

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



TESIS

“Influencia del tratamiento del eucalipto con aceites en sus propiedades físico-mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama -Abancay, 2023”

Presentado por:

Bach. LUZLEY CHIPANA AYMARA

Para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Abancay - Apurímac - Perú

2024

Tesis

“Influencia del tratamiento del eucalipto con aceites en sus propiedades físico-mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama -Abancay, 2023”

Línea de investigación

Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible

Asesor

Ing. Hugo Virgilio Acosta Valer



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO DEL EUCALIPTO CON ACEITES EN SUS
PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS PARA SER USADOS EN TIJERALES
TIPO HOWE, LAMBRAMA -ABANCAY, 2023”**

Presentado por el Bach. **LUZLEY CHIPANA AYMARA**, para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**.

Sustentado y aprobado el 06 de febrero del 2024, ante el jurado:

Presidente : Mg. Marco Antonio Gálvez Quintana

Primer miembro : Dr. Wilfredo Soto Palomino

Segundo miembro : Dra. Eliana Ortega Menzala

Asesor : Ing. Hugo Virgilio Acosta Valer

Influencia del tratamiento del eucalipto con aceites en sus propiedades físico-mecánicas para ser usado en tijerales tipo Howe, Lambrama -Abancay, 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	www.fao.org Fuente de Internet	<1%
8	editorial.inudi.edu.pe Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

A Dios, por hacer todo posible.

A mi padre y madre, por su apoyo inquebrantable, sabiduría y tenacidad.

A mi hermano, amigo y compañero, vuestro constante apoyo ha sido fundamental.

AGRADECIMIENTO

A los profesionales de la Universidad Tecnológica de los Andes que participaron en este proceso, por sus enseñanzas, tiempo, competencia y dedicación, los cuales han guiado con éxito esta investigación.

A mi asesor, por brindarme motivación y seguridad de principio a fin en este recorrido.

A mis amigos, su apoyo desinteresado y las experiencias compartidas fueron cruciales para llevar a cabo esta etapa.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
POSTPORTADA.....	ii
PÁGINA DE JURADOS.....	iii
REPORTE DE SIMILITUD.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ACRÓNIMOS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	xx
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Realidad problemática.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.2.1. Formulación del problema.....	3
1.2.2. Problema General.....	3
1.2.3. Problemas Específicos.....	3
1.3. Justificación de la investigación.....	4
1.4. Objetivos de la investigación.....	5
1.4.1. Objetivo General.....	5

1.4.2. Objetivos Específicos.....	5
1.5. Delimitación de la investigación.....	6
1.5.1. Espacial.....	6
1.5.2. Temporal.....	6
1.5.3. Social.....	6
1.5.4. Conceptual.....	6
1.6. Viabilidad de la investigación.....	7
1.7. Limitaciones.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Antecedentes de investigación.....	9
2.1.1. A nivel internacional.....	9
2.1.2. A nivel nacional.....	13
2.1.3. A nivel regional y local.....	16
2.2. Bases teóricas.....	17
2.2.1. Tratamiento de madera.....	17
2.2.1.1. Aceite de teca.....	17
2.2.1.2. Aceite quemado automotriz.....	18
2.2.2. Madera Eucalyptus Globulus.....	20
2.2.3. Propiedades físicas y mecánicas.....	21
2.2.3.1. Propiedades físicas de la madera.....	21

2.2.3.1.1. Contenido de humedad.....	21
2.2.3.1.2. Densidad.....	22
2.2.3.2. Propiedades mecánicas de la madera.....	23
2.2.3.2.1. Compresión axial o paralela al grano.....	24
2.2.3.2.2. Compresión perpendicular al grano.....	25
2.2.3.2.3. Flexión estática.....	25
2.2.4. Tijeral tipo Howe.....	26
2.2.4.1. Agrupamiento de la madera.....	28
2.2.4.2. Diseño estructural.....	29
2.2.4.2.1. Método de análisis.....	29
2.2.4.2.2. Método de diseño.	30
2.2.4.2.3. Esfuerzos admisibles.....	30
2.3. Marco conceptual.....	37
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	40
3.1. Hipótesis.....	40
3.1.1. Hipótesis General.....	40
3.1.2. Hipótesis Específicas.....	40
3.2. Método.....	41
3.3. Tipo de investigación.....	41
3.4. Nivel o alcance de investigación.....	42

3.5. Diseño de investigación.....	43
3.6. Operacionalización de variables.....	43
3.6.1. Cuadro de Operacionalización de variables.....	44
3.7. Población, muestra y muestreo.....	45
3.7.1. Población.....	45
3.7.2. Muestra.....	45
3.7.3. Muestreo.....	45
3.8. Técnicas e instrumentos.....	47
3.8.1. Técnicas.....	47
3.8.2. Instrumentos.....	48
3.8.2.1. Validación de instrumentos.....	49
3.8.2.2. Confiabilidad.....	49
3.9. Consideraciones éticas.....	50
3.10. Procesamiento estadístico.....	50
3.10.1. Criterios estadísticos.....	50
3.10.1.1. Media aritmética.....	50
3.10.1.2. Varianza.....	51
3.10.1.3. Desviación estándar.....	51
3.10.1.4. Coeficiente de variación.....	52
3.10.1.5. Outliers: Criterios de eliminación.....	52

3.10.1.6. Criterio de Chauvenet (r).....	52
3.10.1.7. La prueba t.....	53
3.10.1.8. Normalización.....	54
3.10.1.9. Ponderación.....	55
3.10.1.10. Índice compuesto.....	56
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
4.1. Resultados.....	57
4.1.1. Determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceites en sus propiedades físico-mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe.....	58
4.1.2. Determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada en sus propiedades físicas para ser usados en tijerales tipo Howe.....	59
4.1.3. Determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada en sus propiedades físicas para ser usados en tijerales tipo Howe.....	60
4.1.4. Determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada en sus propiedades mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe.....	61
4.1.5. Determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada en sus propiedades mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe.....	62

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	63
4.2.1. Discusión de resultados del objetivo general.....	63
4.2.2. Discusión de resultados del objetivo específico “a”.....	64
4.2.3. Discusión de resultados del objetivo específico “b”.....	65
4.2.4. Discusión de resultados del objetivo específico “c”.....	66
4.2.5. Discusión de resultados del objetivo específico “d”.....	67
4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	68
4.3.1. Prueba de estadística para la hipótesis específica “a”.....	69
4.3.2. Prueba de estadística para la hipótesis específica “b”.....	71
4.3.3. Prueba de estadística para la hipótesis específica “c”.....	74
4.3.4. Prueba de estadística para la hipótesis específica “d”.....	82
4.3.5. Prueba de estadística para la hipótesis general.....	91
CONCLUSIONES.....	93
RECOMENDACIONES.....	95
BIBLIOGRAFÍA.....	99
ANEXOS.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Densidad Básica para maderas latifoliadas.....	28
Tabla 2 Módulo de elasticidad para maderas latifoliadas MPa (kg/cm ²).....	29
Tabla 3 Esfuerzos admisibles para maderas latifoliadas MPa (kg/cm ²).....	29
Tabla 4 Factores de reducción.....	32
Tabla 5 Factores de forma.....	36
Tabla 6 Operacionalización de variables.....	44
Tabla 7 Cantidad de probetas de madera ensayadas.....	47
Tabla 8 Dimensiones de las probetas de madera.....	47
Tabla 9 Tabla de criterios de Chauvenet.....	53
Tabla 10 Criterios estadísticos para contenido de humedad con aceite de teca.....	69
Tabla 11 Criterios estadísticos para densidad con aceite de teca.....	70
Tabla 12 Criterios estadísticos para contenido de humedad con aceite quemado automotriz.....	72
Tabla 13 Criterios estadísticos para densidad con aceite quemado automotriz.....	73
Tabla 14 Criterios estadísticos para compresión axial o paralela al grano con aceite de teca (ELP).....	75
Tabla 15 Criterios estadísticos para compresión axial o paralela al grano con aceite de teca (RM).....	76
Tabla 16 Criterios estadísticos para compresión axial o paralela al grano con aceite de teca (MOE).....	76
Tabla 17 Criterios estadísticos para compresión perpendicular al grano con aceite de teca (ELP).....	78

Tabla 18 Criterios estadísticos para compresión perpendicular al grano con aceite de teca (ER).....	79
Tabla 19 Criterios estadísticos para flexión estática con aceite de teca (ELP).....	80
Tabla 20 Criterios estadísticos para flexión estática con aceite de teca (MR).....	81
Tabla 21 Criterios estadísticos para flexión estática con aceite de teca (MOE).....	81
Tabla 22 Criterios estadísticos para compresión axial o paralela al grano con aceite quemado automotriz (ELP).....	83
Tabla 23 Criterios estadísticos de compresión axial o paralela al grano con aceite quemado automotriz (RM).....	84
Tabla 24 Criterios estadísticos para compresión axial o paralela al grano con aceite quemado automotriz (MOE).....	84
Tabla 25 Criterios estadísticos para compresión perpendicular al grano con aceite quemado automotriz (ELP).....	86
Tabla 26 Criterios estadísticos para compresión perpendicular al grano con aceite quemado automotriz (ER).....	87
Tabla 27 Criterios estadísticos para flexión estática con aceite quemado automotriz (ELP).....	88
Tabla 28 Criterios estadísticos para flexión estática con aceite quemado automotriz (MR).....	89
Tabla 29 Criterios estadísticos para flexión estática con aceite quemado automotriz (MOE).....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esfuerzos mecánicos en la madera.....	26
Figura 2 Elementos de un tijeral tipo Howe.....	27
Figura 3 Índice compuesto de tratamiento con aceites en propiedades físico- mecánicas.....	58
Figura 4 Índice compuesto de tratamiento con aceite de teca por inmersión prolongada en propiedades físicas.....	59
Figura 5 Índice compuesto de tratamiento con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada en propiedades físicas.....	60
Figura 6 Índice compuesto de tratamiento con aceite de teca por inmersión prolongada en propiedades mecánicas.....	61
Figura 7 Índice compuesto de tratamiento con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada en propiedades mecánicas.....	62
Figura 8 Campana de Gauss de contenido de humedad con aceite de teca.....	70
Figura 9 Campana de Gauss de densidad con aceite de teca.....	71
Figura 10 Campana de Gauss de contenido de humedad con aceite quemado automotriz.....	73
Figura 11 Campana de Gauss de densidad con aceite quemado automotriz.....	74
Figura 12 Campana de Gauss de compresión axial o paralela al grano con aceite de teca.....	77
Figura 13 Campana de Gauss de compresión perpendicular al grano con aceite de teca.....	79
Figura 14 Campana de Gauss de flexión estática con aceite de teca.....	82

Figura 15 Campana de Gauss de compresión axial o paralela al grano con aceite quemado automotriz.....	85
Figura 16 Campana de Gauss de compresión perpendicular al grano con aceite quemado automotriz.....	88
Figura 17 Campana de Gauss de flexión estática con aceite quemado automotriz.....	91

ACRÓNIMOS

INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática.

ISO: International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización).

UNE: Unión de Normas Españolas.

EN: European Norm (Norma Europea).

ASTM: American Society for Testing and Materials (Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales).

RNE: Reglamento Nacional de Edificaciones.

NTP: Norma Técnica Peruana.

CORMA: Corporación Chilena de la Madera.

NTE: Norma Técnica Ecuatoriana.

CSI SAP 2000: Computer and Structures, Inc. - Structural Analysis Program 2000.

TFEC: The Timber Frame Engineering Council.

RESUMEN

En la localidad de Uripampa, el eucalipto, vital en la construcción de tijerales, enfrenta retos en su durabilidad y resistencia debido a la degradación y la falta de tratamientos adecuados. En esta investigación, el enfoque es cuantitativo de tipo aplicado y diseño experimental, para determinar la influencia del tratamiento con aceites por inmersión prolongada en sus propiedades físico-mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe. La población de estudio incluyó un sector seleccionado de Uripampa, con muestras tomadas de 5 árboles según la norma NTP 251.008 y un muestreo no probabilístico. Se evaluaron 120 probetas: 40 sin tratamiento, 40 tratadas con aceite de teca y 40 con aceite quemado automotriz. Los ensayos midieron contenido de humedad (NTP 251.010), densidad (NTP 251.011), compresión axial o paralela al grano (NTP 251.014), compresión perpendicular al grano (NTP 251.016) y flexión estática (NTP 251.017). Se realizaron análisis estadísticos, cálculos de esfuerzos admisibles y desarrollo de índices compuestos de propiedades físicas y mecánicas, siguiendo criterios estadísticos. Los hallazgos se aplicaron al diseño estructural de un tijeral tipo Howe, utilizando cálculos conforme a las normativas y el software SAP 2000 para elaborar el plano técnico. Además, se llevó a cabo un análisis de costos y ensayos de esfuerzo a compresión de tijerales tipo Howe a escala. Los resultados indicaron que el tratamiento con aceite de teca mejora significativamente las propiedades físico-mecánicas de la madera, mientras que el aceite quemado automotriz, aunque menos efectivo, también produce mejoras para ser usado en tijerales tipo Howe.

Palabras Clave: tratamiento del eucalipto con aceites, tijerales tipo Howe, propiedades físicas de la madera, propiedades mecánicas de la madera.

ABSTRACT

In the locality of Uripampa, Eucalyptus, essential in the construction of Howe trusses, faces challenges in its durability and resistance due to degradation and the lack of appropriate treatments. This research adopts a quantitative applied approach and experimental design to determine the influence of prolonged immersion treatment with oils on its physical and mechanical properties for use in Howe trusses. The study population included a selected sector of Uripampa, with samples taken from 5 trees according to standard NTP 251.008 and non-probabilistic sampling. 120 specimens were evaluated: 40 untreated, 40 treated with teak oil, and 40 with automotive burnt oil. The tests measured moisture content (NTP 251.010), density (NTP 251.011), axial or parallel grain compression (NTP 251.014), perpendicular grain compression (NTP 251.016), and static bending (NTP 251.017). Statistical analyses, calculations of permissible stresses, and the development of composite indices of physical and mechanical properties were performed, following statistical criteria. The findings were applied to the structural design of a Howe truss, using calculations according to regulations and SAP 2000 software to develop the technical drawing. Additionally, a cost analysis and compression testing of Howe trusses on a scale were conducted. The results indicated that treatment with teak oil significantly improves the physical and mechanical properties of wood, while automotive burnt oil, although less effective, also enhances properties for use in Howe trusses.

Keywords: treatment of eucalyptus with oils, Howe trusses, wood physical properties, wood mechanical properties.

INTRODUCCIÓN

En la región de Apurímac, conocida por su entorno rural y la presencia de eucalipto, la construcción de techos con este material es una práctica habitual. En Urpipampa, una localidad de esta región, la madera de eucalipto se utiliza ampliamente en la construcción de tijerales, destacando la importancia de un manejo adecuado y sostenible del recurso. Sin embargo, esta práctica enfrenta desafíos significativos como la degradación biológica y la falta de tratamientos adecuados, lo que repercute en la durabilidad y seguridad de las estructuras. Esta investigación compara dos tratamientos por inmersión prolongada para la madera de eucalipto: el aceite de teca y el aceite quemado automotriz. Se encontró que, mientras el aceite de teca mejora significativamente las propiedades físicas y mecánicas de la madera, el aceite quemado automotriz, aunque más económico, también muestra mejoras en estas propiedades, pero con limitaciones en eficacia y sostenibilidad ambiental. Identificar un tratamiento óptimo que equilibre eficiencia, costo y responsabilidad ambiental es una parte fundamental de este estudio. Organizada en cuatro capítulos, la tesis inicia con la problemática y su contexto, seguido de un marco teórico, la metodología utilizada y finalmente los resultados y conclusiones. Los anexos incluyen detalles técnicos, como procedimientos, cálculos y análisis estadísticos, además del diseño de un tijeral tipo Howe. Este estudio no solo tiene como propósito mejorar las prácticas de construcción en Urpipampa y localidades rurales con contextos similares, sino también contribuir a un enfoque más sostenible y eficiente en el uso de recursos naturales en la construcción, beneficiando tanto a las comunidades locales como a los profesionales del sector y proporcionando conocimientos aplicables en otros contextos similares.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Realidad problemática.

A lo largo de la evolución de la humanidad, la madera ha desempeñado un papel fundamental como uno de los materiales de construcción más antiguos, utilizada en una amplia variedad de aplicaciones que van desde estructuras de tijerales hasta vigas, columnas y muros. Su importancia radica en su contribución esencial a la lucha contra el cambio climático, la promoción de la diversificación de fuentes de energía y la preservación del medio ambiente (Chicaiza, 2022, p. 16). A pesar de sus cualidades deseables, como una apariencia atractiva, baja densidad y buenas propiedades aislantes, la madera también presenta desafíos, como la higroscopicidad, la degradación de la superficie y la susceptibilidad a ataques biológicos por insectos y hongos.

En lo que respecta al uso de la madera en la construcción, los países desarrollados muestran una proporción superior. Por ejemplo, "en la Unión Europea, se estima que aproximadamente el 8-10% de las viviendas se construyen con estructura de madera, aunque esta cifra puede alcanzar el 70% en Escocia y hasta el 90% en Finlandia. Estos valores contrastan significativamente con América del Norte, donde se utiliza madera en la construcción del 90% de las viviendas" (Gysling et al., 2021, p. 10).

En Perú, existe una necesidad imperante de mejorar las condiciones de

vivienda, conocida como déficit habitacional cualitativo. Según la Encuesta Nacional de Programas Presupuestales del INEI (2021), el 8,9% de los hogares peruanos enfrenta este tipo de déficit, siendo más notorio en áreas rurales con un 15,3%, en comparación con el 7,2% en áreas urbanas (INEI, 2021, p. 188). A menudo se asocia la construcción con madera a estructuras temporales y de calidad cuestionable. Sin embargo, Ordoñez y Lugo (2016) resaltan que esta percepción puede ser errónea y enfatizan la importancia del tratamiento preservante de la madera. Antes de proceder con la construcción de una estructura de madera, es esencial aplicar un tratamiento protector adecuado que brinde inmunidad a la madera contra posibles ataques de insectos y microorganismos, con el propósito de preservar la integridad de la estructura y sus componentes. Una óptima adaptación de estos tratamientos es crucial, así como ejercer precaución en el proceso de secado de la madera, lo que no solo contribuirá a su resistencia mecánica sino también a reducir su peso total (Ordoñez & Lugo, 2016, p. 87).

La literatura científica ha contribuido ampliamente al análisis y desarrollo de métodos de protección, siendo crucial para reducir los requisitos de mantenimiento de la madera expuesta al exterior y mejorar las propiedades físico-mecánicas en estructuras de cerramiento de cubiertas.

En Uripampa, ubicado en el distrito de Lambrama, los techos de los edificios rurales están principalmente soportados por tijerales de madera de eucalipto. La falta de tratamiento adecuado afecta negativamente sus propiedades físicas y mecánicas, lo que resulta en una disminución de su vida útil y limita su rendimiento óptimo en términos de resistencia, lo que a su vez genera gastos adicionales de reposición.

1.2. Planteamiento del problema.

1.2.1. *Formulación del problema.*

Considerando lo expuesto anteriormente, surgió la necesidad de investigar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceites en sus propiedades físico-mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe. En la construcción de estructuras como tijerales, es esencial entender cómo el tratamiento de la madera afecta su resistencia, durabilidad y características mecánicas. Examinar cómo la aplicación de aceites podía influir positivamente o alterar las características físicas y mecánicas de la madera, proporcionó datos esenciales para perfeccionar el empleo de esta madera en componentes estructurales. Esto, en última instancia, contribuye a avanzar en la sostenibilidad y eficacia de la construcción, conforme a los requisitos establecidos por las Normas Técnicas Peruanas vigentes.

1.2.2. *Problema General.*

¿Cuál es la influencia del tratamiento del eucalipto con aceites en sus propiedades físico-mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama-Abancay, 2023?

1.2.3. *Problemas Específicos.*

- a) ¿Cuál es la influencia del tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada en sus propiedades físicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama-Abancay, 2023?
- b) ¿Cuál es la influencia del tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada en sus propiedades físicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama-Abancay, 2023?
- c) ¿Cuál es la influencia del tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada en sus propiedades mecánicas para ser usados en

tijerales tipo Howe, Lambrama-Abancay, 2023?

- d) ¿Cuál es la influencia del tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada en sus propiedades mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama-Abancay, 2023?

1.3. Justificación de la investigación.

El propósito de este estudio fue "Determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceites en sus propiedades físico-mecánicas para ser utilizados en tijerales tipo Howe" en la localidad de Uripipampa. Esta investigación destacó la importancia de aplicar tratamientos adecuados con aceites por inmersión prolongada en la madera para prolongar su durabilidad y garantizar un rendimiento estructural óptimo. Los resultados de esta investigación son valiosos tanto para entidades gubernamentales como para individuos y constructores, ya que proporcionan información fundamental para tomar decisiones bien fundamentadas respecto al tratamiento de la madera. Como señalaron Gysling et al. (2021), "Aunque el estudio se basó en una revisión exhaustiva de la literatura, su principal contribución radicó en la generación de información sustancial" (p. 1).

El avance en la comprensión de cómo mejorar la resistencia de un material tan común en la región aportó una perspectiva actualizada sobre esta madera. Compartir este estudio con los residentes locales y los pequeños distribuidores, quienes tuvieron acceso a esta información, contribuye a restaurar la relevancia de la madera en la construcción de viviendas rurales. Esto es esencial para la construcción sostenible y para abordar las necesidades económicas, sociales y ambientales. Además, contar con parámetros de resistencia del material facilita su uso seguro en estructuras y maximiza su eficiencia. En última instancia, esta investigación se estableció como una herramienta para el uso apropiado de este

recurso renovable y ecológico, presente en toda la región. Su contribución práctica se basó en la presentación de resultados cuantitativos obtenidos a través de experimentos de laboratorio, los cuales guían las decisiones futuras en cuanto al tratamiento de la madera con aceites por inmersión prolongada según el uso previsto de la estructura.

1.4. Objetivos de la investigación.

1.4.1. Objetivo General.

Determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceites en sus propiedades físico-mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama-Abancay, 2023.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- a) Determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada en sus propiedades físicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama-Abancay, 2023.
- b) Determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada en sus propiedades físicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama-Abancay, 2023.
- c) Determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada en sus propiedades mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama-Abancay, 2023.
- d) Determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada en sus propiedades mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama-Abancay, 2023.

1.5. Delimitación de la investigación.

1.5.1. Espacial.

La investigación se realizó en la localidad de Uripampa, situada en el distrito de Lambrama. Las labores de campo se llevaron a cabo en esta localidad, mientras que los ensayos y el trabajo de gabinete se realizaron en el distrito de Abancay, ambos ubicados en la provincia de Abancay, región de Apurímac.

1.5.2. Temporal.

Los ensayos necesarios para la investigación se ejecutaron en los meses de junio y julio de 2023.

1.5.3. Social.

Esta investigación estuvo dirigida a la población de Uripampa, en Lambrama, Abancay, que utiliza tijerales de madera de *Eucalyptus Globulus* en sus construcciones. El estudio es relevante para autoridades locales, constructores, empresas madereras y cualquier persona interesada en la utilización de tijerales de madera y en la aplicación de tratamientos con aceites, especialmente en contextos rurales donde la madera es un componente esencial en las estructuras. El objetivo fue mejorar la durabilidad y resistencia de estas estructuras de madera mediante el uso de tratamientos adecuados, teniendo en cuenta las necesidades y prácticas constructivas locales.

1.5.4. Conceptual.

El estudio se centró en determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceites por inmersión prolongada en sus propiedades físicas (contenido de humedad y densidad) y sus propiedades mecánicas (compresión axial o paralela al grano, compresión perpendicular al grano y flexión estática) para ser usados en tijerales tipo Howe. Los datos recopilados se registraron utilizando instrumentos de

recolección específicos para los ensayos, siguiendo las normativas correspondientes.

1.6. Viabilidad de la investigación.

La viabilidad de llevar a cabo la investigación fue posible gracias a la disponibilidad de recursos locales y al respaldo financiero exclusivo de la tesista. Se contó con el acceso adecuado a la población de Uripipampa para las visitas de campo y la extracción de muestras, así como a los aceites necesarios para el tratamiento, disponibles comercialmente a nivel local y nacional. Los ensayos se llevaron a cabo en un laboratorio local privado, que proporcionó los materiales y equipos necesarios, aunque los gastos adicionales de herramientas requeridas para los ensayos fueron asumidos por la tesista. Además, se contó con un conjunto completo de dispositivos tecnológicos, desde equipos de gabinete hasta programas informáticos necesarios para el procesamiento eficiente de la información recopilada durante los ensayos físicos y mecánicos de la investigación.

1.7. Limitaciones.

Durante la ejecución de esta investigación, se resaltó la importancia de acceder a información actualizada sobre la población forestal de distintas especies maderables. De acuerdo con el Plan Nacional de Investigación Forestal y de Fauna Silvestre 2020-2030, se identificó una "notoria falta de coordinación entre los actores del sector forestal y de fauna silvestre, con limitados mecanismos institucionales para abordar las deficiencias de coordinación" (Ministerio de Agricultura y Riego del Perú, 2020, p. 11). La inaccesibilidad de datos actualizados al concluir esta investigación representó una limitación significativa en el proceso de estudio.

Adicionalmente, la capacidad para realizar pruebas de laboratorio estuvo limitada a evaluaciones de resistencia por compresión y flexión, utilizando los recursos de laboratorios locales. Esta restricción impidió una caracterización completa de todas las propiedades físicas y mecánicas de las muestras de madera.

Para contrarrestar estas limitaciones, se adoptaron estrategias alternativas. Se realizaron visitas a Uripampa con el objetivo de identificar los lugares más apropiados para la recolección de muestras. Asimismo, se fabricaron y adquirieron los equipos e instrumentos necesarios para efectuar los ensayos de laboratorio.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación.

2.1.1. A nivel internacional.

El artículo “Mechanical Properties of Small Clear Specimens of Eucalyptus globulus Labill”, que se traduce como “Propiedades mecánicas de pequeñas muestras claras de Eucalipto globulus Labill” de Crespo et al. (2020) investigó las características mecánicas del Eucalyptus globulus, proporcionando una comprensión detallada de propiedades fundamentales como la tensión de tracción y el módulo de elasticidad. Los valores promedio de humedad fueron del 10.2%, con una densidad promedio de 847 kg/m³. Se obtuvieron valores de tensión de tracción paralela a la veta de 176.3 megapascal (MPa) y un módulo de elasticidad promedio de 23.80 gigapascal (GPa). Las pruebas de tracción perpendicular a la veta dieron 7.5 MPa. La compresión paralela fue de 73.6 MPa y un módulo de elasticidad de 18.06 GPa. En la compresión perpendicular a la veta, los valores fueron 11.1 MPa en la dirección radial y 10.2 MPa en la tangencial. Las mediciones de flexión revelaron una tensión última de 124 MPa y un módulo de elasticidad de 22.3 GPa. En resumen, Eucalyptus globulus Labill mostró altos valores de tensión última y módulo de elasticidad en comparación con otras maderas, con correlaciones sólidas en las pruebas de flexión y tracción paralela a la veta. Estos hallazgos fueron esenciales para entender el potencial del Eucalyptus globulus en

aplicaciones estructurales y establecieron un marco valioso para cualquier consideración de tratamientos adicionales en la madera. La detallada exploración de Crespo et al. de las propiedades mecánicas intrínsecas del *Eucalyptus globulus* llevó a examinar otra perspectiva en la investigación de Carro (2021).

Siguiendo esta línea de indagación, la tesis de maestría “Caracterización elasto-mecánica de probetas sin termotrear y termotradas para uso estructural de madera de *Eucalyptus nitens* H. Deane and Maiden” de Carro (2021) profundizó en el estudio de otro tipo de eucalipto: el *Eucalyptus nitens*. Carro exploró tanto las propiedades naturales como las alteradas por termotrear de esta especie, revelando cómo tales tratamientos podían impactar su idoneidad para aplicaciones estructurales. Se realizaron ensayos de flexión para determinar el Módulo de Elasticidad Global (MOEG), y posteriormente se llevó a cabo un análisis estadístico de los resultados según la normalización española (UNE) y la europea (EN), UNE-EN 408:2011. Las conclusiones de Carro destacaron una reducción significativa en múltiples propiedades del *Eucalyptus nitens* tras los tratamientos térmicos, incluyendo el módulo de elasticidad global, la resistencia a la flexión, la densidad y la contracción en distintas direcciones. Este estudio se basó en un número limitado de muestras, un factor a considerar al interpretar los resultados. No obstante, estos hallazgos ofrecieron una perspectiva invaluable sobre la idoneidad estructural tanto de la madera tratada como de la no tratada. Además, estos resultados proporcionaron un entendimiento crucial sobre los efectos potenciales de varios tratamientos en el eucalipto, ofreciendo una visión relevante para esta investigación sobre cómo los tratamientos con aceites podrían influir, de manera similar o diferente, en las propiedades mecánicas de esta madera.

Similarmente, la tesis doctoral “Influencia de un tratamiento térmico en la

higroscopicidad y en la resistencia mecánica de la guadua *Angustifolia Kunth*” de Acosta (2021) investigó la aplicación de un tratamiento térmico para reducir la higroscopicidad de la *Guadua angustifolia Kunth* sin afectar sus propiedades mecánicas. Los resultados indicaron que temperaturas superiores a 180 °C y 3 horas en sistemas cerrados con vapor dañaron el material. La resistencia a la flexión (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE) en tracción aumentaron inicialmente y luego disminuyeron en respuesta a tratamientos térmicos en el rango de 160 a 200 °C de 1 a 4 horas. El MOE mostró un ligero aumento con el aumento de la temperatura y el tiempo, indicando mayor rigidez. Además, el MOR aumentó particularmente con el tratamiento a 160 °C durante 2 horas. Sin embargo, después de un tratamiento a 200 °C durante 4 horas, se observó una alta variabilidad en los valores de MOR y MOE. La capacidad de absorción de humedad (CHE) a 80 % de humedad relativa y 20 °C mostró una diferencia de alrededor del 5 % entre las muestras no tratadas y aquellas sometidas al tratamiento térmico a 200 °C durante 4 horas, ofreciendo un paralelo útil para entender cómo los tratamientos térmicos afectan la madera, un tema directamente aplicable en la presente investigación.

En su tesis de maestría, “Efecto de termotratamientos en las propiedades físico-mecánicas, químicas y resistencia a la pudrición de la madera de *Gmelina arborea*”, Equihua (2018) examinó los efectos de dos modalidades de tratamiento térmico en la madera de *Gmelina arborea*. Este estudio se enfocó en cómo los tratamientos térmicos impactaron tanto las propiedades físico-mecánicas como la resistencia a la degradación causada por hongos de pudrición blanca (*Trametes versicolor*) y pudrición café (*Gloeophyllum trabeum*). Los resultados mostraron que los tratamientos térmicos ocasionaron un incremento en la absorción de agua, el hinchamiento y la contracción de la madera. Además, a pesar de que hubo un

aumento en la resistencia a la compresión paralela debido a los tratamientos, esta resistencia disminuyó como resultado de la degradación provocada por los hongos. También se observó una mayor pérdida de masa en las muestras de madera sometidas a termotratamiento en comparación con las no tratadas. Estos hallazgos son significativos para esta investigación, ya que ofrecen una perspectiva sobre los posibles efectos de los tratamientos con aceites en el eucalipto, abarcando tanto las propiedades mecánicas como la resistencia a la degradación.

Finalmente, Malik (2019) presentó su tesis doctoral titulada “Enhancing timber quality of Jabon wood (*Anthocephalus cadamba*) for high quality products by treatment through densification and impregnation with Merbau extractives”, que se traduce como “Mejora de la calidad de la madera de Jabon (*Anthocephalus cadamba*) para productos de alta calidad mediante tratamiento de densificación e impregnación con extractos de Merbau”. En este estudio, Malik exploró las propiedades de los extractivos de Merbau (ME) y los extractivos de Merbau Polimerizado (PME) en relación con su uso como material de impregnación. El estudio se centró en la extracción y polimerización de ME, seguido de la aplicación de los PME en madera Jabon para determinar los cambios en sus propiedades físicas, mecánicas y químicas. Los resultados revelaron mejoras significativas en propiedades como la gravedad específica, dureza, resistencia al corte, módulo de elasticidad y resistencia a la flexión, confirmados mediante técnicas de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y análisis de cristalinidad (XRD). Aunque el enfoque de Malik estuvo en un tipo diferente de madera y tratamiento, este ofrece una base valiosa para considerar como los tratamientos con aceites podrían utilizarse para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del eucalipto en aplicaciones de alta calidad.

2.1.2. A nivel nacional.

Valencia y Sánchez (2017) en su tesis de pregrado llevaron a cabo un estudio significativo sobre el *Eucalyptus Globulus*, analizando el impacto de diversos tratamientos en sus propiedades físico-mecánicas. Su investigación, titulada “Evaluación comparativa de los efectos que produce el aceite requemado automotriz y cola sintética blanca en las propiedades físico mecánicas de la madera *Eucalyptus globulus* con contenido de humedad seco procedente de la zona de Paucartambo-Cusco aplicada por inmersión prolongada para uso estructural”, densidad básica, dureza, resistencia al cizallamiento paralelo al grano, compresión axial o paralela al grano, compresión perpendicular y flexión estática, utilizando 360 probetas de madera, distribuidas en grupos de 20 para cada tipo de prueba. Estas probetas se sometieron a tres tratamientos diferentes: cola sintética, aceite requemado y un grupo sin tratamiento. Los resultados destacaron una mejora notable en las propiedades mecánicas de la madera tratada con aceite requemado, proporcionando un punto de partida relevante para explorar tratamientos alternativos en el eucalipto.

Chura y Muchica (2021), enfocaron su investigación en el *Pinus Radiata* en su tesis de pregrado titulada “Factibilidad del uso de la madera *Pinus radiata* como material estructural para la construcción de tijerales en la región Puno”. Realizaron pruebas de flexión, densidad y contenido de humedad, complementadas con la construcción y evaluación de un tijeral tipo Howe. Aunque la madera de pino no logró cumplir con los requisitos de resistencia mecánica necesarios para clasificarse en el grupo C de la normativa técnica E.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones, los resultados fueron prometedores. El tijeral construido soportó una carga significativa de 837.55 kg, muy próxima al diseño objetivo de 826.82 kg.

Este resultado fue especialmente significativo porque abrió nuevas perspectivas sobre el uso potencial de diversas especies de madera, como el eucalipto, en estructuras similares.

En su tesis de pregrado, “Desarrollo y evaluación del tratamiento térmico para las maderas comerciales peruanas de alta y baja densidad “capirona” y “Pashaco”, Valdivia (2021) investigó el impacto del tratamiento térmico en distintas especies de madera. La investigación se centró en someter muestras de madera a temperaturas de 160, 180 y 200 °C durante un periodo de 4 horas para evaluar los cambios. Las pruebas incluyeron la medición de características físicas tales como contenido de humedad, densidad básica, estabilidad dimensional, absorción de agua y pérdida de masa, así como ensayos mecánicos de compresión paralela a las fibras. Los resultados revelaron que el tratamiento térmico disminuía la higroscopicidad de la madera a medida que aumentaba la temperatura, siendo 200 °C la más eficaz. Además, se detectó un incremento notable en la resistencia mecánica de las especies estudiadas a temperaturas de 160 y 180 °C, con aumentos de 29.11% y 18.37% para "Capirona", y 14.34% y 14.76% para "Pashaco", respectivamente, en comparación con la madera no tratada, un descubrimiento relevante para la aplicación de tratamientos similares en el eucalipto.

Reyes (2021), a través de su tesis de pregrado titulada “Acondicionamiento de un prototipo de vivienda social usando un material compuesto alternativo de madera copaiba y resina epóxica”, examinó el impacto de la resina epóxica en la madera de copaiba. Se realizaron ensayos de flexión, densidad, resistencia a la compresión perpendicular y compresión paralela en muestras recubiertas con resina epóxica. Tras 24 horas de secado, se obtuvieron los siguientes resultados:

la flexión con dos capas de resina (2.8 mm) incrementó la resistencia en un 20%, alcanzando 1232.83 kg/cm² respecto a los 1098.26 kg/cm² iniciales. La densidad aumentó proporcionalmente con más capas de resina. La resistencia a la compresión perpendicular creció de 139.50 kg/cm² a 154.73 kg/cm², y la compresión paralela aumentó de 434.77 kg/cm² a 524.62 kg/cm². Los resultados mostraron un aumento de resistencia con la aplicación de resina epóxica, este enfoque nuevas perspectivas sobre el fortalecimiento de la madera, incluido el eucalipto, para aplicaciones estructurales.

Finalmente, Espinoza y Macavilca (2018), en su tesis de pregrado “Prototipo de tijerales usando madera Chontaquiro (*Diplotropis* sp) aplicando la norma técnica peruana E.010 en la selva central”, estudiaron la madera Chontaquiro para clasificarla según normas técnicas nacionales. Se realizaron ensayos físicos y mecánicos, incluyendo contenido de humedad, densidad básica y flexión estática para calcular esfuerzo admisible y módulo de elasticidad. Las conclusiones son: la madera chontaquiro se clasifica en la categoría A, con densidad de 0.85 kg/cm³ y MOE promedio de 194,514.60 kg/cm², siendo estructural según normativas. El prototipo de tijeral cumple con las exigencias de las normas E.010 de madera y E.20 de Cargas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Sus hallazgos confirmaron que la madera chontaquiro cumple con los criterios estructurales de las normativas nacionales, aportando valiosa información sobre la viabilidad de otras maderas.

2.1.3. A nivel regional y local.

En su tesis de pregrado, Osis y Muñoz (2022) llevaron a cabo un estudio exhaustivo titulado “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-Apurímac”. Esta investigación se centró en medir la densidad básica y diversas propiedades mecánicas como la resistencia al corte paralelo al grano, la compresión axial paralela y perpendicular al grano, la tracción paralela al grano y la flexión estática. Se utilizaron 450 probetas de 10 árboles de eucalipto, pino y ciprés, provenientes de Taraccasa y Socclaccasa. Los resultados del estudio indicaron que la madera de eucalipto demostró ser la más adecuada para su uso estructural. Presentó esfuerzos admisibles de flexión de 409.3 kg/cm², tracción paralela de 453.3 kg/cm², compresión paralela de 206.1 kg/cm², compresión perpendicular de 42.1 kg/cm², corte paralelo de 21.2 kg/cm² y un módulo de elasticidad de 65989.3 kg/cm². Además, Osis y Muñoz sugirieron la realización de futuras investigaciones que exploren la incorporación de aditivos o tratamientos para potenciar las cualidades físicas y mecánicas del eucalipto, pino y ciprés, aportando así direcciones valiosas para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en estructuras de madera.

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. Tratamiento de madera.

Teaca y Tanasa (2020) describen el tratamiento de la madera como una estrategia de modificación pasiva que no altera la estructura molecular de los elementos poliméricos presentes en la madera. Este proceso generalmente implica la difusión de productos químicos, tales como monómeros, polímeros, resinas y ceras, dentro de la pared celular o el lumen. Esta difusión resulta en un incremento de la densidad de la madera y previene la penetración de agua en las paredes celulares (Teaca & Tanasa, 2020, p. 2).

Melero (2020) clasifica los tratamientos preventivos de la madera, que se realizan antes de su uso, según la profundidad de penetración de la solución protectora o el nivel de humedad durante la impregnación. Estos tratamientos se categorizan de la siguiente manera:

- Tratamientos superficiales: Con una penetración de entre 1 a 3 mm.
- Tratamientos de penetración media: Donde la penetración es de 3 mm o menos en al menos el 75% del área impregnable de la pieza.
- Tratamientos profundos: Aquellos en los que la penetración excede el 75% del área potencialmente impregnable de la pieza (Melero, 2020, p. 28).

2.2.1.1. Aceite de teca.

El Teca (*Tectona grandis*) es un árbol originario de India, Myanmar, Laos y Tailandia que pertenece a la familia Verbeceae. Su madera es altamente apreciada por su resistencia al agua y durabilidad, lo que la hace valiosa en diversas aplicaciones, incluyendo la construcción de estructuras marítimas. Además, se aprovechan subproductos como el aceite extraído de la corteza, conocido por sus

propiedades antimicrobianas, para preservar la madera. El aceite de teca, obtenido de las semillas o nueces del árbol, encuentra aplicaciones en diversas industrias debido a sus beneficiosas propiedades. Es conocido por su capacidad para proteger y conservar la madera, especialmente la madera de teca, que es altamente valorada por su resistencia natural a la humedad, los insectos y la putrefacción. Cuando se aplica en la madera, nutre y penetra en los poros, mejorando su resistencia y prolongando su vida útil. Además, realza la belleza natural de la madera, dejando un acabado cálido y brillante (Calderón y Zurita, 2019, p. 11).

Aboaba et al. (2013) analizaron la composición química del aceite esencial de teca, identificando una variedad de compuestos. Este aceite se compone de monoterpenos oxigenados (14.1%), hidrocarburos sesquiterpénicos (7.3%), sesquiterpenos oxigenados (15.8%), apocarotenoides (20.5%), fenilpropanoides (1.2%) y derivados no terpénicos (27.6%). Los principales componentes del aceite incluyen linalol (8.7%), β -eudesmol (8.5%), (E)- β -ionona (7.8%), mesitileno (6.0%) y (E)-geranilacetato (5.1%). Otros componentes significativos son n-decano (4.2%), edulan I (3.6%), dodecanal (3.1%), isocariofileno (2.9%), nonanal (2.7%), β -cariofileno (2.6%), óxido de cariofileno (2.5%) y hexahidrofarnesilacetona (2.3%), siendo el linalol el más abundante (8.7%)" (Aboaba et al., 2013).

2.2.1.2. Aceite quemado automotriz.

Valencia y Sánchez (2017) caracterizan el aceite quemado como un fluido viscoso que presenta una gama de colores que varía desde tonalidades pardas hasta negras. Este aceite se obtiene del motor de un vehículo durante el proceso de cambio de aceite. A pesar de su semejanza con el aceite sin usar, el aceite quemado contiene aditivos químicos adicionales debido a su función como

lubricante en el motor (p. 63).

De acuerdo con estos investigadores, el aceite usado está compuesto por hidrocarburos destilados del petróleo crudo, así como una serie de aditivos diseñados para mejorar su rendimiento. Además, incluye sustancias químicas que surgen durante la exposición del aceite a condiciones de alta temperatura y presión dentro del motor. Asimismo, contiene trazas de metales procedentes de distintas partes del motor, así como cantidades mínimas de gasolina, líquido refrigerante y productos químicos generados por la combustión de la gasolina en el motor. En lo que respecta a la contaminación presente en el aceite usado, esta incluye metales pesados, subproductos de la combustión, aditivos y sustancias contaminantes como plomo, arsénico, cadmio, mercurio, zinc y cromo, entre otros. Asimismo, es posible que contenga partículas sólidas, como tierra, polvo y residuos de la combustión (p. 63).

Ortiz y Piloto (2019) señalan que las características de los aceites usados pueden variar ampliamente según su origen y aplicación. En general, la fuente de los contaminantes es la degradación recurrente de los compuestos debido al desgaste de aditivos en los subproductos de la combustión incompleta, como se encuentra en los vehículos a gasolina. Estos contaminantes pueden incluir polvo, partículas metálicas pequeñas y contaminaciones externas debido a un mal mantenimiento o almacenamiento inadecuado del aceite, que pueden incluir agua y disolventes, entre otros (p. 37).

Además, destacan que es fundamental un manejo adecuado del aceite de motor usado para evitar impactos ambientales negativos. En lugar de desecharlo de manera irresponsable, se debe llevar a instalaciones de reciclaje especializadas. El reciclaje del aceite de motor usado ofrece ventajas significativas, como la

posibilidad de reutilizarlo en nuevos lubricantes, reduciendo así la demanda de petróleo fresco. También ayuda a prevenir la contaminación del suelo y el agua al evitar posibles daños a los ecosistemas causados por la inadecuada eliminación del aceite usado.

2.2.2. Madera *Eucalyptus Globulus*.

De acuerdo con Muñoz (2018), se considera que los eucaliptos se originaron principalmente en Australia, donde la mayoría de sus especies y subespecies son nativas. Algunas de estas subespecies también se pueden encontrar en otras regiones, como Papua Nueva Guinea, al norte de Australia y en islas cercanas, incluyendo ciertas especies que se hallan en islas del archipiélago indonesio en el este, como Timor, las Islas Menores de la Sonda, Flores y Wetar (p. 1).

Torres (2017) señala que los eucaliptos son en su mayoría árboles que se encuentran en la región austro-malaya, con una distribución natural que abarca desde los 7°N hasta los 43°39'S de latitud. La mayoría de las especies y los mejores rodales naturales de las especies más ampliamente plantadas se encuentran al sur del Trópico de Capricornio. El género *Eucalyptus* fue formalmente descrito por el botánico francés L'Héritier en 1788 (p. 3).

Díaz (2018) destaca que la subespecie *Eucalyptus Globulus*, conocida comúnmente como "blue gum" en su época, fue la primera especie de eucalipto ampliamente reconocida fuera de Australia. Esta subespecie llegó a ser representativa de los eucaliptos para el público en general. La subespecie *Globulus* se convirtió en la más ampliamente plantada en el mundo, con más de 800,000 hectáreas de plantaciones de esta variedad a fines de 1973. Fue introducida en varios países, incluyendo Chile (posiblemente en 1823), Sudáfrica (en 1828), India (en 1843), Estados Unidos (en 1853), Uruguay (a mediados del decenio 1850-59)

y Perú (en 1860). En el altiplano peruano, la especie principal plantada es el *Eucalyptus Globulus*, que fue introducida en el país en 1860 y ha demostrado excelentes resultados. Los suelos empleados en los cultivos forestales son idóneos para este fin según la planificación nacional, destacándose por su naturaleza rocosa, ligeramente ácida, escasez de nitrógeno y materia orgánica, y por presentar bajos niveles de fósforo asimilable pero altas concentraciones de potasio (p. 44).

2.2.3. Propiedades físicas y mecánicas.

2.2.3.1. Propiedades físicas de la madera.

Las propiedades o características físicas de la madera son aquellas que impactan en su respuesta a las condiciones del entorno natural sin ocasionar modificaciones en su estructura química o mecánica interna. Evaluaciones habituales de estas propiedades implican la medición del nivel de humedad, la densidad, así como variaciones dimensionales como la contracción y la expansión (Medina et al., 2019, p. 64).

2.2.3.1.1. Contenido de humedad.

Según Alvarez (2019), el contenido de humedad (H) se define como la relación, expresada en porcentaje, entre el peso del agua y el peso en seco de la madera.

Esta relación se calcula mediante la fórmula:

$$H (\%) = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

Donde: P_h representa el peso de la muestra en estado húmedo, mientras que P_s es el peso de la muestra en estado seco, obtenido mediante un proceso de secado en una estufa a una temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ (Alvarez, 2019, p. 15).

Casas (2020) enfatizó la importancia de investigar las interacciones entre el agua y la madera, ya que estas tienen un impacto significativo en la mayoría de los procesos asociados con la manipulación de este material. Además, subrayó que el contenido de humedad de la madera juega un papel esencial en su comportamiento, afectando procesos como el aserrado, desenrollo, cepillado, encolado y barnizado, así como su durabilidad, resistencia, peso y dimensiones. Las fluctuaciones en el contenido de humedad pueden alterar la capacidad de la madera para expandirse cuando absorbe humedad y contraerse al perderla, lo que a su vez influye en sus propiedades y características (Casas, 2020, p. 1).

2.2.3.1.2. Densidad.

La densidad de la madera, según Rivadeneira (2022), se define como la relación entre el peso de la madera, representado por el símbolo P, y su volumen, representado por V. Esta medida es esencial para evaluar las propiedades de la madera (p. 15). Vignote P. y Martínez R. (2006) resaltan la importancia de considerar el contenido de humedad al analizar la densidad de la madera, dado que este factor afecta tanto al peso como al volumen del material. Además, enfatizan la necesidad de especificar el nivel de humedad durante las mediciones de densidad, que puede ser del 0%, 12%, u otro valor característico de la madera (como se menciona en Fank, 2018, p. 32).

La densidad de la madera se expresa en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3) en el Sistema Internacional (SI) (Rivadeneira, 2022, p. 15). Se calcula utilizando la fórmula para una madera con un contenido de humedad del h%:

$$\rho_h = \frac{P_h}{V_h}$$

Según lo establecido en el código NEC-SE-MD (Estructuras de madera, 2014) de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), es posible identificar diversas categorías de densidades que deben considerarse en relación con las variaciones en la humedad (Rivadeneira, 2022, p. 15).

Estas categorías incluyen:

- Densidad Básica: Indica la relación entre la masa de la madera en su estado anhidrido y su volumen cuando está saturada, con un contenido de humedad de al menos el 30% (Rivadeneira, 2022, p. 15).
- Densidad Verde o Saturada: Se refiere a la relación entre la masa y el volumen de la madera en su estado verde o saturada, con un contenido de humedad superior al 30% (Rivadeneira, 2022, p. 15).
- Densidad Seca al Aire: Representa la relación entre el peso y el volumen de la madera en su estado seco al aire, con un contenido de humedad aproximado del 12% (Rivadeneira, 2022, p. 15).
- Densidad Anhidrida o Seca al Horno: Corresponde a la relación entre la masa de la madera en su estado seco al aire y su volumen en un estado completamente anhidrido, con un contenido de humedad del 0% (Rivadeneira, 2022, p. 15).

2.2.3.2. Propiedades mecánicas de la madera.

Las propiedades mecánicas de la madera se refieren a su capacidad para resistir cargas externas, excluyendo las tensiones internas debido a cambios en la humedad (Medina et al., 2019, p. 64). Estas características incluyen:

- Evaluar la aptitud y capacidad de la madera para soportar cargas externas.

- Mostrar variaciones en propiedades según la dirección.
- Estas variaciones resultan en distintos niveles de resistencia.

Adicionalmente, Rivadeneira (2022) señala que la elección de propiedades mecánicas de la madera depende de la función del elemento estructural en la edificación, considerando las cargas que la estructura de madera deberá soportar (p. 15).

2.2.3.2.1. Compresión axial o paralela al grano.

La madera demuestra una notable capacidad de resistencia cuando se enfrenta a cargas en la misma dirección que las fibras, lo que resulta esencial para una variedad de componentes estructurales, incluyendo columnas, montantes en estructuras de entramado y paredes de cubierta, entre otros (Confederación de la Madera y el Mueble [CORMA], 2010, como se cita en Rivadeneira, 2022, p. 16).

Según lo indicado en la Norma Técnica Peruana (NTP) 251.014 (2014), citada por Osis y Muñoz (2022), la determinación de la resistencia máxima a la compresión axial paralela al grano (RM) y el esfuerzo al límite proporcional (ELP) se realiza utilizando las siguientes fórmulas:

$$RM = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$ELP = \frac{P'}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Donde:

ELP = Esfuerzo al límite proporcional, en kg/cm².

RM = Resistencia máxima por compresión axial, en kg/cm².

P' = Carga soportada por la probeta hasta el límite proporcional, en kg.

P = Carga máxima soportada por la probeta, en kg.

A = La sección transversal de la probeta en cm² (p. 17).

2.2.3.2.2. Compresión perpendicular al grano.

La capacidad de la madera para resistir cargas aplicadas en dirección perpendicular a la orientación del grano o de sus fibras es una característica destacada, especialmente en las áreas de soporte de vigas o tirantes (CORMA, 2010, como se citó en Rivadeneira, 2022, p. 16).

2.2.3.2.3. Flexión estática.

La madera exhibe su capacidad de resistir tensiones en forma de compresión o presión y tensión a lo largo de la estructura fibrosa paralela. (CORMA, 2010, según lo citado en Rivadeneira, 2022, p. 17).

De acuerdo con la referencia de Osis y Muñoz (2022), la norma NTP 251.017 (2004) establece que la capacidad de resistencia a la flexión estática en la dirección de las fibras se determina mediante a determinación del módulo de ruptura (MOR) utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{MOR} = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot a \cdot e^2} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Donde:

P = Carga máxima (kg).

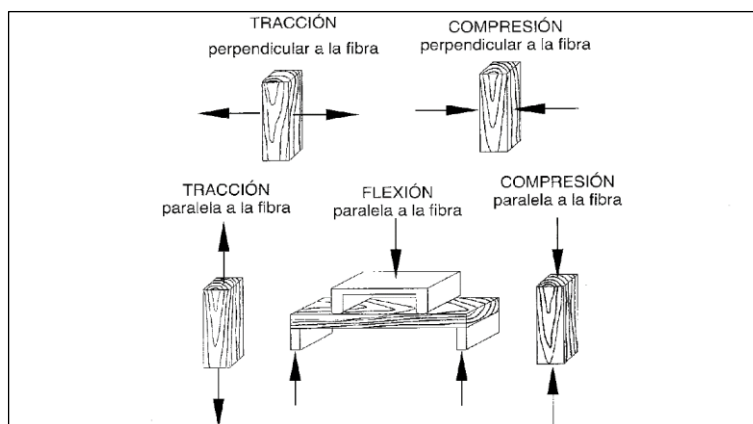
L = Distancia entre los soportes (cm).

a = Ancho de la probeta de madera (cm).

e = Espesor de la probeta de madera (cm) (p.18).

Figura 1

Esfuerzos mecánicos en la madera.



Nota. Adaptado de "Tecnología de la madera" (3ra ed., p. 126) por Vignote y Martínez, 2006, citado en Guindos, 2019, p. 109.

2.2.4. Tijeral tipo Howe.

El tijeral o armadura de Howe, patentado por William Howe en 1840, representa la forma más popular, práctica y eficiente de armadura para aplicaciones de luces moderadas. En su forma más simple, es esencialmente una versión modificada de la armadura king-post. La armadura de Howe se caracteriza por la presencia de puntales diagonales para compresión y elementos de tensión verticales (The Timber Frame Engineering Council [TFEC], 2020, p. 25).

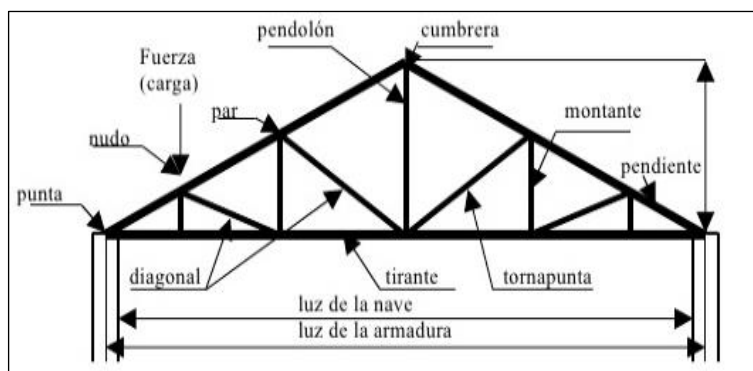
El tijeral Howe se emplea en techos y estructuras con una mayor separación entre apoyos, lo que se debe a su capacidad para distribuir las cargas de manera uniforme y su alta capacidad de carga. Su diseño se basa en la colaboración de varios elementos, como los cordones, que resisten tanto compresión como tracción, además de los montantes y diagonales, que evitan el pandeo lateral. La forma triangular del tijeral proporciona una rigidez esencial. No obstante, es crucial considerar las propiedades de la madera y la geometría durante su construcción para garantizar la seguridad y el comportamiento estructural adecuado. Para lograr

una eficiencia estructural, es necesario que la pendiente de los puntales diagonales coincida con la pendiente del techo (TFEC 4, 2020, p. 25).

Los elementos clave se ilustran en la figura siguiente.

Figura 2

Elementos de un tijeral tipo Howe.



Nota. Adaptado de *Partes de una armadura* (2017), por Drgnt. (s. f.).

- **Pares o Cordón superior.**

Los pares o cordón superior se refieren a la viga horizontal que se localiza en la parte superior del tijeral tipo Howe, con dos vigas en cada extremo, formando una línea que se extiende de un apoyo a otro (Llacza, 2021, p. 45). Estos cordones son fundamentales para la resistencia y estabilidad del tijeral, soportando cargas como el peso del techo y fuerzas externas como el viento.

- **Tirante o Cordón inferior.**

Estos componentes son las vigas horizontales ubicadas en la parte inferior de un tijeral. Su función primordial consiste en resistir las cargas verticales y transmitir las a los montantes y elementos diagonales, que, a su vez, redistribuyen estas fuerzas a lo largo de la totalidad de la armadura (Llacza, 2021, p. 45).

- **Pendolón y Montantes.**

Los pendolones y montantes, son componentes verticales que conectan las

vigas situadas en la posición inferior y superior de la construcción. Su principal función es mantener y transferir las cargas verticales tanto hacia los cordones superiores como hacia los inferiores (Llaczka, 2021, p. 45).

- **Tornapuntas o Diagonales.**

Estos elementos diagonales se extienden desde los cordones superiores hacia los tirantes. Las diagonales, también conocidas como tornapuntas, desempeñan el papel de estabilizar la estructura y resistir las cargas laterales, como las generadas por el viento o las fuerzas sísmicas. Estas piezas establecen conexiones entre los nodos del cordón superior o pares y la inferior, así como con los montantes (Llaczka, 2021, p. 45).

2.2.4.1. Agrupamiento de la madera.

De acuerdo con lo estipulado en la Norma Técnica Peruana E.010 (2021), "Las especies nacionales deben cumplir con estándares de calidad de normas técnicas peruanas, regionales u organizaciones internacionales. Estos se confirman mediante ensayos en laboratorios reconocidos en el país" (p. 14).

- **Agrupamiento según su Densidad Básica.**

Tabla 1

Densidad Básica para maderas latifoliadas.

Grupo	Densidad Básica g/cm³
A	≥ 0,71
B	0,56 a 0,70
C	0,40 a 0,55
D	0,36 a 0,39

Nota. Adaptado de "*Densidad Básica para maderas latifoliadas*" (p. 43), por Norma Técnica Peruana E.010, 2021.

- **Agrupamiento según su Módulo de Elasticidad.**

Tabla 2

Módulo de elasticidad para maderas latifoliadas MPa (kg/cm²).

Grupo	E_{min}	E_{prom}
A	9 316 (95 000)	12 748 (130 000)
B	7 355 (75 000)	9 806 (100 000)
C	5 394 (55 000)	8 826 (90 000)
D	4 414 (45 000)	6 400 (65 000)

Nota. Adaptado de “Módulo de elasticidad para maderas latifoliadas” (p. 44), por Norma Técnica Peruana E.010, 2021.

- **Agrupamiento según los Esfuerzos Admisibles.**

Tabla 3

Esfuerzos admisibles para maderas latifoliadas MPa (kg/cm²).

Grupo	Flexión f_m	Tracción Paralela f_t	Compresión Paralela $f_c \parallel$	Compresión Perpendicular $f_c \perp$	Corte Paralelo f_v
A	20,6 (210)	14,2 (145)	14,2 (145)	3,9 (40)	1,5 (15)
B	14,7 (150)	10,3 (105)	10,8 (110)	2,7 (28)	1,2 (12)
C	9,8 (100)	7,3 (75)	7,8 (80)	1,5 (15)	0,8 (8)
D	6,8 (70)	5,8 (60)	6,2 (63)	1,3 (13)	0,6 (6)

Contenido de humedad < 22%

Nota. Adaptado de “Esfuerzos admisibles para maderas latifoliadas” (p. 43), por Norma Técnica Peruana E.010, 2021.

2.2.4.2. Diseño estructural.

2.2.4.2.1. Método de análisis.

El procedimiento de evaluación empleado sigue las pautas descritas en la Norma E.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones (2020), la cual indica la importancia de realizar un análisis completo de los impactos generados por las cargas, considerando las deformaciones, fuerzas, momentos y otros aspectos en

los componentes estructurales. Además, se enfatiza la importancia de utilizar en este análisis métodos ampliamente reconocidos en el campo de la ingeniería (p. 17).

2.2.4.2.2. Método de diseño.

El método o proceso de diseño debe realizarse teniendo en cuenta las cargas de servicio y utilizando el enfoque de esfuerzos permisibles o admisibles. Es crucial que durante el diseño de los componentes estructurales se contemplen factores relacionados con la resistencia, la rigidez y la estabilidad, siempre atendiendo a la condición más crítica en cada situación (Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.010, 2020, p. 17).

2.2.4.2.3. Esfuerzos admisibles.

Se derivan de los resultados de pruebas efectuadas en muestras de madera que están exentas de defectos. Esta base de datos abarca un total de 104 especies, de las cuales 20 son autóctonas de Perú. En contraste con las metodologías de diseño utilizadas en sectores como el acero y el concreto armado, que siguen enfoques basados en la resistencia última, las estructuras o construcciones de madera se adhieren a normativas globalmente reconocidas, fundamentadas en el principio de esfuerzos admisibles. Esto conlleva a la reducción de la resistencia en lugar de un aumento de las cargas aplicadas (Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.010, 2020, p. 12).

Además, Osis y Muñoz (2022) detallan los esfuerzos últimos y sus correspondientes esfuerzos admisibles de la siguiente manera:

- En compresión paralela a las fibras, se utiliza la resistencia máxima.
- En compresión perpendicular a las fibras, se emplea el esfuerzo al límite de proporcionalidad.

- Para la tracción paralela a las fibras, se aplica el esfuerzo de rotura.
- En corte paralelo a las fibras, se considera el esfuerzo de rotura.
- En flexión, se utiliza el esfuerzo de rotura, conocido como módulo de rotura o MOR (p. 25).

Conforme a lo estipulado en la Norma E.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones (2008), citada por Osis y Muñoz (2022), el esfuerzo resistente bajo condiciones últimas se define como el valor correspondiente al límite del 5%. En otras palabras, solo se espera que el 5% de las probetas de la población tengan una resistencia inferior a este valor. El punto de corte que establece el límite del 5% es conocido como el ensayo número 0.05N, donde N representa la cantidad de probetas ensayadas, generalmente 20 (p. 26).

La fórmula utilizada para calcular el Esfuerzo Admisible se expone de la siguiente manera:

$$\text{Esfuerzo Admisible} = \frac{F.C. \times F.T.}{F.S. \times F.D.C.} \times \text{Esfuerzo Último}$$

Donde:

F.C. = Factor de reducción por calidad

F.T. = Factor de reducción por tamaño

F.S. = Factor de servicio y seguridad

F.D.C. = Factor de duración de carga

Se toma en cuenta que esta información está basada en la Norma E.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones (2008), citada en Osis y Muñoz (2022) (p. 26).

Tabla 4*Factores de reducción.*

	Flexión	Compresión Paralela	Corte Paralelo	Compresión Perpendicular
F.C.	0.80	*	*	*
F.T.	0.90	*	*	*
F.S.	2.00	1.60	4.00**	1.60
F.D.C.	1.15	1.25	*	*

(*) Incluido en F.S.

(**) Incluye un coeficiente por concentración de esfuerzos = 2.00 debido a la posible presencia de rajaduras por secado en los extremos de la pieza.

Nota. Adaptado de “Coeficientes considerados para la determinación de los esfuerzos admisibles” (p. 13), por Norma Técnica Peruana E.010, 2020.

- Coeficiente de reducción por calidad (F.C.): Este factor evalúa cómo los defectos afectan la resistencia y establece una comparación entre el esfuerzo resistido por elementos reales, como vigas, y el esfuerzo en probetas pequeñas sin defectos (Osis y Muñoz, 2022, p. 26).
- Coeficiente de reducción por tamaño (F.T.): Este coeficiente implica la reducción de los esfuerzos soportados por una pieza, tomando en cuenta su dimensión vertical (Osis y Muñoz, 2022, p. 27).
- Factor de servicio y seguridad (F.S.): Este factor aborda las incertidumbres asociadas con diversas variables, como la variabilidad y el conocimiento de las propiedades del material, defectos no visibles, calidad del trabajo realizado, desgaste por el uso y cambios en las cargas debido al destino o uso de las construcciones (Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.010, 2016, como se citó en Osis y Muñoz, 2022, p. 26).

- Coeficiente de reducción por duración de carga (F.D.C.): Se debe tener en cuenta que los esfuerzos de ruptura disminuyen con el tiempo de aplicación de la carga (Osis y Muñoz, 2022, p. 27).

- **Requisitos de resistencia.**

Los elementos estructurales deben ser diseñados de manera que los esfuerzos resultantes de las cargas de uso, ajustados según los coeficientes correspondientes a cada caso, no sobrepasen los límites de resistencia permitidos del material (Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.010, 2020, p. 17).

- **Cargas.**

Polo (2020) menciona que las construcciones deben ser diseñadas para resistir combinaciones de:

- Cargas permanentes, que incluyen el peso propio y las cargas muertas (p. 15).
- Cargas variables, como las cargas vivas (también conocidas como sobrecargas de uso), las cargas estáticas debidas al viento y las cargas de granizo (p. 15).
- Cargas dinámicas debidas al viento (simulación de viento) (p. 15).

- **Carga muerta.**

Se refiere a la carga ejercida por los materiales, equipos, dispositivos y otros elementos que la estructura de la edificación o construcción debe soportar. Esto incluye tanto el peso de los componentes considerados permanentes o que experimentan variaciones mínimas con el tiempo, así como el peso propio del armazón o estructura (Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.020, 2020, p. 11).

- **Peso propio.**

Incluye elementos como muros, paredes, revestimientos, sistemas de plomería, instalaciones eléctricas, maquinaria y cualquier otro artefacto permanentemente integrado en la estructura (Polo, 2020, p. 15).

- **Carga viva.**

Estas sobrecargas, que se emplean en los cálculos, varían según la función de la edificación y abarcan la carga debida a la presencia de personas, mobiliario, equipos temporales o móviles, carga en tránsito y otros componentes (Polo, 2020, p. 15).

- **Carga viva del techo.**

En techos que utilizan cubiertas ligeras, como láminas onduladas o corrugadas, materiales de fibrocemento o plástico, sin tener en cuenta la inclinación del techo, la carga viva mínima asciende a 30 kg/m^2 , a menos que exista la posibilidad de acumulación de nieve en la cubierta (Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.020, 2020, p. 14).

- **Carga de viento.**

Se refiere al movimiento tridimensional del aire en la atmósfera, principalmente causado por diferencias de presión debidas a variaciones de temperatura. Este movimiento del aire prevalece horizontalmente sobre el vertical. El análisis de la compleja acción del viento, con fluctuaciones turbulentas alrededor de un valor medio, prevé efectos como arrastre, vórtices, separación, cizallamiento, vuelco y cargas dinámicas en estructuras. Los métodos de análisis permiten anticipar el flujo del viento y su impacto en la respuesta de los edificios (Polo, 2020, p. 18).

- **Velocidad de diseño.**

Según la Norma E.020 Cargas (2020), la velocidad de diseño del viento para estructuras de hasta 10 metros de altura debe ser la velocidad máxima apropiada para la ubicación geográfica de la edificación, y en ningún caso inferior a 75 km/h (p. 20). Para calcular la velocidad de diseño del viento a una altura específica en la estructura, se aplica la siguiente fórmula:

$$V_h = V \left(\frac{h}{10}\right)^{0.22}$$

Donde:

V_h = Velocidad de diseño en la altura h en Km/h.

V = Velocidad de diseño a 10 m de altura en Km/h.

h = Altura sobre el nivel del suelo en metros (Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.020, 2020, p. 20).

- **Carga exterior de viento.**

Según la Norma E.020 Cargas (2020), la carga exterior generada por el viento, ya sea en forma de presión o succión, se considerará estática y perpendicular a la superficie en cuestión (p. 20). Para calcular esta carga, se utiliza la siguiente fórmula:

$$P_h = 0.005 * C * (V_h)^2$$

Donde:

P_h = Presión o succión del viento a una altura h en kg/m²

C = Un factor adimensional que depende del tipo de construcción, indicado en la Tabla 4.

V_h = Velocidad de diseño a la altura h, en km/h (Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.020, 2020, p.20).

Tabla 5*Factores de forma.*

Construcción	Barlovento	Sotavento
Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0.7, -0.3	-0.6

* El signo positivo indica presión y el negativo indica succión.

Nota. Adaptado de “Factores de forma C**” (p. 21), por Norma Técnica Peruana E.020, 2020.

- **Combinación de cargas.**

Según los criterios considerados en esta investigación, se dio prioridad a las cargas que se describen a continuación: muerta, viva y de viento. Siguiendo la Norma E.020 Cargas (2020), se enfatiza en aquellas que generen los efectos más adversos en el elemento estructural (p. 23). Las combinaciones de cargas a considerar son las siguientes:

- Carga muerta (D).
- Carga muerta y carga viva (D + L).
- Carga muerta y carga de viento (D + (W o 0.70 E)).

Donde:

D = Carga muerta.

L = Carga viva.

W = Carga de viento.

E = Carga sísmica, según lo establecido en la NTE E.030 Diseño Sismorresistente (Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.020, 2020, p. 23).

2.3. Marco conceptual.

Alteraciones biológicas: Se refieren a las transformaciones en la madera ocasionadas por organismos bióticos, y su consecuencia principal es la disminución gradual de la resistencia del material. Estos cambios pueden ser desencadenados por la actividad de hongos, insectos, plantas epifitas y otros seres vivos. En muchas ocasiones, los daños son causados principalmente por hongos xilófagos e insectos específicos, lo que puede tener un impacto significativo en la integridad estructural (Sagot, 1995, como se citó en Fank, 2018, p. 29).

Anisotropía: La madera no muestra una homogeneidad, sino que su comportamiento varía significativamente según el plano o dirección considerada. Esta variabilidad en su estructura conlleva un comportamiento desigual (Galicia, 2014, citado en Flores, 2020, p. 12).

Aserrado: La primera etapa en el procesamiento de troncos o madera en rollo implica la obtención de piezas de madera con secciones rectangulares o cuadradas, conocidas como tablas o tablones. Esto se logra mediante el uso de aserraderos, que pueden ser de tipo fijo, móvil o portátil y emplean elementos cortantes como discos, cintas o cadenas (Pérez, 2018, p. 10).

Comportamiento elástico: Se caracteriza por una respuesta inmediata a la carga y la habilidad para regresar a su forma original una vez que la carga se retira. Este comportamiento elástico es común en muchos materiales, como los metales, cuando se someten a esfuerzos bajos. En este sentido, la deformación elástica no modifica la disposición de las partículas en el material, en cambio solo estira las conexiones preexistentes entre ellos. Cuando se retira la carga, las conexiones atómicas vuelven a su posición original (Cortes, 2020, p. 33).

Diseño estructural: Abarca una serie de enfoques dirigidos a evaluar la estabilidad, fuerza y rigidez de las estructuras. Su propósito fundamental es desarrollar una estructura que pueda soportar de manera sólida todas las cargas a las que estará expuesta a lo largo de su vida útil (Osis y Muñoz, 2022, p. 35).

Dureza: Esta propiedad se refiere a la facilidad con que un material penetra en otro. En contraste con materiales tales como el acero y el concreto, la madera se categoriza como un material de baja dureza. A pesar de que en algunos aspectos se considera una desventaja, como su susceptibilidad a rayaduras y, por lo tanto, a la pérdida de la apariencia superficial, tiene ventajas, como su facilidad de procesamiento (Flores, 2020, p. 18).

Higroscopicidad: Se refiere a la aptitud de ciertos materiales para absorber la humedad del entorno y mantenerla ya sea como vapor o agua líquida. En el contexto de la madera, se hace referencia a los espacios dentro de su estructura, tales como los espacios dentro del lumen celular, que se encuentran entre las fibrillas elementales y las microfibrillas, que tienen la capacidad de retener agua (Tecnología de la madera, s.f., citado en Flores, 2020, p. 13).

Madera aserrada: Se trata de piezas sólidas de madera obtenidas mediante el aserrado de árboles. Estas piezas suelen ser cuadradas, con caras paralelas y bordes perpendiculares entre sí. La madera aserrada se emplea en diversas aplicaciones, como, por ejemplo, vigas, columnas, listones, armaduras, tablas y otros usos (Chura y Muchica, 2021, p. 26).

Módulo de Elasticidad: Este parámetro indica la habilidad de la madera para enfrentar deformaciones. Un valor elevado denota una madera más rígida. En diseño, el Módulo de Elasticidad se emplea para anticipar y gestionar las deformaciones de las estructuras construidas con este material (López, 2021, p.

41).

Módulo de Rotura: Indica la capacidad máxima de la probeta para resistir gradualmente una carga en un corto período de tiempo. A nivel mundial, se considera un indicador de resistencia, aunque no refleja una tensión real, ya que la fórmula empleada es únicamente válida en la región elástica (López, 2021, p. 41).

Polaridad: La madera exhibe propiedades polares, lo que significa que tiene afinidad con ciertas sustancias como el agua, adhesivos o barnices que también son polares (Flores, 2020, p. 14).

Secado de la madera: El proceso de secado de la madera busca reducir su contenido de humedad en un tiempo eficiente y económico, sin provocar imperfecciones que perjudiquen sus características mecánicas (Santiago et al., 2013, p. 74).

Transformación primaria de la madera: Denota el punto inicial en la etapa primaria de transformación de la madera donde se marca el inicio del proceso de producción, empleando maquinaria y métodos para obtener una cantidad óptima de madera aserrada de excelente calidad a partir de troncos de madera (Ajanel, 2016, p. 97).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Hipótesis.

3.1.1. *Hipótesis General.*

El tratamiento del eucalipto con aceites influye en sus propiedades físico-mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama-Abancay, 2023.

3.1.2. *Hipótesis Específicas.*

- a) El tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada influye en sus propiedades físicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama-Abancay, 2023.
- b) El tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada influye en sus propiedades físicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama-Abancay, 2023.
- c) El tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada influye en sus propiedades mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama-Abancay, 2023.
- d) El tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada influye en sus propiedades mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama-Abancay, 2023.

3.2. Método.

Esta investigación sigue el método hipotético-deductivo, el cual parte de una premisa general o de hallazgos obtenidos en investigaciones previas, que surgen como resultado de la observación y análisis de datos recabados. Estos datos a su vez se basan en una hipótesis inicial o en predicciones específicas, las cuales son sometidas a pruebas para validarlas o refutarlas. De esta manera, se confirma o se verifica la premisa inicial o la hipótesis planteada al inicio de la investigación (Pimienta y De la Orden, 2017, p. 46). En este contexto, en el presente estudio se partió de investigaciones previas, literatura especializada y normativas relacionadas con el uso de madera en estructuras, con el objetivo de determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceites en sus propiedades físico-mecánicas y establecer una base sólida para su aplicación en tijerales tipo Howe.

Además, la investigación sigue un enfoque cuantitativo, que se basa en la cuantificación numérica de datos. Este enfoque implica la recopilación y análisis de datos para abordar preguntas de investigación y evaluar hipótesis previamente formuladas. Se sustenta en la medición numérica, el recuento y, con frecuencia, en el uso de técnicas estadísticas (Sánchez et al., 2018, p. 59).

En el estudio, se realizaron análisis de datos y estadísticos de las propiedades físico-mecánicas del eucalipto tratado con aceites para ser usados en tijerales tipo Howe, seguidos de pruebas de hipótesis para validar los resultados obtenidos.

3.3. Tipo de investigación.

La investigación realizada pertenece a las ciencias aplicadas. Esta clasificación implicó que su enfoque se dirige hacia la acción y tiene como propósito la resolución de problemas prácticos a través de hallazgos científicos fundamentales. De acuerdo con Sánchez et al. (2018, p. 28), las ciencias aplicadas

se centran en comprender fenómenos con el objetivo de mejorar la calidad de vida humana, y frecuentemente, los avances tecnológicos se derivan de los descubrimientos realizados en estas disciplinas. Asimismo, Pimienta y De la Orden (2017) destacan que la investigación aplicada persigue principalmente la consolidación del conocimiento, y la utilización de este conocimiento cultural y científico para desarrollar tecnologías en beneficio de la sociedad (p. 9).

3.4. Nivel o alcance de investigación.

Esta investigación se desarrolló con un alcance correlacional y explicativo. Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018, p. 109), los estudios correlacionales se centran en evaluar la relación entre dos o más conceptos o variables en un contexto específico. En este estudio, implicó entender la relación entre el tratamiento del eucalipto con aceites y sus propiedades físico-mecánicas, observando cómo cambian conjuntamente en diferentes muestras de eucalipto, tanto tratadas como no tratadas. Por otra parte, los estudios explicativos, según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018, p. 110, 112), buscan ir más allá de describir fenómenos o relaciones entre variables, centrándose en comprender las razones detrás de un fenómeno y las circunstancias en las que ocurren. En este caso, el objetivo fue investigar cómo el tratamiento del eucalipto con aceites influyó en sus propiedades físico-mecánicas relevantes para el diseño estructural de tijerales tipo Howe. Las actividades realizadas, como el diseño estructural, la elaboración del plano técnico, análisis de costos y ensayos de compresión de tijerales tipo Howe a escala, proporcionaron una comprensión más profunda de la influencia del tratamiento con aceites en las propiedades del eucalipto y las condiciones óptimas para su aplicación en estas estructuras. Estos aportes sustentan la naturaleza explicativa del estudio al proporcionar una comprensión más completa con los

resultados obtenidos.

3.5. Diseño de investigación.

Esta investigación se fundamenta en un diseño experimental, según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018, p. 152), explican que los diseños experimentales involucran la manipulación y evaluación de tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (variables independientes) con el fin de examinar sus efectos en otras variables (las dependientes) en un entorno controlado. Dicho esto, en la presente investigación la variable: tratamiento del eucalipto con aceites para ser usados en tijerales tipo Howe, fue manipulada intencionalmente, para determinar la influencia en las propiedades físicas y mecánicas de la madera.

3.6. Operacionalización de variables.

Variable Independiente: Tratamiento del eucalipto con aceites para ser usados en tijerales tipo Howe.

Dimensiones:

- Tratamiento de madera eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada.
- Tratamiento de madera eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada.

Variable Dependiente: Propiedades físico-mecánicas.

Dimensiones:

- Propiedades físicas de la madera.
- Propiedades mecánicas de la madera.

3.6.1 Cuadro de Operacionalización de variables.

Tabla 6

Operacionalización de variables.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Unidad	Instrumentos
<i>Variable Independiente</i>							
Tratamiento del eucalipto con aceites para ser usados en tijerales tipo Howe.	Segun Teaca y Tanasa, "El tratamiento de impregnación representa una estrategia de modificación pasiva que no cambia la estructura molecular de los componentes del polímero de la madera. Por lo general, implica la difusión de productos químicos de carga, como monómeros, polímeros, resinas y ceras, ya sea en la pared celular o en el lumen, y determina el aumento de la densidad de la madera y detiene la penetración de agua en las paredes celulares" (2020, p. 2).	Se elaboraron probetas de madera para los ensayos físicos y mecánicos, posteriormente se sometieron al tratamiento con aceites por inmersión prolongada.	Tratamiento de madera eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada	Aceite de teca	Razón	Galones (gal)	Ficha de recolección de datos (Anexo 19.1)
			Tratamiento de madera eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada	Aceite quemado automotriz			
				Tiempo de inmersión	Intervalo	Horas (h)	
<i>Variable Dependiente</i>							
Propiedades físico-mecánicas.	Medina et. al, 2019, explicaron que las propiedades físicas de la madera son aquellas que determinan cómo responde a las influencias del entorno natural sin involucrar cambios químicos o mecánicos en su estructura interna. Además, las propiedades mecánicas de la madera se refieren a su capacidad para resistir cargas externas, excluyendo las tensiones internas generadas por variaciones de humedad (p. 64).	Mediante los ensayos de laboratorio para las probetas sin tratamiento, tratadas con aceite de teca y aceite quemado automotriz se determinaron resultados tanto para las propiedades físicas y mecánicas de madera.	Propiedades físicas de la madera	Contenido de humedad	Razón	Porcentaje de humedad (%)	Ficha de recolección de datos (Anexo 19.2)
				Densidad		g/cm ³	Ficha de recolección de datos (Anexo 19.3)
			Propiedades mecánicas de la madera	Compresión axial o paralela al grano	Razón	kg/cm ²	Ficha de recolección de datos (Anexo 19.4)
				Compresión perpendicular al grano		kg/cm ²	Ficha de recolección de datos (Anexo 19.5)
	Flexión estática		kg/cm ²	Ficha de recolección de datos (Anexo 19.6)			

3.7. Población, muestra y muestreo.

3.7.1. Población.

El término "población" se refiere al conjunto de todos los casos que cumplen con una serie de especificaciones. Un vacío evidente en algunos estudios de investigación es la falta de una descripción detallada de las características de la población, o la asunción automática de que la muestra la representa adecuadamente. Por lo tanto, es más apropiado establecer estas características de manera precisa a fin de definir con claridad los parámetros de muestreo (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018, p. 198).

La población de este estudio se refiere al bloque seleccionado dentro de la localidad de Uripampa.

3.7.2. Muestra.

Una muestra se refiere a una parte de la población de interés que se selecciona con el propósito de recopilar datos relevantes, y es de vital importancia que esta selección sea representativa de la población en cuestión (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018, p. 196).

Para llevar a cabo la comparación, se utilizaron muestras extraídas de 5 árboles de eucalipto, de acuerdo a las pautas que establece la NTP 251.008:2016 (Selección y recolección de muestras), que estipula un mínimo de 5 árboles. Estas muestras se encontraron en el sector seleccionado dentro de la localidad de Uripampa, ubicada en el distrito de Lambrama, provincia de Abancay, en el departamento de Apurímac.

3.7.3. Muestreo.

El proceso de muestreo se convierte en un elemento esencial de la muestra que representa a la población de interés, como indican Hernández-Sampieri y

Mendoza (2018, p. 196). Dado que examinar toda la población suele ser poco práctico, el muestreo permite a los investigadores trabajar con muestras representativas, lo que les facilita generalizar los resultados para obtener una comprensión más completa de la población en su totalidad.

El muestreo fue no probabilístico, lo cual, de acuerdo con Sánchez et al. (2018, p. 94), implica una selección basada en el criterio del investigador, en la que las unidades de muestreo no se eligen al azar. Por esta razón, se prestó particular atención a la elección de muestras de árboles por conveniencia en el estudio, seleccionando 5 árboles dentro del sector ya mencionado debido a su accesibilidad y al buen estado de los árboles

Las probetas de madera, previamente preparadas, se dispusieron para llevar a cabo los ensayos y cumplir con las normas correspondientes, como se detalla a continuación:

- NTP 251.010:2020, Métodos para determinar el contenido de humedad.
- NTP 251.011:2014 (revisada el 2019), Método para determinar la densidad.
- NTP 251.014:2020, Método para determinar la compresión axial o paralela al grano.
- NTP 251.016: 2015, Método para determinar la compresión perpendicular al grano.
- NTP 251.017:2014 (revisada el 2019), Método para determinar la flexión estática.

A continuación, se describen las cantidades de probetas y dimensiones para cada ensayo:

Tabla 7

Cantidad de probetas de madera ensayadas.

Tipo de ensayo	Número de probetas de madera		
	Sin tratamiento	Tratado con aceite de teca	Tratado con aceite quemado automotriz
Contenido de Humedad	Previo a los ensayos mecánicos		
Densidad	10	10	10
Compresión axial o paralela al grano	10	10	10
Compresión perpendicular al grano	10	10	10
Flexión estática	10	10	10
Total de probetas de madera	40	40	40
	Total		120

Tabla 8

Dimensiones de las probetas de madera.

Tipo de ensayo	Dimensiones (centímetros)		
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
Contenido de Humedad	Previo a los ensayos mecánicos		
Densidad	10	3	3
Compresión axial o paralela al grano	20	5	5
Compresión perpendicular al grano	15	5	5
Flexión estática	41	2.5	2.5

3.8. Técnicas e instrumentos.

3.8.1. Técnicas.

Las técnicas de investigación abarcan procedimientos sistemáticos empleados para adquirir y analizar datos con el propósito de abordar un problema o responder a una pregunta de investigación. Estas técnicas engloban una variedad de métodos, como encuestas, entrevistas, observación, experimentación, entre otros. La elección de una técnica particular depende de los objetivos y el alcance de la investigación. Cada técnica posee sus propias ventajas y desventajas, lo que destaca la importancia de seleccionar la más adecuada para asegurar resultados óptimos (Medina et al., 2023, p. 12).

En este estudio, se priorizó el uso de la técnica de observación directa, que

implica la documentación y análisis del comportamiento y las acciones de individuos, grupos o fenómenos en su entorno natural. La observación puede llevarse a cabo de manera sistemática y controlada, o de forma más descriptiva e informal (Medina et al., 2023, p. 20).

Específicamente, dentro del enfoque de observación, se empleó la variante de observación no participante, que requiere que el investigador observe y recoja información de los sujetos u objetos de estudio sin involucrarse activamente en sus interacciones (Sánchez et al., 2018). En este caso, se llevó a cabo una observación no participante de manera directa, lo que significa que el investigador obtuvo información directamente de la población o los sujetos del estudio (Medina et al., 2023, p. 21). Todos los datos obtenidos se registraron en fichas diseñadas específicamente para esta investigación, siguiendo las pautas de las normativas aplicadas.

3.8.2. Instrumentos.

Los instrumentos de investigación son herramientas específicas empleadas en el proceso de investigación con el propósito de recolectar y analizar información. Estos instrumentos pueden variar desde fichas de cotejo, cuestionarios y escalas de medición hasta fichas de entrevistas estructuradas y pruebas estandarizadas, entre otros. La elección de los instrumentos de investigación apropiados es esencial para garantizar la obtención de resultados precisos y confiables en un estudio (Medina et al., 2023, p. 12).

En este estudio, los procedimientos y ensayos se llevaron a cabo siguiendo las normas estandarizadas, utilizando instrumentos y equipos que habían sido previamente preparados y seleccionados específicamente para esta investigación. Se emplearon fichas de observación diseñadas específicamente para los

procedimientos, basadas en indicadores definidos con el propósito de documentar los resultados obtenidos. Además, en relación al protocolo de investigación, se utilizaron formularios de recopilación de datos que se detallan en los Anexos respectivos.

- Ficha de selección, recolección y tratamiento de muestras de madera (Anexo 19.1).
- Fichas para el ensayo de contenido de humedad de muestras de madera (Anexo 19.2).
- Fichas para el ensayo de densidad de muestras de madera (Anexo 19.3).
- Fichas para el ensayo de compresión axial o paralela al grano de muestras de madera (Anexo 19.4).
- Fichas para el ensayo de compresión perpendicular al grano de muestras de madera (Anexo 19.5).
- Fichas para el ensayo de flexión estática de muestras de madera (Anexo 19.6).
- Fichas para el ensayo a compresión de tijerales tipo Howe a escala (Anexo 19.7).

3.8.2.1. Validación de instrumentos.

La validación de instrumentos de investigación se refiere a su capacidad para medir con precisión lo esperado y producir resultados confiables (Medina et al., 2023, p. 14). En este estudio, se llevó a cabo la validación de instrumentos de recolección de datos mediante el juicio de expertos, detallado en el Anexo 16.

3.8.2.2. Confiabilidad.

La confiabilidad de un instrumento de investigación se refiere a su capacidad

para producir resultados consistentes y precisos, lo que demuestra su estabilidad a lo largo del tiempo (Medina et al., 2023, p. 16). En este estudio, los resultados son confiables gracias a la certificación de calibración de los equipos (Anexo 20) y la capacitación de los operadores en el laboratorio donde se llevaron a cabo los ensayos.

3.9. Consideraciones éticas.

- Compromiso: El estudio se llevó a cabo con un firme compromiso de cumplir con las normas y métodos prescritos para realizar diversas pruebas, garantizando así la obtención de datos confiables.
- Integridad: La investigación se diseñó para abordar los desafíos únicos de la zona de estudio, utilizando recursos locales para procesar los datos. Esto garantizó la originalidad del trabajo, evitando replicar investigaciones anteriores.

3.10. Procesamiento estadístico.

Durante la ejecución de la investigación, los datos recopilados se sometieron a análisis utilizando herramientas informáticas, que incluyeron software como Excel, Word, AUTOCAD y SAP 2000. Para facilitar la comprensión y el análisis en consonancia con los objetivos del estudio y los estándares estadísticos aplicados, los resultados se organizaron en tablas y gráficos. Finalmente, se compararon los datos con las hipótesis planteadas en la investigación.

3.10.1. Criterios estadísticos.

3.10.1.1. Media aritmética.

De acuerdo con Díaz y Rosado (2019), la media aritmética, también denominada promedio, se describe como el valor central de un conjunto de datos y constituye una de las medidas de ubicación más comúnmente empleadas. En

líneas generales, se obtiene sumando todos los valores del conjunto de interés y luego dividiendo esta suma por el número total de observaciones (p. 47).

La fórmula es:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Donde:

\bar{x} = Promedio.

$\sum_{i=1}^n x_i$ = Sumatoria de datos.

n = Cantidad de muestras.

3.10.1.2. Varianza.

De acuerdo con Díaz y Rosado (2019), la varianza se define como "una medida estadística que cuantifica las variaciones presentes en un conjunto de datos en relación a su media aritmética. Se calcula al promediar los valores resultantes de elevar al cuadrado las discrepancias entre cada valor y la media aritmética del conjunto " (p. 62).

3.10.1.3. Desviación estándar.

De acuerdo con Díaz y Rosado (2019), la desviación estándar se define como "la raíz cuadrada de la varianza y se creó para superar la limitación de la varianza, que expresaba valores en unidades al cuadrado. En el caso de un conjunto de datos de muestra, la desviación estándar se representa como $s = \sqrt{s^2}$, mientras que para la población se usa $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$." (p.63).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N}}$$

3.10.1.4. Coeficiente de variación.

Según Córdova (2003), citado por Osis y Muñoz (2022), el coeficiente de variación (C.V.) representa una medida relativa de dispersión que no está sujeta a unidades de medida. Se obtiene mediante la relación entre la desviación estándar y la media aritmética de los datos. Esta medida se utiliza para contrastar la variabilidad entre distintos conjuntos de datos, independientemente de si comparten o no las mismas unidades de medida (p. 70).

$$C.V = \frac{S}{\bar{X}} \text{ en } \%$$

3.10.1.5. Outliers: Criterios de eliminación.

Según Da Vila (2020), "un dato atípico o outlier, en inglés, es una observación anómala en contraste con los demás datos contenidos en un conjunto de datos específico. Estas observaciones atípicas pueden deberse a diversas razones, desde errores humanos, como equivocaciones en la medición, registro e introducción de datos, hasta la probabilidad de que los datos se originen de una población diferente de la que se pretendía estudiar" (pág. 1). Para esta investigación, se utilizó el criterio de Chauvenet para identificar los valores atípicos.

3.10.1.6. Criterio de Chauvenet (r).

Según Benitez (2021), el criterio de Chauvenet es una técnica para la identificación de valores atípicos. Este método consiste en establecer una banda aceptable de datos alrededor de la media y eliminar cualquier valor que caiga fuera de esta banda.

Además, Barrios et al. (2016) afirma que "un valor medido x_i debe ser excluido si el valor calculado de r es mayor que el valor de R_c tabulado para el criterio de Chauvenet" (pág. 1).

$$r = \frac{|X_i - \bar{X}|}{s}$$

Donde:

\bar{X} = Promedio.

X_i = Variable o dato estadístico.

S = La desviación estándar calculada a partir de una muestra.

Teniendo como Rc tabulado para el criterio de Chauvenet, a los siguientes:

Tabla 9

Tabla de criterios de Chauvenet.

n	Rc	n	Rc
5	1.645	18	2.200
6	1.732	19	2.222
7	1.803	20	2.241
8	1.863	21	2.260
9	1.915	22	2.278
10	1.960	23	2.295
11	2.000	24	2.311
12	2.037	25	2.326
13	2.070	26	2.341
14	2.100	27	2.355
15	2.128	28	2.369
16	2.154	29	2.382
17	2.178	30	2.394

Nota. Adaptado de *Tabla de criterios de Chauvenet*, por Benítez, 2021.

Donde:

n = Tamaño de la muestra.

3.10.1.7. La prueba t.

La prueba t se fundamenta en una distribución de las diferencias entre medias conocida como distribución t de Student, que se distingue por sus grados de libertad, los cuales indican el nivel de variabilidad presente en los datos. Los grados de libertad reflejan la flexibilidad en la variabilidad de los datos sin

restricciones, y son cruciales para estimar el valor esperado de t en relación al tamaño de los grupos que se están comparando (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018, p. 356).

$$\text{PER } 5\% = \bar{X} \pm t_{0.95} \left(\frac{s}{\sqrt{N-1}} \right)$$

Donde:

N = Número de datos.

S = Desviación estándar.

\bar{X} = Media aritmética.

3.10.1.8. Normalización.

Subirats et al. (2019, p. 20) señalan que la normalización, también conocida como estandarización, es un método empleado para disminuir el sesgo provocado por la combinación de valores medidos en diferentes escalas. Esto se logra al ajustar estos valores a una escala común, generalmente en el rango de (-1,1) o (0,1).

La normalización mín-máx es un proceso que implica una transformación lineal de los datos originales, manteniendo la relación entre los valores del conjunto de datos original. Esta normalización se lleva a cabo mediante la siguiente fórmula:

$$X_{\text{norm}} = \frac{X - X_{\text{mín}}}{X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}}$$

Donde:

X_{norm} = Valor normalizado.

X = Valor original.

$X_{\text{mín}}$ = Valor mínimo en el conjunto de datos.

$X_{\text{máx}}$ = Valor máximo en el conjunto de datos.

3.10.1.9. Ponderación.

Leiva (2020) resalta la relevancia de asignar ponderaciones a los indicadores individuales durante la elaboración del indicador compuesto. Este proceso, fundamental para generar un valor representativo del índice global, puede involucrar una distribución equitativa o considerar la importancia de todos los indicadores. La selección del método de asignación de pesos, que debe ser claro y respaldado por justificaciones sólidas, tiene una repercusión significativa en el resultado final del índice. Es esencial reconocer que no hay un método único y objetivo, y los pesos deben alinearse con el marco teórico que delinea el concepto medido (p. 45).

- **Métodos de Ponderación Equitativa: Asignación de Pesos Iguales.**

La asignación de pesos iguales, siendo la forma más simple de ponderación, sugiere que cada índice simple tiene la misma relevancia en la formación del índice compuesto. No obstante, este enfoque conlleva el riesgo de que aspectos altamente correlacionados contribuyan de manera desproporcionada al peso general del índice (Leiva, 2020, p. 46).

Camacho y Horta (2020) enfatizan la importancia de combinar de manera coherente variables medidas en diferentes escalas durante la construcción de indicadores compuestos (p. 13). La mayor parte de los indicadores tienen su fundamento en la idea de "pesos iguales", asignando el mismo peso a todas las variables normalizadas (Greco et al., 2018; Nardo & Saisana, 2012, citados en Camacho y Horta, 2020). Aunque este enfoque tiene ventajas como la simplicidad y la objetividad, puede enfrentar problemas cuando dos indicadores están altamente correlacionados, lo que podría dar lugar a problemas de doble conteo. Sin embargo, este método se utiliza comúnmente debido a la carencia de una

configuración o estructura teórica clara, la falta en el consenso entre tomadores de decisiones, el conocimiento estadístico o empírico insuficiente y la objetividad (Greco et al., 2018, citados en Camacho y Horta, 2020).

3.10.1.10. Índice compuesto.

El Índice Compuesto, también conocido simplemente como índice, tiene la finalidad de simplificar la explicación de una noción con múltiples dimensiones al condensarlo en un solo parámetro o indicador de manera clara. Tales indicadores son capaces de adoptar una estructura tanto cuantitativa como cualitativa, según los requisitos específicos del analista. Desde una perspectiva técnica, Schuschny y Soto (2009), según lo citado en Leiva (2020), definen un indicador mediante una función que incluye una o más variables, el cual, en conjunto, evalúa un atributo o característica de los individuos bajo estudio (p. 16).

- **Agregación lineal ponderada.**

Leiva (2020) describe la agregación lineal ponderada como el método más comúnmente empleado en la creación de indicadores compuestos. La fórmula para calcular el índice compuesto (IC_c) se expresa de la siguiente manera:

$$IC_c = \sum_{q=1}^Q w_q I_{qc}$$

Donde: $\sum_{q=1}^Q w_q = 1$, con $0 \leq w_q \leq 1$, e I_{qc} es el valor normalizado de la unidad de análisis c con respecto al indicador q , para $q = 1, \dots, Q$ y $c = 1, \dots, M$. La determinación de los pesos w_q debe ser transparente y basarse en criterios previamente establecidos (Leiva, 2020, p. 49).

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la investigación, estructurados de acuerdo con el objetivo general y los objetivos específicos planteados. El objetivo general de este estudio se enfoca en determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceites en sus propiedades físico-mecánicas, con vistas a su aplicación en tijerales tipo Howe. Los objetivos específicos se relacionan directamente con las propiedades físico-mecánicas evaluadas en los ensayos correspondientes.

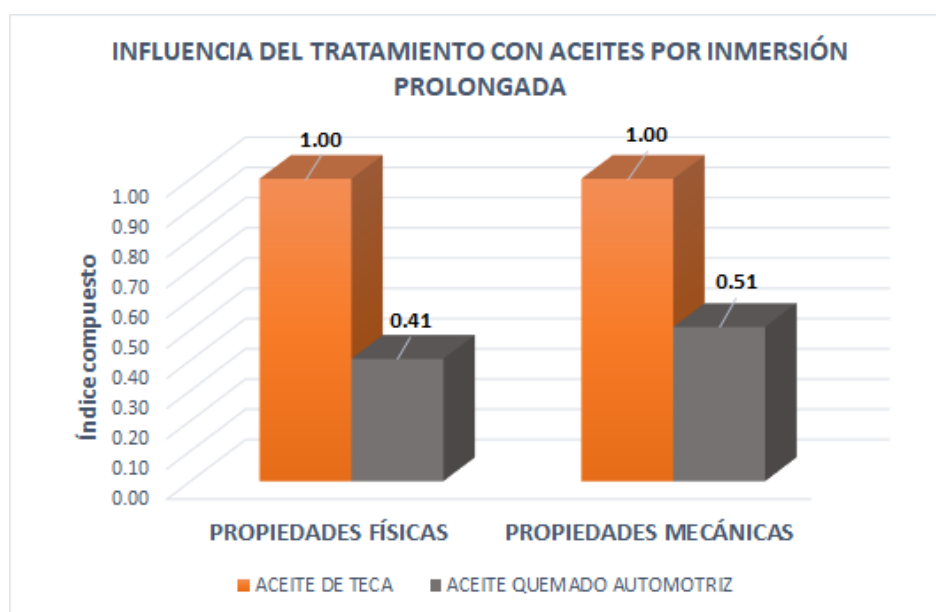
Los procedimientos, análisis de datos, análisis estadísticos y cálculos de esfuerzos admisibles se encuentran en los Anexos 4 a 8. Estos contienen información específica sobre los ensayos de contenido de humedad, densidad, compresión axial o paralela al grano, compresión perpendicular al grano y flexión estática, respectivamente.

Los índices compuestos presentados a continuación derivan de los cálculos efectuados según los criterios estadísticos definidos y detallados exhaustivamente en el Anexo 9. En particular, los resultados de las Tablas 9.3 y 9.4 de este anexo, correspondientes a las propiedades físicas y mecánicas, son fundamentales para el desarrollo de este capítulo y están alineados con los objetivos establecidos en la investigación.

4.1.1. Determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceites en sus propiedades físico-mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe.

Figura 3

Índice compuesto de tratamiento con aceites por inmersión prolongada en propiedades físico-mecánicas.



Nota. Descripción: La presente Figura 3, se planteó en base a los resultados mostrados en las Tablas 9.3 y 9.4 del Anexo 9.

Interpretación:

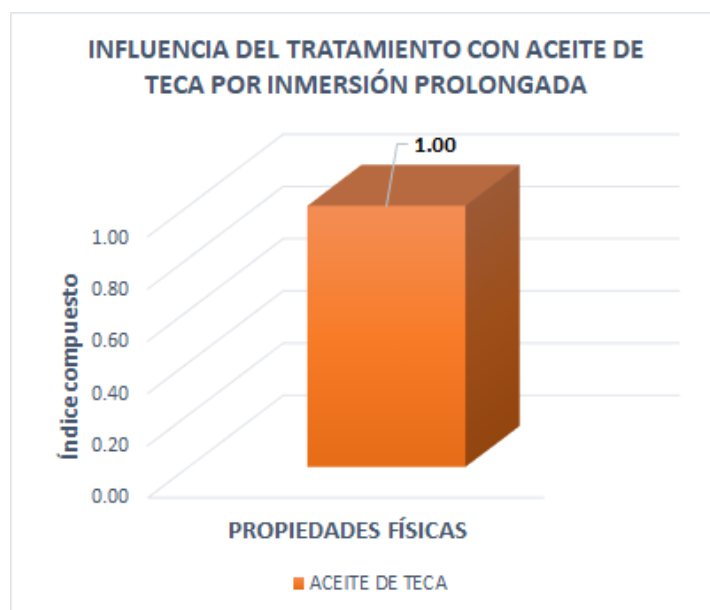
El índice compuesto de 1 para el tratamiento con aceite de teca por inmersión prolongada indica una influencia significativa en las propiedades físicas de la madera. Esta alta puntuación muestra que el aceite de teca contribuye positivamente en estas propiedades. En contraste, el índice compuesto de 0.41 para el tratamiento con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada refleja una influencia moderada. En cuanto a las propiedades mecánicas, el índice compuesto también muestra un valor de 1 para el tratamiento con aceite de teca, indicando una influencia significativa en estas propiedades. Por otro lado, el índice

de 0.51 para el tratamiento con aceite quemado automotriz, aunque positivo, muestra una influencia menos significativa.

4.1.2. Determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada en sus propiedades físicas para ser usados en tijerales tipo Howe.

Figura 4

Índice compuesto de tratamiento con aceite de teca en propiedades físicas.



Nota. Descripción: La presente Figura 4, se planteó en base a los resultados mostrados en las Tablas 9.3 del Anexo 9.

Interpretación:

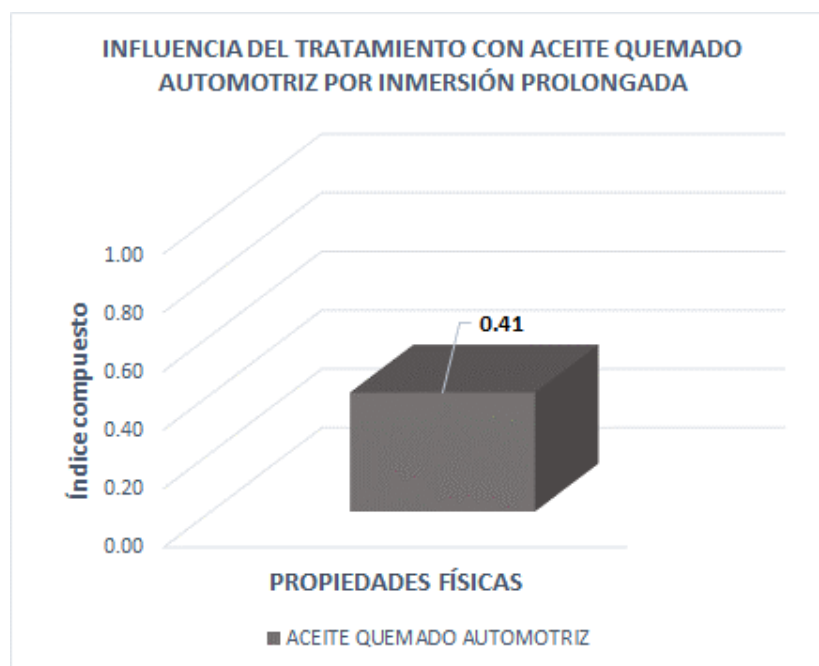
El índice compuesto de 1 para el tratamiento con aceite de teca por inmersión prolongada muestra una influencia positiva significativa en las propiedades físicas de la madera. Esta puntuación se obtuvo al combinar la influencia del contenido de humedad y la densidad. Un índice de 1 indica la efectividad en estas propiedades debido al tratamiento. En particular, se observó un aumento una disminución del contenido de humedad y un aumento significativo en la densidad, lo que muestra que el aceite de teca influyó positivamente en estas

propiedades.

4.1.3. Determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada en sus propiedades físicas para ser usados en tijerales tipo Howe.

Figura 5

Índice compuesto de tratamiento con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada en propiedades físicas.



Nota. Descripción: La presente Figura 5, se planteó en base a los resultados mostrados en las Tablas 9.3 del Anexo 9.

Interpretación:

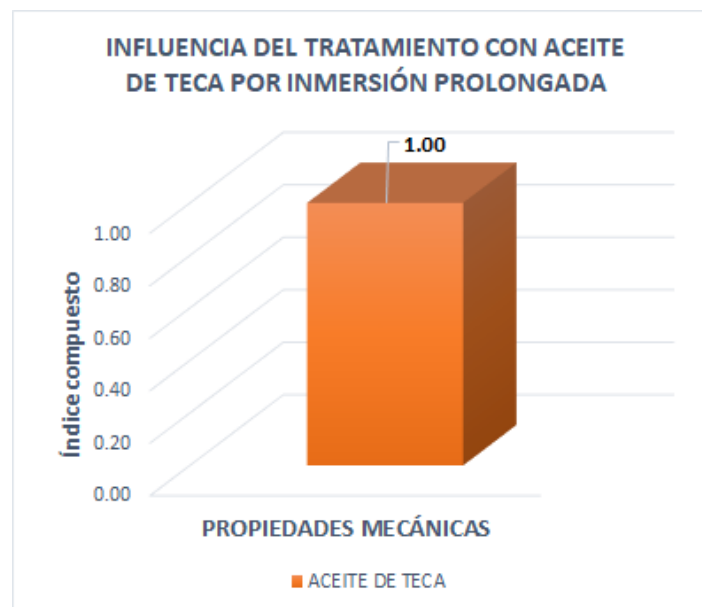
El índice compuesto de 0.41 para el tratamiento con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada también muestra una influencia en las propiedades físicas de la madera, aunque en menor medida que el aceite de teca. Este índice se calculó de manera similar al anterior y representa un efecto más moderado en las propiedades físicas. Indicando una disminución en el contenido de humedad y un incremento en la densidad, pero no tan pronunciado como en el

caso del aceite de teca. En resumen, el aceite quemado automotriz tiene un influencia positiva en estas propiedades, pero es menos pronunciada en comparación con el aceite de teca.

4.1.4. Determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada en sus propiedades mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe.

Figura 6

Índice compuesto de tratamiento con aceite de teca por inmersión prolongada en propiedades mecánicas.



Nota. Descripción: La presente Figura 6, se planteó en base a los resultados mostrados en las Tablas 9.4 del Anexo 9.

Interpretación:

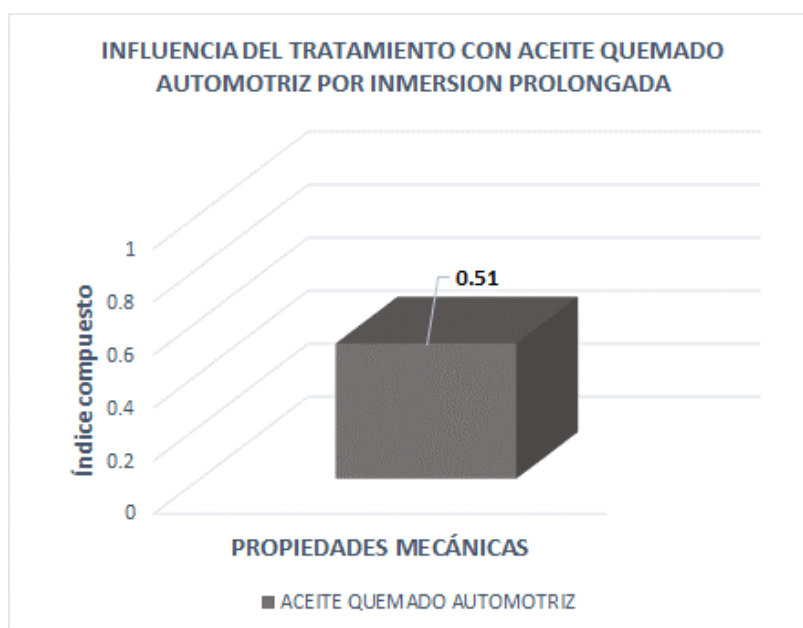
El índice compuesto de 1 para el tratamiento con aceite de teca por inmersión prolongada refleja una influencia positiva significativa en las propiedades mecánicas de la madera. Este valor se obtuvo al combinar la influencia de todas las propiedades mecánicas (compresión axial, compresión perpendicular al grano y flexión) con ponderaciones iguales. Un índice de 1 indica un aumento total en

estas propiedades debido al tratamiento. Es importante destacar que todas las propiedades mecánicas evaluadas incrementaron significativamente con el tratamiento de aceite de teca, lo que muestra su influencia positiva para fortalecer la madera para su uso en tijerales tipo Howe.

4.1.5. Determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada en sus propiedades mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe.

Figura 7

Índice compuesto de tratamiento con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada en propiedades mecánicas.



Nota. Descripción: La presente Figura 5, se planteó en base a los resultados mostrados en las Tablas 9.4 del Anexo 9.

Interpretación:

El índice compuesto de 0.51 para el tratamiento con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada también refleja una influencia positiva en las propiedades mecánicas de la madera, aunque en menor medida que el aceite de

teca. Este índice se calculó de manera similar al anterior y representa una influencia moderada en las propiedades mecánicas. Indica que, en promedio, las propiedades mecánicas incrementaron con el tratamiento de aceite quemado automotriz, aunque no tan significativamente como con el aceite de teca.

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

La comparación entre los especímenes de madera tratados por inmersión prolongada con aceite de teca, aceite quemado automotriz y no tratados ha permitido determinar la influencia de este tratamiento y también se han analizaron diferencias y similitudes en relación a investigaciones previas, que se enfocaron en las propiedades físicas y mecánicas.

4.2.1. Discusión de resultados del objetivo general.

En relación al objetivo general de determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceites en sus propiedades físico-mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, nuestros hallazgos indican una influencia positiva en estas propiedades. La madera tratada con aceite de teca mostró notables aumentos en su resistencia a la compresión axial, compresión perpendicular, flexión y densidad, además de una disminución en la absorción de humedad en comparación con la madera no tratada. Por otro lado, la madera tratada con aceite quemado automotriz también experimentó aumentos en sus propiedades físicas y mecánicas, aunque en menor medida en comparación con el aceite de teca. La resistencia a la compresión axial y flexión fue mayor en la madera tratada con aceite quemado automotriz en comparación con la madera no tratada, pero en general, los valores fueron inferiores a los observados en la madera tratada con aceite de teca. Estos resultados son consistentes con investigaciones previas, como la realizada por Valencia y Sánchez (2017), que también encontraron mejoras en la madera tratada

con cola sintética y aceite requemado automotriz, respectivamente. En general, estos hallazgos resaltan la influencia positiva de los tratamientos con aceites por inmersión prolongada en las propiedades físicas y mecánicas de la madera, reforzando su idoneidad para su uso en tijerales tipo Howe.

4.2.2. *Discusión de resultados del objetivo específico “a”.*

En relación al objetivo específico “a”, que se enfocó en determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada en sus propiedades físicas para su uso en tijerales tipo Howe, los resultados fueron favorables. El tratamiento con aceite de teca redujo el contenido de humedad de las probetas a un 12.207%, logrando una disminución significativa del -3.78% en comparación con las probetas no tratadas, que presentaron un contenido de humedad del 12.686% (ver Tabla 4.4, Anexo 4). Esta reducción en la humedad es crucial, ya que la humedad influye considerablemente en las propiedades físicas y mecánicas de la madera.

Adicionalmente, se observó un aumento en la densidad de las probetas tratadas con aceite de teca, alcanzando un valor de 0.956 g/cm³, en comparación con las probetas no tratadas que tenían una densidad de 0.779 g/cm³, lo que representa un aumento del 22.71% (ver Tabla 5.4, Anexo 5). Estos resultados son consistentes con los hallazgos de la tesis de Osis y Muñoz (2022), que indicaron una densidad de 0.89 g/cm³ en madera de eucalipto sin tratamiento. Asimismo, estos hallazgos son similares a los obtenidos por Valencia y Sánchez (2017), quienes reportaron una densidad de 0.90 g/cm³ en madera de eucalipto tratada con cola sintética. Estos resultados respaldan la influencia positiva significativa del tratamiento del eucalipto con aceite de teca para aplicaciones estructurales, gracias a su elevada densidad, confirmando su alto potencial para su uso en este contexto.

4.2.3. Discusión de resultados del objetivo específico “b”.

En relación al objetivo específico “b”, enfocado en determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada en sus propiedades físicas para su uso en tijerales tipo Howe, los resultados fueron favorables. El contenido de humedad en las probetas tratadas con aceite quemado automotriz se registró en un 12.469%, lo que representa una disminución del -1.71% comparado con las probetas no tratadas que mostraron un valor del 12.207% (ver Tabla 4.4, Anexo 4). Estos resultados indican que, aunque el aceite quemado automotriz puede reducir la absorción de humedad en la madera, su efectividad es menor en comparación con el aceite de teca.

Adicionalmente, las probetas tratadas con aceite quemado automotriz mostraron un incremento del 8.10% en su densidad, alcanzando un valor de 0.842 g/cm³ en comparación con las no tratadas, que tenían una densidad de 0.779 g/cm³ (ver Tabla 5.4, Anexo 5). Estos hallazgos son consistentes con la investigación de Valencia y Sánchez (2017), que reportaron una densidad de 0.87 g/cm³ en madera de eucalipto tratada con aceite requemado automotriz, frente a 0.82 g/cm³ en madera sin tratamiento. Este aumento en la densidad refleja una influencia positiva en la resistencia de la madera, lo cual es ventajoso para su uso en aplicaciones estructurales.

4.2.4. Discusión de resultados del objetivo específico “c”.

En el marco del objetivo específico “c”, que se enfocaba en determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada en sus propiedades mecánicas para su uso en tijerales tipo Howe, se observaron aumentos considerables. La resistencia a la compresión axial o paralela al grano en las probetas tratadas con aceite de teca aumentó significativamente un 102.61%, alcanzando 431.22 kg/cm², en comparación con 212.68 kg/cm² en las probetas sin tratar (ver Tabla 6.8, Anexo 6). Estos valores son coherentes con los resultados de Osis y Muñoz (2022) y Valencia y Sánchez (2017), quienes reportaron resistencias de 206.10 kg/cm² en madera sin tratar y 172.03 kg/cm² en madera tratada con cola sintética, respectivamente. Respecto a la resistencia a la compresión perpendicular al grano, se registró un incremento del 74.27%, de 136.56 kg/cm² en las probetas sin tratar a 237.76 kg/cm² en las tratadas con aceite de teca (ver Tabla 7.8, Anexo 7), superando los 109.20 kg/cm² reportados por Valencia y Sánchez (2017) para madera tratada con cola sintética. De igual manera, la resistencia a la flexión se incrementó un 53.47%, de 411.41 kg/cm² en las probetas sin tratar a 631.17 kg/cm² en las tratadas (ver Tabla 8.9, Anexo 8), excediendo tanto los 409.30 kg/cm² encontrados por Osis y Muñoz (2022) en madera sin tratar como los 223.38 kg/cm² en madera tratada con cola sintética, según Valencia y Sánchez (2017).

Además, en los ensayos de compresión de tijerales tipo Howe a escala, el tratamiento con aceite de teca incrementó un 11.61% la carga máxima de 7229.79 kg de los tijerales sin tratar a 8068.88 kg (ver Tabla 11.4, Anexo 11), superando los valores reportados por Osis y Muñoz (2022), que fueron de 2685.02 kg para tijerales de eucalipto, y por Chura y Muchica (2021), con 837.55 kg para tijerales

de pino. Estos hallazgos resaltan la influencia positiva significativa y el potencial del aceite de teca en fortalecer estructuralmente los tijerales tipo Howe.

4.2.5. Discusión de resultados del objetivo específico “d”.

El objetivo específico “d” se centró en determinar la influencia del tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada en sus propiedades mecánicas para su uso en tijerales tipo Howe. Se registró un aumento del 39.45% en la resistencia a la compresión axial o paralela al grano en las probetas tratadas, alcanzando 296.59 kg/cm², en comparación con 212.68 kg/cm² en las no tratadas (ver Tabla 6.8, Anexo 6). Este resultado supera los 178.21 kg/cm² reportados por Valencia y Sánchez (2017) para madera tratada con aceite requemado automotriz y los 206.10 kg/cm² encontrados por Osis y Muñoz (2022) en madera sin tratar.

En el análisis de la resistencia a la compresión perpendicular al grano, las probetas tratadas con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada mostraron un aumento del 49.75%, alcanzando una resistencia de 204.48 kg/cm². Este valor supera los 136.56 kg/cm² observados en las probetas sin tratar (ver Tabla 7.8, Anexo 7) y los 96.35 kg/cm² reportados por Valencia y Sánchez (2017) para madera tratada con aceite requemado automotriz. Además, la resistencia a la flexión un 25.45%, de 411.41 kg/cm² en las probetas no tratadas a 516.30 kg/cm² en las tratadas con aceite quemado automotriz (ver Tabla 8.9, Anexo 8), superando así los 256.48 kg/cm² reportados por Valencia y Sánchez (2017) para madera tratada de la misma manera.

Finalmente, en los ensayos de esfuerzo a compresión de tijerales tipo Howe a escala, se evidenció un incremento del 5.59%, de 7229.79 kg a 7630.18 kg (ver Tabla 11.4, Anexo 11), lo que contrasta con los 2685.02 kg de Osis y Muñoz (2022)

y los 837.55 kg de Chura y Muchica (2021) para tijerales de eucalipto y pino, respectivamente. Estos hallazgos destacan la influencia positiva del aceite quemado automotriz en aumentar la resistencia estructural de los tijerales tipo Howe.

4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS.

Para validar las hipótesis de la presente investigación, se empleó la prueba de hipótesis t de Student. Esta prueba es idónea para comparar las medias entre dos grupos, incluso con tamaños de muestra relativamente pequeños, y se basa en el supuesto de que las poblaciones siguen una distribución normal. Es especialmente útil cuando se pretende determinar si existe una diferencia significativa entre las medias de dos grupos independientes. En nuestro caso, la prueba t se utilizó para contrastar las hipótesis específicas y la hipótesis general, evaluando los valores promedio de los resultados de los ensayos físicos y mecánicos entre las probetas sin tratamiento y las tratadas con aceite de teca y aceite quemado automotriz.

Para lo cual, se consideraron los siguientes criterios:

- **Plantear la hipótesis alterna (Hi) y la hipótesis nula (Ho):**

Hi: $\mu_1 \neq \mu_2$ (hipótesis alternativa; influye).

Ho: $\mu_1 = \mu_2$ (hipótesis nula; no influye).

- **Nivel de significancia (alfa):** $\alpha = 5\% = 0.05$
- **Prueba estadística – t de Student:** La fórmula empleada fue:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}}$$

Donde:

\bar{X}_1 = Media de las probetas sin tratamiento.

\bar{X}_2 = Media de las probetas con aceites.

n_1 = Cantidad de probetas sin tratamiento.

n_2 = Cantidad de probetas tratadas con aceites.

V_c = Varianza común de probetas sin tratamiento y tratadas con aceites.

- **Región crítica:** Se determinó el valor crítico de t_c (t tabular) a partir de la tabla de distribución t de Student (Anexo 14), considerando el nivel de significancia (alfa) y los grados de libertad.

4.3.1. Prueba de estadística para la hipótesis específica “a”.

Hipótesis específica a:

Hipótesis Alternativa (Hi): El tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada influye en sus propiedades físicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama – Abancay, 2023.

Hipótesis Nula (Ho): El tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada no influye en sus propiedades físicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama – Abancay, 2023.

a) Prueba hipótesis específica “a”: Contenido de humedad con tratamiento de aceite de teca por inmersión prolongada.

Tabla 10

Criterios estadísticos para contenido de humedad con aceite de teca.

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		
	SIN TRATAMIENTO	TRATAMIENTO CON ACEITE DE TECA
Promedio (Media): \bar{X}	12.73	12.27
Varianza: σ	0.02230	0.04478
Número de muestras: n	30	30

Cálculos:

$$\text{Varianza común: } V_c = \frac{(n_1 - 1) \times \sigma_1 + (n_2 - 1) \times \sigma_2}{n_1 + n_2 - 2} = 0.0335$$

$$\text{Estadístico } t \text{ calculado: } t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}} = 9.7279$$

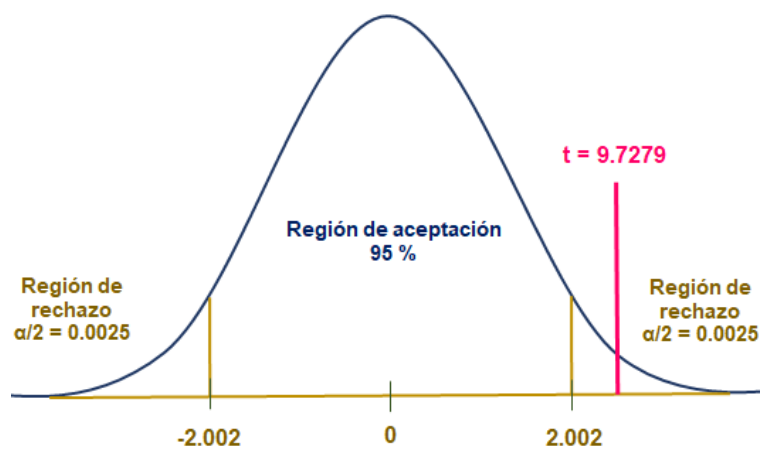
$$\text{Número de muestras: } n = n_1 + n_2 - 2 = 58$$

$$\text{Grado de significancia: } \alpha = 5\% = 0.05$$

Para: $n = 58$, se tiene: $t_c = \pm 2.002 \longrightarrow$ Valor crítico de t (dos colas).

Figura 8

Campana de Gauss de contenido de humedad con aceite de teca.



Nota. Interpretación: Dado que $t = 9.7279$ cae dentro de la región de rechazo, se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alternativa (H_1).

b) Prueba hipótesis específica "a": Densidad con tratamiento de aceite de teca por inmersión prolongada.

Tabla 11

Criterios estadísticos para densidad con aceite de teca.

	DENSIDAD (g/cm³)	
	SIN TRATAMIENTO	TRATAMIENTO CON ACEITE DE TECA
Promedio (Media): \bar{X}	0.81	0.97
Varianza: σ	0.00325	0.00047
Número de muestras: n	10	10

Cálculos:

$$\text{Varianza común: } V_c = \frac{(n_1 - 1) \times \sigma_1 + (n_2 - 1) \times \sigma_2}{n_1 + n_2 - 2} = 0.0019$$

$$\text{Estadístico t calculado: } t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}} = -8.0935$$

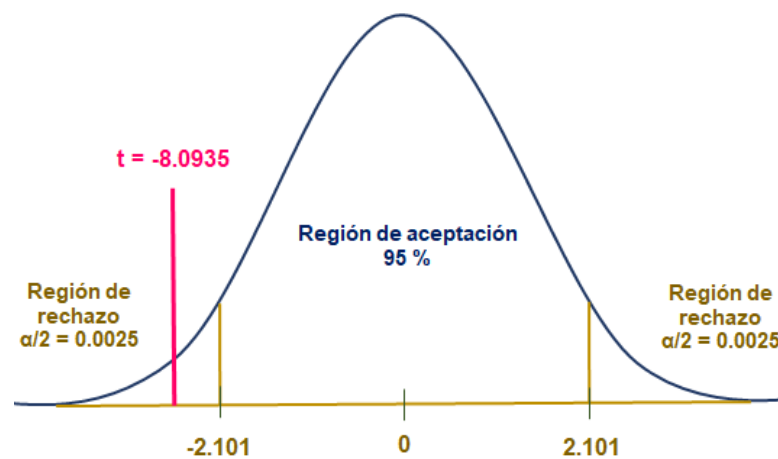
$$\text{Número de muestras: } n = n_1 + n_2 - 2 = 18$$

Grado de significancia: $\alpha = 5\% = 0.05$

Para: $n = 18$, se tiene: $t_c = \pm 2.101 \longrightarrow$ Valor crítico de t (dos colas).

Figura 9

Campana de Gauss de densidad con aceite de teca.



Nota. Interpretación: Dado que $t = -8.0935$ cae dentro de la región de rechazo, se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alternativa (H_i).

Hipótesis alternativa (H_i): *El tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada **influye** en sus propiedades físicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama – Abancay, 2023.*

4.3.2. Prueba de estadística para la hipótesis específica “b”.

Hipótesis específica b:

Hipótesis Alternativa (H_i): *El tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada influye en sus propiedades físicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama – Abancay, 2023.*

Hipótesis Nula (Ho): El tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada no influye en sus propiedades físicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama – Abancay, 2023.

a) Prueba hipótesis específica “b”: Contenido de humedad con tratamiento de aceite quemado automotriz por inmersión prolongada.

Tabla 12

Criterios estadísticos para contenido de humedad con aceite quemado automotriz.

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		
	SIN TRATAMIENTO	TRATAMIENTO CON ACEITE QUEMADO AUTOMOTRIZ
Promedio (Media): \bar{X}	12.73	12.57
Varianza: σ	0.02230	0.09609
Número de muestras: n	30	30

Cálculos:

$$\text{Varianza común: } V_c = \frac{(n_1 - 1) \times \sigma_1 + (n_2 - 1) \times \sigma_2}{n_1 + n_2 - 2} = 0.0592$$

$$\text{Estadístico t calculado: } t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}} = 2.6531$$

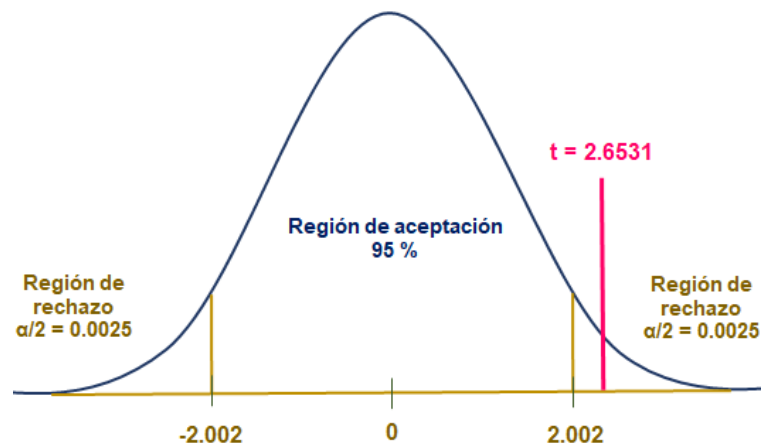
$$\text{Número de muestras: } n = n_1 + n_2 - 2 = 58$$

$$\text{Grado de significancia: } \alpha = 5\% = 0.05$$

Para: $n = 58$, se tiene: $t_c = \pm 2.002 \longrightarrow$ Valor crítico de t (dos colas).

Figura 10

Campana de Gauss de contenido de humedad con aceite quemado automotriz.



Nota. Interpretación: Dado que $t = 2.6531$ cae dentro de la región de rechazo, se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alternativa (H_1).

b) Prueba hipótesis específica “b”: Densidad con tratamiento de aceite quemado automotriz por inmersión prolongada.

Tabla 13

Criterios estadísticos para densidad con aceite quemado automotriz.

	DENSIDAD (g/cm ³)	
	SIN TRATAMIENTO	TRATAMIENTO CON ACEITE QUEMADO AUTOMOTRIZ
Promedio (Media): \bar{X}	0.81	0.88
Varianza: σ	0.00325	0.00384
Número de muestras: n	10	10

Cálculos:

$$\text{Varianza común: } V_c = \frac{(n_1 - 1) \times \sigma_1 + (n_2 - 1) \times \sigma_2}{n_1 + n_2 - 2} = 0.0035$$

$$\text{Estadístico t calculado: } t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}} = -2.5075$$

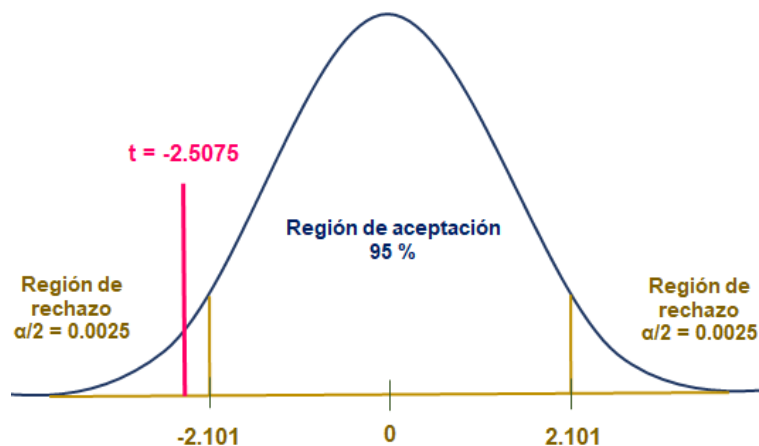
$$\text{Número de muestras: } n = n_1 + n_2 - 2 = 18$$

$$\text{Grado de significancia: } \alpha = 5\% = 0.05$$

Para: $n = 18$, se tiene: $t_c = \pm 2.101 \longrightarrow$ Valor crítico de t (dos colas).

Figura 11

Campana de Gauss de densidad con aceite quemado automotriz.



Nota. Interpretación: Dado que $t = -2.5075$ cae dentro de la región de rechazo, se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alternativa (H_i).

Hipótesis alternativa (H_i): *El tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada **influye** en sus propiedades físicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama–Abancay, 2023.*

4.3.3. Prueba de estadística para la hipótesis específica “c”.

Hipótesis específica c:

Hipótesis Alternativa (H_i): El tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada influye en sus propiedades mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama – Abancay, 2023.

Hipótesis Nula (H_0): El tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada no influye en sus propiedades mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama – Abancay, 2023.

a) Prueba hipótesis específica “c”: Compresión axial o paralela al grano con tratamiento de aceite de teca por inmersión prolongada.

- Esfuerzo de las fibras al límite proporcional (ELP).

Tabla 14

Criterios estadísticos para compresión axial o paralela al grano con aceite de teca (ELP).

COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO		
ESFUERZO DE LAS FIBRAS AL LÍMITE PROPORCIONAL (kg/cm ²)		
	SIN TRATAMIENTO	TRATAMIENTO CON ACEITE DE TECA
Promedio (Media): \bar{X}	325.22	651.17
Varianza: σ	869.67	3884.35
Número de muestras: n	9	10

Cálculos:

$$\text{Varianza común: } V_c = \frac{(n_1 - 1) \times \sigma_1 + (n_2 - 1) \times \sigma_2}{n_1 + n_2 - 2} = 2465.68$$

$$\text{Estadístico t calculado: } t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}} = -14.2867$$

$$\text{Número de muestras: } n = n_1 + n_2 - 2 = 17$$

Grado de significancia: $\alpha = 5\% = 0.05$

Para: $n = 17$, se tiene: $t_c = \pm 2.110 \longrightarrow$ Valor crítico de t (dos colas).

- Resistencia Máxima (RM).

Tabla 15

Criterios estadísticos para compresión axial o paralela al grano con aceite de teca (RM).

COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO		
RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm ²)		
	SIN TRATAMIENTO	TRATAMIENTO CON ACEITE DE TECA
Promedio (Media): \bar{X}	454.16	890.98
Varianza: σ	2221.98	2181.47
Número de muestras: n	10	10

Cálculos:

$$\text{Varianza común: } V_c = \frac{(n_1 - 1) \times \sigma_1 + (n_2 - 1) \times \sigma_2}{n_1 + n_2 - 2} = 2201.73$$

$$\text{Estadístico t calculado: } t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}} = -20.8161$$

$$\text{Número de muestras: } n = n_1 + n_2 - 2 = 18$$

Grado de significancia: $\alpha = 5\% = 0.05$

Para: $n = 18$, se tiene: $t_c = \pm 2.101 \longrightarrow$ Valor crítico de t (dos colas).

- Módulo de Elasticidad (MOE).

Tabla 16

Criterios estadísticos para compresión axial o paralela al grano con aceite de teca (MOE).

COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO		
MÓDULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)		
	SIN TRATAMIENTO	TRATAMIENTO CON ACEITE DE TECA
Promedio (Media): \bar{X}	73907.89	158536.46
Varianza: σ	61167157.34	125639466.94
Número de muestras: n	10	10

Cálculos:

$$\text{Varianza común: } V_c = \frac{(n_1 - 1) \times \sigma_1 + (n_2 - 1) \times \sigma_2}{n_1 + n_2 - 2} = 93403312.14$$

$$\text{Estadístico t calculado: } t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}} = -19.5804$$

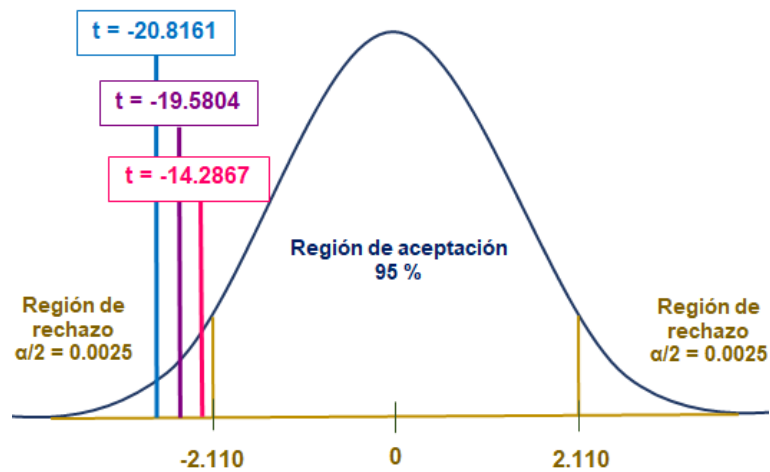
$$\text{Número de muestras: } n = n_1 + n_2 - 2 = 18$$

Grado de significancia: $\alpha = 5\% = 0.05$

Para: $n = 18$, se tiene: $t_c = \pm 2.101 \longrightarrow$ Valor crítico de t (dos colas).

Figura 12

Campana de Gauss de compresión axial o paralela al grano con aceite de teca.



Nota. Interpretación: Dado que $t = -14.2867$, $t = -19.5804$ y $t = -20.8161$ caen dentro de la región de rechazo, se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alternativa (H_1).

b) Prueba hipótesis específica “c”: Compresión perpendicular al grano con tratamiento de aceite de teca por inmersión prolongada.

- **Esfuerzo de las fibras al límite proporcional (ELP).**

Tabla 17

Criterios estadísticos para compresión perpendicular al grano con aceite de teca (ELP).

COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO		
ESFUERZO DE LAS FIBRAS AL LÍMITE PROPORCIONAL (kg/cm²)		
	SIN TRATAMIENTO	TRATAMIENTO CON ACEITE DE TECA
Promedio (Media): \bar{X}	193.05	313.41
Varianza: σ	703.41	627.40
Número de muestras: n	10	10

Cálculos:

$$\text{Varianza común: } V_c = \frac{(n_1 - 1) \times \sigma_1 + (n_2 - 1) \times \sigma_2}{n_1 + n_2 - 2} = 665.40$$

$$\text{Estadístico t calculado: } t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}} = -10.4337$$

$$\text{Número de muestras: } n = n_1 + n_2 - 2 = 18$$

Grado de significancia: $\alpha = 5\% = 0.05$

Para: $n = 18$, se tiene: $t_c = \pm 2.101 \longrightarrow$ Valor crítico de t (dos colas).

- Esfuerzo de Rotura (ER).

Tabla 18

Criterios estadísticos para compresión perpendicular al grano con aceite de teca (ER).

COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO		
ESFUERZO DE ROTURA (kg/cm ²)		
	SIN TRATAMIENTO	TRATAMIENTO CON ACEITE DE TECA
Promedio (Media): \bar{X}	229.97	392.90
Varianza: σ	352.37	417.21
Número de muestras: n	10	10

Cálculos:

$$\text{Varianza común: } V_c = \frac{(n_1 - 1) \times \sigma_1 + (n_2 - 1) \times \sigma_2}{n_1 + n_2 - 2} = 384.79$$

$$\text{Estadístico t calculado: } t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}} = -18.5722$$

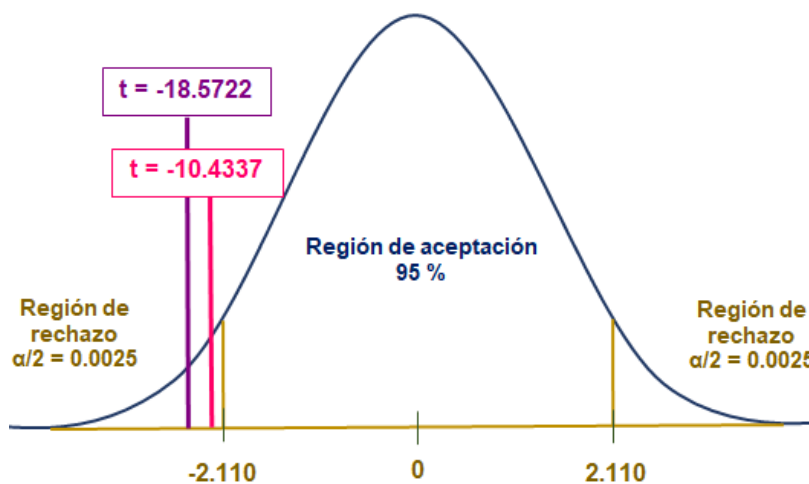
$$\text{Número de muestras: } n = n_1 + n_2 - 2 = 18$$

Grado de significancia: $\alpha = 5\% = 0.05$

Para: $n = 18$, se tiene: $t_c = \pm 2.101 \longrightarrow$ Valor crítico de t (dos colas).

Figura 13

Campana de Gauss de compresión perpendicular al grano con aceite de teca.



Nota. Interpretación: Dado que $t = -10.4337$ y $t = -18.5722$ cae dentro de la región de rechazo, se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alternativa (H_1).

c) Prueba hipótesis específica “c”: Flexión estática con tratamiento de aceite de teca por inmersión prolongada.

- **Esfuerzo de las fibras al límite proporcional (ELP).**

Tabla 19

Criterios estadísticos para flexión estática con aceite de teca (ELP).

FLEXIÓN ESTÁTICA		
ESFUERZO DE LAS FIBRAS AL LÍMITE PROPORCIONAL (kg/cm ²)		
	SIN TRATAMIENTO	TRATAMIENTO CON ACEITE DE TECA
Promedio (Media): \bar{X}	1118.26	1745.88
Varianza: σ	14198.12	11626.29
Número de muestras: n	9	10

Cálculos:

$$\text{Varianza común: } V_c = \frac{(n_1 - 1) \times \sigma_1 + (n_2 - 1) \times \sigma_2}{n_1 + n_2 - 2} = 12836.56$$

$$\text{Estadístico t calculado: } t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}} = -12.0563$$

$$\text{Número de muestras: } n = n_1 + n_2 - 2 = 17$$

Grado de significancia: $\alpha = 5\% = 0.05$

Para: $n = 17$, se tiene: $t_c = \pm 2.110 \longrightarrow$ Valor crítico de t (dos colas).

- **Módulo de Ruptura (MR).**

Tabla 20

Criterios estadísticos para flexión estática con aceite de teca (MR).

FLEXIÓN ESTÁTICA		
MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm ²)		
	SIN TRATAMIENTO	TRATAMIENTO CON ACEITE DE TECA
Promedio (Media): \bar{X}	1443.44	2095.21
Varianza: σ	44721.31	16710.34
Número de muestras: n	10	10

Cálculos:

$$\text{Varianza común: } V_c = \frac{(n_1 - 1) \times \sigma_1 + (n_2 - 1) \times \sigma_2}{n_1 + n_2 - 2} = 30715.83$$

$$\text{Estadístico t calculado: } t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}} = -8.3157$$

$$\text{Número de muestras: } n = n_1 + n_2 - 2 = 18$$

$$\text{Grado de significancia: } \alpha = 5\% = 0.05$$

Para: n = 18, se tiene: $t_c = \pm 2.101$ → Valor crítico de t (dos colas).

- **Módulo de Elasticidad (MOE).**

Tabla 21

Criterios estadísticos para flexión estática con aceite de teca (MOE).

FLEXIÓN ESTÁTICA		
MÓDULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)		
	SIN TRATAMIENTO	TRATAMIENTO CON ACEITE DE TECA
Promedio (Media): \bar{X}	54076.59	82792.13
Varianza: σ	48570999.49	33577715.60
Número de muestras: n	9	10

Cálculos:

$$\text{Varianza común: } V_c = \frac{(n_1 - 1) \times \sigma_1 + (n_2 - 1) \times \sigma_2}{n_1 + n_2 - 2} = 40633378.60$$

$$\text{Estadístico } t \text{ calculado: } t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}} = -9.8044$$

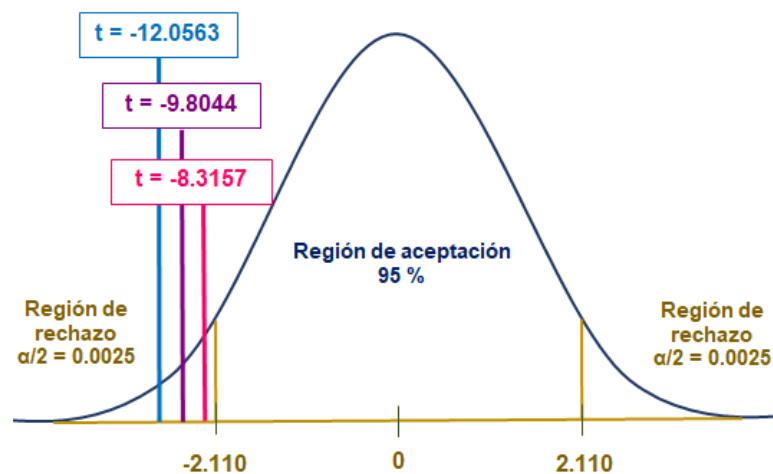
$$\text{Número de muestras: } n = n_1 + n_2 - 2 = 17$$

$$\text{Grado de significancia: } \alpha = 5\% = 0.05$$

Para: $n = 17$, se tiene: $t_c = \pm 2.110 \longrightarrow$ Valor crítico de t (dos colas).

Figura 14

Campana de Gauss de flexión estática con aceite de teca.



Nota. Interpretación: Dado que $t = -8.3157$, $t = -9.8044$ y $t = 12.0563$ caen dentro de la región de rechazo, se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alternativa (H_1).

Hipótesis alternativa (H_1): *El tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada **influye** en sus propiedades mecánicas para ser usados en tijeras tipo Howe, Lambrama – Abancay, 2023.*

4.3.4. Prueba de estadística para la hipótesis específica “d”.

Hipótesis específica d:

Hipótesis Alternativa (H_1): El tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada influye en sus propiedades mecánicas para

ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama – Abancay, 2023.

Hipótesis Nula (Ho): El tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada no influye en sus propiedades mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama – Abancay, 2023.

- a) Prueba hipótesis específica “d”:** Compresión axial o paralela al grano con tratamiento de aceite quemado automotriz por inmersión prolongada.
- Esfuerzo de las fibras al límite proporcional (ELP).

Tabla 22

Criterios estadísticos para compresión axial o paralela al grano con aceite quemado automotriz (ELP).

COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO		
ESFUERZO DE LAS FIBRAS AL LÍMITE PROPORCIONAL (kg/cm ²)		
	SIN TRATAMIENTO	TRATAMIENTO CON ACEITE QUEMADO AUTOMOTRIZ
Promedio (Media): \bar{X}	325.22	450.35
Varianza: σ	869.67	1004.02
Número de muestras: n	9	10

Cálculos:

$$\text{Varianza común: } V_c = \frac{(n_1 - 1) \times \sigma_1 + (n_2 - 1) \times \sigma_2}{n_1 + n_2 - 2} = 888.53$$

$$\text{Estadístico t calculado: } t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}} = -9.1361$$

$$\text{Número de muestras: } n = n_1 + n_2 - 2 = 17$$

$$\text{Grado de significancia: } \alpha = 5\% = 0.05$$

Para: n = 17, se tiene: $t_c = \pm 2.110$ —► Valor crítico de t (dos colas).

- **Resistencia Máxima (RM).**

Tabla 23

Criterios estadísticos de compresión axial o paralela al grano con aceite quemado automotriz (RM).

COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO		
RESISTENCIA MÁXIMA (kg/cm ²)		
	SIN TRATAMIENTO	TRATAMIENTO CON ACEITE QUEMADO AUTOMOTRIZ
Promedio (Media): \bar{X}	454.16	612.00
Varianza: σ	2221.98	949.47
Número de muestras: n	10	10

Cálculos:

$$\text{Varianza común: } V_c = \frac{(n_1 - 1) \times \sigma_1 + (n_2 - 1) \times \sigma_2}{n_1 + n_2 - 2} = 1585.73$$

$$\text{Estadístico t calculado: } t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}} = -8.8631$$

$$\text{Número de muestras: } n = n_1 + n_2 - 2 = 18$$

Grado de significancia: $\alpha = 5\% = 0.05$

Para: $n = 18$, se tiene: $t_c = \pm 2.101 \longrightarrow$ Valor crítico de t (dos colas).

- **Módulo de Elasticidad (MOE).**

Tabla 24

Criterios estadísticos para compresión axial o paralela al grano con aceite quemado automotriz (MOE).

COMPRESIÓN AXIAL O PARALELA AL GRANO		
MÓDULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)		
	SIN TRATAMIENTO	TRATAMIENTO CON ACEITE QUEMADO AUTOMOTRIZ
Promedio (Media): \bar{X}	73907.89	104160.45
Varianza: σ	61167157.34	64223402.55
Número de muestras: n	10	10

Cálculos:

$$\text{Varianza común: } V_c = \frac{(n_1 - 1) \times \sigma_1 + (n_2 - 1) \times \sigma_2}{n_1 + n_2 - 2} = 62695279.95$$

$$\text{Estadístico t calculado: } t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}} = -8.5434$$

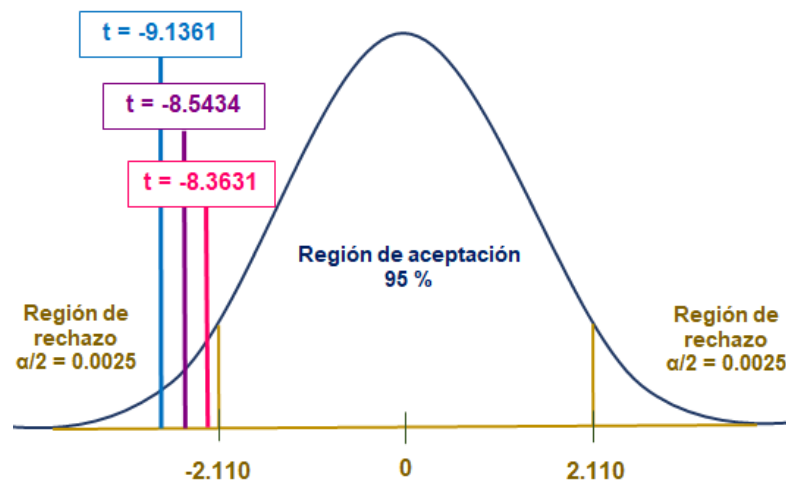
$$\text{Número de muestras: } n = n_1 + n_2 - 2 = 18$$

Grado de significancia: $\alpha = 5\% = 0.05$

Para: $n = 18$, se tiene: $t_c = \pm 2.101 \longrightarrow$ Valor crítico de t (dos colas).

Figura 15

Campana de Gauss de compresión axial o paralela al grano con aceite quemado automotriz.



Nota. Interpretación: Dado que $t = -8.3631$, $t = -8.5434$ y $t = -9.1361$ caen dentro de la región de rechazo, se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alternativa (H_i).

b) Prueba hipótesis específica “d”: Compresión perpendicular al grano con tratamiento de aceite quemado automotriz por inmersión prolongada.

- Esfuerzo de las fibras al límite proporcional (ELP).

Tabla 25

Criterios estadísticos para compresión perpendicular al grano con aceite quemado automotriz (ELP).

COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO		
ESFUERZO DE LAS FIBRAS AL LÍMITE PROPORCIONAL (kg/cm ²)		
	SIN TRATAMIENTO	TRATAMIENTO CON ACEITE QUEMADO AUTOMOTRIZ
Promedio (Media): \bar{X}	193.05	274.06
Varianza: σ	703.41059	160.10751
Número de muestras: n	10	9

Cálculos:

$$\text{Varianza común: } V_c = \frac{(n_1 - 1) \times \sigma_1 + (n_2 - 1) \times \sigma_2}{n_1 + n_2 - 2} = 447.14$$

$$\text{Estadístico t calculado: } t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}} = -8.3328$$

$$\text{Número de muestras: } n = n_1 + n_2 - 2 = 17$$

$$\text{Grado de significancia: } \alpha = 5\% = 0.05$$

Para: n = 17, se tiene: $t_c = \pm 2.110 \longrightarrow$ Valor crítico de t (dos colas).

- Esfuerzo de Rotura (ER).

Tabla 26

Criterios estadísticos para compresión perpendicular al grano con aceite quemado automotriz (ER).

COMPRESIÓN PERPENDICULAR AL GRANO		
ESFUERZO DE ROTURA (kg/cm ²)		
	SIN TRATAMIENTO	TRATAMIENTO CON ACEITE QUEMADO AUTOMOTRIZ
Promedio (Media): \bar{X}	229.97	336.28
Varianza: σ	352.37255	222.58
Número de muestras: n	10	10

Cálculos:

$$\text{Varianza común: } V_c = \frac{(n_1 - 1) \times \sigma_1 + (n_2 - 1) \times \sigma_2}{n_1 + n_2 - 2} = 287.48$$

$$\text{Estadístico t calculado: } t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}} = -14.0194$$

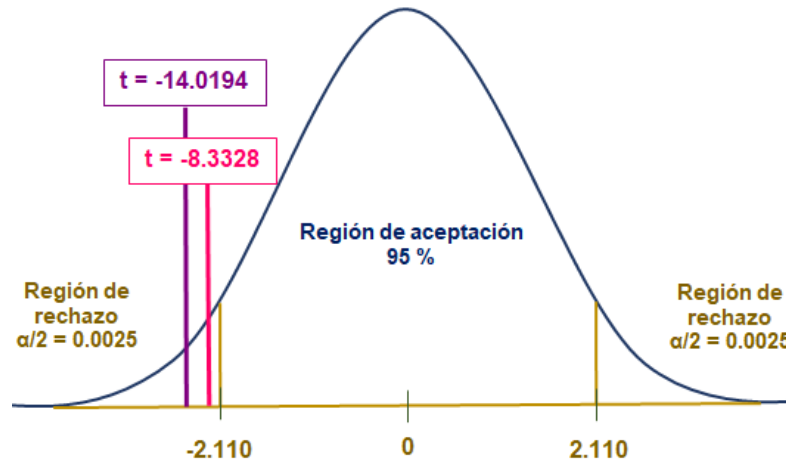
$$\text{Número de muestras: } n = n_1 + n_2 - 2 = 18$$

Grado de significancia: $\alpha = 5\% = 0.05$

Para: $n = 18$, se tiene: $t_c = \pm 2.101 \longrightarrow$ Valor crítico de t (dos colas).

Figura 16

Campana de Gauss de compresión perpendicular al grano con aceite quemado automotriz.



Nota. Interpretación: Dado que $t = -8.3328$ y $t = -14.0194$ caen dentro de la región de rechazo, se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alternativa (H_i).

c) Prueba hipótesis específica “d”: Flexión estática con tratamiento de aceite quemado automotriz por inmersión prolongada.

- **Esfuerzo de las fibras al límite proporcional (ELP).**

Tabla 27

Criterios estadísticos para flexión estática con aceite quemado automotriz (ELP).

FLEXIÓN ESTÁTICA		
ESFUERZO DE LAS FIBRAS AL LÍMITE PROPORCIONAL (kg/cm²)		
	SIN TRATAMIENTO	TRATAMIENTO CON ACEITE QUEMADO AUTOMOTRIZ
Promedio (Media): \bar{X}	1118.26	1427.83
Varianza: σ	14198.12	11925.61
Número de muestras: n	9	10

Cálculos:

$$\text{Varianza común: } V_c = \frac{(n_1 - 1) \times \sigma_1 + (n_2 - 1) \times \sigma_2}{n_1 + n_2 - 2} = 12995.02$$

$$\text{Estadístico t calculado: } t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}} = -5.9104$$

$$\text{Número de muestras: } n = n_1 + n_2 - 2 = 17$$

$$\text{Grado de significancia: } \alpha = 5\% = 0.05$$

Para: $n = 17$, se tiene: $t_c = \pm 2.110 \longrightarrow$ Valor crítico de t (dos colas).

- **Módulo de Ruptura (MR).**

Tabla 28

Criterios estadísticos para flexión estática con aceite quemado automotriz (MR).

FLEXIÓN ESTÁTICA		
MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm ²)		
	SIN TRATAMIENTO	TRATAMIENTO CON ACEITE QUEMADO AUTOMOTRIZ
Promedio (Media): \bar{X}	1443.44	1694.29
Varianza: σ	44721.31	4685.23
Número de muestras: n	10	9

Cálculos:

$$\text{Varianza común: } V_c = \frac{(n_1 - 1) \times \sigma_1 + (n_2 - 1) \times \sigma_2}{n_1 + n_2 - 2} = 25880.80$$

$$\text{Estadístico t calculado: } t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}} = -3.3937$$

$$\text{Número de muestras: } n = n_1 + n_2 - 2 = 17$$

$$\text{Grado de significancia: } \alpha = 5\% = 0.05$$

Para: $n = 17$, se tiene: $t_c = \pm 2.110 \longrightarrow$ Valor crítico de t (dos colas).

- **Módulo de Elasticidad (MOE).**

Tabla 29

Criterios estadísticos para flexión estática con aceite quemado automotriz (MOE).

FLEXIÓN ESTÁTICA		
MÓDULO DE ELASTICIDAD (kg/cm²)		
	SIN TRATAMIENTO	TRATAMIENTO CON ACEITE QUEMADO AUTOMOTRIZ
Promedio (Media): \bar{X}	54076.59	68343.76
Varianza: σ	48570999.49	50056130.47
Número de muestras: n	9	10

Cálculos:

$$\text{Varianza común: } V_c = \frac{(n_1 - 1) \times \sigma_1 + (n_2 - 1) \times \sigma_2}{n_1 + n_2 - 2} = 49357245.30$$

$$\text{Estadístico t calculado: } t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{V_c}{n_1} + \frac{V_c}{n_2}}} = -4.4198$$

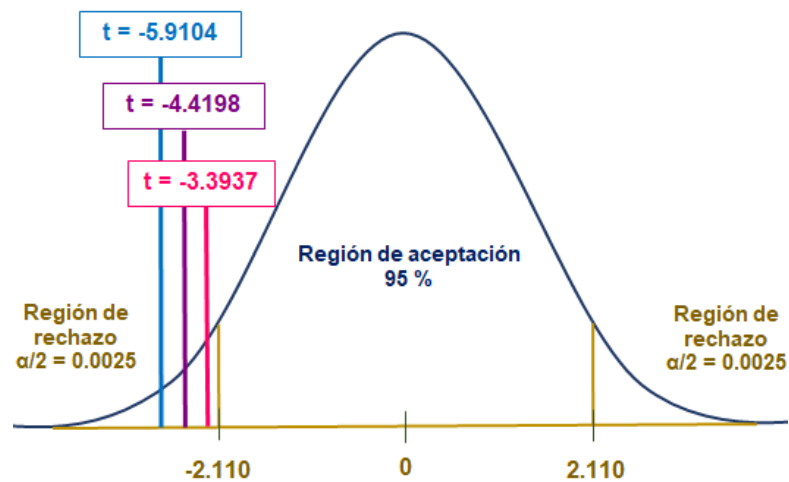
$$\text{Número de muestras: } n = n_1 + n_2 - 2 = 17$$

$$\text{Grado de significancia: } \alpha = 5\% = 0.05$$

Para: n = 17, se tiene: $t_c = \pm 2.110 \longrightarrow$ Valor crítico de t (dos colas).

Figura 17

Campana de Gauss de flexión estática con aceite quemado automotriz.



Nota. Interpretación: Dado que $t = -3.3937$, $t = -4.4198$ y $t = -5.9104$ caen dentro de la región de rechazo, se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alternativa (H_i).

Hipótesis alternativa (H_i): *El tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada **influye** en sus propiedades mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama – Abancay, 2023.*

4.3.5. Prueba de estadística para la hipótesis general.

Hipótesis general:

Hipótesis Alternativa (H_i): El tratamiento del eucalipto con aceites influye en sus propiedades físico-mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama-Abancay, 2023.

Hipótesis Nula (H_0): El tratamiento del eucalipto con aceites no influye en sus propiedades físico-mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama-Abancay, 2023.

- **Resumen de resultados de Hipótesis Específicas:**

- Hipótesis específica “a”: Se confirmó. El tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada influye en sus propiedades físicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama – Abancay, 2023.
- Hipótesis específica “b”: Se confirmó. El tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada influye en sus propiedades físicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama–Abancay, 2023.
- Hipótesis específica “c”: Se confirmó. El tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada influye en sus propiedades mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama – Abancay, 2023.
- Hipótesis específica “d”: Se confirmó. El tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada influye en sus propiedades mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama – Abancay, 2023.

En conclusión, los resultados confirmaron que:

Hipótesis Alternativa (Hi): El tratamiento del eucalipto con aceites **influye** en sus propiedades físico-mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama-Abancay, 2023.

CONCLUSIONES

1. La investigación demostró efectivamente la influencia del tratamiento del eucalipto con aceites en sus propiedades físico-mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe. Los resultados evidenciaron que el aceite de teca produjo una influencia positiva significativa en estas propiedades. En comparación, aunque el tratamiento con aceite quemado automotriz que también influyó positivamente en las propiedades físico-mecánicas del eucalipto, esta fue menos pronunciada que el del aceite de teca.
2. El tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada demostró la influencia positiva significativa en sus propiedades físicas, resaltando su efectividad para aplicaciones en tijerales tipo Howe. Esta influencia se evidencia en una disminución efectiva del contenido de humedad, bajando de 12.686% a 12.207% (ver Tabla 4.4, Anexo 4). Además, en un notable incremento de la densidad de la madera, de 0.779 g/cm³ a 0.956 g/cm³ (ver Tabla 5.4, Anexo 5). Estos resultados destacan la efectividad del aceite de teca en su notable influencia positiva en las propiedades físicas del eucalipto.
3. El tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada demostró su influencia positiva en sus propiedades físicas, aunque no tan sustancial como con el aceite de teca, lo cual lo convierte en una opción viable para su uso en tijerales tipo Howe. Se observó una disminución en el contenido de humedad de 12.686% a 12.469% (ver Tabla 4.4, Anexo 4), y un incremento en la densidad de la madera de 0.779 g/cm³ a 0.842 g/cm³ (ver Tabla 5.4, Anexo 5), indicando que el aceite quemado automotriz influyó positivamente en las propiedades físicas del eucalipto, aunque con una efectividad moderada.

4. El tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada ha demostrado su influencia positiva significativa en sus propiedades mecánicas, reforzándolo como un material adecuado para aplicaciones estructurales como los tijerales tipo Howe. La influencia de este tratamiento se refleja en el aumento de las propiedades mecánicas: la compresión axial o paralela al grano se incrementa de 212.68 kg/cm² a 431.22 kg/cm² (ver Tabla 6.8, Anexo 6), la compresión perpendicular al grano de 136.56 kg/cm² a 237.76 kg/cm² (ver Tabla 7.8, Anexo 7), la flexión estática de 411.41 kg/cm² a 631.17 kg/cm² (ver Tabla 8.9, Anexo 8), y la carga máxima en tijerales tipo Howe a escala de 7229.79 kg a 8068.88 kg (ver Tabla 11.4, Anexo 11). Estos valores resaltan la influencia positiva significativa del aceite de teca en las propiedades mecánicas del eucalipto.
5. El tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada evidencia una influencia positiva en la mejora de sus propiedades mecánicas, lo que lo hace adecuado para aplicaciones estructurales como los tijerales tipo Howe, aunque en menor medida que el aceite de teca. Los valores mostraron los siguientes incrementos: compresión axial o paralela al grano de 212.68 kg/cm² a 296.59 kg/cm² (ver Tabla 6.8, Anexo 6), compresión perpendicular al grano de 136.56 kg/cm² a 204.48 kg/cm² (ver Tabla 7.8, Anexo 7), flexión estática de 411.41 kg/cm² a 516.30 kg/cm² (ver Tabla 8.9, Anexo 8) y esfuerzo a compresión en tijerales tipo Howe a escala de 7229.79 kg a 7630.18 kg (ver Tabla 11.4, Anexo 11).

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el tratamiento con aceite de teca por inmersión prolongada para aplicaciones que requieran mayor resistencia y durabilidad de la madera, dado que ha demostrado su influencia positiva significativa en sus propiedades físicas y mecánicas. A pesar de su mayor costo inicial, esta representa una inversión rentable a largo plazo debido a su influencia positiva y duradera en la calidad de la madera. Esta ventaja la hace preferible, especialmente en aplicaciones estructurales donde la durabilidad y la resistencia son fundamentales. Por otro lado, aunque el tratamiento con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada puede ser una alternativa menos costosa, su impacto medioambiental y menor efectividad en la influencia positiva de las propiedades de la madera deben ser considerados (ver Tabla 12.2, Anexo 12). La elección del tratamiento debe equilibrar factores como el costo, la eficacia y la responsabilidad ambiental para tomar una decisión informada y sostenible.
2. Dados los resultados concluyentes de esta investigación, que evidencian la influencia positiva significativa en las propiedades físicas del eucalipto tratado con aceite de teca por inmersión prolongada, se recomienda su uso en la fabricación de tijerales tipo Howe. La reducción del contenido de humedad es esencial para mantener la estabilidad de las propiedades de la madera, que podrían verse afectadas por variaciones en la humedad. Una menor humedad mejora la durabilidad y resistencia a factores ambientales, contribuyendo a una mayor estabilidad y vida útil en aplicaciones estructurales como los tijerales tipo Howe. Además, el notable aumento en la densidad, un factor crucial para la integridad estructural y la capacidad de carga en construcciones, lo posiciona como altamente adecuado para soportar cargas y resistir desgastes a largo

plazo. Se sugiere realizar pruebas adicionales que incluyan evaluaciones de carga, durabilidad y resistencia a factores ambientales, para confirmar aún más el rendimiento de la madera tratada con aceite de teca bajo condiciones prácticas y reales.

3. Los resultados de esta investigación indican que el tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada tuvo una influencia positiva en sus propiedades físicas, haciendo de este tratamiento una alternativa viable para su uso en tijerales tipo Howe. La reducción del contenido de humedad, junto con la densidad mejorada de la madera, crucial para la integridad estructural y capacidad de carga en construcciones, destacan el potencial de esta técnica. Sin embargo, es esencial considerar el impacto ambiental del uso del aceite quemado automotriz. Por lo tanto, se recomienda profundizar en estudios que evalúen y optimicen los aspectos ambientales de este tratamiento, asegurando que su implementación sea sostenible y responsable. Esta aproximación equilibrada permitirá aprovechar las ventajas del tratamiento manteniendo un compromiso firme con prácticas de construcción ambientalmente sostenibles.
4. Los resultados de esta investigación demuestran que el tratamiento del eucalipto con aceite de teca por inmersión prolongada tuvo una influencia positiva significativa en sus propiedades mecánicas, resaltando su efectividad para aplicaciones estructurales, como en los tijerales tipo Howe. Se observaron aumentos notables en la resistencia a la compresión axial o paralela al grano, implicando una mayor capacidad de la madera para soportar cargas longitudinales. En la compresión perpendicular al grano, las probetas tratadas mostraron una resistencia mejorada a las fuerzas transversales, un aspecto

vital para la estabilidad estructural. Además, la resistencia a la flexión estática se incrementó considerablemente, indicando una mayor tolerancia a cargas dinámicas y estáticas sin deformaciones significativas. Es relevante destacar que los ensayos de tijerales tipo Howe a escala también revelaron mejoras significativas, con un aumento en la carga máxima soportada, reflejando una capacidad mejorada para resistir las fuerzas aplicadas en estructuras reales. Por lo que, se recomienda enfáticamente el uso del eucalipto tratado con aceite de teca en proyectos de construcción que requieran materiales estructurales duraderos y con una capacidad de carga mejorada.

5. Los resultados indican que el tratamiento del eucalipto con aceite quemado automotriz por inmersión prolongada tuvo una influencia positiva en sus propiedades mecánicas, haciéndolo adecuado para aplicaciones estructurales como los tijerales tipo Howe, aunque la mejora es menos pronunciada en comparación con el tratamiento con aceite de teca. Con incrementos en la resistencia a la compresión axial o paralela al grano y en la compresión perpendicular al grano, demostrando una capacidad mejorada de soportar cargas longitudinales y transversales. Asimismo, el aumento en la resistencia a la flexión, indica una tolerancia favorable a cargas dinámicas y estáticas. En los ensayos de tijerales tipo Howe a escala, evidencian una mejora en la capacidad de resistencia estructural. Se recomienda considerar el uso de eucalipto tratado con aceite quemado automotriz en proyectos estructurales donde se busque un equilibrio entre mejora mecánica y consideraciones económicas.

Para concluir, se sugiere expandir la investigación sobre tratamientos de madera en diferentes contextos constructivos y distintos tratamientos. Esto incluye experimentar con diversas especies y estilos de estructuras como los tijerales. La colaboración con especialistas y la realización de pruebas adaptadas a situaciones específicas contribuirán a un mayor entendimiento del uso efectivo de la madera en construcción, asegurando la seguridad, calidad e innovación en el sector.

BIBLIOGRAFÍA

- Aboaba, O., Akande, A., & Flamini, G. (2013). Chemical constituents, toxicity and antimicrobial activities of the essential oil from the leaves of *Tectona grandis*. *Elixir Bio Technology*, 61, 16795-16798.
- Acosta, R. (2021). Influencia de un tratamiento térmico en la higroscopicidad y en la resistencia mecánica de la guadua *Angustifolia* Kunth. Repositorio de la Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado de <https://repositorio.utp.edu.co/items/d9242e64-b97c-4736-a235-e960cd9ec606>
- Ajanel González, O. D. (2016, Julio 18). Propuesta de industrialización de trozas con diámetros menores de la especie Teca (*Tectona grandis* L. f.) provenientes de las fases de raleo en Empresa Agropecuaria Santa Elisa. Repositorio Institucional USAC. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5229/>
- Alvarez Acuña, L. O. (2019). Perfeccionamiento de un programa de secado para madera de *Myroxylon balsamun harms* (estoraque) a Nivel Laboratorio, en la Ciudad de Pucallpa - Perú. Repositorio Institucional UNU. Recuperado de <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4309>
- Barrios, R. C., Castañeda, E. M., Pedraza, Y. C., Vásquez, J. D. H., & Ibañez, A. I. (2016). Eliminación de outliers: Una estrategia para reducir la incertidumbre tipo A en la calibración de balanzas. CENAM - Simposio de Metrología 2016. Recuperado de <https://www.cenam.mx/sm2016/pdf/1758.pdf>
- Benites, L. (2021, Octubre 4). *Criterio de Chauvenet*. Statologos. Recuperado de <https://statologos.com/criterio-de-chauvenets-2/>

- Calderón Bazantes, L. S., & Zurita Sibambe, T. A. (2019). Caracterización del aceite obtenido de semillas de *Tectona grandis* de origen ecuatoriano. Repositorio Universidad de Guayaquil. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/43525>
- Camacho, M., & Horta, R. (2020). Metodologías para la construcción de índices compuestos. Departamento de Administración y Finanzas, Universidad Católica del Uruguay. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/340607621_Metodologias_para_la_Construccion_de_Indices_Compuestos
- Carro Llorente, S. (2021, Junio). Caracterización elasto-mecánica de probetas sin termotratar y termotratadas para uso estructural de madera de *Eucaliptus nitens* H. Deane and Maiden. UVaDOC Principal. Recuperado de <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/50748>
- Casas Mamani, J. E. (2020). Diseño de un sistema de control de temperatura y humedad para un horno de secado de madera. Repositorio Institucional UPEA. Recuperado de <https://repositorio.upea.bo/jspui/handle/123456789/83>
- Chicaiza Aucancela, M. R. (2022, Abril 5). Comparación de las propiedades físicas y mecánicas entre las especies arbóreas estudiadas: Platuquero, Pino Caribe y Pino Patula. Repositorio Digital UNACH. Recuperado de <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8879>
- Chura Quispe, N. S., & Muchica Sillo, J. (2020, Noviembre 11). Factibilidad del uso de la madera *Pinus radiata* como material estructural para la construcción de tijerales en la región Puno. DSpace Principal. Recuperado de <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4354>

- Cortés Polo, S. (2020). Análisis estructural teórico-técnico y los requerimientos de la NSR-10 para un proyecto de ingeniería civil en Colombia. Recuperado de <https://hdl.handle.net/10901/23136>.
- Crespo, J., Majano-Majano, A., Lara-Bocanegra, A. J., & Guaita, M. (2020, Febrero 18). Mechanical Properties of Small Clear Specimens of Eucalyptus globulus Labill. MDPI. Recuperado de <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/4/906>
- Da Vila Dávila, S. (2020). Detección de outliers en grandes bases de datos. Minerva, Repositorio Institucional da USC. Recuperado de http://eio.usc.es/pub/mte/descargas/ProyectosFinMaster/Proyecto_1780.pdf
- DeStefano, J., Brungraber, B., Connolly, D., Hershberger, J., Lynch, J., Morse-Fortier, L., & Zirnhelt, R. (2020). Design Guide for Timber Roof Trusses. Timber Frame Engineering Council, TFEC 4. Recuperado de <https://dcstructural.com/wp-content/uploads/2020/09/TFEC-4-2020-Design-Guide-for-Timber-Roof-Trusses.pdf>
- Díaz Chávez, L. A., & Rosado Vega, J. R. (2019). Tratamiento estadístico de datos con aplicaciones en R. Repositorio Digital Uniguajira. Recuperado de <https://repositoryinst.uniguajira.edu.co/handle/uniguajira/309>
- Díaz Jorge, H. J. (2018). Evaluación de la calidad de suelo en un bosque reforestado con eucalipto en la zona de Pacán - Huánuco 2017. Repositorio Institucional UNHEVAL. Recuperado de <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/3550>
- Drgnt. (s. f.). Tipos de armaduras. Recuperado de <http://metalicstructures.blogspot.com/2017/02/tipos-de-armaduras.html>

- Encuesta Nacional de Programas Presupuestales 2011-2021. (2022, Julio). Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI. Recuperado de <https://www.gob.pe/inei>
- Equihua Equihua, M. L. (2018, Diciembre). Efecto de termotratamientos en las propiedades físico-mecánicas, químicas y resistencia a la pudrición de la madera de Gmelina arborea. Repositorio UMSNH. Recuperado de http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/229
- Espinoza Urquiza, L. E., & Macavilca Chuquizana, K. K. (2018). Prototipo de tijerales usando madera Chontaquiro (*Diplotropis* sp) aplicando la norma técnica peruana E.010 en la selva central. Repositorio USMP. Recuperado de <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/4099>
- Fank, P. Y. (2018). Caracterización físico-mecánica del pino resinoso (*Pinus taeda* y *Pinus elliottii*) cultivado en el nordeste argentino para uso estructural. RIA UTN. Recuperado de <https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/3344>
- Flores Méndez, O. (2020). Propiedades de la madera del pino ponderosa Douglas de la Sierra Tarahumara. Repositorio de Tesis - Universidad Autónoma de Chihuahua. Recuperado de http://repositorio.uach.mx/view/creators/FLORES_M=C9NDEZ=3AOSCAR=3A=3A.html
- Grados, D. L. (s/f). *Tabla t-Student*. Uba.ar. Recuperado de https://cms.dm.uba.ar/academico/materias/verano2022/probabilidades_y_estadistica_C/tablas/tabla_tstudent.pdf
- Guindos, P. (2019). Fundamentos del diseño y la construcción con madera. Ediciones Universidad Católica.

Gysling Caselli, J., Kahler González, C., Soto Aguirre, D., Mejías Caballero, W., Poblete Hernández, P., Alvarez González, V., Bañados M., J. C., Baeza Rocha, D., & Pardo V., E. (2021). Madera y construcción: Hacia una simbiosis estratégica. Biblioteca Digital - Instituto Forestal. Recuperado de <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/31291>

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (7.^a ed.). McGraw Hill Education.

Indecopi. (2012). Acondicionamiento de las maderas destinadas a los ensayos físico y mecánicos (NTP 251.009). Lima.

Indecopi. (2014). Método para determinar el contenido de humedad (NTP 251.010). Lima.

Indecopi. (2014). Método para determinar la compresión axial o paralela al grano (NTP 251.014). Lima.

Indecopi. (2015). Método para determinar la compresión perpendicular al grano (NTP 251.016). Lima.

Indecopi. (2014). Método para determinar la densidad (NTP 251.011). Lima.

Indecopi. (2014). Método para determinar la flexión estática (NTP 251.017). Lima.

Indecopi. (2015). Preservación de maderas (NTP 251.020:2009). Lima.

Indecopi. (2012). Selección y colección de muestras (NTP 251.008). Lima.

Junta del Acuerdo de Cartagena. (1984). Manual de diseño para maderas del Grupo Andino. Lima: Junta del Acuerdo de Cartagena.

- Leiva Frost, H. E. (2020). Metodología para la construcción de índices compuestos aplicado a la economía. Repositorio UV. Recuperado de <https://repositoriobibliotecas.uv.cl/handle/uvscl/3990>
- Llacza Rojas, E. R. (2021, Diciembre 27). Análisis y diseño de techos con tijerales metálicos tipo Howe mediante el Visual C# y el API del SAP2000. Repositorio UPLA. Recuperado de <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/3573>
- Malik, J. (2019). Enhancing timber quality of Jabon wood (*Anthocephalus cadamba*) for high quality products by treatment through densification and impregnation with Merbau extractives. Minerva Access. Recuperado de <https://minerva-access.unimelb.edu.au/handle/11343/222988>
- Medina, A. A., Manzione, P., & Andía, I. R. (2019). Cortinas de álamo. Desde La Patagonia. *Difundiendo Saberes*, 15(25), 60. Recuperado de <https://revele.uncoma.edu.ar/index.php/desdelapatagonia/article/view/2204>
- Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C., & Castillo, R. (2023, Febrero 16). Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. Recuperado de <https://editorial.inudi.edu.pe/index.php/editorialinudi/catalog/book/90>
- Melero Herranz, D. (2020). Lesiones habituales de las estructuras de madera tradicionales y criterios de intervención. UVaDOC Principal. Recuperado de <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/45032>
- Muñoz Caiza, L. I. (2018). Evaluación de la eficiencia del ácido indolbutírico (AIB) en el enraizamiento de mini estacas de *Eucalyptus urophylla* X *grandis* (*Eucalipto urograndis*), cantón Buena Fe, provincia Los Ríos. DSpace ESPOCH. Recuperado de

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10362>

Norma Técnica Peruana E.010 Madera del Reglamento Nacional de Edificaciones.

(2021). Gob.pe. Recuperado el 30 de agosto de 2022, Recuperado de

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2079964/NORMA%20T%C3%89CNICA%20E.010%20MADERA%20DEL%20REGLAMENTO%20NACIONAL%20DE%20EDIFICACIONES.pdf>

Ordoñez García, P. K., & Lugo Chávez, Y. K. (2016, Mayo 7). Estructuras de

madera aplicadas al sector de la construcción en el Perú. Repositorio de

Tesis PUCP. Recuperado de

<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6834>

Ortiz-Alvarez, M., & Piloto-Rodríguez, R. (2019). Aceites lubricantes usados, una

alternativa energética.

Osis Lipa, D. B., & Muñoz Fernández, A. (2022, Octubre 14). 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-Apurímac. Recuperado de

<https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1147>

Pérez Ávila, J. E. (2018). Estudio de las propiedades de trabajabilidad de la madera

de Timboy (*Enterolobium contortisiliquum*) (Vell.) Morong. proveniente de la

Comunidad de Zapatera Norte, Provincia Gran Chaco del Departamento de

Tarija. Catálogo en línea biblioteca de la Universidad Juan Misael Saracho.

Recuperado de

https://biblioteca.uajms.edu.bo/biblioteca/opac_css/index.php?lvl=author_s ee&id=34972

Pimienta, J., & De La Orden, A. (2017). Metodología de la investigación (3.^a ed.). Pearson Educación.

Polo Avilés, V. H. (2020, Mayo). Análisis comparativo de sistemas estructurales sismorresistentes. UPCommons. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/192439/TFMPoloV%C3%ADctor.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Ramos Galarza, C. A. (2020, Octubre). Los alcances de una investigación. CienciAmérica. Recuperado de <https://cienciamerica.edu.ec/index.php/uti/article/view/336>

Reglamento Nacional de Edificaciones, N. E. 010 M. (2020, Diciembre). Norma E.010 Madera.pdf. Recuperado de <https://drive.google.com/file/d/1g8gduNJSHRkBp0Ls08sC8pk4Sizucav/view>

Reglamento Nacional de Edificaciones, N. E. 020 C. (2020, Diciembre). Norma E.020 Cargas.pdf. Recuperado de <https://drive.google.com/file/d/15atg-9w0OEXjR5C1m6IXUFihwYeUh1aN/view>

Reyes Rojas, F. W. (2021, Mayo 21). Acondicionamiento de un prototipo de vivienda social usando un material compuesto alternativo de madera copaiba y resina epóxica. Recuperado de <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4755176>

Rivadeneira Garzón, N. I. (2022, Julio). Análisis comparativo entre vivienda de interés social y vivienda de madera para familias del Cantón Morona. Repositorio de Investigación Universidad Católica de Cuenca. Recuperado de <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/11601>

- Rodríguez, A., Pérez, J., & Alipio, O. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, (82), 1-26. Recuperado el 30 de agosto de 2022, Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=20652069006>
- Sánchez Carlessi, H., Reyes Romero, C., & Mejía Sáenz, K. (2018, Julio). Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística. Recuperado de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/1480>
- Sánchez, Y., Gallardo, Á., & Delgado, R. (2018, Junio 23). Comparación de la resistencia de comprensión en maderas nativas. *Revista Académicas UTP*. Recuperado de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1820>
- Santiago, P., Guevara, C., & Espinoza, M. (2013). Manual de transformación de la madera. Ministerio de Agricultura del Perú. Recuperado de http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2929/Technical/Technical%20Report%20-%20Manual%20de%20transformacion%20de%20la%20madera.pdf
- Subirats Maté, L., Pérez Trenard, D. O., & Calvo González, M. (2019). Limpieza y análisis introducción a la de los datos. Recuperado de <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/148647/1/IntroduccionALaLimpiezaYAnalisisDeLosDatos.pdf>
- Teacă, C.-A., & Tanasă, F. (2020, Junio 30). Wood surface modification-classic and modern approaches in wood chemical treatment by esterification reactions. *MDPI*. Recuperado de <https://www.mdpi.com/2079-6412/10/7/629>
- Torres Cayman, F. J. (2017, Junio). Análisis económico entre sistemas de manejo orientados a la obtención de postes vs madera de calidad en *Eucalyptus*. RIUNNE. Recuperado de <https://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/1704>

Valdivia Alcca, J. E. (2021). Desarrollo y evaluación del tratamiento térmico para las maderas comerciales peruanas de alta y baja densidad “capirona” y “Pashaco”. UNSA-Institucional. Recuperado de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSA_e655284a7686c9bbb912033cab45e3fc/Description

Valencia Pezo, J. D., & Sánchez Quispe, B. (2017, Noviembre 13). Evaluación comparativa de los efectos que produce el aceite requemado automotriz y cola sintética blanca en las propiedades físico mecánicas de la madera eucalipto globulus con contenido de humedad seco procedente de la zona de Paucartambo-Cusco aplicada por inmersión prolongada para uso estructural. Repositorio Digital Universidad Andina del Cusco. Recuperado de <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/1246>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos se encuentran resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes.