de coníferas en zonas tropicales. *Revista Internacional de Ciencias Forestales*, 42(5), 210–223.
- Goche, J., Carrillo, A., Razo, R., Rodríguez, R. & Palacios, C. (2023). Propiedades físicas y biomasa fustal de *Pinus engelmannii* proveniente de una plantación en Durango. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(1), 13. <https://doi.org/10.19136/era.a10n1.3004>.
- Gonzáles, V. & Yataco, A. (2016). Durabilidad natural de diez maderas de Madre de Dios a la acción de tres hongos xilofagos. *Revista Forestal Del peru* 14(1), 1 -14. Retrieved from <http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rfp>.
- González, E. & Pérez, J. (2019). Efecto del clima en el contenido de humedad de la madera de *Pinus radiata* en zonas interiores. *Boletín Forestal*, 22(1), 32.
- Hernández, J., López, R. & Vargas, A. (2022). Effect of heartwood extractives on the natural durability of softwood species. *Wood Science and Technology*, 56(3), 455–478.
- Hernández, J., López, R. & Vargas, P. (2018). Estudio comparativo del contenido de humedad en albura y duramen de especies de *Pinus*. *Maderas y Bosques*, 24(1), 44–49.
- Herrera, J., Arango, A. & Cano, J. (2006). Metodología para el establecimiento de áreas cementerio de maderas en la región de cotové (Antioquia, Colombia). *Revista .Fac.Nal.Agr.Medellín.*, 59(1), 3271–3280.
- Hidalgo, R. (2016). Durabilidad natural de la madera de tres especies forestales sometidos a la acción del hongo *Pycnoporus sanguineus* (L.: Fr Murrill). *Universidad Agraria de La Selva*, 147. Retrieved from <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/592/T.FRS-&isAllowed>.
- IAWA Committee on Nomenclature. (1964). *Multilingual glossary of terms used in wood*

anatomy. Verlagsanstalt Buchdruckerei, Konkordia, Winterthur, 186 págs

- Igartúa, D. & Monteoliva, S. (2009). Densidad básica de la madera de *Acacia melanoxylon* R. Br en relación con la altura de muestreo, el árbol y el sitio. *Investigacion Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 18(1), 101–110. <https://doi.org/https://doi.org/10.5424/fs/2009181-01054>.
- IRAM. (1997). Maderas, definiciones (Norma No. 9502, CDU: 674:168.1). Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM).
- Jacobs, K., Plaschkies, K., Scheiding, W., Weib, B., Melcher, E., Conti, E., Le Bayon, I. (2019). Natural durability of important European wood species against wood decay fungi. Part 2: Field tests and fungal community. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 137(November 2018), 118–126. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.12.002>
- Jankunas, J. (2020). *El pasado de la madera en el futuro de la construcción Lituana*. UPC, ETSAB.
- Juarez, C. (2019). *Maderas coníferas*. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzman y valle. Disponible en <https://repositorio.une.edu.pe/handle/20.500.1403>.
- Kacmaz, M., Altunok, M. & Yaşar, S. (2024). Outdoor weathering effects on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and sessile oak (*Quercus petraea* L.) with and without tannin treatments. *Wood Research*, 69(3), 123–137.
- López, F., Pérez, M., González, J. & Rodríguez, A. (2022). Evaluación de la resistencia a la degradación de especies madereras en la región andina. *Revista de Investigación Forestal*, 17(3), 78–91. <https://doi.org/https://doi.org/10.x>.
- Mann, H. B., & Whitney, D. R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Annals of Mathematical Statistics*, 18(1), 50–60.
- Marquez, A., Castro, F., Ramirez, E., Gomez, L., & Toro, M. (2008). Resistencia natural de la madera de especies forestales latifoliadas en contacto con el suelo. *Copernico*, 10(January 2009), 11–17. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Jesus_Velasquez2/publication/258208925_Resistencia_natural_de_la_madera_de_especies_forestales_latifoliadas_en_contacto_

con_el_suelo/links/00b495273c21292f76000000.pdf

- Mead, D. (2013). Sustainable management of *Pinus radiata* plantations. Roma, Italia. FAO. 257 p. (Forestry paper N°170). *FAO Forestry Paper, 170*, 257.
- Mena, C., Morales, C., Vargas, I., Villalobos, B. & Viquez, V. (2022). Aplicaciones biotecnológicas de la degradación bioquímica de madera por acción de hongos Xilófagos: pudrición parda y blanca. *Revista Tecnología En Marcha, 36*, 97–105. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i2.5997>
- Merino, A., Brañas, J. & Rodríguez, R. (2003). Biomasa arbórea y acumulación de nutrientes en plantación de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, 12*(2), 85–98.
- Morán, A. (2021). *Durabilidad natural de la madera de Gmelina arborea Roxb (melina) y Samanea saman (Jacq). Merr (saman) en contacto con el suelo*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Morejón, C. (2018). Determinacion de las propiedades físicas y mecanicas de tres especies forestal: Piptocoma discolor (Kunth.) Pruski (pigue), Iriartea deltoidea Ruiz & Pav. (chonta) y Pouteria glomerata (intachi). (Escuela Superior Politecnica de Chimborazo). Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8502/1/33T0182.pdf>
- Morrell, J. (2021). Wood deterioration and its prevention. *Forest Pathology, 51*(4), e12785.
- Morvely, W., Rosales, E., Portal, L. & Chavesta, M. (2014). Determinación de las características anatómicas y propiedades físicas de la madera de las especies erisma uncinatum warm y dacryodes peruviana (loes.) h.j. lam proveniente de la provincia de Tambopata - Madre de Dios. *Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios*.
- Nutsch, W. (2000). *Tecnología de la madera y del mueble*. Barcelona: Reverté S.A.
- Ontiveros, Y., Colín, S., Carrillo, A., López, E., Corral, J., Hernández, J. & Prieto, J. (2024). Natural durability of wood from six species of commercial importance in Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 15*(84), 132–154. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i84.1453>

- Osis, D. (2022). *Determinación de las Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera Eucalipto (Eucalyptus globulus), Pino (Pinus radiata) y Ciprés (Cupressus lusitánica), para su uso como Material Estructural y su Aplicación al Diseño de un Tijeral Par y Nudillo, Abancay-A.* Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.
- Paes, J. (2002). Resistência natural da madeira de *Corymbia maculata* (Hook.) K.D.Hill & L.A.S. Johnson a fungos e cupins xilófagos, em condições de laboratório. *Revista Árvore*, 26(6), 761–767. <https://doi.org/10.1590/s0100-67622002000600012>
- Paitán, J. (2023). *Durabilidad natural de la madera de Miconia sp. en la región de Satipo, Junín* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/10214>.
- Panshin, A., & de Zeeuw, C. (1980). Textbook of wood technology. In *McGraw-Hill*.
- Pecho, R., Ananias, R., Ballerini, A., & Cloutier, A. (2005). Influencia De La Madera Juvenil De *Pinus Radiata* D.Don Sobre Las Propiedades Físicas Y Mecánicas De Los Tableros Oriented Strand Board (Osb). *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 26(1), 123–132. <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2004000100009>.
- Pimentel, D. (2021). *Variabilidad De Las Propiedades Físicas De La Madera De “Shalluche” (Miconia Minutiflora (Blonpl.) Dc, Melastomataceae) Provenientes Del Caserío De Macora, Chinchao-Huánuco* Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Pinzón, L., López, M., Véliz, F., & Martínez, J. (1982). Métodos para el estudio de algunas características de los hongos xilófagos como organismos degradadores de la madera. *Scientia Fungorum*, 17, 142. <https://doi.org/https://doi.org/10.33885/sf.1982.2.561>
- Plaschkies, K., Jacobs, K., Scheiding, W. & Melcher, E. (2014). Investigations on natural durability of important European wood species against wood decay fungi. Part 1: Laboratory tests. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 90, 52–56. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.01.016>
- Razali, N. & Wah, Y. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1), 21–33.

- RLC Engineering, LLC. (2019). Classification of equilibrium moisture content. <https://www.rlcengineering.com/equilibrium-moisture2019>
- Ren, S., Wang, Z., Yan, L., Feng, Q., Chen, Z., & Zhao, R. (2023). Comparison of anatomical characteristics and chemical compositions between sapwood and heartwood of *Michelia macclurei*. *Industrial Crops and Products*, *193*, 116190. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116190>
- Riesco, G. & Díaz, J. (2007). Características físicas de la madera de pino procedente de raleos en el Noroeste de España. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, *9*(3), 233–244.
- Rivera, L. (2018). Representaciones sociales sobre el cambio climático de la población urbana en la región Puno. Universidad Nacional del Altiplano.
- Rodríguez, M. & Santillana, N. (2021). Morphological and biological quality of *pinus radiata* d. don, mycorrhized with *Scleroderma verrucosum* (Vaill) Pers. and *Rhizopogon luteolus* Fr. & Nordh. in greenhouse conditions. *Ecología Aplicada*, *20*(2), 189–195. <https://doi.org/10.21704/rea.v20i2.1809>.
- Ruiz, A. (2020). Las propiedades de la madera y sus características. Retrieved from Proyecto Ambulante website: <https://www.proyectoambulante.org/propiedades-de-la-madera/>.
- Santiago, P., Guevara, C. & Espinoza, M. (2013). Manual de transformacion de la madera. In *Ministerio de agricultura*. Pucallpa.
- Sargent, R. (2019). Evaluating dimensional stability in solid wood: a review of current practice. *Journal of Wood Science*, *65*(1), 36. <https://doi.org/10.1186/s10086-019-1817-1>.
- SENAMHI. (2021). *Climas del Perú - Mapa de Clasificación Climática Nacional* (1st ed.; A. Castro, C. Davila, W. Laura, F. Cubas, G. Avalos, C. López Ocaña, ... D. Marín, Eds.). Retrieved from <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-4.pdf>.
- Serna, Y., Torres, J., & Aspirilla, Y. (2020). Durabilidad natural de la madera de *Ochroma pyramidale* Urb. en el municipio de Atrato, Colombia. *Ciencias Agrícolas*, *16*(1), 192–202. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1804/1900-3803/entramado.1.6105>.
- Siau, J. (1995). Wood: Influence of moisture on physical properties. *American Wood*

Science Association.

- Siegwolf, R., Brooks, J., Roden, J. & Saurer, M. (2022). *Stable Isotopes in Tree Rings* (R. T. W. Siegwolf, J. R. Brooks, J. Roden, & M. Saurer, Eds.). <https://doi.org/10.1007/978-3-030-92698-4>.
- Sigala, C., Suárez, A., Prieto, J., Carrillo, A., Domínguez, P., & Goche, J. (2023). Propiedades físico-mecánicas de la madera de *Pinus greggii* var. *australis* de una plantación en Hidalgo, México. *Ciencia & Investigación Forestal*, 29(2), 51–62. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2023.585>.
- Silva, A., Salazar, M. & Sánchez, G. (2020). Maderas y sus comportamientos dimensionales ante variaciones de humedad relativa. *Forest Research*, 25(2), 150–162.
- Silva, L., Salazar, J. & Sánchez, F. (2020). Durabilidad Natural En Área Cementerio De Siete Especies De Encino Del Estado De Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 26(89), 45–60.
- Simpson, W. (1998). Equilibrium moisture content of wood in outdoor locations in the United States and worldwide. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. <https://doi.org/10.2737/FPL-RP-268>
- Stake, G., George, I. & Mantanis, I. (2020). *Durability of Accoya Wood in Ground*.
- Student. (1908). The probable error of a mean. *Biometrika*, 6(1), 1–25.
- Tapia, J. (2010). *Durabilidad Natural de Eucalyptus nitens frente al ataque de hongos xilófagos*. Universidad Austral de Chile.
- Taraborelli, C. (2016). “*Evaluación de recubrimientos de uso exterior aplicados en madera de Pino ponderosa (Pinus ponderosa Douglas ex . Laws)*.” Universidad de la Plata Buenos Aires.
- Taype, H. (2020). *Determinación del potencial de los servicios ecosistémicos de Pinus radiata para la mitigación de impactos ambientales en el centro poblado de Acopalca, en el año 2017*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniera Ambiental, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Continental, Huancayo, Perú.

- Tornari, V., Basset, T., Andrianakis, M. & Kosma, K. (2019). Impact of Relative Humidity on Wood Sample: A Climate Chamber Experimental Simulation Monitored by Digital Holographic Speckle Pattern Interferometry. *Journal of Imaging*, 5(7), 65. <https://doi.org/10.3390/jimaging5070065>.
- Torres, M., Figueroa, V., & Vives, I. (2011). Biodeterioro en rolletes de pinus radiata preservados con sal CCA frente al ataque de hongos de pudrición parda. *Bosque*, 32(3), 315–320. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002011000300013>.
- Uquillas, T. (2022). *Evaluación de la durabilidad natural de madera aserrada de la especie Pinus radiata de la empresa aglomerados cotopaxi en reaccion a un hongo xilofago*. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. retrived from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8470/1/20T01021>.
- Vargas, L., Pérez, M., Gómez, J. & Rodríguez, A. (2023). Método de cementerio de estacas para la evaluación de la durabilidad natural de la madera. *Revista de Tecnología Forestal*, 19(1), 15–28.
- Vargas, N. (2021). *Evaluación de la durabilidad natural de la madera en laboratorio de dos especies forestales, en reaccion de un hongo xilófago*. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.
- Vasquez, R. (2023). *Evaluación estructural de la madera habilitada “pinus radiata”, centro poblado Santa Clara, Distrito de Chalamarca, Chota*. Universidad Nacional Autónoma de Chota.
- Vásquez, Y. & Silva, F. (2023). *Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la madera de Pinus radiata para su uso estructural en zonas altoandinas del centro poblado Santa Clara, Chalamarca – Cajamarca* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8652>.
- Vega, G., Elias, L., Velazquez, J., Lesmon, N. & Agüero, M. (2019). Propiedades físicas de la madera de *Pinus taeda* en el Distrito de Pedro Juan Caballero, Paraguay. 27, 37–46. Retrieved from <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/quebracho/vol27n1a05.pdf>
- Vera, M. (1996). Estudio Preliminar de la durabilidad natural del Pachaco y Fernán Sanchez en la finca experimental “La Represa.” Universidad Tecnica Estatal Quevedo.

Vignote, S. & Jiménez P. (1996). Tecnología de la Madera. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

ANEXOS

ANEXO I.

Panel fotográfico preparación de probetas



Anexo 1. 1 Actos preparativos para tumbado de árbol



Anexo 1. 2 Tumbado de árbol de *Pinus radiata* D. Don



Anexo 1. 3 Trozado de la parte basal del árbol



Anexo 1. 4 Trozado del tronco de Pino



Anexo 1. 5 Seccionamiento de madera rolliza



Anexo 1. 6 Corte longitudinal de las probetas de pino



Anexo 1. 7 Cepillado de la madera de pino



Anexo 1. 8 Dimensionamiento de probetas

ANEXO II.

Panel fotográfico de los ensayos realizados



Anexo 2. 1 Pesaje de las probetas para el ensayo de contenido de humedad



Anexo 2. 2 Medición con el calibrador analógico



Anexo 2. 3 Pesaje para determinar la densidad básica



Anexo 2. 4 Toma de medida para la contracción longitudinal



Anexo 2. 5 Pesaje de masa final para determinar el grado de resistencia



Anexo 2. 6 Cementerio de estacas para determinar el grado de resistencia



Anexo 2. 7 Cementerio de estacas y degradación de las maderas

ANEXO III.

Registro de contenido de humedad en equilibrio

Datos de contenido de humedad para el primer árbol de *Pinus radiata* D. Don, registrado peso de la madera inicial y peso de la madera anhidra, y finalmente mediante la fórmula (1) se obtuvo el contenido de humedad para albura y duramen.

Anexo 3.1

Tabla de datos de medición de contenido de humedad de primer árbol de albura

Contenido de humedad en equilibrio en Albura			
Codificación de probeta	Peso de la madera inicial	Peso de la madera anhidra	C.H. (%)
P-1-A-1	23.00	20.45	12.47
P-1-A-2	28.40	25.00	13.60
P-1-A-3	27.70	24.80	11.69
P-1-A-4	26.00	22.95	13.29
P-1-A-5	24.80	21.85	13.50
P-1-A-6	27.70	24.35	13.76
P-1-A-7	26.30	23.10	13.85
P-1-A-8	22.75	20.00	13.75
P-1-A-9	28.80	25.50	12.94
P-1-A-10	22.20	19.80	12.12
P-1-A-11	26.30	23.50	11.91
P-1-A-12	21.60	18.95	13.98
P-1-A-13	23.50	20.75	13.25
P-1-A-14	24.30	21.35	13.82
P-1-A-15	24.10	21.70	11.06
P-1-A-16	19.20	17.30	10.98
P-1-A-17	23.80	20.90	13.88
P-1-A-18	21.90	19.40	12.89
P-1-A-19	24.20	21.50	12.56
P-1-A-20	22.40	19.90	12.56

Anexo 3.2

Tabla de datos de medición de contenido de humedad de primer árbol de duramen.

Contenido de humedad en equilibrio de duramen			
Codificación de probeta	Peso de la madera inicial	Peso de la madera anhidra	C.H. (%)
P-1-D-1	19.40	17.45	11.17
P-1-D-2	23.90	21.45	11.42
P-1-D-3	28.50	25.50	11.76
P-1-D-4	24.10	21.40	12.62
P-1-D-5	22.20	19.95	11.28
P-1-D-6	20.90	18.55	12.67
P-1-D-7	23.90	21.60	10.65
P-1-D-8	22.50	19.95	12.78
P-1-D-9	22.80	20.55	10.95
P-1-D-10	23.45	20.80	12.74
P-1-D-11	25.50	22.65	12.58
P-1-D-12	25.00	22.65	10.38
P-1-D-13	23.00	20.40	12.75
P-1-D-14	22.90	20.50	11.71
P-1-D-15	21.50	18.95	13.46
P-1-D-16	24.90	22.00	13.18
P-1-D-17	22.00	19.99	10.06
P-1-D-18	23.55	20.90	12.68
P-1-D-19	20.10	17.80	12.92
P-1-D-20	25.40	22.70	11.89

Datos de contenido de humedad para el segundo árbol de *Pinus radiata* D. Don, registrado peso de la madera inicial y peso de la madera anhidra, y finalmente mediante la fórmula (1) se obtuvo el contenido de humedad para albura y duramen.

Anexo 3.3

Tabla de datos de medición de contenido de humedad de segundo árbol de albura

Contenido de humedad en equilibrio de albura			
Codificación de probeta	Peso de la madera inicial	Peso de la madera anhidra	C.H. (%)
P-2-A-1	25.20	22.60	11.50
P-2-A-2	27.40	24.45	12.07
P-2-A-3	25.80	23.20	11.21
P-2-A-4	26.30	23.25	13.12
P-2-A-5	25.10	22.35	12.30
P-2-A-6	25.60	22.35	14.54
P-2-A-7	27.10	24.10	12.45
P-2-A-8	26.90	23.75	13.26
P-2-A-9	26.80	23.95	11.90
P-2-A-10	24.30	21.40	13.55
P-2-A-11	21.30	19.15	11.23
P-2-A-12	23.40	20.75	12.77
P-2-A-13	26.00	23.35	11.35
P-2-A-14	26.70	23.05	15.84
P-2-A-15	23.40	20.75	12.77
P-2-A-16	23.30	20.50	13.66
P-2-A-17	23.70	21.15	12.06
P-2-A-18	22.00	19.85	10.83
P-2-A-19	21.65	19.55	10.74
P-2-A-20	25.25	22.35	12.98

Anexo 3.4

Tabla de datos de medición de contenido de humedad de segundo árbol de duramen

Contenido de humedad en equilibrio de duramen			
Codificación de probeta	Peso de la madera inicial	Peso de la madera anhidra	C.H. (%)
P-2-D-1	22.50	20.00	12.50
P-2-D-2	25.00	22.15	12.87
P-2-D-3	24.90	21.85	13.96
P-2-D-4	28.40	25.25	12.48
P-2-D-5	22.90	20.75	10.36
P-2-D-6	25.90	23.50	10.21
P-2-D-7	24.00	21.10	13.74
P-2-D-8	24.70	21.95	12.53
P-2-D-9	22.20	19.95	11.28
P-2-D-10	24.80	21.90	13.24
P-2-D-11	23.00	20.35	13.02
P-2-D-12	22.90	20.95	9.31
P-2-D-13	29.10	26.25	10.86
P-2-D-14	24.90	22.05	12.93
P-2-D-15	25.40	22.85	11.16
P-2-D-16	22.10	19.80	11.62
P-2-D-17	26.10	23.80	9.66
P-2-D-18	27.20	24.40	11.48
P-2-D-19	22.40	19.80	13.13
P-2-D-20	21.30	19.20	10.94

Datos de contenido de humedad para el tercer árbol de *Pinus radiata* D. Don, registrado peso de la madera inicial y peso de la madera anhidra, y finalmente mediante la fórmula (1) se obtuvo el contenido de humedad para albura y duramen.

Anexo 3.5

Tabla de datos de medición de contenido de humedad de tercer árbol de albura

Contenido de humedad en equilibrio de albura			
Codificación de probeta	Peso de la madera inicial	Peso de la madera anhidra	C.H. (%)
P-3-A-1	25.75	22.95	12.20
P-3-A-2	27.45	24.15	13.66
P-3-A-3	23.40	20.55	13.87
P-3-A-4	23.15	20.55	12.65
P-3-A-5	24.90	21.80	14.22
P-3-A-6	22.50	20.00	12.50
P-3-A-7	28.60	25.50	12.16
P-3-A-8	26.85	23.95	12.11
P-3-A-9	24.30	21.60	12.50
P-3-A-10	22.15	19.60	13.01
P-3-A-11	22.60	19.90	13.57
P-3-A-12	26.30	23.35	12.63
P-3-A-13	23.40	20.85	12.23
P-3-A-14	22.65	20.05	12.97
P-3-A-15	27.90	24.85	12.27
P-3-A-16	26.50	23.65	12.05
P-3-A-17	21.75	19.40	12.11
P-3-A-18	22.90	20.40	12.25
P-3-A-19	21.30	18.80	13.30
P-3-A-20	27.95	24.90	12.25

Anexo 3.6

Tabla de datos de medición de contenido de humedad de tercer árbol de duramen

Contenido de humedad en equilibrio en duramen			
Codificación de probeta	Peso de la madera inicial	Peso de la madera anhidra	C.H. (%)
P-3-D-1	23.90	21.65	10.39
P-3-D-2	26.40	23.70	11.39
P-3-D-3	21.25	19.00	11.84
P-3-D-4	25.00	22.00	13.64
P-3-D-5	24.40	21.80	11.93
P-3-D-6	25.30	22.49	12.49
P-3-D-7	21.60	19.15	12.79
P-3-D-8	24.20	21.95	10.25
P-3-D-9	22.35	19.99	11.81
P-3-D-10	22.95	20.45	12.22
P-3-D-11	24.50	22.05	11.11
P-3-D-12	20.70	18.65	10.99
P-3-D-13	22.45	19.95	12.53
P-3-D-14	20.40	18.35	11.17
P-3-D-15	19.90	17.75	12.11
P-3-D-16	21.15	18.80	12.50
P-3-D-17	29.90	26.85	11.36
P-3-D-18	22.20	19.95	11.28
P-3-D-19	22.70	19.83	14.46
P-3-D-20	22.90	20.75	10.36

ANEXO IV.

Registro de datos de densidad básica

Datos recolectados en campo para la determinación de la densidad para el primer árbol de *Pinus radiata* D. Don, registrado peso de la madera y para obtener el volumen se midió las dimensiones radiales, tangenciales y longitudinales en centímetros, y finalmente mediante la fórmula (2) se obtuvo la densidad.

Anexo 4.1

Tabla de datos de medición de densidad básica de primer árbol de albura

Codificación de probetas	Densidad básica de albura					
	Peso (g)	Dimensión Radial (cm)	Dimensión Tangencial (cm)	Dimensión Longitudinal (cm)	Volumen (cm ³)	Densidad básica (g/cm ³)
P-1-A-1	19.40	2.27	2.27	10.10	51.93	0.37
P-1-A-2	23.90	2.23	2.17	10.10	48.87	0.49
P-1-A-3	28.50	2.22	2.27	10.09	50.74	0.56
P-1-A-4	24.10	2.27	2.26	10.08	51.60	0.47
P-1-A-5	22.20	2.26	2.27	10.12	51.92	0.43
P-1-A-6	20.90	2.23	2.24	10.12	50.48	0.41
P-1-A-7	23.90	2.24	2.24	10.08	50.55	0.47
P-1-A-8	22.50	2.26	2.25	10.10	51.26	0.44
P-1-A-9	22.80	2.25	2.26	10.05	51.12	0.45
P-1-A-10	23.40	2.27	2.23	10.06	50.98	0.46
P-1-A-11	25.50	2.25	2.29	10.08	51.91	0.49
P-1-A-12	25.00	2.26	2.25	10.09	51.38	0.49
P-1-A-13	23.00	2.19	2.24	10.08	49.53	0.46
P-1-A-14	22.90	2.24	2.25	10.05	50.63	0.45
P-1-A-15	21.50	2.28	2.28	10.01	51.92	0.41
P-1-A-16	24.90	2.25	2.28	10.09	51.78	0.48
P-1-A-17	22.00	2.20	2.27	10.10	50.37	0.44
P-1-A-18	23.50	2.22	2.27	10.05	50.65	0.46
P-1-A-19	20.10	2.25	2.24	10.06	50.56	0.40
P-1-A-20	29.40	2.26	2.23	10.08	50.87	0.58

Anexo 4.2

Tabla de datos de medición de densidad básica de primer árbol de duramen.

Densidad en duramen						
Codificación de probetas	Peso (g)	Dimensión Radial (cm)	Dimensión Tangencial (cm)	Dimensión Longitudinal (cm)	Volumen (cm ³)	Densidad básica (g/cm ³)
P-1-D-1	23.00	2.25	2.26	10.10	51.24	0.45
P-1-D-2	28.40	2.23	2.18	10.10	48.99	0.58
P-1-D-3	27.70	2.22	2.25	10.10	50.45	0.55
P-1-D-4	26.00	2.23	2.22	10.05	49.53	0.52
P-1-D-5	24.80	2.24	2.18	10.11	49.32	0.50
P-1-D-6	27.70	2.26	2.29	10.08	52.05	0.53
P-1-D-7	26.30	2.25	2.28	10.10	51.81	0.51
P-1-D-8	22.70	2.27	2.21	10.07	50.45	0.45
P-1-D-9	28.80	2.25	2.24	10.08	50.80	0.57
P-1-D-10	22.20	2.16	2.26	10.10	49.20	0.45
P-1-D-11	26.30	2.28	2.23	10.09	51.07	0.51
P-1-D-12	21.60	2.23	2.24	10.11	50.50	0.43
P-1-D-13	23.50	2.22	2.26	10.09	50.51	0.47
P-1-D-14	24.30	2.24	2.24	10.08	50.58	0.48
P-1-D-15	24.10	2.28	2.27	10.06	52.04	0.46
P-1-D-16	19.20	2.25	2.25	10.07	50.75	0.38
P-1-D-17	23.80	2.25	2.26	10.09	51.19	0.46
P-1-D-18	21.90	2.25	2.25	10.10	51.13	0.43
P-1-D-19	24.20	2.27	2.26	10.10	51.82	0.47
P-1-D-20	22.40	2.25	2.24	10.10	50.79	0.44

Datos recolectados en campo para la determinación de la densidad para el segundo árbol de *Pinus radiata* D. Don, registrado peso de la madera y para obtener el volumen se midió las dimensiones radiales, tangenciales y longitudinales en centímetros, y finalmente mediante la fórmula (2) se obtuvo la densidad.

Anexo 4.3

Tabla de datos de medición de densidad básica de segundo árbol de albura

Densidad básica de albura						
Codificación de probetas	Peso (g)	Dimensión Radial (cm)	Dimensión Tangencial (cm)	Dimensión Longitudinal (cm)	Volumen (cm³)	Densidad básica (g/cm³)
P-2-A-1	22.50	2.26	2.24	10.12	51.00	0.44
P-2-A-2	25.00	2.25	2.25	10.10	51.06	0.49
P-2-A-3	24.90	2.26	2.24	10.05	50.88	0.49
P-2-A-4	28.40	2.24	2.27	10.10	51.36	0.55
P-2-A-5	22.90	2.25	2.21	10.10	50.27	0.46
P-2-A-6	25.90	2.26	2.25	10.06	51.11	0.51
P-2-A-7	24.00	2.27	2.20	10.07	50.18	0.48
P-2-A-8	24.70	2.26	2.13	10.07	48.34	0.51
P-2-A-9	22.20	2.25	2.21	10.08	50.12	0.44
P-2-A-10	24.80	2.26	2.26	10.09	51.54	0.48
P-2-A-11	23.00	2.24	2.20	10.06	49.58	0.46
P-2-A-12	22.90	2.26	2.27	10.05	51.56	0.44
P-2-A-13	29.10	2.33	2.26	10.03	52.82	0.55
P-2-A-14	24.90	2.25	2.21	10.10	50.22	0.50
P-2-A-15	25.40	2.25	2.28	10.10	51.79	0.49
P-2-A-16	22.10	2.25	2.22	10.08	50.24	0.44
P-2-A-17	26.10	2.25	2.20	10.06	49.69	0.53
P-2-A-18	27.20	2.26	2.22	10.12	50.77	0.54
P-2-A-19	22.40	2.25	2.25	10.09	50.97	0.44
P-2-A-20	21.30	2.26	2.25	10.13	51.40	0.41

Anexo 4.4

Tabla de datos de medición de densidad básica de segundo árbol de duramen

Codificación de probetas	Densidad básica de duramen					
	Peso (g)	Dimensión Radial (cm)	Dimensión Tangencial (cm)	Dimensión Longitudinal (cm)	Volumen (cm ³)	Densidad básica (g/cm ³)
P-2-D-1	25.20	2.27	2.21	10.10	50.67	0.50
P-2-D-2	27.40	2.24	2.27	10.10	51.36	0.53
P-2-D-3	25.80	2.27	2.27	10.09	51.99	0.50
P-2-D-4	26.30	2.25	2.22	10.09	50.40	0.52
P-2-D-5	25.10	2.25	2.27	10.10	51.36	0.49
P-2-D-6	25.60	2.24	2.24	10.10	50.68	0.51
P-2-D-7	27.10	2.28	2.29	10.17	52.98	0.51
P-2-D-8	26.90	2.25	2.25	10.10	51.02	0.53
P-2-D-9	26.80	2.28	2.28	10.10	52.39	0.51
P-2-D-10	24.30	2.27	2.20	10.07	50.29	0.48
P-2-D-11	21.30	2.25	2.22	10.06	50.14	0.42
P-2-D-12	23.40	2.26	2.21	10.15	50.67	0.46
P-2-D-13	26.00	2.25	2.25	10.09	50.97	0.51
P-2-D-14	26.70	2.25	2.28	10.10	51.70	0.52
P-2-D-15	23.40	2.28	2.27	10.09	52.22	0.45
P-2-D-16	23.30	2.29	2.29	10.04	52.42	0.44
P-2-D-17	23.70	2.24	2.24	10.10	50.45	0.47
P-2-D-18	22.00	2.24	2.23	10.07	50.08	0.44
P-2-D-19	21.60	2.19	2.27	10.05	49.96	0.43
P-2-D-20	25.20	2.26	2.28	10.12	52.03	0.48

Datos recolectados en campo para la determinación de la densidad para el tercer árbol de *Pinus radiata* D. Don, registrado peso de la madera y para obtener el volumen se midió las dimensiones radiales, tangenciales y longitudinales en centímetros, y finalmente mediante la fórmula (2) se obtuvo la densidad

Anexo 4.5

Tabla de datos de medición de densidad básica de tercer árbol de albura

Densidad básica de albura						
Codificación de probetas	Peso (g)	Dimensión Radial (cm)	Dimensión Tangencial (cm)	Dimensión Longitudinal (cm)	Volumen (cm³)	Densidad básica (g/cm³)
P-3-A-1	23.90	2.29	2.24	10.08	51.66	0.46
P-3-A-2	26.40	2.24	2.28	10.10	51.47	0.51
P-3-A-3	21.20	2.26	2.25	10.13	51.40	0.41
P-3-A-4	25.00	2.29	2.22	10.10	51.12	0.49
P-3-A-5	24.40	2.27	2.26	10.10	51.59	0.47
P-3-A-6	25.30	2.28	2.15	10.09	49.35	0.51
P-3-A-7	21.60	2.18	2.24	10.10	49.21	0.44
P-3-A-8	24.20	2.22	2.26	10.07	50.41	0.48
P-3-A-9	22.60	2.22	2.25	10.10	50.45	0.45
P-3-A-10	22.90	2.23	2.20	10.10	49.55	0.46
P-3-A-11	24.50	2.25	2.25	10.08	50.92	0.48
P-3-A-12	20.70	2.25	2.27	10.04	51.05	0.41
P-3-A-13	22.40	2.26	2.26	10.11	51.52	0.43
P-3-A-14	20.40	2.26	2.26	10.09	51.42	0.40
P-3-A-15	19.90	2.27	2.25	10.10	51.59	0.39
P-3-A-16	21.10	2.24	2.25	10.09	50.78	0.42
P-3-A-17	29.90	2.26	2.28	10.06	51.61	0.58
P-3-A-18	22.20	2.24	2.22	10.07	50.05	0.44
P-3-A-19	22.70	2.24	2.23	10.08	50.24	0.45
P-3-A-20	22.90	2.25	2.24	10.10	50.90	0.45

Anexo 4.6

Tabla de datos de medición de densidad básica de tercer árbol de duramen

Densidad básica de duramen						
Codificación de probetas	Peso (g)	Dimensión Radial (cm)	Dimensión Tangencial (cm)	Dimensión Longitudinal (cm)	Volumen (cm³)	Densidad básica (g/cm³)
P-3-D-1	25.70	2.26	2.25	10.05	50.99	0.50
P- 3-D-2	27.00	2.25	2.26	10.10	51.22	0.53
P-3-D-3	23.40	2.22	2.26	10.09	50.62	0.46
P-3-D-4	23.00	2.23	2.20	10.10	49.41	0.47
P-3-D-5	24.90	2.22	2.26	10.09	50.62	0.49
P-3-D-6	22.50	2.26	2.26	10.10	51.47	0.44
P-3-D-7	28.60	2.25	2.27	10.10	51.33	0.56
P-3-D-8	26.80	2.26	2.30	10.05	52.24	0.51
P-3-D-9	24.30	2.25	2.24	10.06	50.59	0.48
P-3-D-10	22.10	2.25	2.25	10.11	51.07	0.43
P-3-D-11	22.60	2.23	2.13	10.14	48.05	0.47
P-3-D-12	26.30	2.25	2.23	10.10	50.68	0.52
P-3-D-13	23.40	2.27	2.26	10.10	51.67	0.45
P-3-D-14	22.60	2.21	2.22	10.09	49.39	0.46
P-3-D-15	27.90	2.27	2.27	10.00	51.53	0.54
P-3-D-16	26.50	2.24	2.20	10.10	49.75	0.53
P-3-D-17	21.70	2.23	2.19	10.03	48.87	0.44
P-3-D-18	22.90	2.26	2.28	10.11	51.98	0.44
P-3-D-19	21.30	2.23	2.22	10.10	50.00	0.43
P-3-D-20	27.90	2.25	2.22	10.09	50.37	0.55

ANEXO V.

Datos de registro de contracción volumétrica

Datos de contracción volumétrica para el primer árbol de *Pinus radiata* D. Don, se tiene la contracción radial, contracción tangencial y la contracción longitudinal, para hallar se emplea la formula (6), lo cual es la sumatoria de las tres contracciones mencionadas.

Anexo 5.1

Tabla de datos de medición de contracción de primer árbol de albura

Contracción volumétrica de albura				
Codificación de probetas	Contracción longitudinal (cm)	Contracción tangencial (cm)	Contracción longitudinal (cm)	Contracción volumétrica (cm)
P-1-A-1	3.23	5.94	0.98	10.15
P-1-A-2	2.62	5.27	1.66	9.55
P-1-A-3	3.69	4.34	1.75	9.78
P-1-A-4	3.89	4.59	0.93	9.40
P-1-A-5	2.67	5.64	1.08	9.38
P-1-A-6	2.16	6.09	1.41	9.67
P-1-A-7	2.81	5.74	1.61	10.16
P-1-A-8	2.58	4.66	1.37	8.61
P-1-A-9	3.85	5.08	1.42	10.35
P-1-A-10	3.14	5.25	1.17	9.57
P-1-A-11	1.94	5.32	1.08	8.34
P-1-A-12	3.04	4.73	1.27	9.04
P-1-A-13	3.69	4.71	1.37	9.77
P-1-A-14	3.24	4.35	1.22	8.81
P-1-A-15	1.94	5.08	2.00	9.02
P-1-A-16	2.81	4.47	1.85	9.13
P-1-A-17	3.02	6.04	0.79	9.85
P-1-A-18	3.23	5.34	1.17	9.74
P-1-A-19	3.20	5.32	0.98	9.50
P-1-A-20	3.02	4.48	0.88	8.38

Anexo 5.2

Tabla de datos de medición de contracción de primer árbol de duramen

Contracción volumétrica de duramen				
Codificación de probetas	Contracción longitudinal (cm)	Contracción tangencial (cm)	Contracción longitudinal (cm)	Contracción volumétrica (cm)
P-1-D-1	2.78	4.30	1.46	8.55
P-1-D-2	3.46	4.62	1.17	9.25
P-1-D-3	3.69	5.10	1.08	9.86
P-1-D-4	3.21	6.22	0.44	9.87
P-1-D-5	3.30	5.33	1.17	9.80
P-1-D-6	3.76	4.34	1.56	9.65
P-1-D-7	2.61	4.48	1.23	8.31
P-1-D-8	3.50	4.72	1.51	9.74
P-1-D-9	2.84	5.21	1.44	9.50
P-1-D-10	2.32	5.82	1.40	9.55
P-1-D-11	3.47	4.95	1.32	9.74
P-1-D-12	2.75	4.78	1.46	9.00
P-1-D-13	3.04	4.31	1.24	8.59
P-1-D-14	3.15	5.79	1.52	10.46
P-1-D-15	3.60	4.36	1.91	9.87
P-1-D-16	3.52	4.78	1.32	9.62
P-1-D-17	3.09	5.62	0.98	9.69
P-1-D-18	3.04	5.52	1.13	9.68
P-1-D-19	3.44	4.88	1.28	9.60
P-1-D-20	2.88	5.74	1.23	9.84

Datos de contracción volumétrica para el segundo árbol de *Pinus radiata* D. Don, se tiene la contracción radial, contracción tangencial y la contracción longitudinal, para hallar se emplea la fórmula (6), lo cual es la sumatoria de las tres contracciones mencionadas.

Anexo 5.3

Tabla de datos de medición de contracción de segundo árbol de albura

Contracción volumétrica de albura				
Codificación de probetas	Contracción longitudinal (cm)	Contracción tangencial (cm)	Contracción longitudinal (cm)	Contracción volumétrica (cm)
P-2-A-1	2.58	5.35	1.56	9.49
P-2-A-2	3.98	4.90	0.88	9.77
P-2-A-3	1.94	5.10	1.13	8.17
P-2-A-4	2.76	4.10	1.50	8.37
P-2-A-5	3.85	4.63	0.93	9.42
P-2-A-6	2.14	5.68	0.93	8.76
P-2-A-7	1.51	5.34	1.26	8.12
P-2-A-8	3.64	4.67	1.08	9.39
P-2-A-9	2.98	4.49	1.51	8.98
P-2-A-10	3.20	4.56	1.47	9.22
P-2-A-11	4.06	4.93	1.08	10.07
P-2-A-12	2.80	5.35	0.73	8.88
P-2-A-13	2.39	4.87	1.08	8.34
P-2-A-14	3.44	5.12	1.13	9.68
P-2-A-15	2.36	5.61	1.03	9.00
P-2-A-16	2.35	4.99	1.76	9.10
P-2-A-17	3.46	5.89	0.98	10.33
P-2-A-18	2.40	6.12	1.18	9.70
P-2-A-19	3.95	4.22	0.99	9.15
P-2-A-20	1.74	6.54	1.56	9.84

Anexo 5.4

Tabla de datos de medición de contracción de segundo árbol de duramen

Codificación de probetas	Contracción volumétrica de duramen			
	Contracción longitudinal (cm)	Contracción tangencial (cm)	Contracción longitudinal (cm)	Contracción volumétrica (cm)
P-2-D-1	2.38	5.50	1.41	9.29
P-2-D-2	3.55	5.87	0.69	10.11
P-2-D-3	3.83	4.68	1.28	9.79
P-2-D-4	2.61	5.10	1.13	8.83
P-2-D-5	3.35	5.38	1.32	10.04
P-2-D-6	3.62	4.19	1.66	9.48
P-2-D-7	2.37	6.00	1.17	9.54
P-2-D-8	2.38	6.82	1.56	10.76
P-2-D-9	2.39	5.56	1.32	9.26
P-2-D-10	2.80	4.69	1.37	8.86
P-2-D-11	2.61	6.38	1.32	10.32
P-2-D-12	2.16	5.02	1.62	8.80
P-2-D-13	3.16	4.24	1.28	8.67
P-2-D-14	3.64	4.74	1.56	9.94
P-2-D-15	2.59	4.66	1.61	8.86
P-2-D-16	3.85	4.72	1.42	9.99
P-2-D-17	2.81	4.76	1.37	8.95
P-2-D-18	1.95	4.96	1.08	7.98
P-2-D-19	3.02	4.89	1.22	9.14
P-2-D-20	3.43	4.91	0.83	9.17

Datos de contracción volumétrica para el tercer árbol de *Pinus radiata* D. Don, se tiene la contracción radial, contracción tangencial y la contracción longitudinal, para hallar se emplea la fórmula (6), lo cual es la sumatoria de las tres contracciones mencionadas.

Anexo 5.5

Tabla de datos de medición de contracción de tercer árbol de albura

Contracción volumétrica de albura				
Codificación de probetas	Contracción longitudinal (cm)	Contracción tangencial (cm)	Contracción longitudinal (cm)	Contracción volumétrica (cm)
P-3-A-1	3.01	5.26	1.28	9.55
P-3-A-2	1.75	4.96	1.70	8.41
P-3-A-3	2.41	4.57	1.46	8.44
P-3-A-4	2.59	4.59	1.37	8.55
P-3-A-5	2.14	5.17	1.51	8.82
P-3-A-6	2.38	5.24	0.79	8.41
P-3-A-7	2.81	5.34	1.42	9.57
P-3-A-8	1.31	6.14	1.86	9.31
P-3-A-9	3.85	4.13	1.37	9.35
P-3-A-10	2.56	4.97	0.98	8.51
P-3-A-11	2.41	5.35	0.73	8.49
P-3-A-12	3.23	4.70	0.79	8.71
P-3-A-13	3.37	4.94	0.83	9.14
P-3-A-14	2.43	5.14	0.98	8.55
P-3-A-15	2.78	5.27	1.72	9.78
P-3-A-16	2.35	5.17	0.98	8.50
P-3-A-17	1.98	5.46	1.86	9.30
P-3-A-18	3.22	4.20	0.93	8.35
P-3-A-19	2.41	5.17	0.93	8.51
P-3-A-20	3.64	4.10	1.32	9.06

Anexo 5.6

Tabla de datos de medición de contracción de tercer árbol de duramen

Codificación de probetas	Contracción volumétrica de duramen			
	Contracción longitudinal (cm)	Contracción tangencial (cm)	Contracción longitudinal (cm)	Contracción volumétrica (cm)
P-3-D-1	1.93	5.16	1.18	8.27
P-3-D-2	3.66	4.69	1.08	9.42
P-3-D-3	3.01	4.46	1.17	8.64
P-3-D-4	2.35	5.54	1.27	9.16
P-3-D-5	2.16	5.05	1.27	8.48
P-3-D-6	1.73	5.29	1.46	8.48
P-3-D-7	2.57	5.16	0.98	8.71
P-3-D-8	1.51	4.85	1.27	7.64
P-3-D-9	2.17	4.05	1.03	7.25
P-3-D-10	2.41	5.78	1.13	9.31
P-3-D-11	2.96	4.26	1.61	8.83
P-3-D-12	3.44	3.82	1.47	8.73
P-3-D-13	1.74	3.01	1.41	6.16
P-3-D-14	3.22	5.04	1.46	9.73
P-3-D-15	2.99	5.26	1.08	9.33
P-3-D-16	2.96	4.01	1.42	8.39
P-3-D-17	3.63	3.66	1.47	8.77
P-3-D-18	2.40	5.93	1.32	9.65
P-3-D-19	3.25	3.71	1.47	8.42
P-3-D-20	2.17	5.08	0.98	8.24

ANEXO VI.

Registro de datos de pérdida de masa

Datos de pérdida de masa para el primer árbol de *Pinus radiata* D. Don, se tiene la masa inicial antes de establecer al cementerio de estacas, previamente se acota los pesajes, y posterior a ello se establece en el cementerio de estacas durante 182 días, se emplea la formula (7) para su determinación de porcentaje de pérdida de masa.

Anexo 6.1

Tabla de datos de medición de pérdida de masa de primer árbol en albura

Pérdida de masa en albura			
Codificación de probetas	Peso seco al horno inicial (g)	Peso seco al horno final (g)	% pérdida de peso
D-1-A-1	92.10	84.40	8.36
D-1-A-2	91.00	82.50	9.34
D-1-A-3	88.40	80.00	9.50
D-1-A-4	91.10	84.60	7.14
D-1-A-5	89.00	80.80	9.21
D-1-A-6	84.20	76.20	9.50
D-1-A-7	80.10	74.60	6.87
D-1-A-8	87.30	80.40	7.90
D-1-A-9	87.40	80.40	8.01
D-1-A-10	90.30	82.90	8.19
D-1-A-11	86.40	79.10	8.45
D-1-A-12	84.90	78.20	7.89
D-1-A-13	86.50	78.40	9.36
D-1-A-14	89.10	81.50	8.53
D-1-A-15	88.50	81.80	7.57
D-1-A-16	87.90	80.50	8.42
D-1-A-17	74.30	68.90	7.27
D-1-A-18	88.60	82.00	7.45
D-1-A-19	81.50	73.70	9.57
D-1-A-20	87.10	80.50	7.58

Anexo 6.2

Tabla de datos de medición de pérdida de masa de primer árbol en albura

Pérdida de masa en duramen			
Codificación de probetas	Peso seco al horno inicial (g)	Peso seco al horno final (g)	% pérdida de peso
D-1-D-1	87.40	81.30	6.98
D-1-D-2	94.70	88.10	6.97
D-1-D-3	81.70	76.00	6.98
D-1-D-4	78.10	72.50	7.17
D-1-D-5	90.50	84.50	6.63
D-1-D-6	83.60	77.90	6.82
D-1-D-7	83.90	77.70	7.39
D-1-D-8	90.70	85.30	5.95
D-1-D-9	80.50	74.10	7.95
D-1-D-10	83.70	78.40	6.33
D-1-D-11	88.50	82.10	7.23
D-1-D-12	90.60	84.10	7.17
D-1-D-13	83.80	78.30	6.56
D-1-D-14	90.30	85.50	5.32
D-1-D-15	86.10	79.40	7.78
D-1-D-16	80.60	73.70	8.56
D-1-D-17	93.20	84.70	9.12
D-1-D-18	106.80	99.60	6.74
D-1-D-19	88.50	80.80	8.70
D-1-D-20	91.50	85.30	6.78

Datos de pérdida de masa para el segundo árbol de *Pinus radiata* D. Don, se tiene la masa inicial antes de establecer al cementerio de estacas, previamente se acota los pesajes, y posterior a ello se establece en el cementerio de estacas durante 182 días, se emplea la formula (7) para su determinación de porcentaje de pérdida de masa.

Anexo 6.3

Tabla de datos de medición de pérdida de masa de segundo árbol en albura

Pérdida de masa en albura			
Codificación de probetas	Peso seco al horno inicial (g)	Peso seco al horno final (g)	% pérdida de peso
D-2-A-1	83.60	76.30	8.73
D-2-A-2	87.00	79.90	8.16
D-2-A-3	78.60	71.90	8.52
D-2-A-4	79.20	72.20	8.84
D-2-A-5	78.40	71.90	8.29
D-2-A-6	91.40	81.80	10.50
D-2-A-7	82.20	74.90	8.88
D-2-A-8	88.80	81.50	8.22
D-2-A-9	88.90	81.80	7.99
D-2-A-10	80.10	73.20	8.61
D-2-A-11	86.40	78.60	9.03
D-2-A-12	83.40	75.20	9.83
D-2-A-13	83.40	76.00	8.87
D-2-A-14	89.50	81.10	9.39
D-2-A-15	89.40	80.50	9.96
D-2-A-16	94.20	84.90	9.87
D-2-A-17	84.90	78.10	8.01
D-2-A-18	88.00	80.10	8.98
D-2-A-19	74.00	67.30	9.05
D-2-A-20	89.00	81.50	8.43

Anexo 6.4

Tabla de datos de medición de pérdida de masa de segundo árbol en duramen

Pérdida de masa en duramen			
Codificación de probetas	Peso seco al horno inicial (g)	Peso seco al horno final (g)	% pérdida de peso
D-2-D-1	87.90	82.50	6.14
D-2-D-2	79.10	72.40	8.47
D-2-D-3	88.60	81.30	8.24
D-2-D-4	86.00	79.20	7.91
D-2-D-5	82.10	76.70	6.58
D-2-D-6	88.90	82.30	7.42
D-2-D-7	90.00	83.00	7.78
D-2-D-8	94.40	87.20	7.63
D-2-D-9	90.60	82.10	9.38
D-2-D-10	87.70	79.90	8.89
D-2-D-11	91.90	84.10	8.49
D-2-D-12	86.40	80.40	6.94
D-2-D-13	76.20	69.00	9.45
D-2-D-14	84.30	78.60	6.76
D-2-D-15	87.10	80.60	7.46
D-2-D-16	87.90	80.70	8.19
D-2-D-17	90.50	83.80	7.40
D-2-D-18	93.10	86.00	7.63
D-2-D-19	87.90	80.50	8.42
D-2-D-20	101.90	93.30	8.44

Datos de pérdida de masa para el tercer árbol de *Pinus radiata* D. Don, se tiene la masa inicial antes de establecer al cementerio de estacas, previamente se acota los pesajes, y posterior a ello se establece en el cementerio de estacas durante 182 días, se emplea la formula (7) para su determinación de porcentaje de pérdida de masa.

Anexo 6.5

Tabla de datos de medición de pérdida de masa de tercer árbol en albura

Pérdida de masa en albura			
Codificación de probetas	Peso seco al horno inicial (g)	Peso seco al horno final (g)	% pérdida de peso
D-3-A-1	91.76	82.80	9.77
D-3-A-2	92.10	83.50	9.34
D-3-A-3	92.43	83.60	9.56
D-3-A-4	92.77	83.90	9.56
D-3-A-5	93.11	84.60	9.14
D-3-A-6	93.44	84.60	9.47
D-3-A-7	93.78	84.60	9.79
D-3-A-8	94.12	84.95	9.74
D-3-A-9	94.46	85.30	9.69
D-3-A-10	94.79	85.30	10.01
D-3-A-11	95.13	86.40	9.18
D-3-A-12	95.47	87.10	8.76
D-3-A-13	95.80	87.00	9.19
D-3-A-14	96.14	87.50	8.99
D-3-A-15	96.48	87.90	8.89
D-3-A-16	96.81	87.30	9.83
D-3-A-17	97.15	89.20	8.18
D-3-A-18	97.49	88.40	9.32
D-3-A-19	97.82	88.80	9.22
D-3-A-20	98.16	88.97	9.36

Anexo 6.5

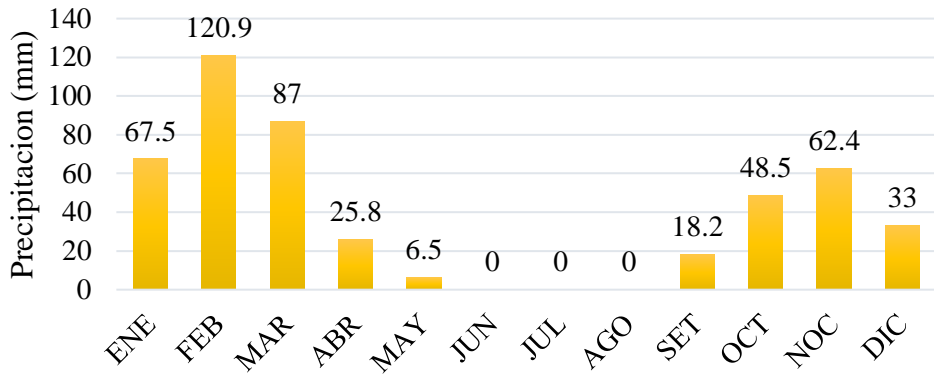
Tabla de datos de medición de pérdida de masa de tercer árbol en duramen

Pérdida de masa en duramen			
Codificación de probetas	Peso seco al horno inicial (g)	Peso seco al horno final (g)	% pérdida de peso
D-3-D-1	93.40	86.60	7.28
D-3-D-2	91.70	85.10	7.20
D-3-D-3	84.30	77.80	7.71
D-3-D-4	82.60	76.00	7.99
D-3-D-5	83.80	76.60	8.59
D-3-D-6	84.50	78.60	6.98
D-3-D-7	88.90	81.90	7.87
D-3-D-8	87.10	79.50	8.73
D-3-D-9	94.20	86.70	7.96
D-3-D-10	80.80	75.70	6.31
D-3-D-11	86.50	79.20	8.44
D-3-D-12	88.20	80.30	8.96
D-3-D-13	83.50	76.90	7.90
D-3-D-14	80.80	74.60	7.67
D-3-D-15	88.30	80.60	8.72
D-3-D-16	79.90	72.80	8.89
D-3-D-17	89.30	82.00	8.17
D-3-D-18	79.50	74.00	6.92
D-3-D-19	84.20	78.00	7.36
D-3-D-20	86.00	79.40	7.67

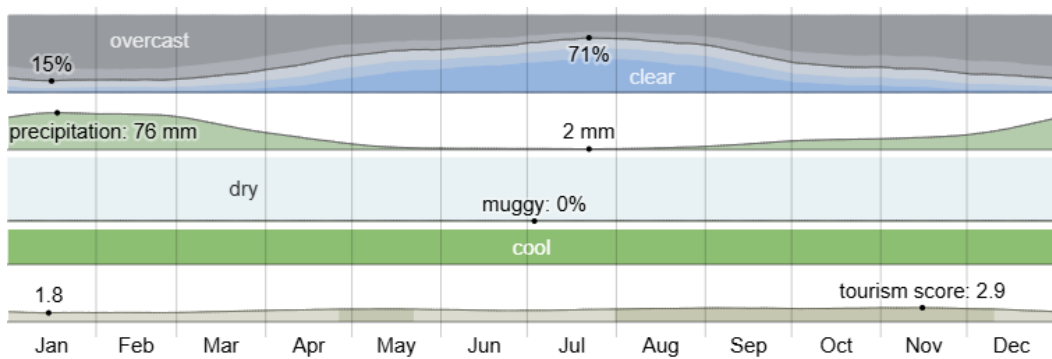
ANEXO VII.

Reporte de aspectos climáticos de centro poblado Ramis

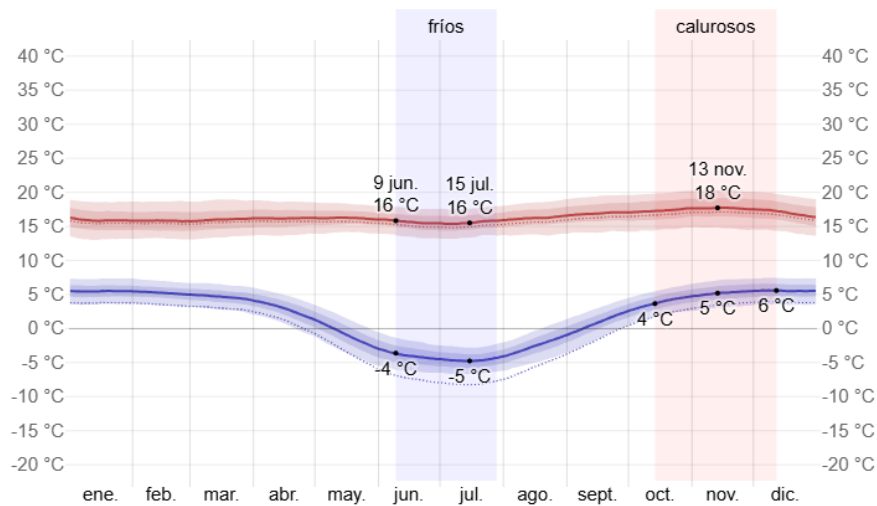
ESTACION: RAMIS
 Departamento : PUNO
 Provincia : HUANCANE
 Distrito : Taraco
 Latitud : 15°15'20.91" S Longitud : 69°52'26.14" W Altitud : 3826 msnm.
 Tipo : Convencional - MeteorológicaCodigo : 270200



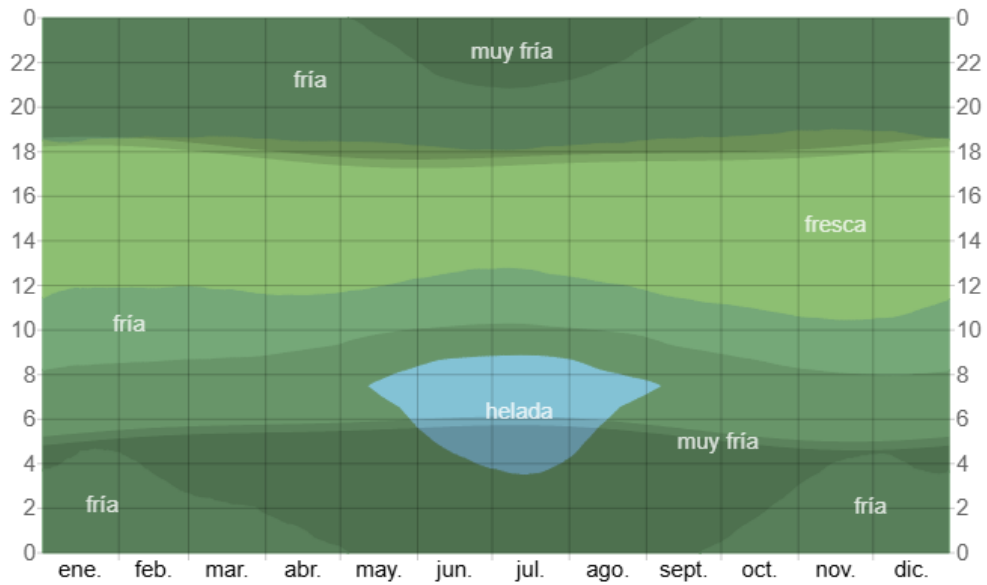
Anexo 7.1 Precipitación acumulada



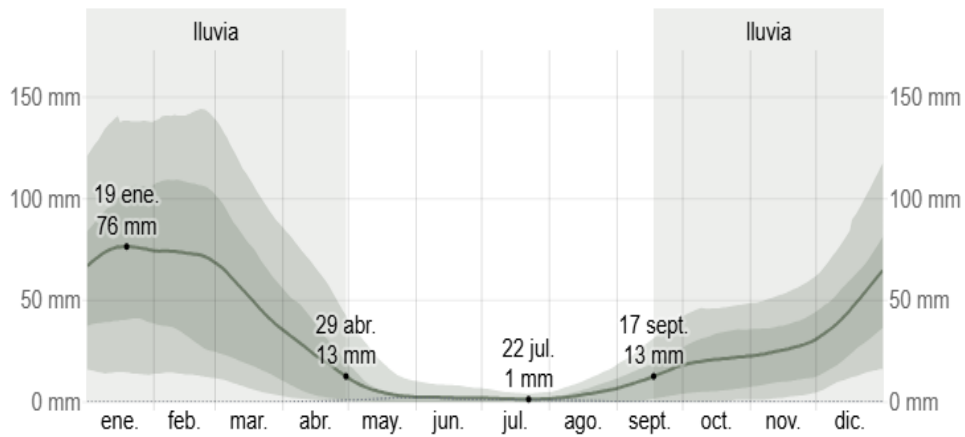
Anexo 7.2 Clima en Taraco



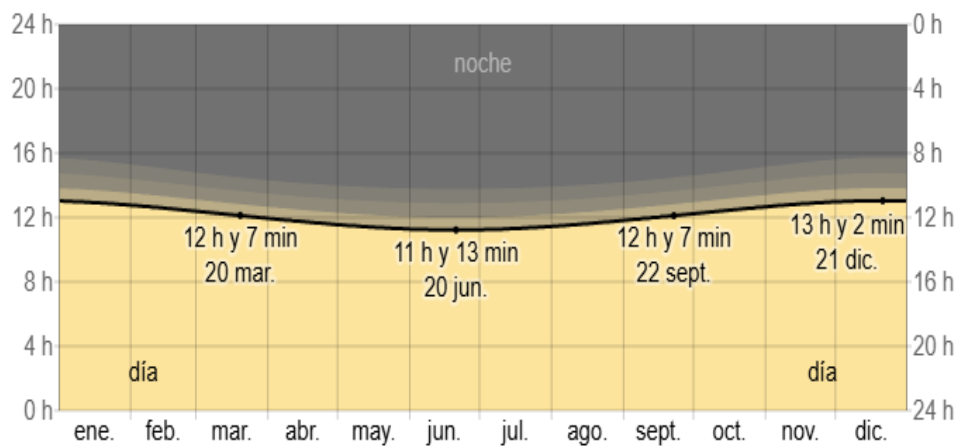
Anexo 7.3 Temperatura promedio en Taraco



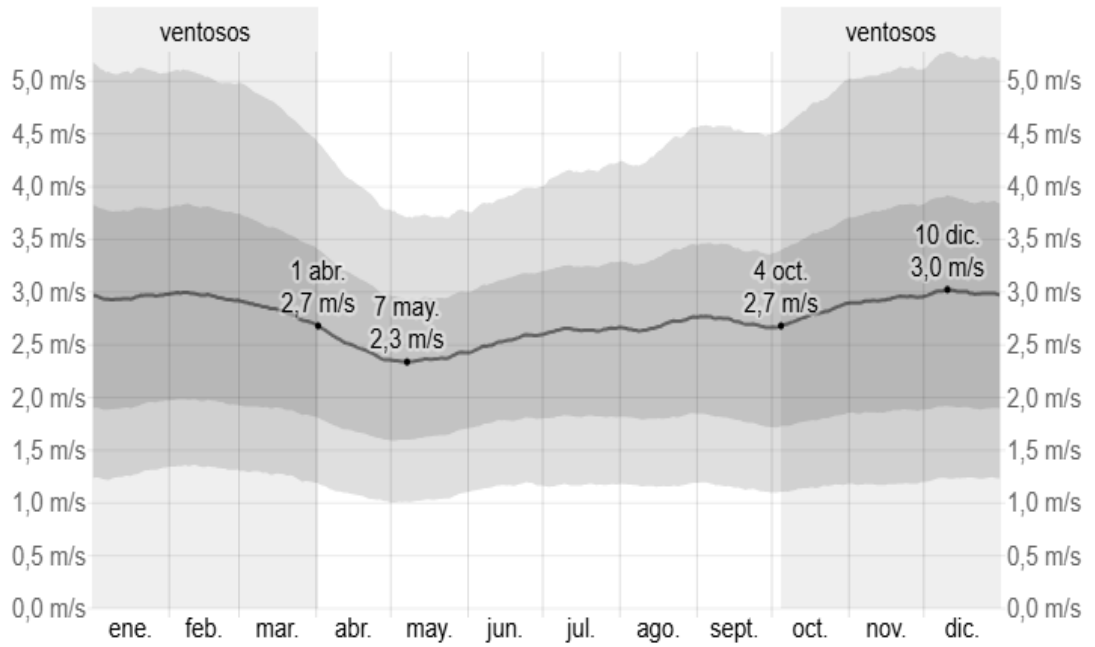
Anexo 7.4 Temperatura promedio por hora



Anexo 7.5 Promedio mensual de lluvia en Taraco



Anexo 7.6 Horas de luz natural y crepúsculo en Taraco



Anexo 7.7 Velocidad promedio del viento en Taraco



Anexo 7.8 Niveles de comodidad de la humedad en Taraco

ANEXO VIII.

Pruebas de normalidad para los ensayos

Prueba de normalidad para contenido de humedad

En la Tabla 43 se presenta la evaluación de la prueba de normalidad aplicada a los datos de contenido de humedad en albura y duramen, utilizando el test de Kolmogorov Smirnov. Los resultados muestran que los datos correspondientes al contenido de humedad en la albura arrojaron un valor de $p = 0.200$, lo cual indica que estos datos se ajustan a una distribución normal. En contraste, los datos del duramen obtuvieron un valor de $p = 0.12$, lo que sugiere que no siguen una distribución normal bajo este mismo criterio estadístico.

Anexo 8.1

Tabla de prueba de normalidad para los datos de contenido humedad

Contenido de humedad en equilibrio	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	Grados libertad	Significancia
Albura	0.07	60	0.200*
Duramen	0.13	60	0.012

Prueba de normalidad para densidad básica

En la tabla 44 se observa el análisis de la prueba de prueba de normalidad de los datos de densidad básica en albura y duramen de la madera de *Pinus radiata* D. Don la prueba de Kolmogorov Smirnov, el resultado del valor $p:0.089$ para los datos de densidad básica en albura, lo que nos indica que los datos siguen una distribución normal, del mismo modo el resultado del valor $p:0.200$ para los datos de densidad básica en duramen, lo que nos indica que siguen una distribución normal.

Anexo 8.2

Tabla de prueba de normalidad para densidad básica

Densidad básica	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	Grados libertad	Significancia
Albura	0.106	60	0.089
Duramen	0.097	60	0.200

Prueba de normalidad para la contracción volumétrica

La Tabla 45 muestra que los datos de contracción volumétrica en albura ($p = 0.059$) y duramen ($p = 0.200$), evaluados mediante la prueba de Kolmogorov Smirnov, siguen una distribución normal, cumpliendo así con el supuesto de normalidad.

Anexo 8.3

Tabla de pruebas de normalidad para los datos de contracción volumétrica

Contracción volumétrica	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	Grados libertad	Significancia
Albura	0.112	60	0.059
Duramen	0.089	60	0.200

Prueba de normalidad para pérdida de masa

En la tabla 46 se observa el análisis de la prueba de prueba de normalidad de los datos de pérdida de masa en albura y duramen de la madera de *Pinus radiata* D. Don mediante los ensayos al intemperismo de cementerio de estacas, se empleara la prueba de Kolmogorov – Smirnov, el resultado del valor $p:0.200$ para los datos de pérdida de masa en albura, lo que nos indica que los datos siguen una distribución normal, del mismo modo el resultado del valor $p:0.200$ para los datos de contracción volumétrica en duramen, lo que nos indica que siguen una distribución normal.

Anexo 8.4

Tabla de pruebas de normalidad para los datos de contracción volumétrica

Pérdida de masa	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	Grados libertad	Significancia
Albura	0.091	60	0.200
Duramen	0.076	60	0.200

ANEXO IX.

Prueba de significancia

Prueba de significancia de contenido de humedad

Dado que los resultados de la prueba de Kolmogorov–Smirnov evidenciaron que los datos de contenido de humedad en la albura presentan una distribución normal, mientras que los datos correspondientes al duramen no cumplen con este supuesto, se optó por aplicar la prueba no paramétrica de Mann–Whitney U para comparar ambos grupos. Esta decisión permite realizar un análisis estadístico adecuado sin depender del cumplimiento del supuesto de normalidad en ambas muestras.

Anexo 9.1

Prueba no paramétrica de Mann Whitney U.

Contenido de humedad en equilibrio	
U de Mann-Whitney	1106.00
W de Wilcoxon	2936.00
Z	-3.64
Sig. asintótica(bilateral)	0.00

De acuerdo a la tabla 47, los resultados de la prueba de Mann–Whitney U (U = 1106.00, Z = -3.64, p = 0.00) revelaron una diferencia estadísticamente significativa entre el contenido de humedad en equilibrio de la albura y del duramen.

Prueba de significancia de densidad básica

Anexo 9.2

Prueba t para la igualdad de medias de densidad básica

Densidad básica	t	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar
Se asumen varianzas iguales	-2.167	0.032	-0.017	0.008
No se asumen varianzas iguales	-2.167	0.032	-0.017	0.008

En el análisis de la tabla 15 el valor p = 0.032 es menor que 0.05 que el umbral de decisión

Prueba de significancia para contracción volumétrica

Anexo 9.3

Prueba t para la igualdad de medias de contracción volumétrica.

	t	Significancia (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar
Se asumen varianzas iguales	-0.035	0.972	-0.004	0.128
No se asumen varianzas iguales	-0.035	0.972	-0.004	0.128

Como se aprecia en la tabla el valor $p = 0.972 > 0.05$ lo cual indica que la prueba no es significativa

Prueba de significancia para pérdida de masa

Anexo 9.4

Prueba t para la igualdad de medias para pérdida de masa

	t	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar
Se asumen varianzas iguales	7.838	0.000	1.219	0.155
No se asumen varianzas iguales	7.838	0.000	1.219	0.155

el valor $p=0.000 < 0.05$ por lo tanto son significativamente diferentes

ANEXO X.

Reporte de radiación solar

GLOBAL SOLAR ATLAS

BY WORLD BANK GROUP

Puno

-15.270275°, -069.86618°

unnamed road, Puno, Peru

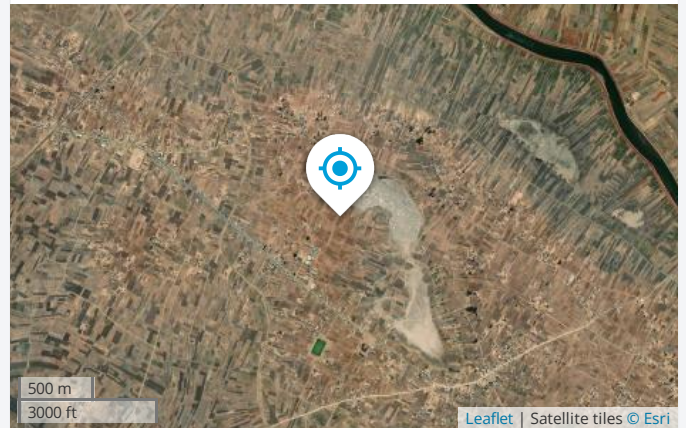
Time zone: UTC-05, America/Lima [PET]

🕒 Report generated: 24 Jun 2025

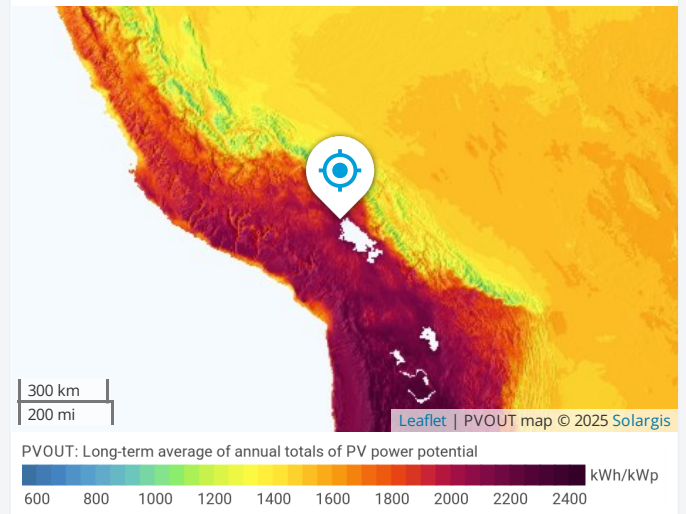
SITE INFO

Map data		Per year
Specific photovoltaic power output	PVOUT specific	2077.4 kWh/kWp
Direct normal irradiation	DNI	2740.0 kWh/m ²
Global horizontal irradiation	GHI	2433.0 kWh/m ²
Diffuse horizontal irradiation	DIF	615.9 kWh/m ²
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI _{opta}	2563.6 kWh/m ²
Optimum tilt of PV modules	OPTA	20 / 0 °
Air temperature	TEMP	9.1 °C
Terrain elevation	ELE	3821 m

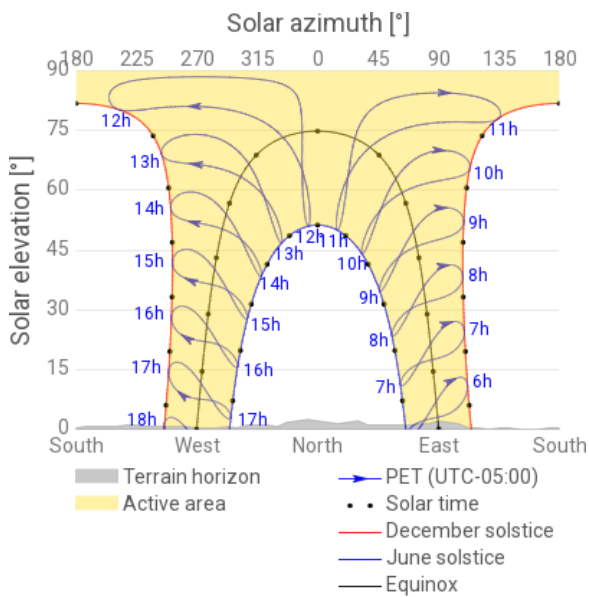
Map



PVOUT map



Horizon and sunpath



GLOBAL SOLAR ATLAS

BY WORLD BANK GROUP

PV ELECTRICITY AND SOLAR RADIATION

Annual averages

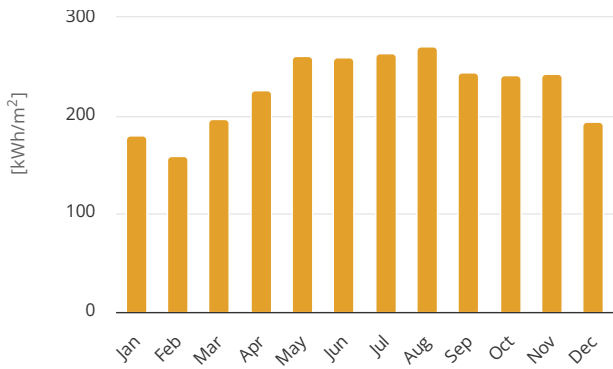
Direct normal irradiation

2737.3

kWh/m² per year

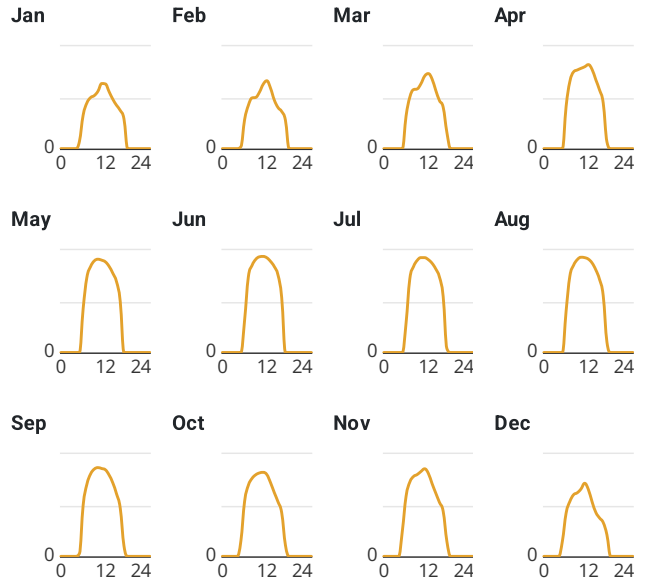
Monthly averages

Direct normal irradiation



Average hourly profiles

Direct normal irradiation [Wh/m²]



UTC-05

Average hourly profiles

Direct normal irradiation [Wh/m²]

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6	71	19							28	151	249	149
6 - 7	327	284	319	413	428	316	288	406	500	538	587	423
7 - 8	446	422	501	654	733	736	717	744	703	694	725	536
8 - 9	499	495	576	749	840	851	839	852	805	762	780	602
9 - 10	518	501	583	768	895	910	900	907	853	797	800	621
10 - 11	561	552	633	784	911	935	927	931	867	815	829	658
11 - 12	636	628	709	800	902	939	927	927	858	821	856	714
12 - 13	632	663	733	821	886	925	907	912	846	799	812	653
13 - 14	556	589	681	774	842	890	872	875	795	719	712	533
14 - 15	482	475	570	673	774	839	817	808	718	623	618	430
15 - 16	423	402	469	574	691	757	737	715	610	533	527	376
16 - 17	373	363	405	446	498	535	547	555	471	425	441	331
17 - 18	291	278	158	67	1		38	102	102	110	146	210
18 - 19												
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	5,816	5,671	6,338	7,524	8,400	8,634	8,517	8,733	8,155	7,787	8,082	6,236

UWU