Universidad Nacional Autónoma de Chota

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Unidad de Investigación

RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN N° 001-2024-FCA/UNACH

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, **hace constar** que la tesis de investigación Titulada **"Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Alnus acuminata* Kunth del departamento de Cajamarca, Perú"**; desarrollada por **Carlos Percy Sánchez Herrera** de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, **asesorado por el M.Sc. Duberli Geomar Elera Gonzales y coasesorado por el Dr. Roger Chambi Legoas**; presenta un **ÍNDICE DE SIMILITUD DEL 10%,** sin incluir bibliografía; por lo tanto, cumple con el criterio de evaluación de originalidad establecido en el REGLAMENTO DE GRADOS Y TÍTULOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA aprobado mediante RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N°120-2022-UNACH.

Se expide la presente, a petición de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

Chota, 02 de enero de 2025.

Atentamente

M.Sc. Ruben Iván Marchena Chanduvi
Director de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ciencias Agrarias

RIMCH/DUIFCA

Interesado
AFCA

Archivo
Chota 2025

Carlos Percy SÁNCHEZ HERRERA

IT-CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD-UIFCA

INFORME DE TESIS 2024

PROYECTOS Y TESIS 2024

Universidad Nacional Autonoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3123866682

Fecha de entrega
2 ene 2025, 6:20 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
2 ene 2025, 6:41 p.m. GMT-5

Nombre de archivo
Sanchez_Herrera_CP.pdf_-_T.docx

Tamaño de archivo
2.9 MB

89 Páginas

19,602 Palabras

101,718 Caracteres

10% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía

Fuentes principales

9% Fuentes de Internet
2% Publicaciones
4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.° de alerta de integridad para revisión

Caracteres reemplazados
60 caracteres sospechosos en N.° de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

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

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

Fuentes principales

9% Fuentes de Internet
2% Publicaciones
4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	
hdl.handle.net		2%
2	Internet	
repositorio.unj.edu.pe		1%
3	Internet	
repositorio.unamba.edu.pe		0%
4	Trabajos del estudiante	
Universidad Andina del Cusco		0%
5	Trabajos del estudiante	
Universidad Nacional del Centro del Peru		0%
6	Internet	
allithave.ru		0%
7	Internet	
es.scribd.com		0%
8	Internet	
repositorio.unach.edu.pe		0%
9	Internet	
orcid.org		0%
10	Internet	
www.repositorio.unach.edu.pe		0%
11	Internet	
repositorio.ucv.edu.pe		0%

12	Trabajos del estudiante	
Universidad Cesar Vallejo		0%
13	Internet	
idoc.pub		0%
14	Internet	
www.slideshare.net		0%
15	Trabajos del estudiante	
unia		0%
16	Internet	
1library.co		0%
17	Internet	
repositorio.unu.edu.pe		0%
18	Internet	
acervodigital.ufpr.br		0%
19	Internet	
repositorio.unsm.edu.pe		0%
20	Internet	
repositorio.lamolina.edu.pe		0%
21	Internet	
repositorio.upn.edu.pe		0%
22	Trabajos del estudiante	
Universidad Continental		0%
23	Trabajos del estudiante	
Universidad Militar Nueva Granada		0%
24	Internet	
richardptecnologo.blogspot.com		0%
25	Internet	
mejoresmarcas.pro		0%

26	Internet	
ctfi.org		0%
27	Internet	
repositorio.unajma.edu.pe		0%
28	Internet	
rid.unam.edu.ar		0%
29	Trabajos del estudiante	
Pontificia Universidad Catolica del Peru		0%
30	Internet	
docplayer.es		0%
31	Internet	
repositorio.unesum.edu.ec		0%
32	Internet	
dspace.ucuenca.edu.ec		0%
33	Internet	
repositorio.udec.cl		0%
34	Publicación	
Leidy Indira Hinestroza Còrdoba. "Aplicación de tecnologías sostenibles para el d...		0%
35	Internet	
repositorio.uap.edu.pe		0%
36	Internet	
repositorio.umch.edu.pe		0%
37	Internet	
1library.net		0%
38	Internet	
fdocuments.es		0%
39	Internet	
pdfcookie.com		0%

40	Internet	
core.ac.uk		0%
41	Internet	
dspace.espoch.edu.ec		0%
42	Internet	
fcf.unse.edu.ar		0%
43	Internet	
repositorio.uade.edu.ar		0%
44	Internet	
repositorio.ucp.edu.pe		0%
45	Trabajos del estudiante	
uncedu		0%
46	Trabajos del estudiante	
Universidad Santo Tomas		0%
47	Trabajos del estudiante	
Universidad de Guadalajara		0%
48	Internet	
biblioteca.cucba.udg.mx:8080		0%
49	Internet	
kupdf.net		0%
50	Internet	
docslib.org		0%
51	Internet	
www.pnsd.msc.es		0%
52	Publicación	
Carlos Eduardo Viana Santos, Alex de Oliveira Ribeiro, Luciana Crepaldi Lunkes. "...		0%
53	Internet	
alicia.concytec.gob.pe		0%

54 Internet
repositorio.unamad.edu.pe 0%

55 Internet
repositorio.unap.edu.pe 0%

56 Internet
repositorio.uncp.edu.pe 0%

57 Internet
www.atenaeditora.com.br 0%

58 Internet
www.coursehero.com 0%

59 Publicación
Kenneth A. Lawson, Richard E. Wilcox, John H. Littlefield, Keenan A. Pituch, Carlto... 0%

60 Internet
cybertesis.uni.edu.pe 0%

61 Internet
docplayer.com.br 0%

62 Internet
dspace.unl.edu.ec 0%

63 Internet
guajiros.udea.edu.co 0%

64 Internet
maderasdemadrededios.blogspot.com 0%

65 Internet
repositorio.uea.edu.ec 0%

66 Internet
repositorio.uladech.edu.pe 0%

67 Internet
repositorio.unc.edu.pe 0%

68 Internet
repositorio.utp.edu.co 0%

69 Internet
vdocuments.mx 0%

70 Internet
www.bcie.org 0%

71 Publicación
C. Reyes-Moreno. "Influencia del almacenamiento a temperatura y humedad rela... 0%

72 Publicación
DE LA CRUZ HIDALGO JORGE LUIS. "Informe de Gestión Ambiental Instalación del ... 0%

73 Internet
journaltest.iums.ac.ir 0%

74 Internet
livrosdeamor.com.br 0%

75 Internet
oa.upm.es 0%

76 Internet
oldri.ues.edu.sv 0%

77 Internet
repositorio.untrm.edu.pe 0%

78 Internet
repositorio.upt.edu.pe 0%

79 Internet
repositorio.uss.edu.pe 0%

80 Internet
repositorio.utea.edu.pe 0%

81 Internet
riunet.upv.es 0%

82 Internet

tesis.usat.edu.pe 0%

83 Internet

www.scielo.cl 0%

84 Internet

www.tdx.cat 0%

85 Internet

www.urbapalms.com 0%

86 Publicación

CONSORCIO ORIENTAL CONSULTANTS-CESEL-GEA. "DIA del Proyecto Ampliación y... 0%

87 Publicación

INSETECO SRL. "MEIA para las Actividades Eléctricas de la Variante de la Ruta de l... 0%

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL

Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Alnus acuminata* Kunth del departamento de Cajamarca, Perú

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL

AUTOR

Carlos Percy Sánchez Herrera

ASESOR

MSc. Duberli Geomar Elera Gonzales

M.Sc. Duberlí Geomar Elera Gonzáles
Docente UNACH

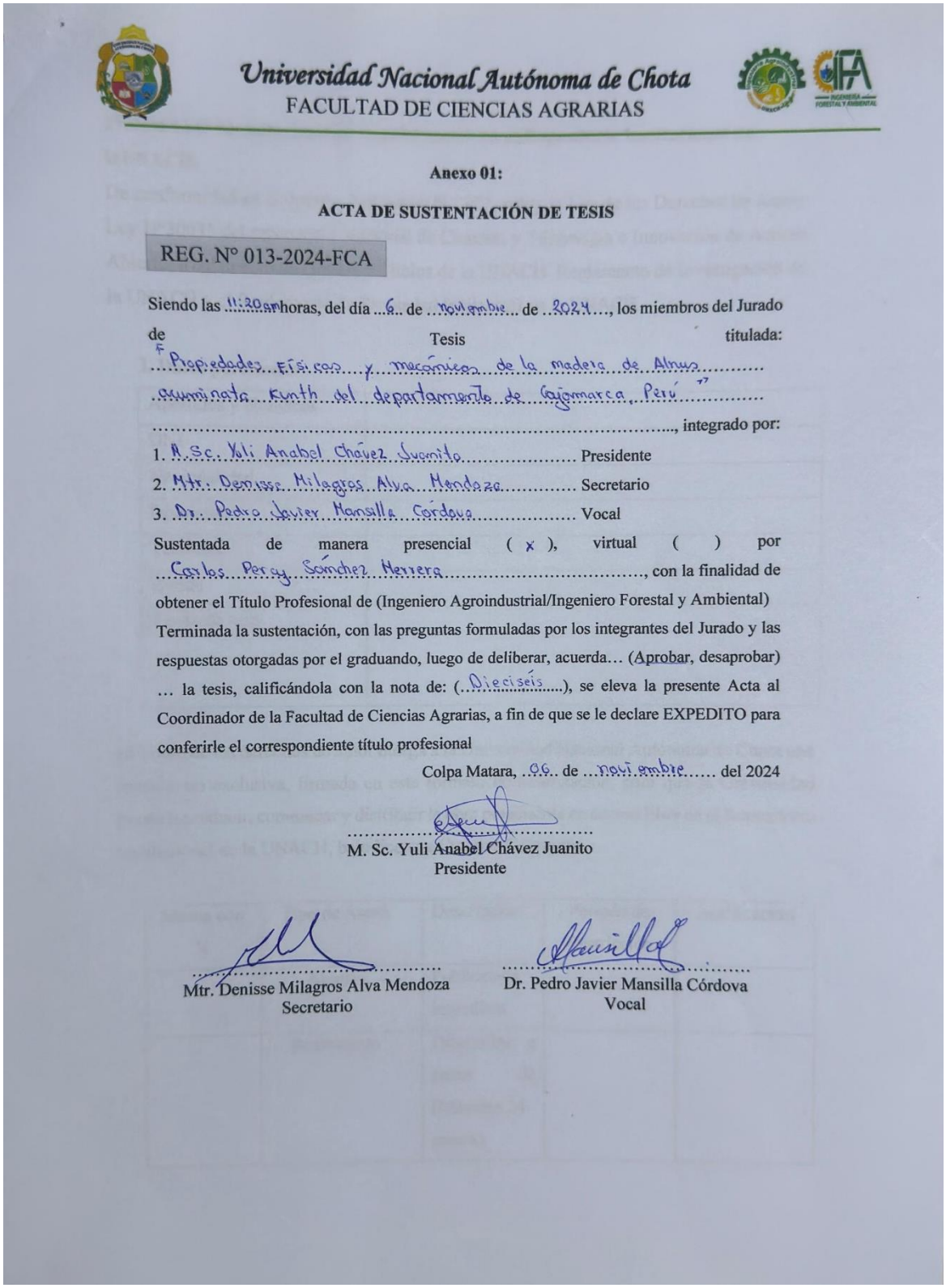
COASESOR

Dr. Roger Chambi Legoas

CHOTA – PERÚ

Enero, 2024

ACTA DE SUSTENTACIÓN



Universidad Nacional Autónoma de Chota
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Anexo 01:

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

REG. N° 013-2024-FCA

Siendo las 11:20 am horas, del día 6 de noviembre de 2024, los miembros del Jurado de Tesis titulada: "Propiedades Físicas y mecánicas de la madera de Alnus acuminata Kunth del departamento de Cajamarca Perú", integrado por:

1. M.Sc. Yuli Anabel Chávez Juanito ..... Presidente
2. Mtr. Denisse Milagros Alva Mendoza ..... Secretario
3. Dr. Pedro Javier Mansilla Córdova ..... Vocal

Sustentada de manera presencial (x), virtual ( ) por Carlos Percy Sánchez Herrera, con la finalidad de obtener el Título Profesional de (Ingeniero Agroindustrial/Ingeniero Forestal y Ambiental) Terminada la sustentación, con las preguntas formuladas por los integrantes del Jurado y las respuestas otorgadas por el graduando, luego de deliberar, acuerda… (Aprobar, desaprobar) … la tesis, calificándola con la nota de: (Dieciséis), se eleva la presente Acta al Coordinador de la Facultad de Ciencias Agrarias, a fin de que se le declare EXPEDITO para conferirle el correspondiente título profesional

Colpa Matara, 06 de noviembre del 2024

M. Sc. Yuli Anabel Chávez Juanito
Presidente

Mtr. Denisse Milagros Alva Mendoza
Secretario

Dr. Pedro Javier Mansilla Córdova
Vocal

DEDICATORIA

Dedico mi investigación a mis padres Nelson y Luzdina; ustedes han sido el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, inculcaron en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía a no temer las adversidades que se presentan en la vida, con su amor, trabajo y sacrificio me han permitido cumplir hoy una meta más.

A mi hermana Alicia del Pilar por ser mi fiel compañera, su cariño y apoyo incondicional me impulsaron a ser mejor, sabes que este logro también es tuyo.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, expreso mi agradecimiento infinito a Dios Todopoderoso, quien me ha dado sabiduría y perseverancia para culminar satisfactoriamente este proyecto de tesis.

A mis queridos padres quiero dedicarles mi más profundo agradecimiento por su constante apoyo emocional, sus palabras de aliento y consejos sabios que han sido mi fortaleza en los momentos de adversidad y mi motivación en los momentos de desafíos.

Agradezco a mi asesor Duberli y co-asesor Roger, quienes con su experiencia, conocimientos y aportes profesionales me orientaron en el desarrollo y culminación exitosa de esta investigación.

También agradezco al grupo de investigación Biometría y Geomática Forestal (BiGFor) de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la UNACH por el continuo soporte y valiosas contribuciones a lo largo del desarrollo de este trabajo.

Finalmente, agradezco al Dr Manuel Chavesta, Dr. Rolando y al Tec. Vicente del laboratorio de Anatomía e Identificación de maderas de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina, por el soporte técnico y tecnológico para la realización de los ensayos realizados en esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN xi
DEDICATORIA xiii
AGRADECIMIENTOS xiv
ÍNDICE DE CONTENIDOS xv
ÍNDICE DE TABLAS xvii
ÍNDICE DE FIGURAS xix
RESUMEN xxi
ABSTRACT xxiii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN 1
1.1 Planteamiento del problema 1
1.2 Formulación del problema 2
1.3 Justificación 2
1.4 Objetivos 3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 4
2.1 Antecedentes 4
2.2 Bases teórico – científicas 6
2.2.1 *Alnus acuminata* Kunth 6
2.2.2 Descripción botánica 7
2.2.3 Requerimientos de crecimiento 8
2.2.4 Usos del aliso 9
2.2.5 Madera de aliso 9
2.2.6 Factores que afectan la calidad de madera 11
2.2.7 Propiedades físicas de la madera 11
2.2.8 Propiedades mecánicas 12
2.3 Marco conceptual 14
2.4 Hipótesis 15
2.5 Operacionalización de variables 16
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO 17
3.1 Tipo y nivel de investigación 17
3.2 Diseño de investigación 17
3.3 Métodos de investigación 17
3.3.1 Área de estudio 17
3.3.2 Identificación de las zonas de ocurrencia natural de aliso 20

3.3.3 Inventario forestal 20
3.3.4 Selección de árboles muestra 20
3.3.5 Extracción de las muestras de madera 20
3.3.6 Lectura y registro de datos de ensayos 23
3.4 Población, muestra y muestreo 23
3.4.1. Población 23
3.4.2. Muestra 24
3.4.3. Muestreo 24
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 24
3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos 25
3.7 Aspectos éticos 31
CAPÍTULO IV. RESULTADOS 32
4.1. Descripción de resultados 34
4.1.1. Propiedades físicas de la madera de *Alnus acuminata* 35
4.1.2. Propiedades mecánicas de la madera de *Alnus acuminata* 44
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 65
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 68
6.1 Conclusiones 68
6.2 Recomendaciones 69
CAPÍTULO VII. REFERENCIAS 70
CAPÍTULO VII. ANEXOS 80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Clasificación taxonómica de Alnus acuminata Kunth* *6*
Tabla 2 *Características de la madera de Aliso* *10*
Tabla 3 *Operacionalización de variables* *16*
Tabla 4 *Zonas de vida en Cajamarca* *18*
Tabla 5 *Detalle de muestras extraídas* *22*
Tabla 6 *Muestras por cada ensayo realizado* *23*
Tabla 7 *Registro de datos de ensayos* *33*
Tabla 8 *Estadísticos descriptivos de las propiedades físico-mecánicas de la madera de Alnus acuminata Kunth del departamento de Cajamarca* *34*
Tabla 9 *ANOVA para densidad básica según la procedencia* *36*
Tabla 10 *Grupos de densidad media según la procedencia* *36*
Tabla 11 *ANOVA para contenido de humedad según la procedencia* *38*
Tabla 12 *ANOVA para contracción tangencial según la procedencia* *39*
Tabla 13 *Diferencias de medias según el lugar de procedencia.* *39*
Tabla 14 *ANOVA para contracción volumétrica según la procedencia* *40*
Tabla 15 *Diferencias de medias según el lugar de procedencia.* *41*
Tabla 16 *ANOVA para contracción longitudinal según la procedencia* *42*
Tabla 17 *Diferencias de medias según el lugar de procedencia* *42*
Tabla 18 *ANOVA para compresión paralela ELP según la procedencia* *44*
Tabla 19 *Diferencias de medias según el lugar de procedencia.* *44*
Tabla 20 *ANOVA para compresión paralela MOE según la procedencia* *46*
Tabla 21 *Diferencias de medias según el lugar de procedencia.* *46*
Tabla 22 *ANOVA para compresión paralela RM según la procedencia* *48*
Tabla 23 *Diferencias de medias según el lugar de procedencia.* *48*
Tabla 24 *ANOVA para compresión perpendicular según la procedencia* *50*
Tabla 25 *Diferencias de medias según el lugar de procedencia.* *50*
Tabla 26 *ANOVA para resistencia al cizallamiento según la procedencia* *52*
Tabla 27 *ANOVA para dureza promedio extremo según la procedencia* *54*
Tabla 28 *Diferencias de medias según el lugar de procedencia.* *54*
Tabla 29 *ANOVA para dureza promedio lados según la procedencia* *56*
Tabla 30 *ANOVA para flexión estática MOR según la procedencia* *58*
Tabla 31 *Diferencias de medias según el lugar de procedencia.* *58*

Tabla 32 *ANOVA para flexión estática ELP según la procedencia 60*
Tabla 33 *ANOVA para flexión estática ELP según la procedencia 61*
Tabla 34 *ANOVA para tensión perpendicular según la procedencia..... 63*

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Localización del área de estudio 19
Figura 2 Normas requeridas para el estudio 21
Figura 3 Probeta de compresión perpendicular al grano 26
Figura 4 Probeta de compresión paralela al grano 27
Figura 5 Probeta de tensión perpendicular al grano 28
Figura 6 Probeta de Cizallamiento 29
Figura 7 Probeta de flexión estática 29
Figura 8 Probeta de Dureza 30
Figura 9 Gráfica de boxplot de la densidad básica (g/cm3) de la madera de *Alnus acuminata* Kunth 36
Figura 10 Gráfica de boxplot del contenido de humedad de la madera de *Alnus acuminata* Kunth 38
Figura 11 Gráfica de boxplot de la contracción tangencial de la madera de *Alnus acuminata* Kunth 40
Figura 12 Gráfica de boxplot de la contracción volumétrica de la madera de *Alnus acuminata* Kunth 41
Figura 13 Gráfica de boxplot de la contracción longitudinal de la madera de *Alnus acuminata* Kunth 43
Figura 14 *Gráfica de boxplot de la compresión paralela ELP de la madera de Alnus acuminata Kunth* 45
Figura 15 Gráfica de boxplot de la compresión paralela MOE de la madera de *Alnus acuminata* Kunth 47
Figura 16 Gráfica de boxplot de la compresión paralela RM de la madera de *Alnus acuminata* Kunth 49
Figura 17 Gráfica de boxplot de la compresión perpendicular de la madera de *Alnus acuminata* Kunth 51
Figura 18 Gráfica de medias del cizallamiento de la madera de *Alnus acuminata* Kunth. 53
Figura 19 Gráfica de boxplot de la dureza promedio extremo de la madera de *Alnus acuminata* Kunth 55
Figura 20 Gráfica de medias de la dureza promedio lados de la madera de *Alnus acuminata* Kunth 57

Figura 21 Gráfica de boxplot de la flexión estática MOR de la madera de *Alnus acuminata* Kunth 59
Figura 22 Gráfica de medias de la flexión estática ELP de la madera de *Alnus acuminata* Kunth 60
Figura 23 Gráfica de medias de la flexión estática MOE de la madera de *Alnus acuminata* Kunth 62
Figura 24 Gráfica de medias de la tensión perpendicular de la madera de *Alnus acuminata* Kunth 63

RESUMEN

La industria forestal maderable requiere datos actualizados acerca de las características denominadas anatómicas y además físicas del material para evaluar su valor según el uso previsto. La presente investigación tuvo como objetivo ejecutar la determinación de las propiedades tanto físicas, como mecánicas de la madera de *Alnus acuminata* Kunth de cinco procedencias del departamento de Cajamarca, norte de Perú; para ello, se realizó un muestreo destructivo para la colecta de muestras de madera en rodales naturales de aliso ubicados en las provincias llamadas Chota (Querocoto y Rojaspampa), Cutervo (La Conga), Hualgayoc (El Porvenir) y Santa Cruz (Yauyucan) según los lineamientos de la NTP 251.002, además, se realizaron ensayos de ámbito físico y también mecánicos, en laboratorio para la determinación de las propiedades que posee la madera. Los resultados del análisis de varianza con un nivel de probabilidad de un valor del 95% indican que existe diferencia de forma significativa entre las diferentes procedencias para densidad básica, contracción, compresión paralela y perpendicular, dureza (promedios extremos), flexión estática MOR; en tanto que no se identificó diferencia significativa para contenido de humedad, cizallamiento, dureza promedio lados, tensión perpendicular, flexión estática ELP y MOE. Entre las propiedades físicas analizadas la humedad promedio fue de 127%, 0,34 g/cm^3 respecto a la densidad básica y contracción de un valor de 5,15%, 7,35%, 11,83%, 0,13% para radial, tangencial, volumétrica y longitudinal respectivamente. Por su parte, de las propiedades mecánicas, la compresión perpendicular promedio fue de 18,32 kg/cm^2, compresión paralela con promedios de 228,72 kg/cm^2, 108,31 kg/cm^2 y 47,53 kg/cm^2 para resistencia máxima, esfuerzo al límite proporcional y módulo de elasticidad, respectivamente. Además, la tensión perpendicular fue 16,37 kg/cm^2, 54,40 kg/cm^2 el cizallamiento y la flexión estática por su parte se obtuvo 160,1 kg/cm^2 esfuerzo al límite proporcional, 310,4 kg/cm^2 para módulo de ruptura y 48317,3 kg/cm^2 para módulo de elasticidad, asimismo, la dureza fue 192.27 kg y 201,16 kg para promedio extremos y promedio lados cada uno. La diferencia significativa encontrada en las diez propiedades previamente descritas, sugieren influencia de características genéticas de la especie, ambientales del lugar de procedencia o incluso del manejo silvicultural, destacando la necesidad de investigaciones orientadas a identificar los factores locales que determinen esas diferencias. Los resultados indican que la madera de *Alnus acuminata* presenta mayor rigidez que *Guazuma crinita*, pero menor resistencia a la compresión perpendicular que *Pinus*

patula. La densidad básica promedio obtenida permite clasificar a *Alnus acuminata* en el grupo de maderas blandas comparable a *Simarouba amara* Aubl. Y *Bursera simaruba* (L.) Sarg. Los valores de resistencia a la flexión estática, así como a la compresión, además de la tensión y al cizallamiento hacen de esta madera útil para la industria vinculada a la construcción. Nuestros resultados sugieren que la madera de *Alnus acuminata* tiene potencial en la industria forestal maderable y la convierten en una opción adecuada para una variedad de aplicaciones.

Palabras clave: *Alnus acuminata,* madera, propiedades físicas, propiedades mecánicas, industria forestal, procedencia de especies.

ABSTRACT

The timber industry requires updated data on the anatomical and physical characteristics of the material in order to evaluate its value according to its intended use. The objective of this research was to determine the physical and mechanical properties of Alnus acuminata Kunth wood from five origins in the department of Cajamarca, northern Peru; for this purpose, a destructive sampling was carried out to collect wood samples in natural alder stands located in the provinces of Chota (Querocoto and Rojaspampa), Cutervo (La Conga), Hualgayoc (El Porvenir) and Santa Cruz (Yauyucan) according to the guidelines of NTP 251. 002. In addition, physical and mechanical tests were carried out in the laboratory to determine the properties of the wood. The results of the analysis of variance with a probability level of a value of 95% indicate that there is a significant difference between the different origins for basic density, shrinkage, parallel and perpendicular compression, hardness (extreme averages), static bending MOR; while no significant difference was identified for moisture content, shear, average side hardness, perpendicular tension, static bending ELP and MOE. Among the physical properties analyzed, the average moisture content was 127%, 0.34 g/cm3 for basic density and shrinkage was 5.15%, 7.35%, 11.83%, 0.13% for radial, tangential, volumetric and longitudinal, respectively. As for mechanical properties, perpendicular compression averaged 18.32 kg/cm2, parallel compression averaged 228.72 kg/cm2, 108.31 kg/cm2 and 47.53 kg/cm2 for maximum strength, proportional limit stress and modulus of elasticity, respectively. In addition, the perpendicular tension was 16.37 kg/cm2, 54.40 kg/cm2 for shear and static bending, 160.1 kg/cm2 for proportional limit stress, 310.4 kg/cm2 for modulus of rupture and 48317.3 kg/cm2 for modulus of elasticity, and the hardness was 192.27 kg and 201.16 kg for average ends and average sides each. The significant differences found in the ten properties previously described suggest the influence of genetic characteristics of the species, environmental characteristics of the place of origin or even silvicultural management, highlighting the need for research aimed at identifying local factors that determine these differences. The results indicate that the wood of Alnus acuminata has greater stiffness than Guazuma crinita, but less resistance to perpendicular compression than Pinus patula. The average basic density obtained allows classifying Alnus acuminata in the group of softwoods comparable to Simarouba amara Aubl. and Bursera simaruba (L.) Sarg. The values of resistance to static bending, as well as to compression, in addition to tension and shear, make

this wood useful for the construction industry. Our results suggest that Alnus acuminata wood has potential in the timber forest industry and make it a suitable choice for a variety of applications.

Key words: Alnus acuminata, wood, physical properties, mechanical properties, forest industry, species provenance.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

El consumo mundial de productos de madera industrial durante el 2020 aumentó a 2 300 millones de metros cúbicos, esto representa un aumento del 24% con respecto al nivel de 2015 y equivale a un incremento del 4,4% anual en base a lo señalado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022). Además, el Banco Mundial pronosticó que la demanda mundial de madera se cuadruplicará para 2050 (Adhikari y Ozarska, 2018). Como resultado, existe una creciente preocupación por satisfacer la necesidad de la demanda de productos madereros sin deteriorar los recursos forestales.

El sector forestal maderable necesita información acerca de las peculiaridades anatómicas y físicas del material para su valoración de acuerdo con el propósito de uso (Gejdoš et al., 2020). En este sentido, la ausencia de información de los parámetros físicos y mecánicos de especies que presentan potencialidad para empleos mecánicos implica que la madera no es un material estandarizado para ser aprovechada en la elaboración de artículos modernos y otros usos de la madera (Sotomayor, 2018). El correcto uso de la madera depende de sus propiedades sensoriales, físicas y anatómicas; dichas características varían de acuerdo al clima y geografía donde se desarrolla, afectando directamente su uso y valor de cada especie (Cartuche y Pucha, 2022).

En relación a ello, *Alnus acuminata* Kunth se utiliza ampliamente en sistemas agroforestales y se cree que proporciona múltiples servicios ecosistémicos (SE) (Cyamweshi et al., 2021). Sin embargo, surge la necesidad de conocer parte de sus beneficios de los SE en la industria forestal maderable que eviten una utilización insuficiente y una infrautilización de la madera. Por lo tanto, no se evidencian estudios que hayan abordado el asunto de identificación del verdadero uso potencial de acuerdo a sus características propias (Armijos et al., 2017).

En Perú, *Alnus acuminata* se concibe como una especie nativa y representativa, cuya producción predomina en los andes del norte, sin embargo, es subutilizada por el desconocimiento de sus propiedades físico-mecánicas y características anatómicas (Condor

y Pardo, 2021). Debido al desconocimiento de las características físicas y mecánicas y su potencial tecnológico, el manejo y aprovechamiento maderable en el departamento de Cajamarca es todavía incipiente. Por lo tanto, la presente investigación se enfocó en evaluar las propiedades tanto físicas como mecánicas orientadas a la madera de *Alnus acuminata* Kunth de cinco procedencias del departamento de Cajamarca.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Existen diferencias significativas de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Alnus acuminata* Kunth de cinco procedencias del departamento de Cajamarca, Perú?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Existen diferencias significativas de las propiedades físicas (densidad, contenido de humedad, contracción) de la madera de *Alnus acuminata* Kunth con dimensiones aserrables de cinco procedencias del departamento de Cajamarca, Perú?
- ¿Existen diferencias significativas de las propiedades mecánicas (dureza, compresión perpendicular, compresión paralela, flexión estática, cizallamiento, tensión perpendicular) de la madera de *Alnus acuminata* Kunth en estado seco de cinco procedencias del departamento de Cajamarca, Perú?

1.3 Justificación

El aliso (*Alnus acuminata*) no solo es ventajoso para la producción de forraje, sino también para leña y madera, lo que permite obtener una fuente adicional de ingresos para el pequeño agricultor. Por lo tanto, la concientización y la inclusión en los planes de manejo podrían ser de relativa importancia para el desarrollo del sector forestal (Ruiz et al., 2019), ayudando al mejoramiento socioeconómico de la zona rural. Por otro lado, desde la perspectiva ambiental se ha verificado que el aliso captura importantes concentraciones de carbono y óxido nitroso que permiten su aprobación como especie forestal importante para la remediación ambiental (Silva et al., 2018).

El estudio se sustenta en la necesidad de conocerla variabilidad de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Alnus acuminata* en función del lugar de procedencia,

dado que tiene un amplio rango de distribución en la región andina del departamento de Cajamarca y otras regiones del Perú. Además, se buscó conocer el potencial tecnológico de madera que permita incentivar su uso a nivel local y nacional, mejorar su manejo y optimizar su aprovechamiento, ya que el mercado demanda maderas de un amplio rango de características para diversos usos (Armijos et al., 2017). Los resultados de este estudio podrían incentivar el manejo de esta especie, incrementar su producción y motivar la generación de valor agregado.

De igual modo, el estudio es conveniente porque tiene relevancia social, económica y ambiental, ya que el aliso es una especie de madera suave y crecimiento rápido (Aguilar et al., 2020), que se ha adaptado a la geografía y clima de los andes, además se ha evidenciado de forma perenne en laderas y quebradas con ambientes húmedos en diversas provincias y distritos de la zona andina de la región Cajamarca (Dávila, 2019). Debido a su uso potencial en la industria forestal, tanto las propiedades mecánicas y además las físicas referentes a la madera de aliso aumentan su valor monetario. Además, se obtiene una mayor calidad de vida a medida que esta madera aumenta el uso tecnológico.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Alnus acuminata* Kunth de cinco procedencias del departamento de Cajamarca, Perú.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físicas que posee la madera de *Alnus acuminata* Kunth con dimensiones aserrables de cinco procedencias del departamento de Cajamarca, Perú.
- Determinar las propiedades mecánicas de la madera de *Alnus acuminata* Kunth en estado seco de cinco procedencias del departamento de Cajamarca, Perú.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Ruiz et al. (2020) analizaron las propiedades en su entorno físicas y también químicas de la madera de *Quercus macdougallii* Martínez, en México. Las características físicas en base a la norma ASTM D 143-94 para ensayos de albura y duramen, los cuales se clasificaron en relación con la media. En los resultados se evidenció que la madera de *Q. macdougallii* tenía fibra articulada, superficie gruesa y hebra recta. Además, se encontró que la densidad fue de 0,55 g/cm^3 en albura, determinando una clasificación moderadamente pesada, mientras que en relación al duramen alcanzó una densidad de 0,61 g/cm^3, es por ello que la madera se encuentra clasificada como pesada.

Hamdan et al. (2020) evaluaron las propiedades mecánicas y físicas de cuatro especies pioneras en Malasia, sesendok (*Endospermum malaccense*), mahang (*Macaranga gigantea*), batai (*Paraserianthes moluccana*) y ludai (*Sapium baccatum*). Los resultados demostraron que ludai tiene una relación runkel significativamente más alta (0,57), mientras que el índice de esbeltez 50,2 y 5 vasos/mm^2 de mahang son significativamente más altos, los resultados indican que las cuatro especies podrían ser adecuados para pulpa y papel, madera contrachapada, construcción liviana, muebles, acabado de interiores y servicios generales.

Gejdoš et al. (2020) evaluaron 969 troncos para identificar la frecuencia y ocurrencia de características limitantes como nudos, barrido y grietas en hayas y robles no coníferos de la Empresa Forestal Universitaria en Eslovaquia; encontrando que un cuidado menos intensivo favorece la incidencia de barrido de encinas, asimismo la ocurrencia de la enfermedad del roble y la tala incidental aumentaron la formación de nudos en la madera de roble que también tuvo un cuidado menos intensivo. Por otro lado, la tala incidental, así como la regeneración por tala, aumentaron el riesgo de que se produjeron grietas en robles y hayas. Sin embargo, las condiciones del suelo, subsuelo y pendiente también juegan un cierto papel y pueden afectar el aspecto tecnológico de la cosecha.

Ticahuanca et al. (2020) utilizaron métodos no destructivos para establecer las particularidades macroscópicas, microscópicas, consistencia de la madera y extensión de humedad de la especie de *Cedrela odorata* L., en Pampa Alegre en el departamento de Puno, obteniendo como resultados que se produce la aparición de contrastes en la distancia

digresiva de los poros, que era inferior a lo normal (133,20 µm), en comparación con los datos lógicos existentes en cedro, por lo que se llegó a concluir que la especie es clasificada como madera de densidad básica baja.

Díaz et al. (2019) evaluaron las características anatómicas de acuerdo con la lista estándar de IAWA (1989) y determinaron las propiedades físicas en base a las normativas especializadas peruanas de dos especies maderables en Puno; encontrando que *Miconia amazónica* presenta una porosidad con dimensiones medianas y radios heterogéneos, mientras que *Erithrina ulei* tuvo una fibra recta, superficie media y una albura indefensa al ataque de hongos. El resultado de los cambios dimensionales incluyó una disminución del 106,04 %, 9,46 %, 8,45 % y 12,73 % en volumen, masa y espesor, respectivamente. Se concluye que ambas especies se clasifican como maderas muy estables en un nivel grado I.

Utilizando las mismas normas descritas, Chumbimune (2018) caracterizó anatómicamente y evaluó las propiedades de manera físicas de *Retrophyllum rospigliosii* en Pasco. Los amplios sistemas de vida de las especies influyen en las propiedades físicas de una especie dada. Encontrar esa relación entre las propiedades físicas y las características de manera anatómicas, así como las propiedades de entorno físicas con coeficientes de relación bajos, sugiere que múltiples factores más allá de los sistemas de vida influyen en las propiedades físicas, lo que puede esclarecer en base a la cercanía de la madera juvenil y la posición que adquiere la probeta, entre otras posibles causas.

En la región Cajamarca, Condor y Pardo (2021) determinaron las propiedades químicas y físico-mecánicas así como las características anatómicas de dos especies forestales provenientes de Granja Porcón. Utilizaron los métodos estándares como IAWA-2004. ASTM, las Normas Técnicas Peruanas y la Norma COPANT-1974. Los resultados incluyeron un contenido de humedad de 131,85 % para *P. radiata* y un contenido de humedad de 136,80 % para *P. patula*. También contenían una densidad seca de 0,86 g/cm3 para ambas plantas y una tasa de contracción tangencial de 6,91% y 7,67%. La contracción radial fue de 4,98% y 4,87%, así como la contracción volumétrica de 13,75% y 14,75%. Las propiedades mecánicas de *P. radiata* fueron flexión estática 380,39 kg/cm^2, así como compresión paralela al grano 148,90 kg/cm^2, compresión perpendicular a las fibras 56,33 kg/cm^2, 29,39 kg/cm^2 referente a la tensión perpendicular a las fibras en el radial y además tangencial 49,75 kg/cm^2; cortante de manera paralela al grano 100,03 kg/cm^2 y compresión

paralela al grano 137,86 kg/cm^2 para *P. patula*. Se concluye que el pino presenta mejores propiedades para usarse en la fabricación de diversos productos.

En el caso de Aliso, los estudios son antiguos evidenciándose como Huarcaya (2016) determinó la anatomía de los vasos que posee *Alnus acuminata* Kunth en altitudes distintas, en la región llamada Junín con el fin de estimar los Índices respecto a la Vulnerabilidad (IV) y también al Mesomorfismo (IM), con una diferencia altitudinal de un valor de 216 m entre los bosques denominados Acopalca (3719 m.s.n.m.) y además Quilcas (3502 m.s.n.m.), empleando la norma IAWA 1989, y la metodología de Scholz, logrando establecer que la existencia de diferencias en altitudes con una porosidad de manera semicircular, difusa y además distribuidos de forma irregularmente, existiendo también poros solitarios y además múltiples radiales los cuales están agrupados comúnmente de 4 cavidades a más.

López (2006) estudió las propiedades tanto físico-mecánicas maderables del *Alnus acuminata* de Morropón, departamento de Piura, resultando que el aliso presenta una clasificación llamada de baja de densidad y también cambios de forma dimensionales totales como para su resistencia de ámbito mecánica. Asimismo, los valores respecto a las propiedades de forma mecánicas del módulo de elasticidad para la flexión estática, de igual forma la dureza y también la extracción de clavos se encuentran diferencias significativas entre los niveles basal y también apical del árbol. Se concluye que el aliso puede utilizarse en tejas las cuales se encuentren debidamente preservadas, igualmente en carpintería de obra no estructural, también en mueblería y además en cajonería liviana.

2.2 Bases teórico – científicas

2.2.1 *Alnus acuminata* Kunth

Es una especie forestal prominente en países americanos como México, Argentina, Colombia, Perú, Chile, Bolivia y Ecuador, que se puede encontrar en áreas humedad y de pendiente de la región andina, hasta 3 800 m sobre el nivel del mar, pero también dentro de las zonas secas y excepcionalmente pegajosas de los bosques premontanos y montanos (Agualzaca, 2021).

Tabla 1

Clasificación taxonómica de Alnus acuminata Kunth

Reino	Plantae
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fagales
Familia	Betulaceae

Género	Alnus
Especie	*Acuminata*
Nombre científico	*Alnus acuminata* Kunth

Nota. Adaptado de Morales (2019)

En el Perú se ha encontrado presencia de *Alnus acuminata* Kunth en la Región Amazonas, sin embargo, en esta zona se considera una de las especies más afectadas por incendios forestales en un 33.3% (Zapata y Miguel, 2019). Además, en Áncash se desarrolla en bosques, quebradas, ríos o riachuelos y pastizales (Ramírez et al., 2020).

2.2.2 Descripción botánica

Altura: Naturalmente se observan árboles de 15 a 30 m de altura, ello posee un DAP de 40 a 70 cm (Morales, 2019).

Copa: Es angosta, irregular y abierta de acuerdo a la altitud en que se encuentre (Agualzaca, 2021). Posee un dosel reducido y piramidal (Morales, 2019).

Tronco: El tronco es un poco elíptico, liso con deformaciones, ramificación alterna más o menos globosa (Morales, 2019).

Corteza: Es lisa con fisuras horizontales que se oxida instantáneamente con el aire (Morales, 2019). El espesor que posee la corteza oscila entre los valores de 0,8 a 1 cm (Agualzaca, 2021).

Hojas: Las hojas se consideran simples, con una disposición de forma alterna, de ápice acuminada, de forma denominada elípticas o también ovoides, de igual forma tiene borde dentada, además el tamaño de la hoja varía entre 3 a 6 cm de ancho y un valor de 8 a 15 cm de largo (Agualzaca, 2021). La coloración que poseen las hojas es verde oscura y también brillante en el haz (Aucanshala, 2021).

Flor: Tienen flores monóicas con flores femeninas y masculinas que están en ambientes separados, pero ambos en la misma estructura con forma de cono (Poveda, 2019).

Fruto: Los frutos son pequeños y con forma de cono, con escamas y casi leñosos (Poveda, 2019). Los frutos se reúnen en infrutescencias que presentan forma de estróbilos, los cuales poseen de 0,2 cm a 0,3 cm considerando su longitud (Aucanshala, 2021).

Semillas: Se forman en los frutos leñosos o estróbilos que contienen aproximadamente 100 semillas cada uno (Morales, 2019).

Raíz: Muchas raíces son leñosas y a veces, más grandes que la altura del árbol. tienen nudos similares a las leguminosas a una profundidad de 5 cm del suelo aproximadamente (Morales, 2019). En suelos llamados arenosos tienden a desarrollar raíces llamadas pivotantes y además son poco profundas (Agualzaca, 2021).

2.2.3 Requerimientos de crecimiento

Clima

La distribución natural del *Alnus acuminata* indica que la especie está adaptada a un amplio rango de temperaturas. Se encuentra en montañas en pendientes húmedas; en áreas de nubosidad, con neblina frecuente y en pendientes secas, riberas de los ríos. Soporta temperaturas bajo 0° y se desarrolla mayormente entre 4 a 27° C. (Kunth et al., 2019). Asimismo, según Tito (2019), la especie es relativamente tolerante a las heladas de finales de otoño y principios de primavera, pero las heladas blancas en primavera afectan negativamente los incrementos de crecimiento radial.

Suelo

El óptimo desarrollo de aliso es observado en suelos con un contenido elevado de humedad y con un pH en el rango de 4,5 a 6,0 y suelos livianos, limo arenosos, limosos, franco-arenosos o francos de formación volcánico o aluvial, profundos, con elevados nutriente, materia orgánica y adecuado drenaje (Agualzaca, 2021).

Se adapta en suelos pobres, y en cascajosos, arenosos, arcillosos hasta suelos superficiales, pero con una buena humedad, sin embargo, no soporta suelos pantanosos, pesados y con drenajes deficientes ni que se inunden de manera parcial (Morales, 2019).

Agua

La aparición del *Alnus acuminata* está íntimamente ligada a la disponibilidad y abundancia de agua. Por lo que el desconocimiento de los requerimientos hídricos puede originar problemas tales como el uso del agua de riego y el mal manejo lo cual desencadena un bajo nivel de emergencia de plántulas y germinación de semillas (Buestan et al., 2022).

Además, el aliso es una especie típica que demanda agua porque sus hojas no tienen ningún mecanismo para controlar la transpiración, ante ello, el sistema radicular se ha adaptado a suelos muy húmedos y anaeróbicos, donde las raíces hundidas fuertes de crecimiento vertical (Świątek et al., 2019). Por lo tanto, se sitúa frecuentemente de manera cercana a quebradas y arroyos con adecuada luz y pegajosidad con la precipitación indispensable entre 1000 y 3000 mm (Agualzaca, 2021).

Nutrientes

En base a sus necesidades de nutrientes, la falta de fósforo (P) y nitrógeno (N) disminuye el desarrollo, mientras que el potasio limita el desarrollo en estatura y demanda micronutrientes como Ni, Mo, B, Fe, Cu y Co (Aucanshala, 2021). El árbol es capaz de fijar nitrógeno atmosférico en nódulos radiculares simbióticos con bacterias del género *Frankia* (Parra et al., 2017). En este sentido, se ha estimado que el aumento en la producción de madera debido a *Frankia* es del 25 al 33% (Uri et al., 2017).

2.2.4 Usos del aliso

Se usa en prácticas agroforestales, debido a su capacidad de incorporar nitrógeno al suelo, asimismo aumenta las proteínas de los pastos; y se le encuentra como: postes vivos, linderos, fajas, cortinas rompevientos, y otros (Buestan et al., 2022). Además presenta una importancia de utilidad de las hojas y tallos en la comunidad para construcción de cercos, medicinal, utensilios y herramientas, usos culturales como tintes (Ramírez et al., 2020).

Esta especie presenta nudos capaces de depositar micorrizas que permiten el cambio de suelo, su madera es excepcionalmente buena y por ello es considerada una especie de valor económico que contribuye al progreso de los lugares en los que se desarrolla y marca la diferencia en la recuperación de suelos (Poveda, 2019). Además, el árbol se encarga de captar grandes sumas de dióxido de carbono y también óxido nitroso, esto consiente su aprobación como variedad forestal apta para ejercicios de reforestación (Aulestia et al., 2018).

2.2.5 Madera de aliso

La madera se concibe como un insumo de origen vegetal que se sitúa en el interior del tronco de los árboles y como funciones tiene el fijar las sustancias de reserva, dar soporte

a las ramas que constituyen la copa y el transporte de elementos nutritivos y agua del suelo a las hojas.

Vásquez (2018) indica que la madera como elemento constructivo es estéticamente agradable, proporciona aislamiento térmico y resistencia mecánica. Sin embargo, en comparación con otros materiales utilizados para pavimentación, la madera sufre daños por objetos, desgaste por elementos abrasivos y tránsito de personas, entre otros (Tenorio et al., 2021).

Tabla 2

Características de la madera de Aliso

Característica	Descripción
Color	Color marrón claro, que oscurece hasta tonos rojizos tras ser cortada.
Veteado	Arcos superpuestos y bandas longitudinales muy angostas y oscuras.
Poros	Visibles a simple vista y solitarios.
Fibra	Recta
Grano	Fino
Dureza	Blanda
Textura	Media a fina
Trabajabilidad	Fácil

Nota. Adaptado de Sánchez (2022)

En este sentido, según Daniel (2016), las características que son macroscópicas las cuales pertenecen a la madera de aliso se pueden observar con el uso de lupas 10X o a simple vista, tal como se detallan a continuación:

A. Veteado

El plano formado por la división celular está marcado por anillos anuales. Variables como lesiones por causas fabricadas o naturales hacen que aparezca el plano, los cuales varían de acuerdo al plano de corte de la tronco, los anillos se muestran dentro del marco de círculos concéntricos (Rojas et al., 2017).

B. Color

Se caracteriza por la luz celular o por sustancias que siguen al divisor celular como colorantes, taninos, alquitranes, elásticos; la madera es un tejido fibroso, se producen impactos de reflexión y refracción (Condor y Pardo, 2021).

C. *Textura*

Es una característica de la superficie de la madera y está relacionada con el transporte y comportamiento de los componentes anatómicos relacionados con los poros, parénquima y hebras, que muestra la calidad de la madera en su envoltura (Vásquez, 2018).

D. *Grano*

Los componentes longitudinales de la madera se desplazan a través de la veta, que es la forma en que la veta afecta los anchos de las diferentes piezas de la carrocería. Cuando los componentes de madera son más grandes de lo normal, se considera que tiene grano grueso (Palla et al., 2021).

2.2.6 Factores que afectan la calidad de madera

Estos factores se detallan por Yalcin (2020):

A. *Factores bióticos*

Estos incluyen insectos que dañan la corteza y la madera; bacterias, hongos que manchan y pudren. Debido a estos factores, la calidad de la madera puede verse reducida por los efectos de las plagas de insectos, la descomposición y la decoloración.

B. *Factores abióticos*

Durante el almacenamiento, las condiciones climáticas y la ubicación de los depósitos son las características esenciales que establecen la eficacia de los factores abióticos. Los factores abióticos, como los cambios de temperatura, la luz solar directa, la dirección y la intensidad del viento predominante, reducen la calidad de las rozas y en consecuencia, disminuyen su valor económico.

2.2.7 Propiedades físicas de la madera

Están directamente relacionadas con los tipos de polímeros presentes en las paredes celulares de la madera. Por lo tanto, la medición de tales propiedades proporciona información muy útil con respecto a las diferencias de rendimiento dentro y entre diferentes especies, y como una indicación en relación a las potencias (restricción por unidad de rango) y también respecto a la deformación, provenientes del esfuerzo conectado (Díaz et al., 2019).

Las plantas leñosas necesitan madera para sostener sus estructuras y transportar agua. También crecen a través de varias etapas de desarrollo, que están estrechamente relacionados con la estructura morfológica individual de los árboles, las estrategias de historia de vida, la competencia interespecífica de recursos, la dinámica de la comunidad e incluso el funcionamiento del ecosistema terrestre (You et al., 2021).

A. Densidad básica

Está definida como la masa seca de volumen de madera que se correlaciona con la durabilidad. Dado que la madera podría ser un tejido higroscópico, el grosor de la madera depende del peso del agua en un volumen dado de madera y del volumen de madera con una sustancia húmeda particular, por lo que, el grosor de la madera cambia con la humedad (Schilling et al., 2021).

B. Contracción

A medida que las fibras de madera continúan hinchándose más allá de su PSF, la compresión debilita lentamente la integridad estructural de la madera. Además, la densidad que posee la madera disminuye a medida que el volumen de fibra de madera cae por debajo del 30 % de su masa original. Este efecto se puede medir a través del volumen de la madera y se indica mediante el cálculo de la estimación de madera verde (Cóndor y Pardo, 2021).

C. Contenido de humedad

La humedad que se encuentra en la madera representa su conexión con el agua que contiene. Esta relación está determinada por la humedad relativa de la madera, que mide la cantidad que posee el agua en el aire en comparación con todos los líquidos que se pueden almacenar en las condiciones de temperatura actuales (Puuinfo, 2020).

2.2.8 Propiedades mecánicas

Compresión perpendicular al grano

Está asociada a la resistencia que posee el corte perpendicular y a la dureza. Las células sufren un aplastamiento desapareciendo los huecos cuando la resistencia máxima es alcanzada, esto conlleva altas deformaciones (Barrientos y Luza, 2018).

Tensión perpendicular al grano

La madera experimenta una transformación bajo dos fuerzas restrictivas: la resistencia que se presenta en la tracción y también la compresión, esta interacción da como resultado en un alargamiento longitudinal y una reducción de su sección transversal, por ello, comprender la resistencia que se presenta en la madera referente a la tracción perpendicular es crucial para analizar su comportamiento físico-mecánico en diversas circunstancias, esto incluye estudios de retracción, evaluación de criterios de falla, y el diseño de vigas laminadas encoladas, entre otros aspectos relevantes (Mascia et al., 2020).

Cizallamiento

El hormigón resiste la rotura, incluso cuando las fuerzas empujan la madera en la dirección opuesta (Barrientos y Luza, 2018).

Dureza

De igual forma la dureza que presenta la madera informa la oposición a ser cortada o penetrada mediante un elemento sólido. La fuerza de la madera cambia según el ángulo en el que golpea la superficie. La madera que se encuentra seca presenta mayor dureza que la madera recién sazonada. Asimismo el denominado duramen es más dureza que la albura y por otro lado, la madera con elevado contenido referente a la humedad se rompe más fácilmente (Rodríguez, 2018).

Flexión estática

Es la deformación que manifiesta un componente básico estirado respaldado en sus extremos causado por una restricción conectada de manera opuesta a lo largo de su eje longitudinal (Castro y Paternina, 2020).

Compresión paralela al grano

Esta propiedad presenta variaciones significativas según la especie que presente la madera, la densidad, así como el contenido respecto a la humedad, la estructura anatómica, el ancho del anillo anual, la proporción de madera tardía y los defectos de la madera (Mańkowski et al., 2021).

2.3 Marco conceptual

Propiedades denominadas físicas que presenta la madera: proporciona información muy útil con respecto a las diferencias de rendimiento dentro y entre diferentes especies, y como una indicación en términos relacionados a las potencias (restricción por unidad de rango) y también a la deformación, provenientes del esfuerzo conectado (Díaz et al., 2019).

- **Densidad:** Masa por unidad de volumen que posee la madera.
- **Contenido de humedad:** Cantidad de agua presente en la madera, la cual se expresa como porcentaje del peso seco.
- **Contracción:** Disminución de las dimensiones de la madera en proporción a que se seca.
- **Dureza:** Resistencia de la madera a la penetración de un cuerpo duro.

Propiedades mecánicas:

- **Tensión perpendicular:** Resistencia de la madera a la tracción perpendicular a la dirección de las fibras.
- **Cizallamiento:** Resistencia que posee la madera a las fuerzas que actúan de forma paralela a las fibras.
- **Flexión estática:** Resistencia que posee la madera a la flexión bajo una carga constante.
- **Módulo de ruptura:** Máxima tensión que la madera puede soportar antes de romperse en flexión.
- **Módulo de elasticidad:** Medida de la rigidez de la madera.

Secado al aire: Proceso de secado respecto a la madera, con ayuda del aire libre, sin utilizar medios artificiales.

Prueba de Tukey: Prueba estadística que se utiliza para comparar las medias de varios grupos.

ANOVA: Análisis de varianza, ello es considerado como una técnica de ámbito estadístico la cual se emplea para ejecutar las comparaciones de las medias referente a dos o más grupos.

2.4 Hipótesis

- H0: Las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Alnus acuminata* no presentan diferencias estadísticas significativas y comparativas en las diferentes procedencias del departamento de Cajamarca.
- H1: Las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Alnus acuminata* presentan diferencias estadísticas significativas y comparativas en las diferentes procedencias del departamento de Cajamarca.

2.5 Operacionalización de variables

Tabla 3

Operacionalización de variables

Concepto	Variable	Dimensión	Indicador	Instrumento	Escala de medición
Son aquellas que se relacionan con su estructura y composición química (NTP E.010).	Características físicas	Cantidad de agua que se encuentra contenida en la madera	Contenido de humedad	Guía de observación	%
		Relación peso/volumen que presenta la madera	Densidad básica		gr/cm^3
		Depreciación del volumen referente a la madera	Contracción		%
Son aquellas que se relacionan con su resistencia a las fuerzas y deformaciones (NTP E.010).	Características mecánicas	Resistencia a la fuerza interna perpendicular	Compresión perpendicular	Guía de observación	kg/cm^2
		Resistencia a la fuerza interna paralela	Compresión paralela		kg/cm^2
		Resistencia a la fuerza externa perpendicular	Tensión perpendicular		kg/cm^2
		Resistencia a carga que produce fractura	Cizallamiento		kg/cm^2
		Resistencia a la deformación	Flexión estática		kg/cm^2
		Resistencia a la penetración	Dureza		kg/cm^2

Nota. NTP: Norma Técnica Peruana.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y nivel de investigación

De acuerdo con el tipo, el presente estudio es descriptivo porque analizó las características de la madera de aliso y cómo ésta varía de acuerdo con su ocurrencia natural en el ámbito de la región Cajamarca. Las investigaciones descriptivas llevan a cabo un registro, análisis e interpretación del fenómeno o la problemática, realidad, composición o fenómenos, la orientación se realiza sobre fenómenos o condiciones dominantes (Ñaupas et al., 2018).

Por otro lado, el estudio presenta un nivel simple debido a que se enfoca en un margen de diagnóstico, comparativo y correlacional, donde se estudian dos variables y se explica la relación causa y efecto de datos cualitativos con la finalidad de describir los fenómenos que suceden de manera natural en un solo elemento estructural (Condori, 2020). De esta manera, se analizó las características de la madera de Aliso y cómo estas variaron de acuerdo con su ocurrencia natural en el ámbito de las cinco procedencias del departamento de Cajamarca.

3.2 Diseño de investigación

El diseño considerado para este estudio fue no experimental pues no se realizó la manipulación de las variables (Hernández-Sampieri y Torres, 2018), se realizó la observación y posterior descripción de las propiedades tanto mecánicas como físicas respecto a la madera de *Alnus acuminata* de cinco procedencias mediante ensayos físicos y mecánicos de acuerdo a lo que se detalla en las Normas Técnicas Peruanas.

3.3 Métodos de investigación

3.3.1 Área de estudio

Se realizó el proyecto de investigación de recolección de datos de cuatro provincias de la región Cajamarca, su ubicación se aprecia en la Figura 1. Se recolectó información de cinco rodales naturales con bosques de aliso ubicados en los distritos de Querocoto, Rojaspampa, Cutervo, Santa Cruz y Hualgayoc, debido a que el aliso se ha adaptado a esta geografía y clima, además se ha evidenciado su presencia perenne en laderas y quebradas con ambientes húmedos en estos distritos pertenecientes a la zona andina de la región Cajamarca (Dávila, 2019). Estas localidades pertenecen a la región Cajamarca, localizadas

entre los 1900 y los 2526 msnm. El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú afirma que estas regiones experimentan una temperatura media al año entre 19 ºC y una precipitación media al año de 1047 mm. En Querocoto y Rojaspampa, la temperatura media al año posee un valor de 23 °C y además la precipitación media al año es de una cantidad de 16 mm. Sin embargo, según la estación del Senamhi, en Querotoquillo, zona aledaña al área de estudio, la precipitación media fue de 4.37 mm en el mes de diciembre. No obstante, en los otros distritos de estudio, la temperatura varía de 10 a 24 °C a lo largo del día y las precipitaciones promedian 2963 mm por año. El inventario, así como la evaluación y también el uso de forma racional de los recursos de la naturaleza de la zona norte del departamento denominado Cajamarca, establece que existen cinco zonas de vida diferenciadas en el área de estudio: Bosque húmedo montano tropical, bosque muy húmedo montano tropical, bosque seco premontano tropical, bosque húmedo montano bajo tropical y bosque seco montano bajo tropical (Tabla 4). La temperatura media anual del área de estudio es de 15°, con una precipitación media anual de 930 mm (Cueva y Iannacone, 2015).

Tabla 4

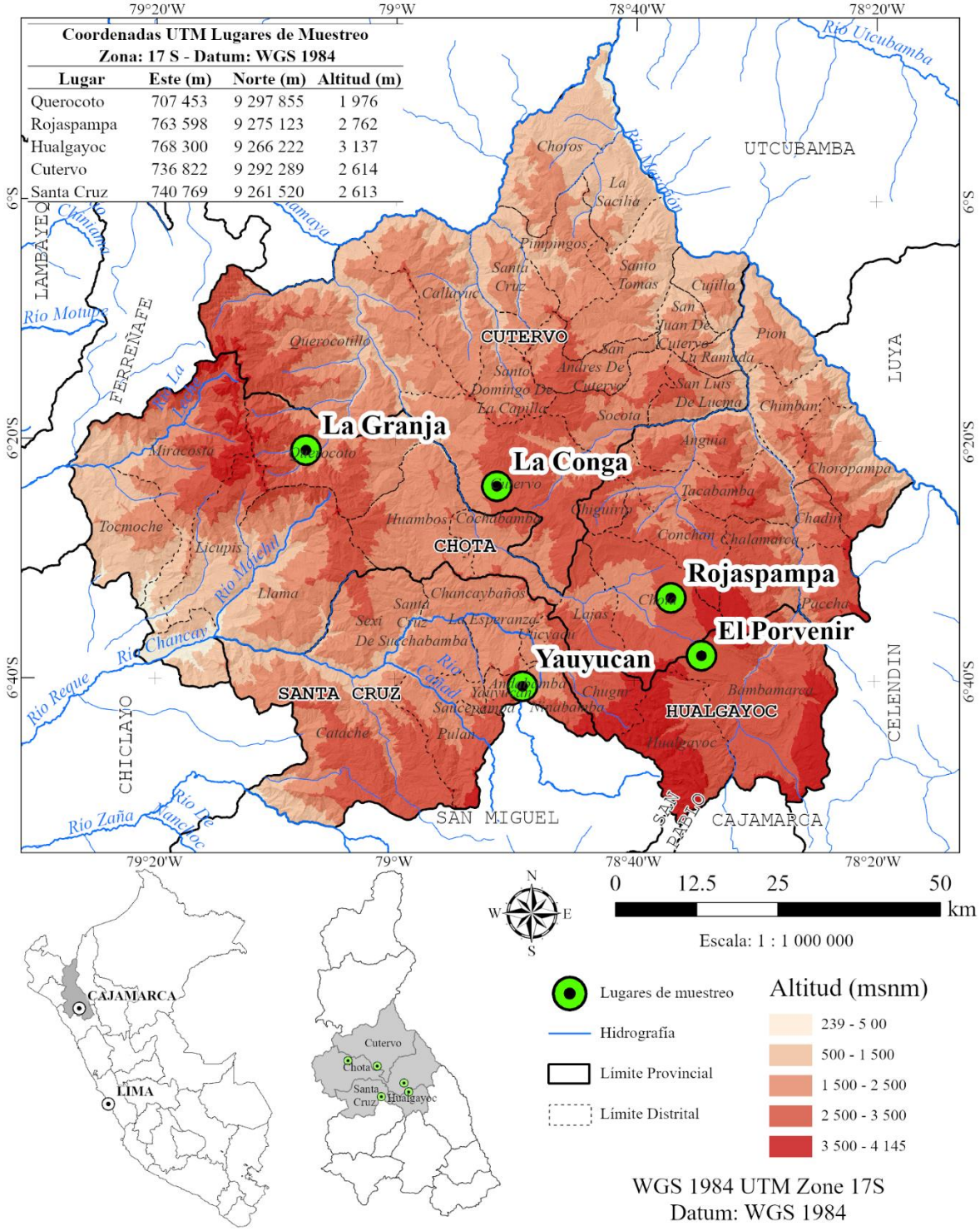
Zonas de vida en Cajamarca

Código	Zona de vida Natural	Temp máx. °C (X/anual)	Temp min °C (X/anual)	Precip (mm) (X/max)	Precip. (mm) (X/min)	Precip. Prom. (mm)	Área (ha)
bh-MT	Bosque húmedo Montano Tropical	13,1	7,3	1154	498	826	10777,43
bmh-MT	Bosque muy húmedo Montano Tropical	10,9	6,5	1722	838,4	1280,2	8607,47
bs-PT	Bosque seco Premontano Tropical	25,1	17,4	Na	Na	376,85	184,55
bh-MBT	Bosque húmedo Montano Bajo Tropical	17,9	12,6	1972	790,7	1381,35	7136,99
bs-MBT	Bosque seco Montano Bajo Tropical	16,5	10,9	972,9	449,3	711,1	5204,47

Nota. Adaptado de Cueva y Iannacone (2015)

Figura 1

Localización del área de estudio



3.3.2 Identificación de las zonas de ocurrencia natural de aliso

La identificación y validación de rodales de ocurrencia natural de aliso se realizó mediante visitas de campo, recorrido por las áreas y recopilación del material fotográfico.

3.3.3 Inventario forestal

En cada zona de muestreo se instalaron tres parcelas de medición de 300 m^2 (10 m x 30 m), ya que, esta área se consideró factible para su medición, además representa un equilibrio entre las variables forestales en las cuales se colectó información del diámetro a la altura alrededor del pecho (DAP) medido a 1,3 m sobre el nivel que posee el suelo y la altura en su totalidad (h) de los árboles mayores a 10 cm de DAP, se registraron las coordenadas de localización de dichas parcelas y otras características de la zona de muestreo de acuerdo con lo sugerido por Campos y Leite (2017). El inventario tiene como propósito caracterizar los rodales de aliso e identificar los árboles dominantes.

Dentro de cada rodal natural de aliso la instalación de la parcela de 10 m x 30 m se realizó trazando una línea central de 30 m, se georreferenció el centro de las parcelas, posteriormente se midió el DAP con forcípula o cinta denominada diamétrica y también la altura total con hipsómetro de todos los árboles de la parcela.

3.3.4 Selección de árboles muestra

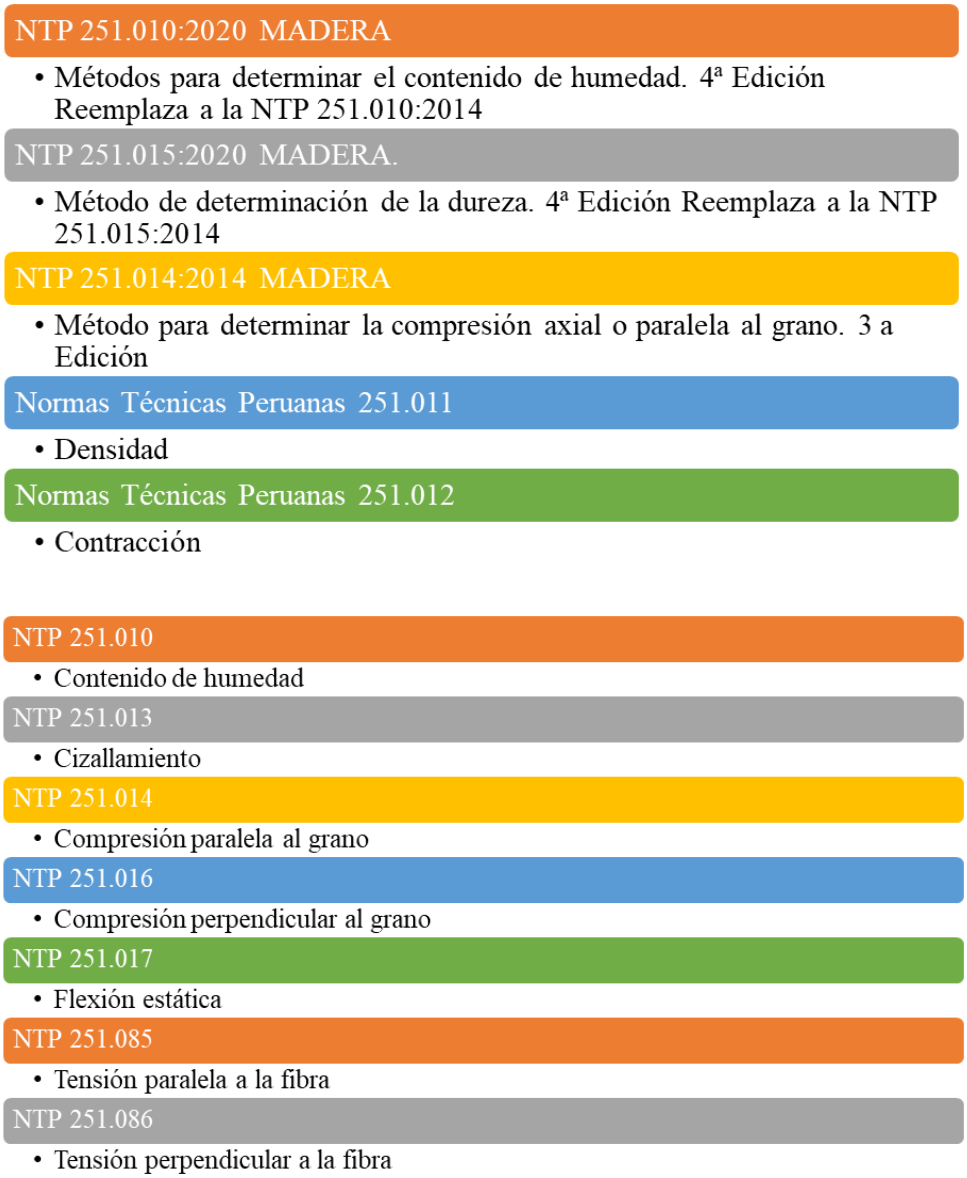
Se usó la NTP 251.002, se colectó muestras de tres árboles dominantes por zona de muestreo, uno para cada parcela. Los árboles dominantes fueron árboles con fuste recto, sin ramificación baja, ni daños patológicos.

3.3.5 Extracción de las muestras de madera

Para la extracción de las muestras considerando la madera se siguió un procedimiento de aserrado, para luego teniendo en consideración las siguientes normas NTP.

Figura 2

Normas requeridas para el estudio



Se verificó la longitud de la muestra de madera, donde las longitudes de cada muestra estaban correlacionadas con los fustes de los árboles, por lo que se aserró troncos de 2,5 m de largo ya que las secciones según la NTP son de 3 x 3 x 10 cm (3 m de largo) de tamaño para las pruebas básicas de densidad, contracción y también del contenido de humedad.

Además de cortar la madera en pedazos más pequeños, las instalaciones de prueba también requieren pedazos de 5 cm x 5 cm x 15 cm. Estos se utilizaron para determinar propiedades como la dureza y la compresión perpendicular. Se utilizaron otras piezas de madera de 5 cm x 5 cm x 6,3 cm y 5 cm x 5 cm x 20 cm para las pruebas de cizallamiento, compresión denominada paralela y tensión conocida como perpendicular. Para mostrar la

flexión de forma estática, las piezas de madera deben tener un tamaño de 5 x 5 x 76 cm y 2,5 x 2,5 x 41 cm.

De acuerdo con el procedimiento de aserrío de cada fuste, según las NTP utilizadas, como se detalla en la (Tabla 5), de cada árbol fueron extraídas las siguientes muestras:

Tabla 5

Detalle de muestras extraídas

Pieza aserrada	Muestra	Cantidad	Propiedad Analizada
3 cm x 3 cm x 10 cm	3 cm x 3 cm x 10 cm	30 30 30	Densidad Contenido de humedad Contracción
5 cm x 5 cm x 15 cm	5 cm x 5 cm x 15 cm	30 30	Dureza Compresión perpendicular
5 cm x 5 cm x 76 cm	5 cm x 5 cm x 76 cm 2,5 cm x 2,5 cm x 41 cm	6 24	Flexión estática
5 cm x 5 cm x 20 cm	5 cm x 5 cm x 20 cm 5 cm x 5 cm x 6.3 cm 5 cm x 5 cm x 6.3 cm	30 30 30	Compresión paralela Cizallamiento Tensión perpendicular

Las muestras fueron habilitadas con una buena orientación, asegurando que se evidenciara el corte transversal, radial y tangencial. Por lo tanto, esta fase se realizó de acuerdo con lo descrito en las normas NTP. Además, se recolectaron dos muestras por cada propiedad antes mencionada. En total, se obtuvieron 270 probetas, dado que se estudiaron 9 propiedades, resultando en 30 probetas por propiedad. Se consideraron 18 probetas por árbol y estas fueron agrupadas por sitio (en cada sitio se seleccionó 3 árboles), en total fueron 15 árboles seleccionados.

Ensayos de laboratorio

Los ensayos fueron realizados en Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para la determinación de las propiedades tanto físicas, así como la densidad básica, además del contenido respecto a la humedad y la contracción, se realizaron dos pruebas para cada medición según las normas NTP 251.011, NTP 251.012 y NTP 251.010, respectivamente; y las propiedades de ámbito mecánicos como: Compresión de forma perpendicular, así como tensión llamada perpendicular,

cizallamiento, compresión nombrada como paralela, flexión estática y dureza de la madera de los árboles evaluados fue realizada en dos repeticiones por cada ensayo. El detalle de cada ensayo se visualiza en la Tabla 6. Las probetas fueron codificadas con plumón indeleble desde su colecta en campo, habilitación de muestras y ensayos, de tal forma que cada probeta tuvo un código único de identificación (ID) que se encuentra en los anexos.

Tabla 6

Muestras por cada ensayo realizado

Ensayo	Dimensiones de la probeta	Repeticiones por árbol	Cantidad por zona	Cantidad total
Contenido de humedad	3 cm x 3 cm x 10 cm	2	6	30
Densidad básica	3 cm x 3 cm x 10 cm	2	6	30
Contracción	3 cm x 3 cm x 10 cm	2	6	30
Dureza	5 cm x 5 cm x 15 cm	2	6	30
Compresión perpendicular	5 cm x 5 cm x 15 cm	2	6	30
Flexión estática	5 cm x 5 cm x 76 cm 2,5 cm x 2,5 cm x 41 cm	2	6	30
Compresión paralela	5 cm x 5 cm x 20 cm	2	6	30
Cizallamiento	5 cm x 5 cm x 6.3 cm	2	6	30
Tensión perpendicular	5 cm x 5 cm x 6.3 cm	2	6	30

3.3.6 Lectura y registro de datos de ensayos

Una vez realizados los ensayos y obtenidos los resultados de estos, el valor de cada propiedad en estudio fue digitado teniendo en consideración cada muestra, de esta forma cada código correspondió con su respectivo resultado (Anexo 1 a 6). Estos datos fueron digitalizados en una plantilla de Microsoft Excel.

3.4 Población, muestra y muestreo

3.4.1. Población

Respecto a la población de esta investigación, está definida por todas las áreas dentro del ámbito geográfico del estudio (Figura 1) que contienen bosques de *Alnus acuminata* Kunth en rodales naturales, plantaciones, o sistemas agroforestales mixtos. Esto incluye todos los ecosistemas dentro del área de estudio donde la especie juega un papel significativo en la composición forestal.

3.4.2. Muestra

Asimismo considerando la muestra, estuvo representada por una cantidad de tres árboles dominantes seleccionados de cada parcela de inventario que sirvió para realizar los estudios que se necesitan según la NTP 251.002:1982 (revisada el 2018). Estos árboles dominantes se caracterizan por tener las características respectivas en cuanto a longitud y diámetro para asegurar que sean representativos y pertinentes para los objetivos del estudio.

3.4.3. Muestreo

La selección respecto a los árboles se ejecutó mediante un muestreo de forma no probabilístico y además por conveniencia, mediante el cual se colectó muestras de madera de un árbol dominante de cada parcela, buscando obtener muestras que representen el potencial productivo para aliso de cada zona de muestreo.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Los datos fueron obtenidos por medición y mediante una guía de observación directa mediante un proceso estructurado que implica la recopilación de datos aplicando los sentidos, especialmente mirando y escuchando, donde las variables observadas eran especificadas y definidas previamente para comprender el comportamiento y las interacciones a medida que se desarrollan en tiempo real (Smit y Onwuegbuzie, 2018).

El responsable del proyecto midió y anotó las variables evaluadas para registrar los datos de inventario en campo y los valores de cada uno de los ensayos realizados. Como instrumento de colecta de datos se usó un formato respecto al registro de inventario forestal y de los valores de cada uno de los ensayos realizados (Fix et al., 2022).

Por otro lado, los ensayos de análisis requirieron como instrumento los protocolos de ensayos, en los que se registró el método utilizado para realizar cada prueba, los resultados también se registraron en su respectivo formato. Asimismo, se empleó bases de datos de publicaciones científicas para obtener información relevante del tema y equipos como el vernier de forma digital para ejecutar las medidas de las dimensiones que poseen las probetas, las balanzas de precisión para pesar las probetas.

3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los valores de cada variable en estudio fueron determinados por la aplicación de las siguientes fórmulas:

Densidad básica

Con base en la norma NTP 251.011, la densidad básica fue determinada en tubos de ensayo con las dimensiones 3 cm x 3 cm x10 cm, y el cálculo se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad básica}\left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{\text{Peso anhidro}}{\text{Volumen anhidro}} \qquad ecuación\ (1)$$

Contracción

Se determinó en base a la norma NTP 251.012 con probetas de 3 cm x 3 cm x 10 cm, y el cálculo fue determinado usando las fórmulas para contracción radial, tangencial, y volumétrica aquí detalladas.

$$\text{Contracción radial}\ (\%) = \frac{\text{dimensión radial verde-dimensión radial seca}}{\text{dimensión radial verde}} \times 100\%$$

$$ecuación\ (2)$$

$$\text{Contracción tangencial}\ (\%) = \frac{\text{dim. tangencial verde - dim. tangencial seca}}{\text{dimensión tangencial verde}} \times 100\%$$

$$ecuación\ (3)$$

$$\text{Contracción volumétrica}\ (\%) = \frac{\text{volumen verde-volumen seca}}{\text{volumen verde}} \times 100\%$$

$$ecuación\ (4)$$

$$\text{Contracción longitudinal}\ (\%) = \frac{\text{dim longitudinal verde- dim. longitudinal seca}}{\text{dimensión longitudinal verde}} \times 100\%$$

$$ecuación\ (5)$$

Contenido de humedad

Con base en la norma NTP 251.010 y utilizando como patrón probetas de 3 cm x 3 cm x 10 cm, lo indica que este proyecto fue evaluado de esa forma, además establece la siguiente fórmula:

$$CH\% = \frac{Pv\text{-}Ps}{Ps} \times 100\% \qquad ecuación\ (6)$$

Donde:

CH%: Porcentaje de humedad que contiene

PV: Peso cuando se encuentra verde

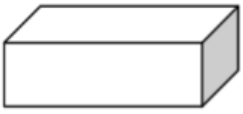
PS: Peso cuando se encuentra seco

Compresión perpendicular al grano

Con base en la norma que lleva como código NTP 251.016, la densidad perpendicular al grano fue determinada con dos probetas las cuales poseían las dimensiones 5 cm x 5 cm x 15 cm, con la siguiente fórmula.

Figura 3

Probeta de compresión perpendicular al grano



El cálculo se realizó mediante la fórmula siguiente:

$$\text{Esfuerzo al límite proporcional } (kg/cm^2) = \frac{P}{A}$$

Donde

P = Carga que es soportada por las piezas de prueba hasta la restricción relativa en kg.

A = Superficie que presenta el plano donde ocurre el cizallamiento en cm².

Compresión paralela al grano

Para este ensayo se ejecutó la preparación de dos probetas de dimensiones 5 cm x 5 cm x 20 cm según las normas técnicas NTP 251.014.

Figura 4

Probeta de compresión paralela al grano

5 cm x 5 cm x 20 cm

Se determinará siguiendo la siguiente fórmula:

$$ELP = \frac{P'}{A}$$

$$RM = \frac{P}{A}$$

Donde

ELP = esfuerzo al límite proporcional, en kg/cm2

RM = máxima resistencia a través de la compresión axial, en kg/cm2

P´= carga que es soportada a través de la probeta hasta el límite proporcional, en kg.

P = carga máxima la cual es soportada por la probeta, en kg.

A = la superficie que posee la sección de forma transversal de la probeta la cual es calculada antes del ensayo, en cm2.

$$MOE = \frac{P'L}{AD}$$

Donde

MOE = módulo vinculado a la elasticidad, en kg/cm2

P´= carga respecto al límite proporcional, en kg.

L = distancia que se encuentra entre las abrazaderas que posee el deflectómetro, en cm.

A = área respecto a la sección transversal de la probeta la cual es calculada antes de ejecutar el ensayo, en cm2.

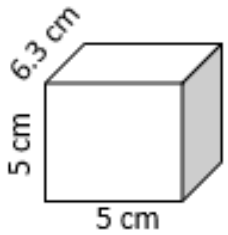
D = deformación de forma experimentada por la probeta al límite proporcional, en cm.

Tensión perpendicular al grano

Con base en la norma COPANT 743-1975, la tensión perpendicular al grano fue determinada en dos probetas las cuales poseen dimensiones 5 cm x 5 cm x 6,3 cm, y el cálculo se realizó mediante la siguiente fórmula:

Figura 5

Probeta de tensión perpendicular al grano



Se determinó aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Esfuerzo respecto al límite proporcional } (\text{Kg/cm}^2) = \frac{P}{A}$$

Donde

P = Carga que es soportada respecto a las piezas de prueba hasta la restricción relativa en kg.

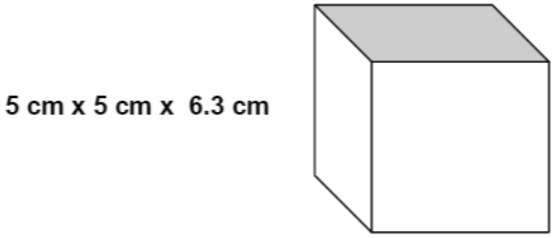
A = Superficie que posee el plano donde ocurre el cizallamiento, en cm²

Cizallamiento

Con base en la norma NTP 251.013, el cizallamiento fue determinada en dos probetas las cuales presentan como dimensiones 5 cm x 5 cm x 6.3 cm, y el cálculo se realizó mediante la siguiente fórmula:

Figura 6

Probeta de Cizallamiento



Se determinó aplicando la fórmula siguiente:

$$\text{Resistencia cizallamiento (Kg/cm}^2) = \frac{P}{A}$$

Donde

P = Carga máxima la cual es soportada por la pieza en la unidad kilogramos.

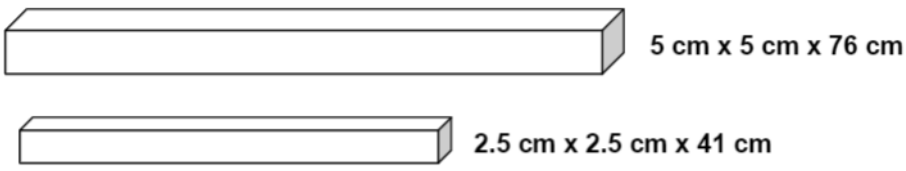
A = Superficie que presenta el plano donde ocurre el cizallamiento, en cm

Flexión estática

Con base en la norma llamada NTP 251.017, el cizallamiento fue determinada en dos probetas de dimensiones 5 cm x 5 cm x 76 cm y también dimensiones de 2.5 cm x 2.5 cm x 41 cm, y el cálculo se realizó mediante la siguiente fórmula:

Figura 7

Probeta de flexión estática



Se determinó aplicando la fórmula siguiente:

$$ELP = \frac{3P'L}{2ae}$$

Donde

ELP: es considerado el esfuerzo que posee la fibra al límite proporcional en unidades de kg/cm2

P’: denominado a la carga al límite proporcional en unidades de kg,

L: distancia que se presenta entre soportes, luz de la probeta en cm,

a: llamado así al ancho que posee la probeta en cm,

e: considerado al espesor que posee la probeta en cm.

$$MOR = \frac{3PL}{2ae^2}$$

Donde

MOR: es llamado al módulo de ruptura en kg/cm2

P: como carga máxima en unidades de kg.

L: llamado así a la distancia que se presenta entre los soportes, luz de la probeta en cm.

a: ancho que posee la probeta en cm.

e: espesor que posee la probeta en cm.

$$MOE = \frac{3P'L^3}{4ae^3Y}$$

Donde

MOE: considerado al módulo respecto a la elasticidad en kg/cm2

P’: denominado a la carga al límite proporcional en unidades de kg.

L: distancia que se presenta entre los soportes, luz de la probeta en cm.

a: ancho que presenta la probeta en cm.

e: espesor respecto a la probeta en cm.

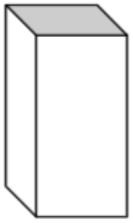
Y: deflexión en el centro de la luz al límite proporcional en cm.

Dureza

Con base en la norma nombrada como NTP 251.015, el cizallamiento fue determinado en dos probetas de dimensiones 5 cm x 5 cm x 15 cm, y el cálculo se realizó promediando los lados y los extremos.

Figura 8

Probeta de Dureza



5 cm x 5 cm x 15 cm

El cálculo del esfuerzo a la compresión perpendicular se determinó en base a procedimientos utilizando probetas de madera de 5 cm x 5 cm x 15 cm. En la semiesfera de 1,13 cm se introdujo completamente en las seis zonas de la pieza de ensayo, registrándose los valores en el organigrama de comparación. Se aplicó la pila a una velocidad de prueba constante de 8 mm (0.24 in) por miniatura (Aylas y Bendezú, 2018).

El procesamiento y sistematización de la información incluyó clasificar esta información y dividirla en grupos de información más pequeños organizados a nivel de zona y árbol. Se utilizó el análisis de varianza para comparar las áreas de muestreo. Esto es necesario porque cada prueba requiere su propio análisis de varianza para determinar los valores promedio y las diferencias individuales de las pruebas. Se verificó la normalidad de los datos aplicando la prueba de Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianzas a través de la prueba de Barlett o Kruskal-Wallis.

Para verificar la existencia de diferencias significativas entre las medias de cada área de muestreo, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) con nivel de 5% de probabilidad. Para crear resultados que sean normales y homogéneos, los datos de la prueba F se analizaron utilizando R y sus paquetes asociados (R Core Team, 2022).

3.7 Aspectos éticos

El presente estudio investigativo se realizó dentro de los parámetros legales y siguiendo el paso a paso que señalen las llamadas normas técnicas de origen peruano, asimismo para la adquisición de muestras se tramitó el permiso respectivo ante el SERFOR y se empleó un laboratorio que cumpla con los estándares respecto a la calidad para cual es requerida para la presente investigación. El presente estudio no tiene ningún conflicto de interés.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

La tabla 7 presenta los resultados de ensayos de laboratorio realizados sobre muestras de madera de *Alnus acuminata* Kunth de cinco procedencias del departamento de Cajamarca, Perú. Las pruebas se realizaron para determinar las propiedades tanto físicas, así como, mecánicas respecto a la madera.

Sobre las propiedades que son físicas, se tiene que la humedad promedio de la madera fue de 127%, siendo la mayor en Cutervo con 132%. La densidad considerada básica promedio respecto a la madera fue de 0,34 g/cm³, teniendo una densidad mayor la procedencia Rojaspampa.

En cuanto a las propiedades mecánicas de *Alnus acuminata*, se tiene el ensayo de contracción de los 5 lugares, la resistencia radial promedio fue de 5,15%; la tangencial, 7,35%; la volumétrica, 11,83% y la longitudinal, 0,13%, por lo que se tuvo una mayor resistencia volumétrica y radial.

La resistencia a la compresión perpendicular fue mayor en Santa Cruz con un esfuerzo límite de 22,70 kg/cm², y en promedio se tuvo 18,32 kg/cm².

En cuanto al ensayo de contracción de los 5 lugares de estudio, la resistencia radial promedio fue de 5,15%; la tangencial, 7,35%; la volumétrica, 11,83% y la longitudinal, 0,13%, por lo que se tuvo una mayor resistencia volumétrica y radial.

En ensayos de compresión paralela de los 5 lugares de estudio, el esfuerzo al límite proporcional promedio fue de 228,72 kg/cm², el promedio respecto a la resistencia máxima por compresión de forma axial fue de un valor de 108,31 kg/cm², y del módulo respecto a la elasticidad fue de 47,53 kg/cm².

Los resultados también muestran que la madera de *Alnus acuminata* Kunth del departamento de Cajamarca tiene una alta humedad, una densidad básica baja, presenta una contracción moderada en las direcciones radial y tangencial, y una contracción alta en dirección volumétrica, posee una resistencia a la compresión perpendicular y paralela moderada, tiene un esfuerzo respecto al límite proporcional a la compresión y una resistencia de forma máxima respecto a la compresión axial alta, presenta un módulo de elasticidad a la compresión alto, posee una resistencia a la tensión perpendicular y al cizallamiento moderada, tiene una resistencia a la flexión estática y un módulo de ruptura altos. El análisis

de varianza con un nivel de probabilidad del 95% indican que existe diferencia significativa entre las diferentes procedencias, en tanto que tampoco existe diferencia en algunas propiedades como se especifica en las conclusiones.

Tabla 7

Registro de datos de ensayos

Ensayo: Contenido de humedad			**Ensayo: Densidad básica**
Lugar de procedencia	Humedad (%)		Densidad básica (g/cm^3)
Rojaspampa	129%		0.38
Cutervo	132%		0.34
Santa Cruz	122%		0.33
Querocoto	120%		0.34
Hualgayoc	130%		0.32
Promedio	127%		0.34
Ensayo: Contracción			
Lugar de procedencia	Radial	Tangencial	Volumétrica	Longitudinal
Rojaspampa	7.91%	10.41%	14.75%	0.28%
Cutervo	4.97%	7.83%	12.02%	0.13%
Santa Cruz	4.05%	7.48%	11.06%	0.12%
Querocoto	5.11%	6.12%	10.70%	0.08%
Hualgayoc	3.70%	4.89%	10.61%	0.03%
Promedio	5.15%	7.35%	11.83%	0.13%
Ensayo: Compresión perpendicular			
Lugar de procedencia	Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm^2)		
Rojaspampa	17.43		
Cutervo	21.99		
Santa Cruz	22.70		
Querocoto	14.46		
Hualgayoc	15.01		
Promedio	18.32		
Ensayo: Compresión paralela			
Lugar de procedencia	Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm^2)	Resistencia de forma máxima respecto a la compresión de forma axial (kg/cm^2)	Módulo de elasticidad (kg/cm^2)
Rojaspampa	103.75	215.46	47.50
Cutervo	104.85	233.10	41.82
Santa Cruz	84.23	194.04	32.51
Querocoto	103.46	201.34	40.30
Hualgayoc	145.25	299.63	75.54
Promedio	**108.31**	**228.72**	**47.53**
Ensayo: Tensión perpendicular		**Ensayo: Cizallamiento**	

Lugar de procedencia	Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm²)	Resistencia cizallamiento (kg/cm²)
Rojaspampa	18.31	54.09
Cutervo	16.02	55.94
Santa Cruz	14.32	56.60
Querocoto	19.61	51.25
Hualgayoc	13.60	54.13
Promedio	**16.37**	**54.40**

Ensayo: Flexión estática

Lugar de procedencia	Esfuerzo al límite proporcional (kg/cm²)	Módulo de ruptura (kg/cm²)	Módulo de elasticidad (kg/cm^2)
Rojaspampa	147.5	311.0	57496.4
Cutervo	189.2	321.2	49386.6
Santa Cruz	196.8	369.5	55961.2
Querocoto	138.6	235.4	38848.6
Hualgayoc	128.6	314.7	39893.7
Promedio	160.1	310.4	48317.3

Ensayo: Dureza

Lugar de procedencia	Promedios extremos (kg)	Promedios lados (kg)
Rojaspampa	194.33	211.6
Cutervo	191.72	206.57
Santa Cruz	204.57	218.79
Querocoto	161.71	174.01
Hualgayoc	209.03	195.31
Promedio	192.27	201.16

4.1. Descripción de resultados

Las estadísticas descriptivas básicas de las 15 propiedades denominadas físico y además mecánicas determinadas para *A. acuminata* en la presente investigación de cinco procedencias se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8

Estadísticos descriptivos de las propiedades físico-mecánicas de la madera de Alnus acuminata Kunth *del departamento de Cajamarca*

PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS	Unidad de medida	Mínimo	1er Cuartil	Mediana	Promedio	3er Cuartil	Máximo	Desv. Estandar
DENSIDAD BÁSICA	g/cm^3	0.329	0.37	0.378	0.387	0.401	0.462	0.035
CONTRACCIÓN RADIAL	%	1.372	3.731	5.039	5.149	5.954	9.641	0.021
CONTRACCIÓN TANGENCIAL	%	3.239	5.664	7.208	7.347	8.878	11.77	0.022
CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA	%	9.012	10.469	11.529	11.828	12.663	16.551	0.018

CONTENIDO DE HUMEDAD	%	103.2	119.2	126.5	126.5	131	161.9	0.118
CONTRACCIÓN LONGITUDINAL	%	0.02	0.033	0.05	0.13	0.147	0.902	0.002
ELP (C Perpendicular)	kg/cm²	9.98	15.55	17.51	18.32	21.61	25.81	4.706
ELP (C paralela)	kg/cm²	61.32	83.37	108.91	108.31	126.36	179.62	30.282
MOE (C paralela)	kg/cm²	20.05	33.25	42.21	47.53	54.06	99.69	20.571
RM (C paralela)	kg/cm²	151.2	189	220	228.7	248.3	334.1	49.420
ESF. UNIT. TRAC. PERPEN.	kg/cm²	10.72	13	14.82	16.37	18.47	30.87	5.155
RESISTENCIA SIZALLAMIENTO	kg/cm²	35.7	50.19	54.21	54.4	57.58	74.26	7.827
MOR (F estática)	kg/cm²	161.3	274.4	318.6	310.4	356.3	437.7	68.301
ELP (F estática)	kg/cm²	52.79	101.28	158.85	160.13	211.07	268.57	63.225
MOE (F estática)	kg/cm²	25694	34376	46086	48317	55428	100512	16068.991

El promedio de la densidad básica es de 0,378 g/cm^3, mientras que la contracción radial muestra un promedio de 5,149%, para contracción tangencial se obtuvo un promedio de 7,347%, mientras que la contracción volumétrica presentó un promedio de 11,828%, asimismo para el contenido de humedad se observa un promedio de 126,5%, para la contracción longitudinal el promedio es de 0,130, mientras que para el ELP (compresión perpendicular) se obtuvo un promedio de 18,320, para el ELP (compresión perpendicular) se obtuvo un promedio de 18,320, para el ELP (Compresión paralela)su promedio fue de 108,31, para el MOE (compresión paralela) se obtuvo un promedio de 47l530, para el RM (Compresión paralela) se obtuvo un promedio de 228,7, para ESF. UNIT. TRAC. PERPEN. Se obtuvo un promedio de 16,370 kg/cm², la resistencia al cizallamiento obtuvo un promedio de 54,4 kg/cm², el MOR (Flexión estática) tiene un promedio de 310,4, el ELP (flexión estática) presentó un promedio de 160,13 y el MOE (flexión estática) presenta un promedio de 48317.

4.1.1. Propiedades físicas de la madera de *Alnus acuminata* Kunth

Densidad básica

La comparación referente a las medias referente a la densidad básica que presenta la madera de *A. acuminata*, procedente de los cinco lugares muestreo fue realizado a través del análisis denominado varianza y uso de la prueba F al 5% de nivel de significancia (Tabla 9).

Tabla 9

ANOVA para densidad básica según la procedencia

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F-valor	p-valor
Lugar	4	0.0104	0.0026	7.321***	<0.001
Residuos	25	0.0089	0.0003		
Total	29	0.0193			

Los resultados del ANOVA mostrados en la tabla 9 se presenta la existencia de diferencia de manera significativa (p-valor < 0.05) a partir de las medias que posee la densidad de forma básica que posee la madera de *A. acuminata* de las cinco procedencias a un nivel de probabilidad del 95%. Las diferencias de medias según la prueba de TUKEY son presentadas en la tabla 10 y mostradas en la figura 9.

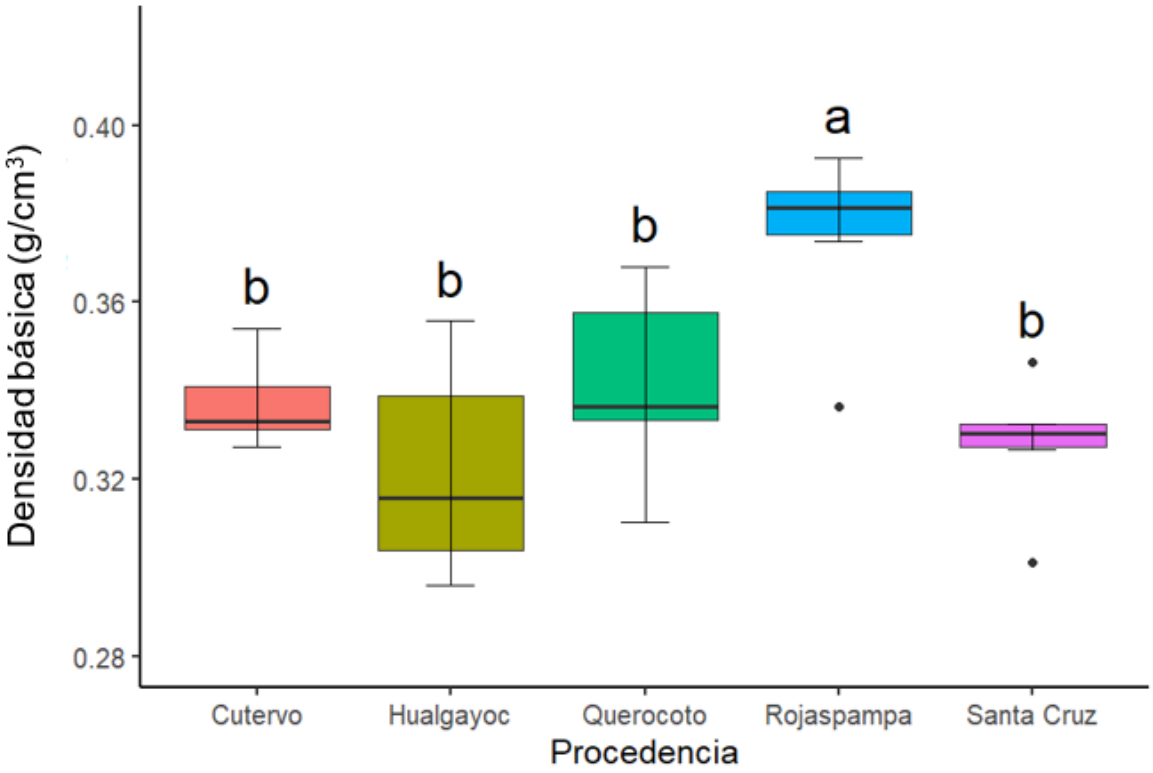
Tabla 10

Grupos de densidad media según la procedencia

LUGAR	Densidad Básica (gr/cm$^{3)}$	Grupos	DCM
Rojaspampa	0.3752	a	0.0319
Querocoto	0.3414	b	
Cutervo	0.3370	b	
Santa Cruz	0.3279	b	
Hualgayoc	0.3216	b	

Figura 9

Gráfica de boxplot de la densidad básica (g/cm3) de la madera de Alnus acuminata Kunth



Referente a la figura 9 se logra observar que los valores de densidad considerada básica, de la procedencia Rojaspampa es estadísticamente diferente de las otras procedencias; por tanto, no se acepta H0, corroborada por la diferencia de medias (Tabla 10). Estas diferencias pueden deberse a las características genéticas de la especie, ambientales del lugar de procedencia o incluso al manejo silvicultural al que puede haber estado sometido la especie; tal como lo mencionan investigaciones sobre esta propiedad de la madera, donde se indica que temperaturas más cálidas pueden causar variaciones en la densidad que presenta la madera, que afecta la lignificación de las traqueidas y el engrosamiento de la pared celular u otros factores respecto al tipo de especie, la edad, las condiciones del suelo, la presencia de plagas y enfermedades, los incendios, las tormentas de viento y las prácticas silvícolas (Mo et al., 2024); (Boakye et al., 2023). Por el resultado obtenido la madera de *A, acuminata* se clasifica madera blanda, consideradas todas aquellas con densidad básica menor o igual a 0.5 gr/cm^3 (Jeyakumar et al., 2017).

Contenido de humedad

La comparación referente a las medias que se presenta en el contenido respecto a la humedad de la madera de *A. acuminata*, procedente de los cinco lugares donde fue ejecutado el muestreo, este análisis se realizó a través del análisis respecto a la varianza y uso de la prueba F al 5% de nivel de significancia (Tabla 11).

Tabla 11

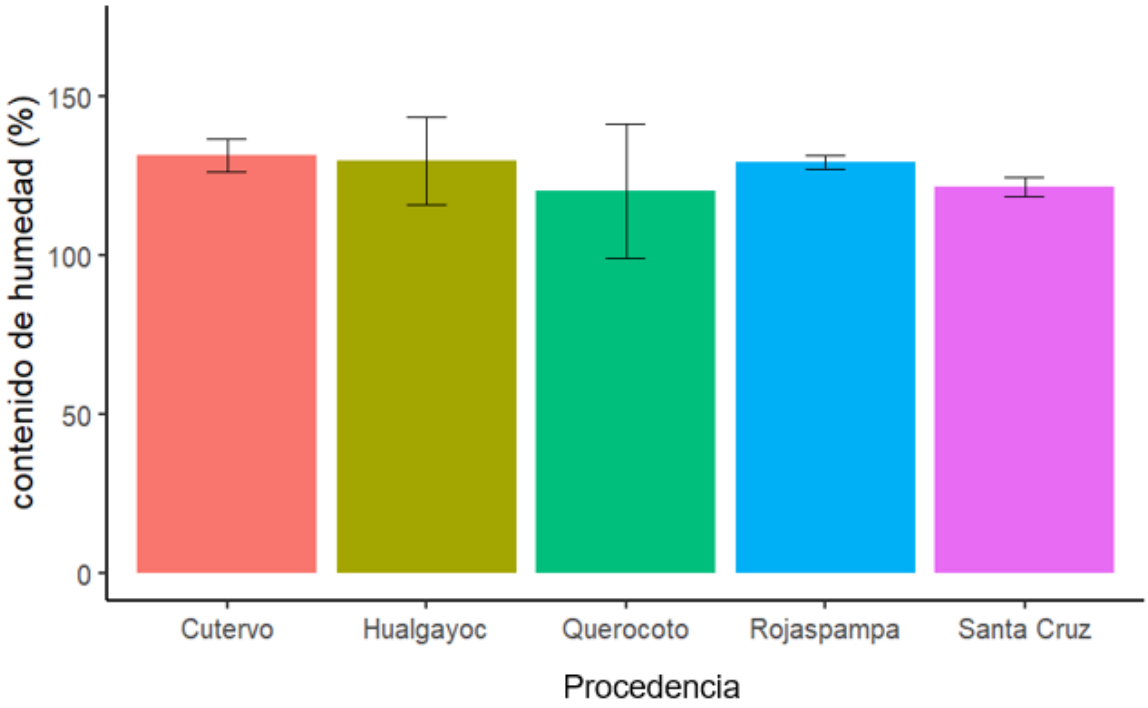
ANOVA para contenido de humedad según la procedencia

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F-valor	p-valor
Lugar	4	652	0.0026	1.202	<0.334
Residuos	25	3388	0.0003		
Total	29	4040			

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) presentados en la Tabla 11 no revelan diferencias significativas (p-valor < 0.05) entre las medias respecto al contenido que se presenta en la humedad de la madera de *Alnus acuminata* de las cinco procedencias, con un nivel respecto a la confianza del 95%. En vista de este resultado, la prueba denominada Tukey no se considera necesaria. En su lugar, la Figura 10 presenta un gráfico de las medias para facilitar la visualización de las diferencias entre las procedencias.

Figura 10

Gráfica de boxplot del contenido de humedad de la madera de Alnus acuminata Kunth



Entonces a través de la figura 10 revela que no hay cambios significativos en el contenido respecto a la humedad que se encuentra en la madera de *A. acuminata* entre las cinco procedencias, ya que los valores obtenidos muestran poca fluctuación estadística, por tanto,

se acepta H0, corroborada por la diferencia de medias. Estas similitudes podrían atribuirse a factores como la uniformidad ambiental entre los lugares de ensayo, de igual forma como la temperatura, así como la humedad de manera relativa o a través de las precipitaciones, que pueden tener un impacto comparable en el contenido respecto a la humedad que posee la madera. Además, la diversidad dentro de cada procedencia, como se observa en los residuos del análisis, puede diluir la influencia de la procedencia geográfica. Estudios anteriores han demostrado que factores como la estructura celular, el clima local y los métodos de gestión forestal pueden influir en el contenido referente a la humedad que posee la madera; pero, en este caso, dichos factores no parecen causar cambios sustanciales en el contenido de humedad (Engelund y Fredriksson, 2021; Wang, et al., 2021)

Contracción tangencial

La comparación de acuerdo a las medias de la contracción tangencial que se presenta en la madera de *A. acuminata*, procedente de los cinco lugares muestreo fue realizado a través del análisis que posee la varianza y uso de la prueba F al 5% de nivel de significancia (Tabla 12).

Tabla 12

ANOVA para contracción tangencial según la procedencia

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F-valor	p-valor
Lugar	4	103.16	25.791	17.4***	<0.001
Residuos	25	37.05	1.482		
Total	29	140.21			

Los resultados del ANOVA mostrados a partir de la tabla 12 se logra visualizar que existe diferencia de forma significativa (p-valor < 0.05) entre las medias de la contracción de forma tangencial que posee la madera de *A. acuminata* de las cinco procedencias a un nivel de probabilidad del 95%. Las diferencias de medias según la prueba de TUKEY son presentadas en la tabla 13 y mostradas en la figura 11.

Tabla 13

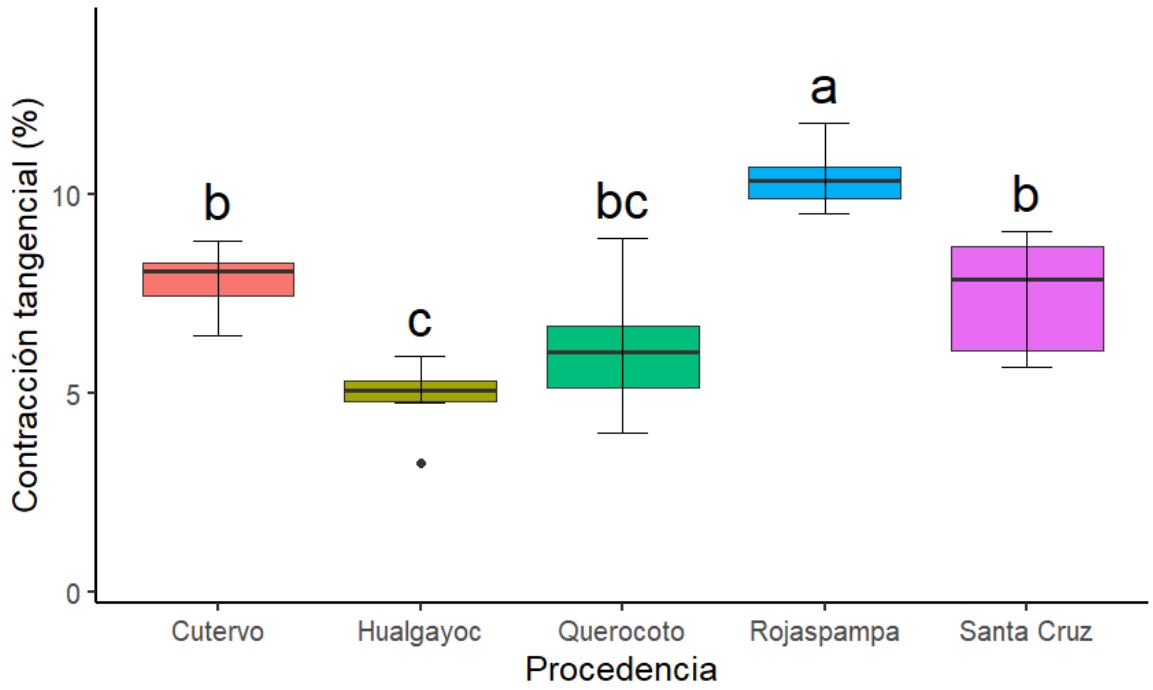
Diferencias de medias según el lugar de procedencia.

LUGAR	Contracción tangencial (%)	Grupos	DCM
Cutervo	7.8321	b	2.0643
Hualgayoc	4.8927	c	

Querocoto	6.1195	bc
Rojaspampa	10.4149	a
Santa Cruz	7.4763	b

Figura 11

Gráfica de boxplot de la contracción tangencial de la madera de Alnus acuminata Kunth



En la figura 11 se detalla que los promedios que se presentan de la contracción volumétrica por lugar tienen diferencia de manera significativa, es por ello que, no se logra la aceptación de la H0. corroborada por la diferencia de medias (Tabla 13).

Contracción volumétrica

La comparación de medias respecto a la contracción de forma volumétrica que presenta la madera de *A. acuminata*, procedente de los cinco lugares muestreo fue realizado a través del análisis denominado de varianza y uso de la prueba F al 5% de nivel de significancia (Tabla 14).

Tabla 14

ANOVA para contracción volumétrica según la procedencia

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F-valor	p-valor

Lugar	4	71.72	17.930	16.42***	<0.001
Residuos	25	27.30	1.092		
Total	29	98.02			

Los resultados del ANOVA mostrados en la tabla 14 se visualizan como la existencia de diferencia de ámbito significativo (p-valor < 0.05) entre las medias que se presentan para la contracción de forma volumétrica respecto a la madera de *A. acuminata* de las cinco procedencias a un nivel de probabilidad del 95%. Las diferencias de medias según el test de TUKEY son presentadas en la tabla 15 y mostradas en la figura 12.

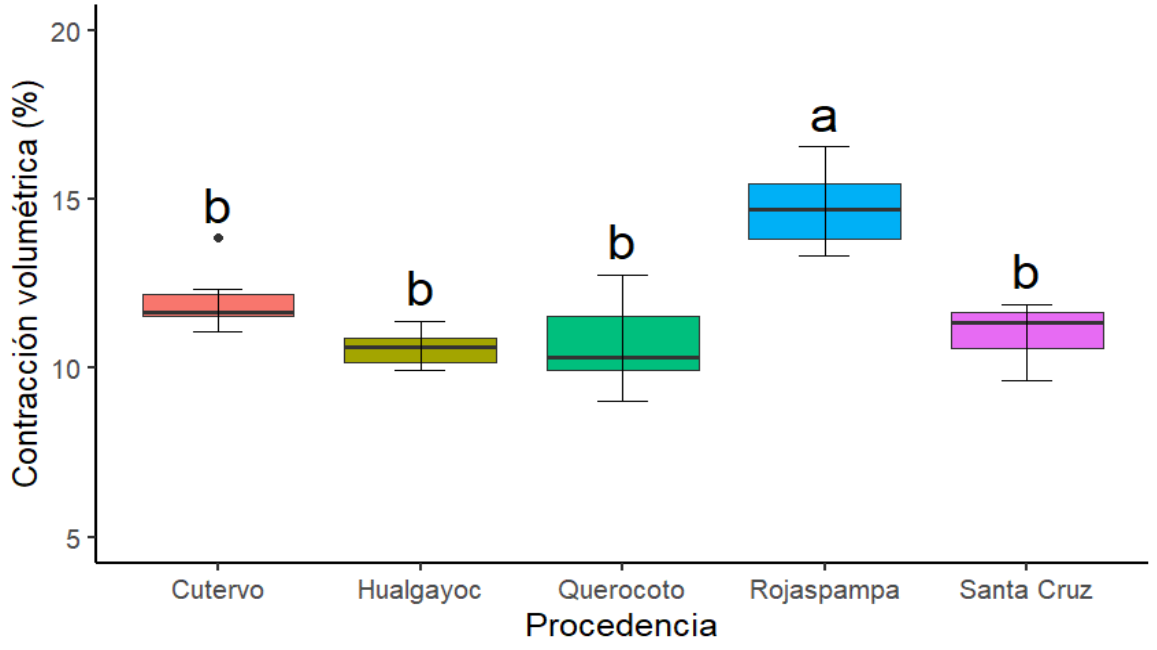
Tabla 15

Diferencias de medias según el lugar de procedencia.

LUGAR	Contracción volumétrica (%)	Grupos	DCM
Rojaspampa	14.7535	a	1.7718
Cutervo	12.0217	b	
Santa cruz	11.0573	b	
Querocoto	10.6996	b	
Hualgayoc	10.6076	b	

Figura 12

Gráfica de boxplot de la contracción volumétrica de la madera de Alnus acuminata Kunth



En la figura 12 se visualiza que los promedios respecto a la contracción de forma volumétrica por lugar tienen diferencia de manera significativa, es por ello que, no se acepta la H0. corroborada por la diferencia de medias (Tabla 15).

Contracción longitudinal

La comparación de medias respecto a la contracción de forma longitudinal respecto a la madera de *A. acuminata*, procedente de los cinco lugares muestreo fue realizado a través del análisis denominado varianza y uso de la prueba F al 5% de nivel de significancia (Tabla 16).

Tabla 16

ANOVA para contracción longitudinal según la procedencia

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F-valor	p-valor
Lugar	4	65.72	16.430	7.164***	<0.001
Residuos	25	57.33	2.293		
Total	29	123.05			

Los resultados del ANOVA mostrados respecto a la tabla 16 logra brindar la existencia de diferencia de forma significativa (p-valor < 0.05) entre las medias respecto a la contracción de forma longitudinal referente a la madera de *A. acuminata* de las cinco procedencias a un nivel de probabilidad del 95%. Las diferencias de medias según el test de TUKEY son presentadas en la tabla 17 y mostradas en la figura 12.

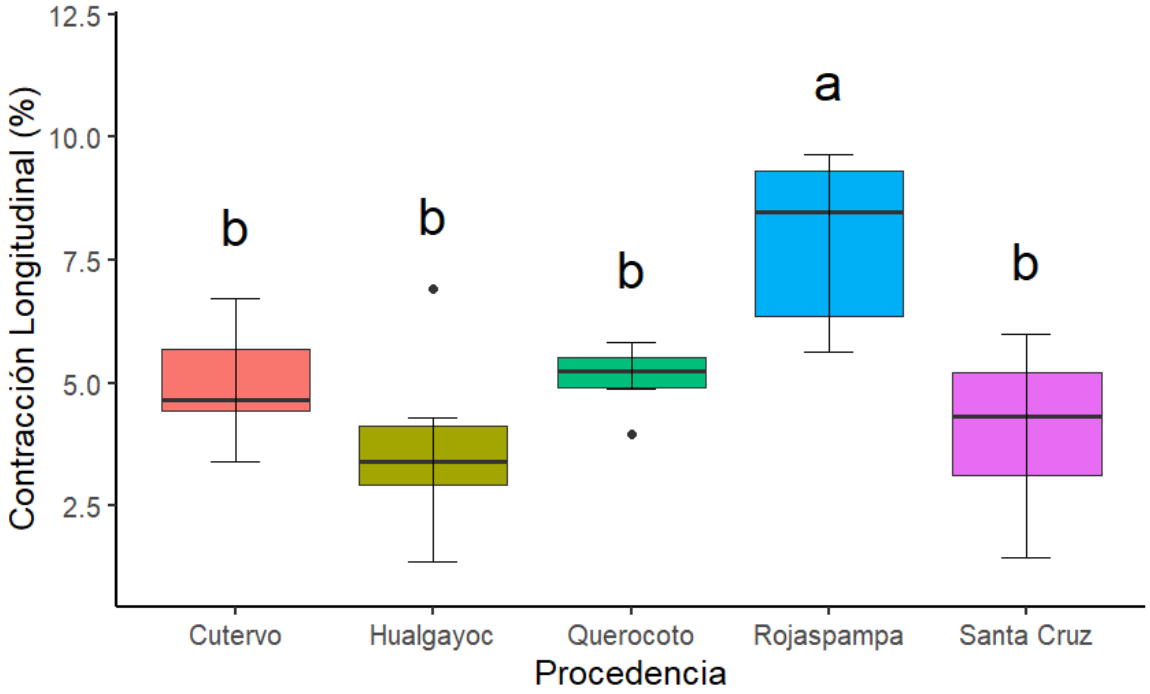
Tabla 17

Diferencias de medias según el lugar de procedencia

LUGAR	Contracción longitudinal (%)	Grupos	DCM
Rojaspampa	7.9100	a	2.5677
Querocoto	5.1104	b	
Cutervo	4.9685	b	
Santa Cruz	4.0493	b	
Hualgayoc	3.7045	b	

Figura 13

Gráfica de boxplot de la contracción longitudinal de la madera de Alnus acuminata Kunth



En la figura 13 se visualiza que los promedios respecto a la contracción longitudinal por procedencia tienen diferencia de forma significativa, es por ello que, no es aceptada la H0. corroborada por la diferencia de medias (Tabla 17).

Las diferencias entre procedencias para la propiedad contracción podrían estar relacionadas por la estructura de manera anatómica de la maderera; tal como lo señala un estudio realizado para esta propiedad, los polímeros contienen grupos hidroxilo, por eso los mecanismos y los valores de los principales parámetros que lo describen son diferentes y se puede observar diferencia en cada lugar de procedencia y también depende del lugar del tallo: radial, tangencial y longitudinal. Este proceso depende de diversos factores, y para algunos de ellos su importancia ha sido establecida enfáticamente por numerosas observaciones, mientras que para otros aún está por determinar en qué medida y cómo afectan la contracción de la madera (Todorova et al., 2023).

4.1.2. Propiedades mecánicas de la madera de *Alnus acuminata* Kunth

Compresión paralela ELP

Se muestra en la tabla 18 el análisis de varianza y de la prueba F al 5% para la comparación de medias de la compresión paralela ELP de la madera de *A. acuminata*, procedente de los cinco lugares muestreados.

Tabla 18

ANOVA para compresión paralela ELP según la procedencia

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F-valor	p-valor
Lugar	4	12003	3000.7	5.142**	0.004
Residuos	25	14589	583.6		
Total	29	26592			

Los resultados del ANOVA mostrados en la tabla 18 permite visualizar que existe diferencia de forma significativa (p-valor < 0.05) entre las medias de la compresión de forma paralela ELP referente a la madera de *A. acuminata* de las cinco procedencias a un nivel de probabilidad del 95%. Las diferencias de medias según la prueba de TUKEY son presentadas en la tabla 19 y mostradas en la figura 14.

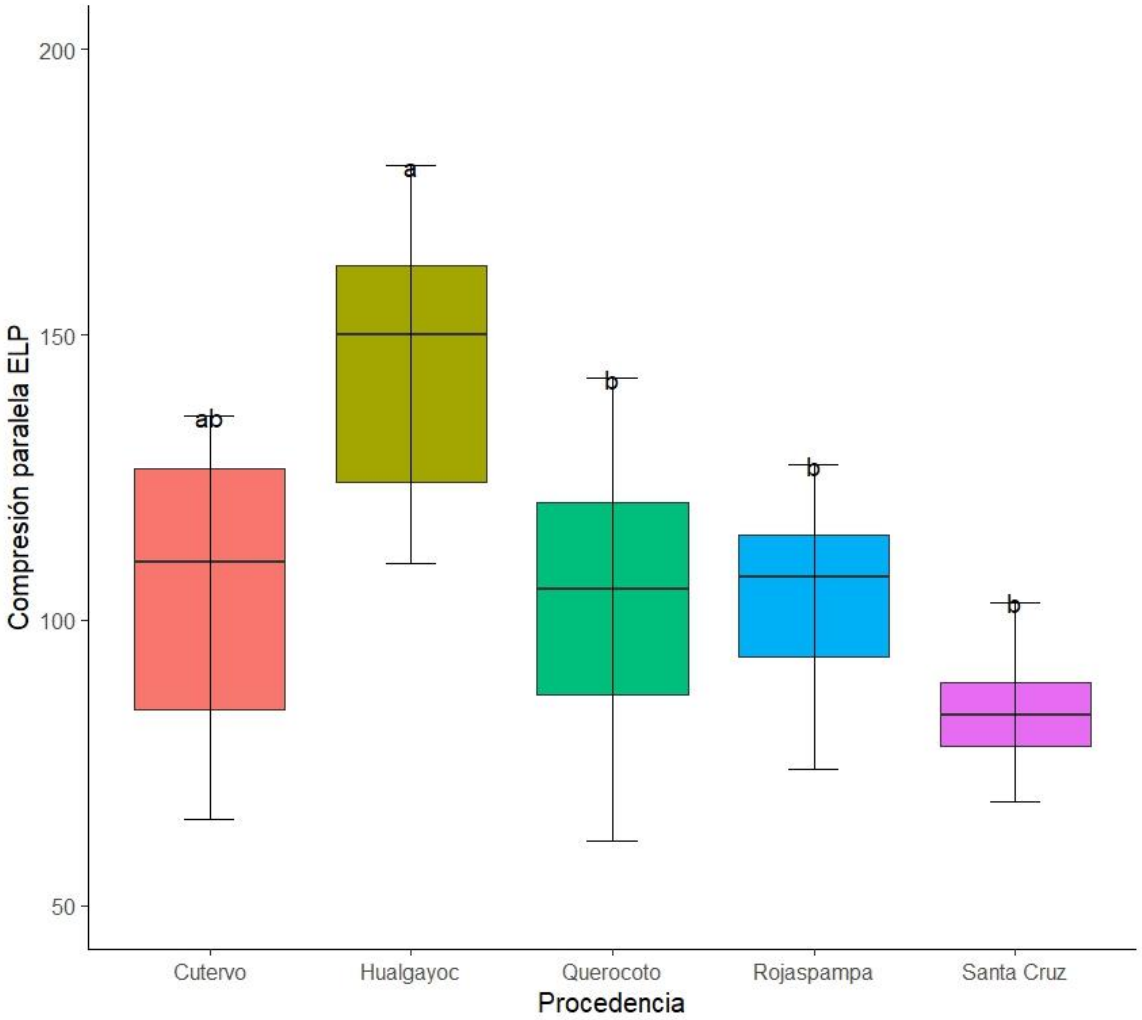
Tabla 19

Diferencias de medias según el lugar de procedencia.

LUGAR	**Compresión paralela ELP**	**Grupos**	**DCM**
Hualgayoc	145.248	a	40.9613
Cutervo	104.852	ab	
Rojaspampa	103.750	b	
Querocoto	103.457	b	
Santa Cruz	84.232	b	

Figura 14

Gráfica de boxplot de la compresión paralela ELP de la madera de Alnus acuminata Kunth



De acuerdo a la figura 14 se visualiza que los promedios de la compresión paralela ELP por lugar de procedencia, en el que se muestra la existencia de diferencias entre procedencias, aceptando la H1 y se rechaza la H0. corroborada por la diferencia de medias (Tabla 19).

Compresión paralela MOE

A través de la tabla 20 se muestra la comparación respecto a las medias de la compresión paralela MOE que se presenta en la madera de *A. acuminata*, procedente de los cinco lugares distintos, dicha comparación se hizo mediante el análisis referente a la varianza (ANOVA) además con un nivel respecto a la significancia de 0.05.

Tabla 20

ANOVA para compresión paralela MOE según la procedencia

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F-valor	p-valor
Lugar	4	6569	1642.3	7.200***	<0.001
Residuos	25	5702	228.1		
Total	29	12271			

Los resultados del ANOVA mostrados en la tabla 20 lo logra mostrar la existencia de diferencia de ámbito significativo (p-valor < 0.05) entre las medias de la compresión de forma paralela MOE respecto a la madera de *A. acuminata* de las cinco procedencias a un nivel de probabilidad del 95%. Las diferencias de medias según la prueba de TUKEY son presentadas en la tabla 21 y mostradas en la figura 15.

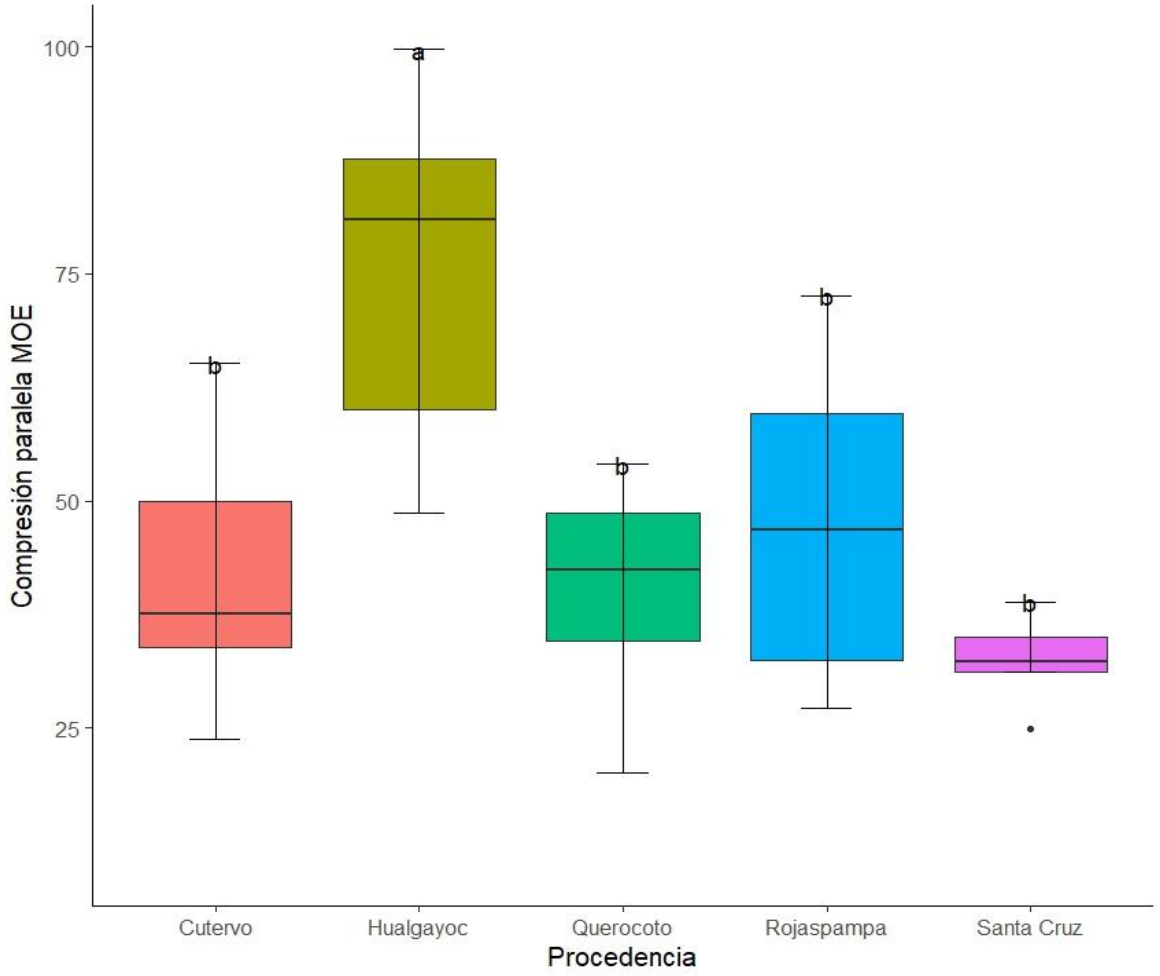
Tabla 21

Diferencias de medias según el lugar de procedencia.

LUGAR	Compresión paralela MOE	Grupos	DCM
Hualgayoc	75.538	a	25.6078
Rojaspampa	47.500	b	
Cutervo	41.818	b	
Querocoto	40.303	b	
Santa Cruz	32.512	b	

Figura 15

Gráfica de boxplot de la compresión paralela MOE de la madera de Alnus acuminata Kunth



A partir de la figura 15 se visualiza que los promedios respecto a la compresión paralela MOE por lugar de procedencia, en el que se muestra la existencia de diferencias entre procedencias, aceptando la H1 y se rechaza la H0. corroborada por la diferencia de medias (Tabla 21).

Compresión paralela RM

En cuanto a la compresión paralela RM, en la tabla 22 se muestra el análisis de varianza correspondiente, mediante el cual se realizó la comparación de medias de la madera de *A. acuminata* con un nivel de significancia de 0.05.

Tabla 22

ANOVA para compresión paralela RM según la procedencia

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F-valor	p-valor
Lugar	4	43051	10763	9.687***	<0.001
Residuos	25	27777	1111		
Total	29	70828			

Los resultados del ANOVA mostrados en la tabla 22 permiten visualizar la existencia de la diferencia de manera significativa (p-valor < 0.05) entre las medias de la compresión denominada paralela RM referente a la madera de *A. acuminata* de las cinco procedencias a un nivel de probabilidad del 95%. Las diferencias de medias según la prueba de TUKEY son presentadas en la tabla 23 y mostradas en la figura 16.

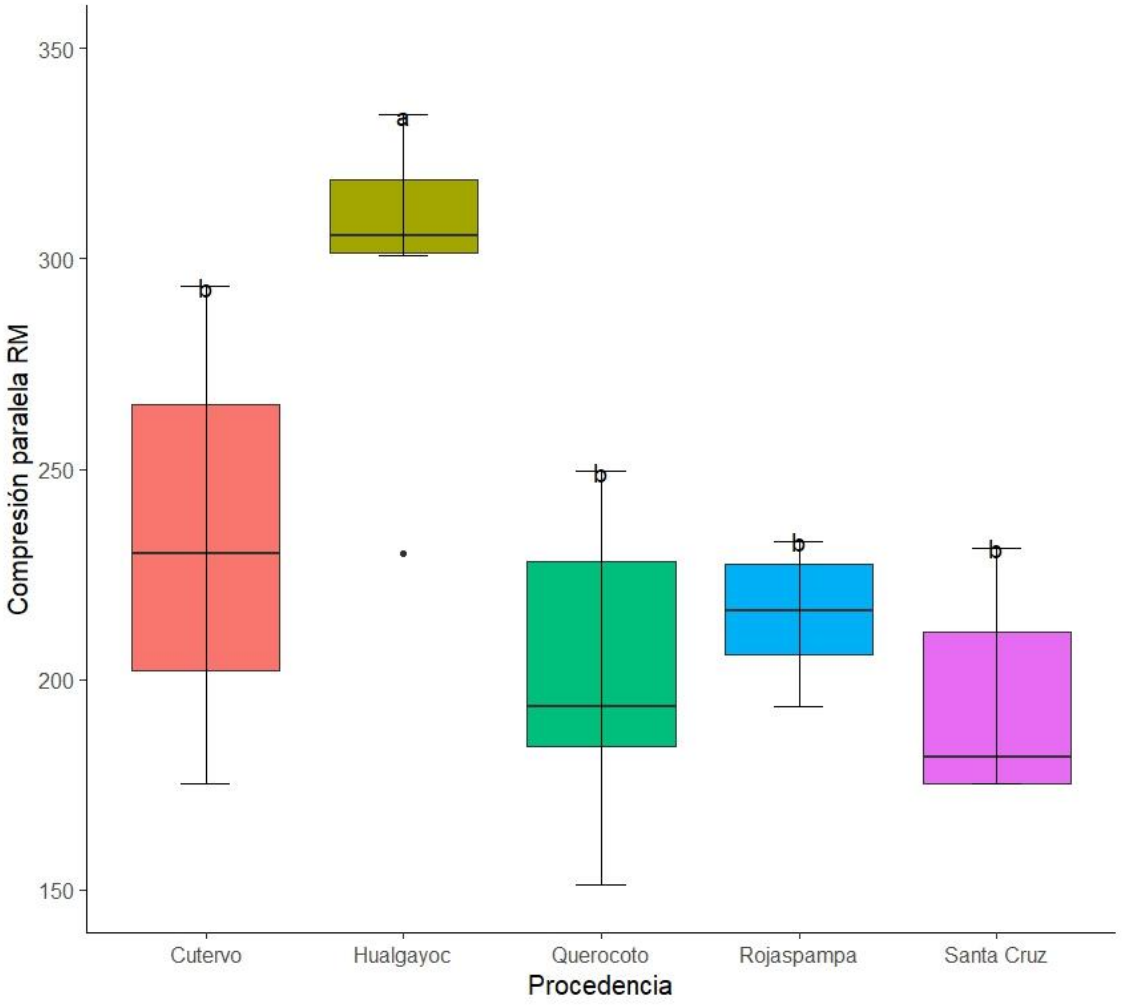
Tabla 23

Diferencias de medias según el lugar de procedencia.

LUGAR	Compresión paralela RM	Grupos	DCM
Hualgayoc	299.630	a	56.5194
Cutervo	233.101	b	
Rojaspampa	215.459	b	
Querocoto	201.344	b	
Santa Cruz	194.043	b	

Figura 16

Gráfica de boxplot de la compresión paralela RM de la madera de Alnus acuminata Kunth



Conforme a la figura 16 se visualiza que los promedios de la compresión paralela RM por lugar de procedencia, en el que se muestra la existencia de diferencias entre procedencias, aceptando la H1 y se rechaza la H0. corroborada por la diferencia de medias (Tabla 23).

Los resultados muestran que la compresión paralela de la procedencia Hualgayoc se diferencia significativamente de las demás procedencias, esto puede deberse a las características físicas de la muestra de la madera como por ejemplo la presencia de nudos; así como indica un estudio de esta propiedad, donde se observó el efecto del tamaño de las muestras y la presencia de nudos en la resistencia a la compresión (Totsuka et al., 2022).

Compresión perpendicular

Para comparar las medias de la compresión de forma perpendicular ELP referente a la madera de *A. acuminata*, procedente de cinco lugares diferentes, fue realizado un análisis denominado varianza el cual presentó un nivel referente a la significancia de 0.05, tal comparación se visualiza en la tabla 24.

Tabla 24

ANOVA para compresión perpendicular según la procedencia

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F-valor	p-valor
Lugar	4	355.7	88.93	7.757***	<0.001
Residuos	25	286.6	11.47		
Total	29	642.3			

Los resultados del ANOVA mostrados respecto a la tabla 25 permite indicar que existe diferencia de forma significativa (p-valor < 0.05) entre las medias de la compresión de forma perpendicular referente a la madera de *A. acuminata* de las cinco procedencias a un nivel de probabilidad del 95%. Las diferencias de medias según la prueba de TUKEY son presentadas en la tabla 25 y mostradas en la figura 17.

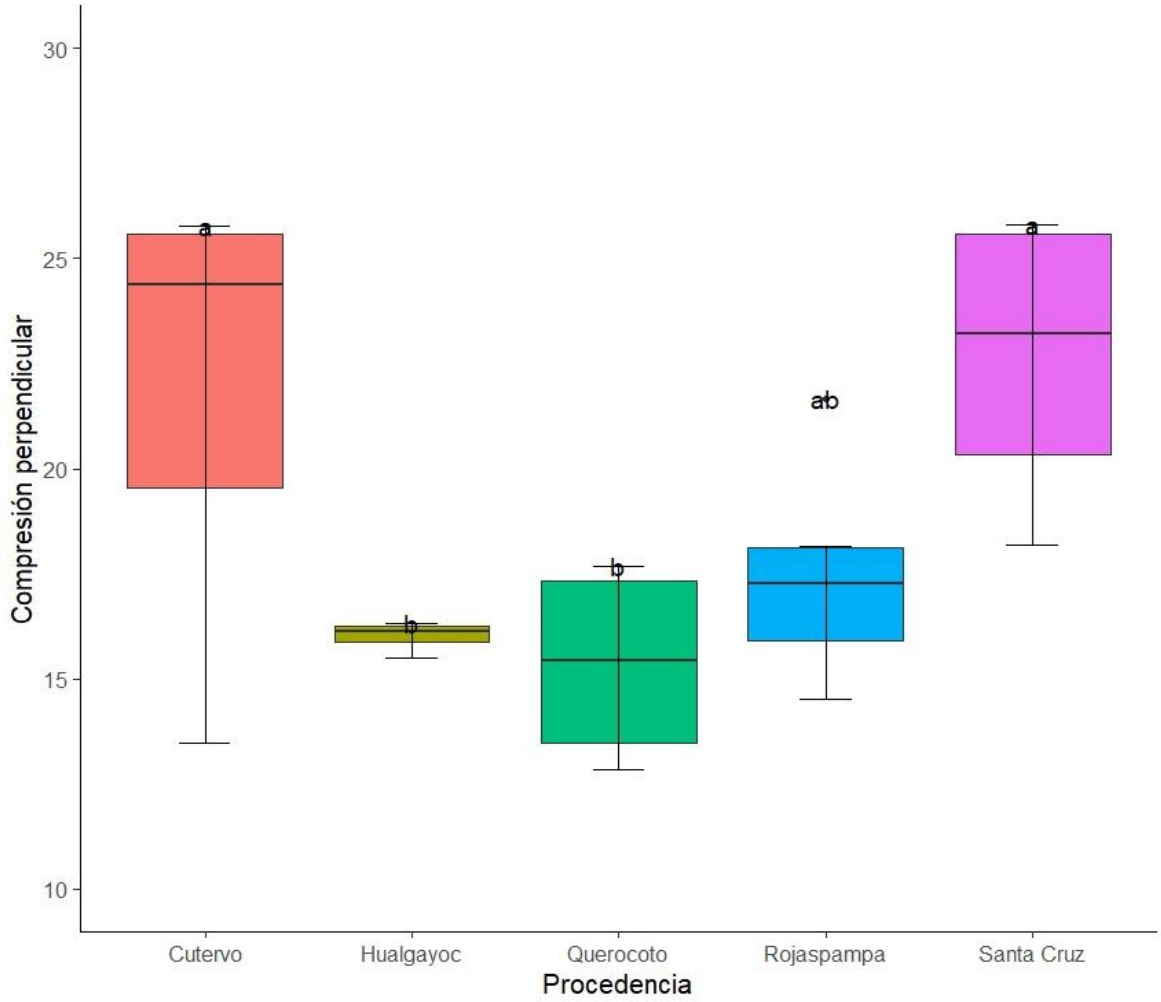
Tabla 25

Diferencias de medias según el lugar de procedencia.

LUGAR	Compresión perpendicular	Grupos	DCM
Santa Cruz	22.696	a	5.741
Cutervo	21.989	a	
Rojaspampa	17.428	ab	
Hualgayoc	15.010	b	
Querocoto	14.456	b	

Figura 17

Gráfica de boxplot de la compresión perpendicular de la madera de Alnus acuminata Kunth



A partir de la figura 17 se observa que los promedios de la compresión perpendicular, por lugar de procedencia, en el que se muestra la existencia de diferencias entre procedencias, aceptando la H1 y se rechaza la H0. corroborada por la diferencia de medias (Tabla 25). Podemos notar que Cutervo y Santa Cruz tienen una diferencia significativa en relación a las demás procedencias, esta propiedad es muy importante porque de ello depende para analizar su resistencia em relación entre longitud y diámetro; este factor puede deberse de acuerdo a su promedio de densidad o a la porosidad anatómica; así como indica un estudio de esta propiedad que la diferencia se debe a factores como la densidad y la difusión de madera o a que puede ser anularmente porosa, estas características son responsables de las

diferencias en el efecto respecto de la distancia al borde en los valores característicos entre las especies de madera (Suesada & Miyamoto, 2024).

Cizallamiento

En cuanto al cizallamiento, para realizar la comparación enfocada en las medias de la resistencia al cizallamiento referente a la madera de *A. acuminata*, procedente de cinco lugares diferentes, para lo cual se empleó el análisis de varianza con una significancia de 0.05.

Tabla 26

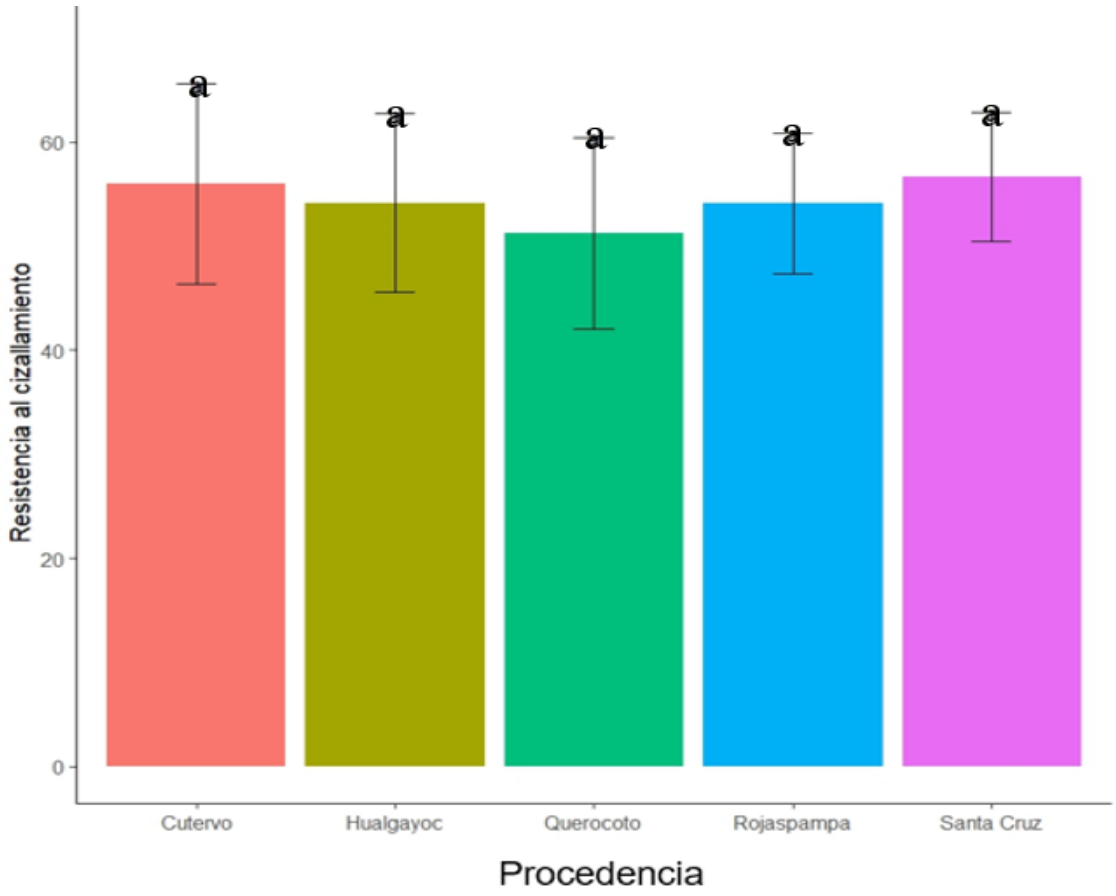
ANOVA para resistencia al cizallamiento según la procedencia

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F-valor	p-valor
Lugar	4	104	26.01	0.389	0.815
Residuos	25	1672	66.9		
Total	29	1776			

Los resultados del ANOVA mostrados en la tabla 26 señalan la no existencia de diferencia de ámbito significativo (p-valor < 0.05) entre las medias de la resistencia al cizallamiento de la madera de *A. acuminata* de las cinco procedencias a un nivel de probabilidad del 95%. Debido a ello ya no se realiza análisis de TUKEY, mostrando la figura 18 correspondiente al gráfico de medias.

Figura 18

Gráfica de medias del cizallamiento de la madera de Alnus acuminata Kunth



Mediante la figura 18 indica que no hay cambios significativos en la resistencia al cizallamiento de la madera de *A. acuminata* en las cinco procedencias, aceptando la H0, corroborada por la diferencia de medias. La ausencia de variaciones sustanciales podría atribuirse a la homogeneidad intrínseca de las características de forma mecánicas respecto a la madera dentro de la misma especie, independientemente del origen geográfico. La estructura de forma celular que posee la madera, que es constante dentro de las especies, tiene frecuentemente un mayor efecto sobre factores como la resistencia al cizallamiento que las variaciones geográficas en las localizaciones de las muestras. Estudios anteriores han demostrado que el clima, la edad de los árboles y la gestión silvícola pueden afectar a la resistencia mecánica de la madera (Maxwald et al., 2020), es probable que la heterogeneidad entre procedencias fuera insuficiente para tener una influencia sustancial en el cizallamiento.

Dureza

Es el resultado del promedio de los extremos y lados.

Promedio extremo

Mediante la tabla 27 se muestra la comparación referente a las medias de la dureza promedio extremo referente a la madera de *A. acuminata*, misma que procede de cinco lugares distintos, para esta comparación se empleó el análisis de varianza con una significancia de 0.05.

Tabla 27

ANOVA para dureza promedio extremo según la procedencia

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F-valor	p-valor
Lugar	4	8226	2056.5	3.179*	0.031
Residuos	25	16173	646.9		
Total	29	24399			

Los resultados del ANOVA mostrados en la tabla 27 señalan la existencia de diferencia de forma significativa (p-valor < 0.05) entre las medias de la dureza promedio extremo de la madera de *A. acuminata* de las cinco procedencias a un nivel de probabilidad del 95%. Las diferencias de medias según la prueba de TUKEY son presentadas en la tabla 28 y mostradas en la figura 19.

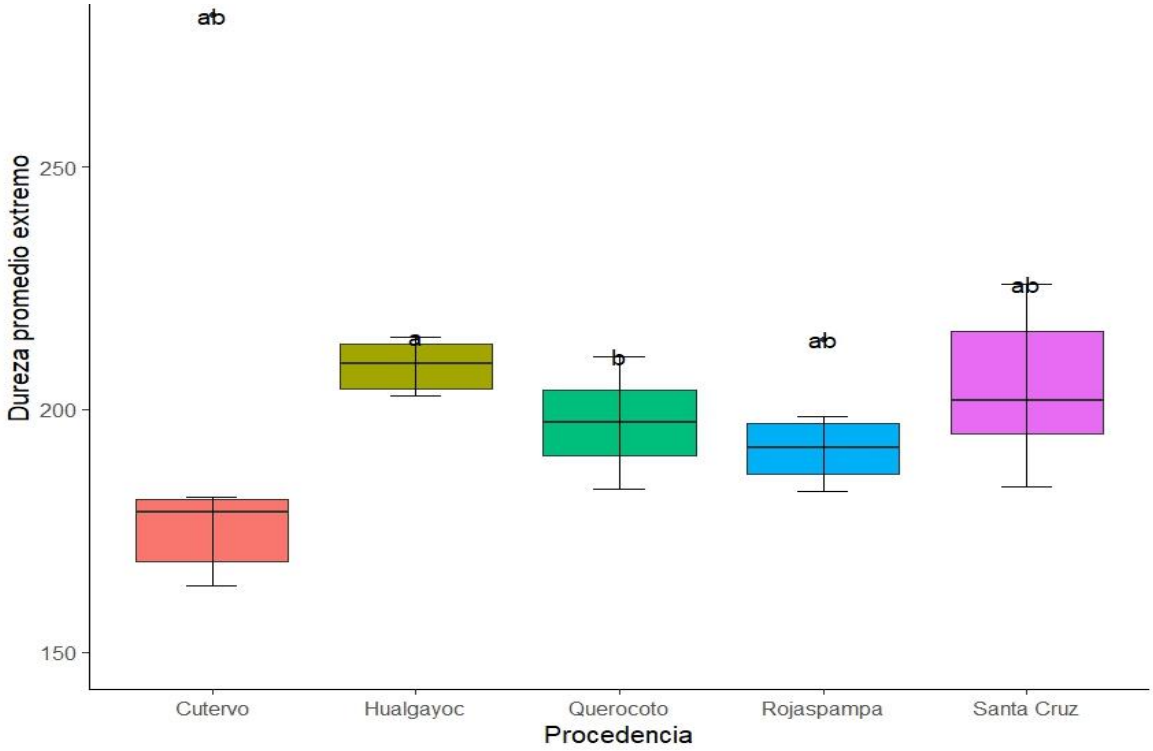
Tabla 28

Diferencias de medias según el lugar de procedencia.

LUGAR	Dureza promedio extremo	Grupos	DCM
Hualgayoc	209.030	a	43.127
Santa Cruz	204.572	ab	
Rojaspampa	194.327	ab	
Cutervo	191.720	ab	
Querocoto	161.705	b	

Figura 19

Gráfica de boxplot de la dureza promedio extremo de la madera de Alnus acuminata Kunth



En lo que respecta a la figura 18 se visualiza que los promedios de la dureza promedio extremo por lugar de procedencia, en el que se muestra la existencia de diferencias entre procedencias, aceptando la H1 y se rechaza la H0. corroborada por la diferencia de medias (Tabla 28). Notamos que Hualgayoc tiene diferencia significativa en relación a las demás procedencias, podemos deducir que puede deberse a las características de manera anatómicas y al espesor de la pared celular; un estudio realizado de esta propiedad nos dice que las maderas frondosas se caracterizan por tener poros, ya que su tamaño y la distribución son responsables de la textura de la madera. Las maderas tienen otros tres tipos de células (fibras, parénquima y radios), de los cuales las fibras son las más numerosas y forman la mayor parte de la madera en la mayoría de las especies y su espesor característico de la pared celular afecta la dureza y la densidad de la madera. Cuanto más gruesa sea la pared celular de la fibra, más fuerte y dura será la madera (Di Sallo & Cockle, 2024). Se pueden encontrar tanto en maderas duras como blandas según la escala Janka donde dice que a menor de 1000N es madera blanda y que a mayor de la misma es madera dura.

Dureza promedio lados

Para la comparación referente a las medias respecto a la dureza promedio de los lados que posee la madera de *A. acuminata*, procedente de cinco distintos lugares mostrados en la tabla 29, fue empleado el análisis conocido como varianza, así como un nivel de significancia de un valor de 0.05.

Tabla 29

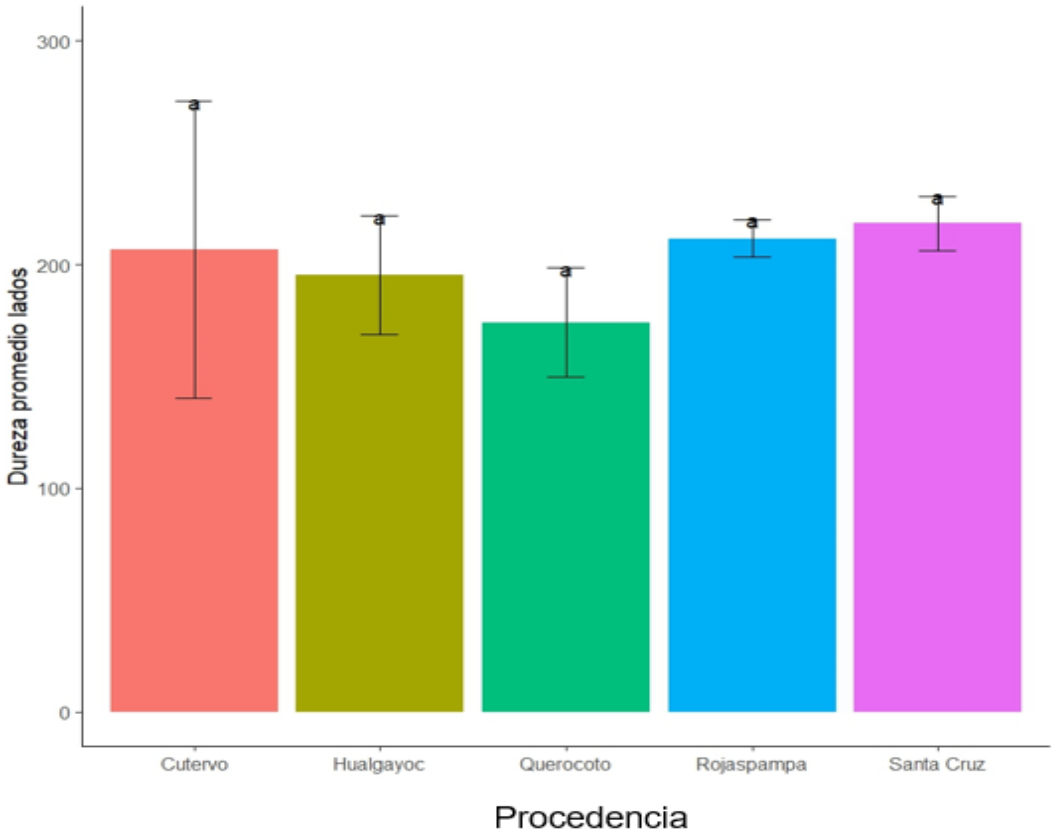
ANOVA para dureza promedio lados según la procedencia

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F-valor	p-valor
Lugar	4	7220	1805	1.526	0.225
Residuos	25	29561	1182		
Total	29	36781			

Los resultados del ANOVA mostrados en la tabla 29 señalan que no existe diferencia de forma significativa (p-valor < 0.05) entre las medias de la dureza promedio lados de la madera de *A. acuminata* de las cinco procedencias a un nivel de probabilidad del 95%. Debido a ello ya no se realiza análisis de TUKEY, mostrando la figura 20 correspondiente al gráfico de medias.

Figura 20

Gráfica de medias de la dureza promedio lados de la madera de Alnus acuminata Kunth



La figura 20 demuestra que no existen variaciones significativas en la dureza media de las caras de la madera de *A. acuminata* entre las cinco procedencias, por tanto, se acepta H0, corroborada por la diferencia de medias. La ausencia de cambios sustanciales en la dureza media de las superficies podría explicarse por la gran homogeneidad de las propiedades de la madera, independientemente de su origen geográfico. La dureza que se presenta en la madera es considerada como una cualidad, la cual depende en gran medida de la estructura celular y de la composición química de la madera. Estos parámetros suelen ser estables dentro de una misma especie, independientemente del lugar de crecimiento. Además, es posible que factores considerados ambientales como la temperatura, así como la humedad y además el tipo de suelo no hayan diferido sustancialmente en las cinco regiones de muestreo como para provocar cambios significativos en la dureza. Mientras que la temperatura, la edad de los árboles o los métodos de gestionamiento forestal pueden influir en la dureza de la madera, las siguientes variables pueden influir en la dureza de la madera (Areo, 2021).

Flexión estática MOR

Para comparar las medias de la flexión de forma estática MOR referente a la madera de *A. acuminata*, procedente de cinco lugares distintos se ejecutó el análisis respecto a la varianza el cual posee un nivel de significancia de un valor de 0.05.

Tabla 30

ANOVA para flexión estática MOR según la procedencia

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F-valor	p-valor
Lugar	4	55522	13880	4.350**	0.008
Residuos	25	79763	3191		
Total	29	135285			

Los resultados del ANOVA mostrados en la tabla 30 señalan la existencia de diferencia de forma significativa (p-valor < 0.05) entre las medias de la flexión estática MOR que presenta la madera de *A. acuminata* de las cinco procedencias a un nivel de probabilidad del 95%. Las diferencias de medias según la prueba de TUKEY son presentadas en la tabla 31 y mostradas en la figura 21.

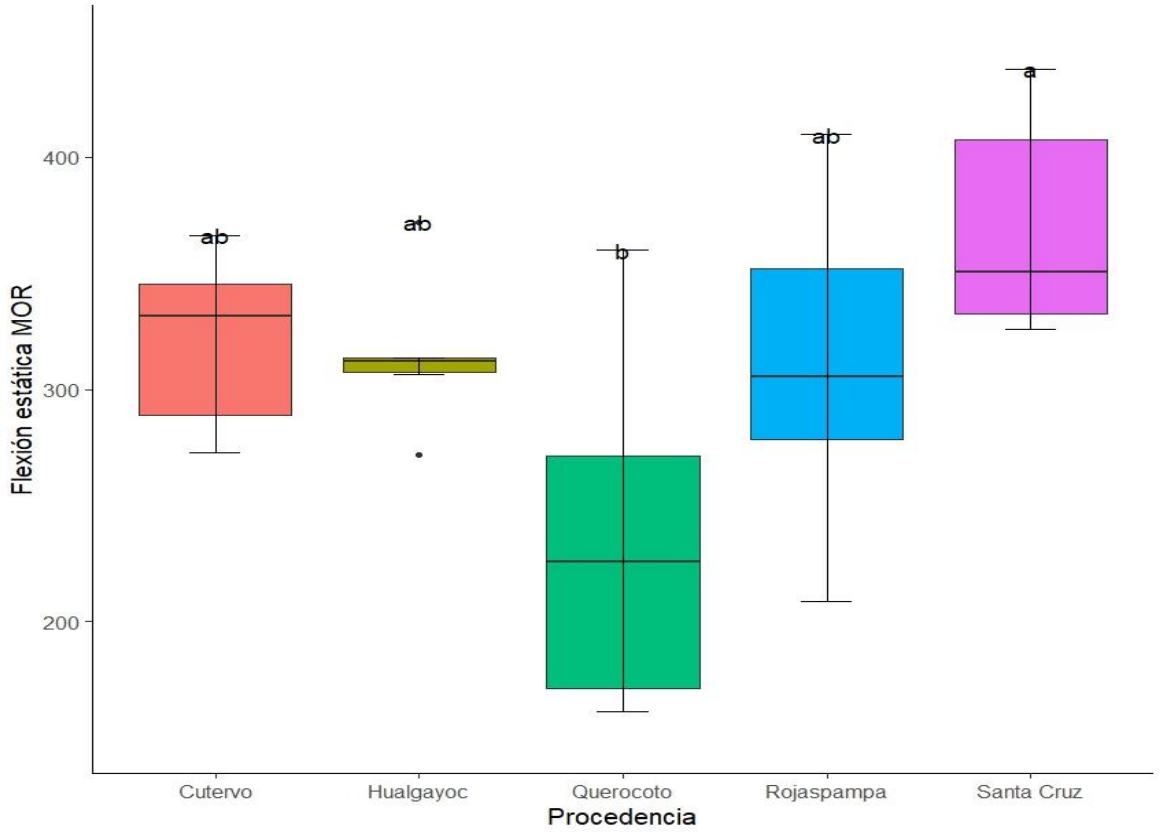
Tabla 31

Diferencias de medias según el lugar de procedencia.

LUGAR	Flexión estática MOR	Grupos	DCM
Santa Cruz	369.544	a	95.776
Cutervo	321.155	ab	
Hualgayoc	314.702	ab	
Rojaspampa	311.038	ab	
Querocoto	235.426	b	

Figura 21

Gráfica de boxplot de la flexión estática MOR de la madera de Alnus acuminata Kunth



En la figura 20 se visualiza que los promedios referentes a la flexión de forma estática MOR extremo por lugar de procedencia, en el que se muestra la existencia de diferencias entre procedencias, aceptando la H1 y se rechaza la H0. corroborada por la diferencia de medias (Tabla 31). Se apreció que Santa Cruz tiene diferencia significativa en relación a las demás procedencias, podemos deducir que se debe al porcentaje de contenido de humedad y los patrones de crecimiento de dicha especie; un estudio realizado de esta propiedad nos dice que el contenido de humedad (CM) y su variación tienen una influencia de manera significativa en las diferencias de la madera de diversas procedencias, así mismo depende de los patrones de crecimiento y también de su altitud como dela orientación de la muestra (Dong et al., 2021).

Flexión estática ELP

La comparación respecto a las medias de la flexión estática ELP que posee la madera de *A. acuminata*, procedente de cinco lugares diferentes fue realizado a través del análisis considerado de varianza el cual posee un nivel de significancia de alrededor de 0.05 (Tabla

32).

Tabla 32

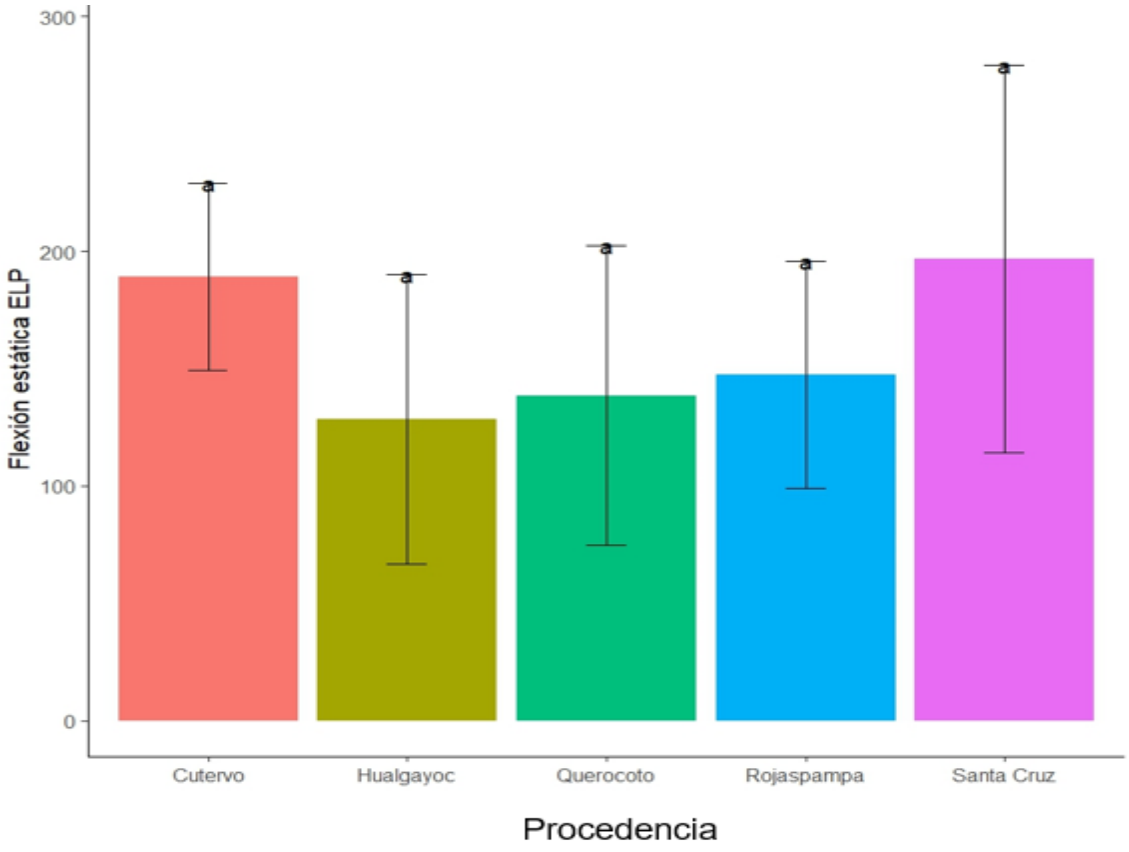
ANOVA para flexión estática ELP según la procedencia

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F-valor	p-valor
Lugar	4	22847	5712	1.534	0.223
Residuos	25	93076	3723		
Total	29	115923			

Los resultados del ANOVA mostrados en la tabla 32 señalan que no existe diferencia de forma significativa (p-valor < 0.05) entre las medias de la flexión de forma estática ELP que posee la madera de *A. acuminata* de las cinco procedencias a un nivel de probabilidad del 95%. Debido a ello ya no se realiza análisis de TUKEY, mostrando la figura 22 correspondiente al gráfico de medias.

Figura 22

Gráfica de medias de la flexión estática ELP de la madera de Alnus acuminata Kunth



La figura 22 demuestra que la flexión de forma estática ELP respecto a la madera de A. Acuminata de las cinco procedencias no difiere significativamente, aceptando la H0, corroborada por la diferencia de medias. A pesar de las variaciones regionales, las

características mecánicas de la madera de *A. Acuminata* son bastante consistentes, lo que puede explicar la ausencia de variaciones notables. La flexión estática ELP está determinada principalmente por elementos estructurales que son intrínsecos a la especie y no cambian significativamente entre regiones de cultivo, como la disposición de las fibras, así como la densidad y la lignificación de la madera. Además, es posible que las circunstancias ambientales en los lugares medidos no fueran lo suficientemente diferentes como para tener un impacto notable en la resistencia referente a la flexión que presenta la madera (Bazli et al., 2022; Galos et al., 2022).

Flexión estática MOE

A partir de la tabla 33 se observa el análisis respecto a la varianza, mismo que se realizó para la comparación de promedios de la flexión estática MOE respecto a la madera de *A. acuminata*, procedente de cinco diferentes lugares, esto con una significancia de 0.05.

Tabla 33

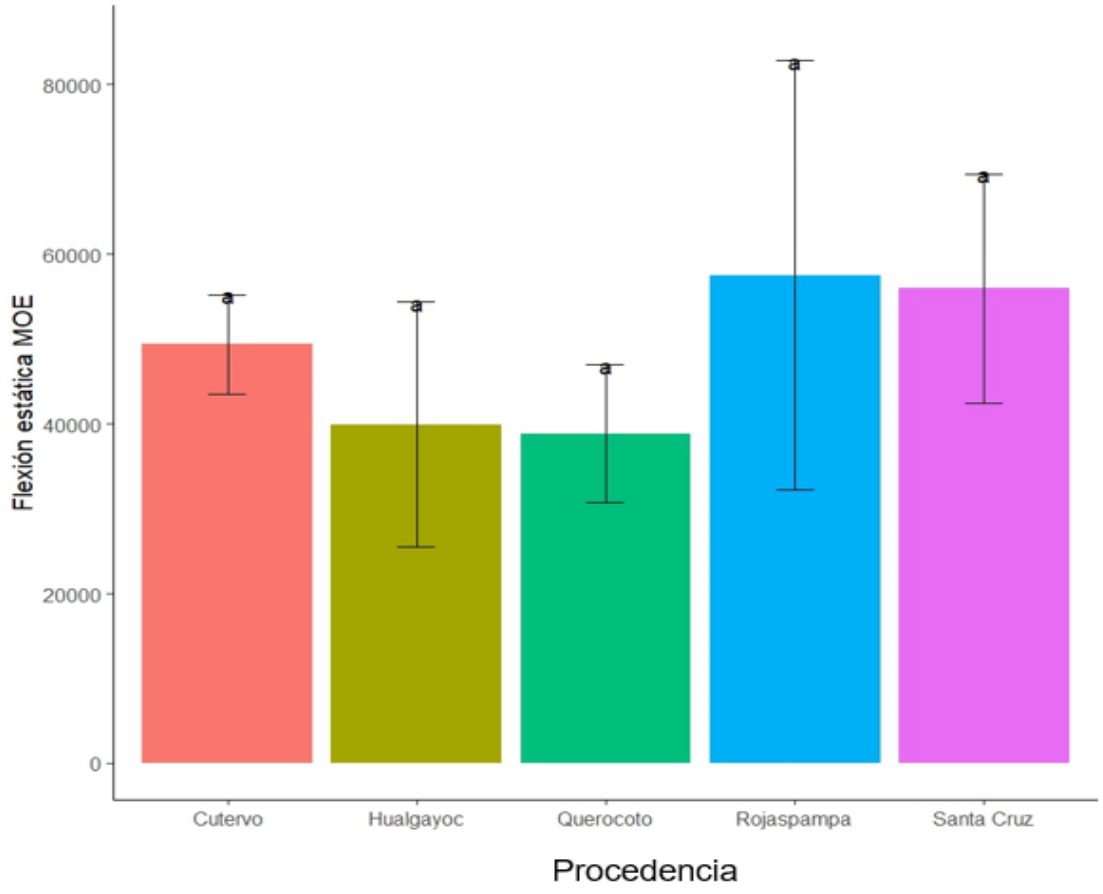
ANOVA para flexión estática ELP según la procedencia

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F-valor	p-valor
Lugar	4	22847	5712	1.534	0.223
Residuos	25	93076	3723		
Total	29	115923			

Los resultados del ANOVA mostrados en la tabla 33 permiten señalar que no existe diferencia de forma significativa (p-valor < 0.05) entre las medias de la flexión estática MOE pertenecientes a la madera de *A. acuminata* de las cinco procedencias a un nivel de probabilidad del 95%. Debido a ello ya no se realiza análisis de TUKEY, mostrando la figura 23 correspondiente al gráfico de medias.

Figura 23

Gráfica de medias de la flexión estática MOE de la madera de Alnus acuminata Kunth



El MOE de flexión estática de la madera de *A. acuminata* no cambia significativamente entre las cinco procedencias, como se muestra en la Figura 23, y se acepta la H0. La notable uniformidad de los rasgos estructurales de la madera de *A. acuminata*, independientemente de su origen, puede explicar la ausencia de variaciones notables. La rigidez, la densidad y la disposición celular de las fibras de madera que suelen ser bastante uniformes dentro de la misma especie son los principales determinantes del módulo de elasticidad (Vellanikkara, 2020).

Tensión perpendicular

A través de la tabla 34 se visualiza la comparación respecto a las medias de la tensión perpendicular de la madera de *A. acuminata*, procedente de cinco lugares diferentes, esta comparación se realizó a través del análisis respecto a la varianza el cual se presenta con un nivel enfocado en la significancia de un valor de 0.05.

Tabla 34

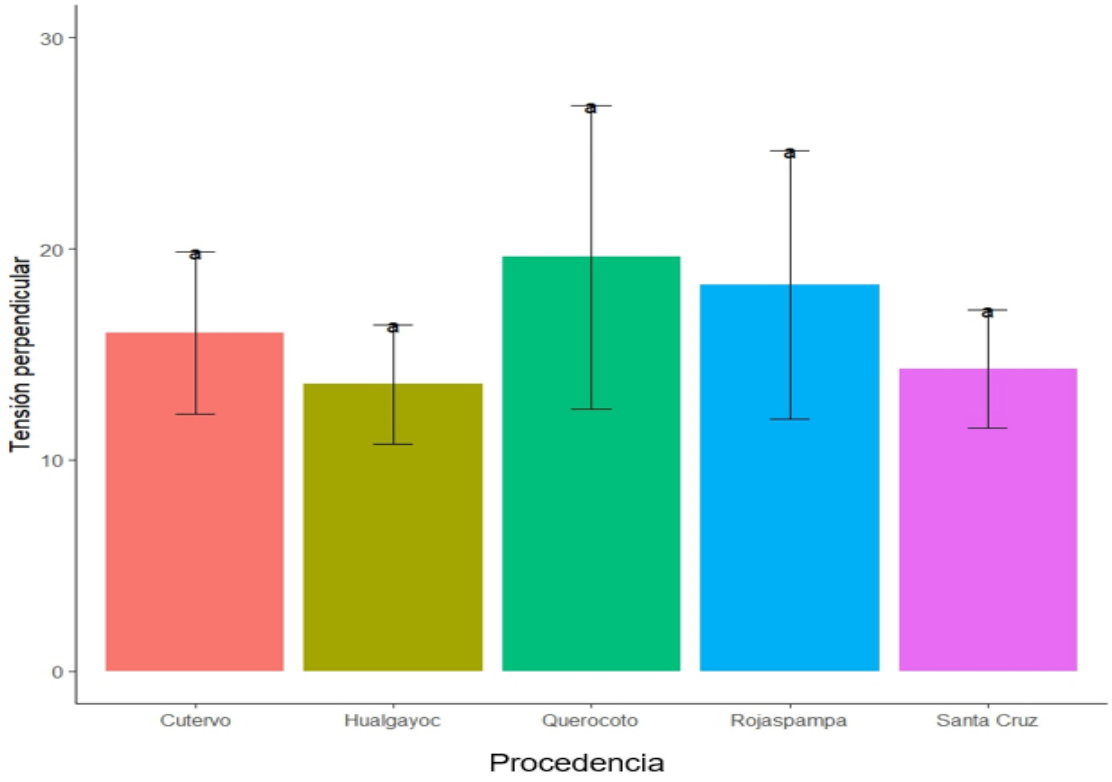
ANOVA para tensión perpendicular según la procedencia

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F-valor	p-valor
Lugar	4	157.60	39.4	1.607	0.204
Residuos	25	613.10	24.52		
Total	29	770.70			

Los resultados del ANOVA mostrados en la tabla 34 señalan la no existencia de diferencia significativa (p-valor < 0.05) entre las medias de la tensión perpendicular de la madera de *A. acuminata* de las cinco procedencias a un nivel de probabilidad del 95%. Debido a ello ya no se realiza análisis de TUKEY, mostrando la figura 24 correspondiente al gráfico de medias.

Figura 24

Gráfica de medias de la tensión perpendicular de la madera de Alnus acuminata Kunth



La notable uniformidad de las características estructurales de la especie explica por qué no hay variaciones notables en la tensión perpendicular de la madera de *A. acuminata* en las cinco procedencias, por tanto, se acepta H0, corroborada por la diferencia de medias. Los principales determinantes de la tensión perpendicular son la lignificación de la madera y la organización de las fibras, rasgos que son en su mayor parte constantes entre las especies, independientemente del origen geográfico (Jakhar, 2024). Además, es posible que no hubiera suficientes diferencias en las circunstancias ambientales entre los lugares examinados como para producir variaciones notables en esta característica.

La madera de *A. acuminata* Kunth presenta una resistencia a la tensión perpendicular promedio de 16,37 kg/cm², una resistencia al cizallamiento de 54,40 kg/cm², un valor considerablemente alto que indica una buena capacidad para soportar fuerzas que actúan de forma paralela, asimismo en el ensayo de flexión estática, presenta un módulo de ruptura de 310,4 kg/cm² y un módulo de elasticidad de 48317,3 kg/cm², lo que indica una alta resistencia a la flexión y una buena capacidad para soportar deformaciones, y la dureza promedio fue de 195,81 kg, con un valor ligeramente mayor en los lados (201,16 kg) que en los extremos (192,27 kg).

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de la evaluación de las propiedades físicas que posee la madera de *Alnus acuminata* Kunth con dimensiones aserrables de cinco procedencias del departamento de Cajamarca demostraron una humedad promedio de 127% y densidad básica promedio de 0,34 g/cm^3, lo cual determina una clasificación blanda de la madera. Asimismo, López, (2006) indica que el aliso puede utilizarse en tejas debidamente preservadas, carpintería de obra no estructural, mueblería y cajonería liviana. Adicionalmente, los resultados del estudio de *Alnus acuminata* en Cajamarca mostraron diferencias significativas en propiedades como densidad básica, contracción volumétrica y compresión paralela ELP entre las diferentes ubicaciones de muestreo, estas variaciones en propiedades físicas y mecánicas son consistentes con hallazgos en investigaciones previas sobre otras especies en distintas regiones. Por ejemplo, en la investigación de Ticahuanca et al. (2020) estableció que la *Cedrela odorata* L. en Puno presentó una clasificación como madera de densidad básica baja, mientras que, el estudio de Díaz et al. (2019) categorizó a la especie *Miconia amazónica* y *Erithrina ulei* como maderas muy estables en un nivel de grado I, por lo que también encontraron diferencias en propiedades como densidad y anatomía de la madera. Estas discrepancias pueden atribuirse a factores como la variabilidad genética, condiciones ambientales y prácticas de manejo forestal en las diferentes ubicaciones de estudio. Además, la presencia de diferencias significativas en propiedades como densidad básica y contracción volumétrica en *Alnus acuminata* en Cajamarca resalta la importancia de considerar la procedencia de la madera al evaluar su idoneidad para diferentes usos. Estos resultados sugieren que la madera de *Alnus acuminata* de diferentes ubicaciones puede presentar variaciones en su calidad y comportamiento mecánico, lo que puede influir en su aplicabilidad en distintas industrias, como la construcción, carpintería y fabricación de muebles. Comparando con el estudio de Condor y Pardo (2021) se obtuvo un contenido de humedad de 131,85 % para *P. radiata* y un contenido de humedad de 136,80 % para *P. patula,* asimismo contenían una densidad seca de 0,86 g/cm3, también una contracción volumétrica de 13.75 % para ambas plantas, por lo cual, estas propiedades físicas resultaron similares que *Alnus acuminata,* lo cual permite clasificarlas como madera blanda de baja densidad, pero se puede utilizar para estructurales generales, manufactura de cajas y contenedores grandes, tablillas para el techado y ensambladura de bajo costo. De igual forma *Alnus acuminata* presentó propiedades físicas similares comparando con el estudio de Ruiz

et al. (2020) que evidenció que la madera de *Q. macdougallii* en Oaxaca, México tenía una densidad de 0,55 g/cm^3 en albura determinando una clasificación moderadamente pesada.

Los resultados de las propiedades mecánicas del estudio de la madera de *Alnus acuminata* de cinco procedencias en Cajamarca revelaron una contracción radial de 5,15%, tangencial de 7,35%, volumétrica de 11,83% y longitudinal de 0,13%. Estos valores son comparables a los encontrados por Condor y Pardo (2021) para *Pinus patula* en la misma localidad, con una contracción radial de 4,98% y 4,87%, contracción tangencial 6.91 % Y una contracción volumétrica de 13,75% y 14,75%. Sin embargo, la contracción tangencial de *Alnus acuminata* es ligeramente mayor que la de *Pinus patula*. Esto podría deberse a diferencias en la estructura anatómica de las dos especies, como la distribución de los vasos y las fibras. Por otro lado, la dureza de la madera de *Alnus acuminata* en Cajamarca es de 192,27 kg en los extremos y 201,16 kg en los lados, estos valores son superiores a los encontrados por Sueros (2017) para la madera de *Bolaina Blanca* en edades de 4, 5 y 6 años, con una dureza promedio de 144,4 kg.

En relación con la flexión estática la madera de *Alnus acuminata* en Cajamarca presenta un módulo de ruptura (MOR) de 310,4 kg/cm², un módulo de elasticidad (MOE) de 48317,3 kg/cm² y un esfuerzo al límite proporcional (ELP) de 160,1 kg/cm². Estos valores son comparables a los encontrados por Sueros (2017) para la madera de *Guazuma crinita* (Bolaina Blanca) en edades de 4, 5 y 6 años, con un MOR de 489,1; 456,1 y 449,8 kg/cm², un MOE de 69,4; 65,3 y 66,6 kg/cm² y un ELP de 334,3; 313,9 y 216,4 kg/cm² respectivamente. Sin embargo, la madera *de Alnus acuminata* presenta un MOE significativamente mayor que la *Bolaina Blanca*, lo que indica una mayor rigidez, que podría ser una ventaja para aplicaciones donde la madera necesita soportar cargas pesadas sin deformarse. Sobre la compresión la madera de *Alnus acuminata* presenta una resistencia a la compresión perpendicular de 18,32 kg/cm², una resistencia a la compresión paralela al grano de 108,31 kg/cm², un esfuerzo al límite proporcional a la compresión axial de 228,72 kg/cm² y un módulo de elasticidad a la compresión de 47,53 kg/cm², estos valores son comparables a los encontrados por Condor y Pardo (2021) para la madera de *Pinus patula* en Cajamarca, con una resistencia a la compresión perpendicular de 56,33 kg/cm², una resistencia a la compresión paralela al grano de 148,90 kg/cm² y un módulo de elasticidad a la compresión de 137,86 kg/cm².

Los resultados del análisis de varianza con un nivel de probabilidad del 95% indican que existe diferencia significativa entre las diferentes procedencias para densidad básica, contracción, compresión paralela y perpendicular, dureza (promedios extremos), flexión estática MOR; en tanto que no se identificó diferencia significativa para contenido de humedad, cizallamiento, dureza promedio lados, tensión perpendicular, flexión estática ELP y MOE. Estas diferencias pueden deberse a las características genéticas de la especie, ambientales del lugar de procedencia o incluso al manejo silvicultural al que puede haber estado sometido la especie.

Por último, *Alnus acuminata* presenta una resistencia a la tensión perpendicular de 16,37 kg/cm² y una resistencia al cizallamiento de 54,40 kg/cm², cuyos valores son comparables a los encontrados por Condor y Pardo (2021) para la madera de *Pinus patula* en Cajamarca, con una resistencia a la tensión perpendicular de 29,39 kg/cm² en el radial y 49,75 kg/cm² en el tangencial, y una resistencia al cizallamiento de 100,03 kg/cm².

Los hallazgos del estudio sobre la madera de *Alnus acuminata* en Cajamarca mostraron variaciones en propiedades como densidad, resistencia a la compresión y tasas de contracción entre diferentes ubicaciones. Esto concuerda con estudios sobre otras especies de madera realizados en diversas regiones, como *Cedrela odorata* en Pampa Alegre, Puno, y *Miconia amazónica* en Puno, que también encontraron diferencias en propiedades como densidad y características anatómicas. Además, los estudios sobre *Pinus patula* y Aliso en diferentes regiones han resaltado variaciones en las propiedades mecánicas y características anatómicas según la altitud y la ubicación. Estas comparaciones sugieren que las variaciones en las propiedades de la madera entre diferentes especies y regiones son comunes y están influenciadas por varios factores.

Las diferencias significativas en los ensayos pueden deberse a variaciones reales en las propiedades de la madera de diferentes procedencias, como se observa en los análisis de contracción tangencial, contracción volumétrica, densidad básica, y compresión paralela. Por otro lado, factores como el manejo forestal, condiciones del suelo, y otros aspectos pueden influir en las propiedades de la madera, como se discutió en estudios previos sobre especies como *Cedrela odorata y Miconia amazónica*. Estas diferencias pueden manifestarse en algunos ensayos y no en otros debido a la sensibilidad de cada prueba para detectar variaciones específicas en las propiedades de la madera, así como a la variabilidad natural de los materiales estudiados.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- El análisis de varianza con un nivel de probabilidad del 95% permitió identificar que la procedencia Rojaspampa presentó valores significativamente superiores para densidad básica, contracción tangencial, volumétrica y longitudinal; en tanto que la procedencia Hualgayoc fue significativamente superior para dureza promedio extremo, compresión paralela ELP, MOE y RM; del mismo modo la procedencia Cutervo y Santa Cruz arrojó valores superiores para compresión perpendicular, así mismo, la procedencia Santa Cruz alcanzó valores mayores en flexión estática MOR; finalmente, no se identificaron diferencias significativas entre las cinco procedencias para contenido de humedad, cizallamiento, dureza promedio lados, flexión estática ELP y MOE, y tensión perpendicular.
- Entre las propiedades físicas de la madera de *Alnus acuminata* Kunth de cinco procedencias analizadas, en promedio la humedad fue de 127%, densidad básica de 0,39 g/cm^3, y contracción de 5,15%; 7,35%; 11,83%; 0,13% para radial, tangencial, volumétrica y longitudinal respectivamente, lo que permite clasificarlo dentro del grupo de maderas blandas.
- En general la madera de *Alnus acuminata* de cinco procedencias del departamento de Cajamarca presenta buenas propiedades mecánicas, con una buena resistencia a la flexión estática, a la compresión, a la tensión y al cizallamiento, por lo que también es relativamente dura.
- En promedio se obtuvo una compresión perpendicular de 18,32 kg/cm^2, compresión paralela de 108,31 kg/cm^2, 228,72 kg/cm^2 y 47,53 kg/cm^2 para esfuerzo al límite proporcional, resistencia máxima por compresión axial y módulo de elasticidad respectivamente. Por otro lado, la tensión perpendicular fue 16,37 kg/cm^2, el cizallamiento fue 54,40 kg/cm^2. Además, la flexión estática fue 160,1 kg/cm^2, 310,4 kg/cm^2 y 48317,3 kg/cm^2 para esfuerzo al límite proporcional, módulo de ruptura y módulo de elasticidad respectivamente. Mientras que la dureza fue 192,27 kg y 201,16 kg para promedio extremos y promedio lados cada uno.
- Las propiedades mecánicas de la madera de *Alnus acuminata* son comparables a las de otras maderas blandas como la Bolaina Blanca y el Pino patula. La madera de

Alnus acuminata tiene una mayor rigidez que la *Bolaina Blanca*, pero una menor resistencia a la compresión perpendicular que el *Pinus patula*.

- Según los resultados obtenidos, las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Alnus acuminata* la convierten en una opción adecuada para una variedad de aplicaciones, como la construcción, la carpintería, la fabricación de muebles, la elaboración de instrumentos musicales, incluso apta para la producción de pulpa y papel.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar estudios tecnológicos de la madera de aliso con muestreo más extenso abarcando las diferentes zonas edafoclimáticas de distribución en el territorio peruano. Esto permitiría conocer los factores climáticos, edafológicos, ecológicos, y genéticos que afectan el crecimiento del aliso y en consecuencia su efecto en las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Estos estudios ayudarían a identificar zonas con mayor potencial de productividad y calidad de la madera de aliso.
- Establecer estudios anatómicos para la especie *Alnus acuminata* Kunth procedente de Cajamarca para evaluar el efecto de los factores intrínsecos estructurales de la madera como madera juvenil y madera de tensión con relación a las diferentes edades.
- Realizar un estudio comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de diferentes especies con factor de importancia en la localidad de Cajamarca como valor económico y cultural, servicios ecosistémicos y carácter endémico.
- Difundir esta investigación a las industrias madereras y a todas las personas que trabajen con madera de *Alnus acuminata* Kunth.
- Optar por un buen criterio en la elección de las parcelas, así mismo en la medición de DAP y en el inventario forestal porque de ello depende un eficiente resultado de las muestras de estudio.
- Hacer un buen análisis estadístico e investigar y comparar porque existen diferencias significativas o no existen diferencias algunas en las distintas procedencias de un estudio.

CAPÍTULO VII. REFERENCIAS

Adhikari, S., & Ozarska, B. (2018). Minimizing environmental impacts of timber products through the production process “From Sawmill to Final Products”. *Environmental Systems Research*, *7*(1), 6. https://doi.org/10.1186/s40068-018-0109-x

Agualzaca, D. O. (2021). *Evaluación del vigor vegetal de Alnus acuminata Kunth (Aliso) aplicando dos métodos no destructivos: Índice normalizado diferencial de vegetación (NDVI) e índice de robustez (IR).* http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/15874

Aguilar, J. M. E., Cabrera, N., Barrios, B., Loeza, J. M., Aguilar, J. M. E., Cabrera-Barbecho, N., Barrios-Díaz, B., & Loeza-Corte, J. M. (2020). Efecto de onda y fenómeno de timidez en bosques homogéneos de *Alnus acuminata*. *Madera y bosques*, *26*(1). https://doi.org/10.21829/myb.2020.2611939

Areo, O. (2021). Wood properties and natural durability of Artocarpues altilis (Parkinson EX FA Zorn) Fosberg. Ibadan: University of Ibadan. Obtenido de http://hdl.handle.net/123456789/1277

Armijos, A., Alvarado, J., Quito, J., León, T., Guamán, L., & Pucha, D. (2017). Anatomía de la madera de diez especies forestales de bosque andino del sur del Ecuador. *CEDAMAZ*, *7*(1), Art. 1. https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/375

Aucanshala, J. D. (2021). *Efecto de Trichoderma spp. En el desarrollo de dos especies forestales aliso (Alnus acuminata), eucalipto (Eucalyptus globulus) a nivel de vivero forestal en la ESPOCH.* http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/15832

Aulestia, E., Jiménez, L., Quizhpe-Palacios, J., & Capa-Mora, D. (2018). *Alnus acuminata kunth*: Una alternativa de reforestación y fijación de dióxido de carbono. *Bosques Latitud Cero*, *8*(2), Art. 2. https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/495

Aylas Chuquillanqui, R. A., & Bendezú Soto, J. O. (2008). Anatomía, propiedades físicas y mecánicas de matisia bicolor Ducke (Malvaceae) y Myrcianthes fragans (Sw.)

McVaugh (Myrtaceae) comunidad nativa Coriteni Tarso—Satipo. *Universidad Nacional del Centro del Perú*. http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/2565

Bajpai, P. (2018). Chapter 7—Properties of Wood. En P. Bajpai (Ed.), *Biermann's Handbook of Pulp and Paper (Third Edition)* (pp. 215-232). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814240-0.00007-0

Barrientos Choque, L. R., & Luza Sequeiros, R. G. (2018). Determinación de las propiedades físico mecánicas de la madera zapote procedente de Puerto Maldonado para la identificación de sus posibles usos estructurales según la norma técnica peruana E. 010. *Universidad Andina del Cusco*. http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/2501

Boakye, E. A., Mvolo, C. S., & Stewart, J. (2023). Systematic review: Climate and non-climate factors influencing wood density in the boreal zone. *BioResources, 18*(4), 8757-8770. https://doi.org/10.15376/biores.18.4.Boakye

Buestan, K. J. T., Cortez, P. S. Á., Valdez, K. M. G., Robalino, D. A. R., & Ruiz, J. E. L. (2022). Coeficiente de cultivo (kc) de *alnus acuminata* (aliso) en etapa de vivero. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, *7*(2), 32.

Campos, J., & Leite, H. (2017). *Mensuração florestal perguntas e respostas*. Doceru.com. https://doceru.com/doc/c085c5x

Cartuche, K., & Pucha Cofrep, D. (2022). *Caracterización de la madera de 95 especies forestales del sur de Ecuador con base a sus propiedades físicas, organolépticas y anatómicas*. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19122.68809

Castro, J. A., & Paternina, M. J. (2020). *Análisis sobre las propiedades físicas y mecánicas de la madera teca (tectona grandis)*. https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/3514

Chumbimune, S. Y. (2018). Caracterización anatómica y propiedades físicas de la madera de Ulcumano (Retrophyllum rospigliosii) de una plantación de 32 años asociada con

café en Villa Rica, Perú. *Instituto Nacional de Innovación Agraria*. https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/733

Condor, J., & Pardo, O. (2021). CARACTERIZACIÓN DE LA ANATOMÍA, PROPIEDADES FÍSICO- MECÁNICAS Y QUÍMICAS DE Pinus radiata D.Don Y Pinus patula Schiede ex Schltdl. & Cham. – CAJAMARCA". *Universidad Nacional Del Centro Del Centro De Posgrado*, 10-11.

Cóndor Mango, J. A., & Pardo Navarro, O. Y. (2021). *Caracterización de la anatomía, propiedades físicomecánicas y químicas de Pinus radiata D.Don y Pinus patula Schiede ex Schltdl. & Cham. – Cajamarca*. http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7045

Condori, P. (2020). *Niveles de investigación*. https://www.aacademica.org/cporfirio/17

Cueva, R. J., & Iannacone, J. (2015). Propuesta para la creación del área de conservación regional: Reserva ecológica paisajística Cordillera Mishahuanga, Cajamarca, Perú. *Cátedra Villarreal*, *3*(1), Art. 1. https://doi.org/10.24039/cv20153146

Cyamweshi, A. R., Kuyah, S., Mukuralinda, A., & Muthuri, C. W. (2021). Potential of Alnus acuminata based agroforestry for carbon sequestration and other ecosystem services in Rwanda. *Agroforestry Systems*, *95*(6), 1125-1135. https://doi.org/10.1007/s10457-021-00619-5

Daniel, G. (2016). Chapter 15—Microscope Techniques for Understanding Wood Cell Structure and Biodegradation. En Y. S. Kim, R. Funada, & A. P. Singh (Eds.), *Secondary Xylem Biology* (pp. 309-343). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802185-9.00015-2

Dávila, L. (2019). *Identificación, aspectos morfológicos y fenológicos de las especies forestales nativas en el valle de Cajamarca* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3169?show=full

Di Sallo, F. G., & Cockle, K. L. (2024). Wood hardness drives nest-site selection in woodpeckers of the humid Chaco. *Ornithology, ukae055*. https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ornithology/ukae055

Díaz A, A., Huanay C, J., Medina H, R., Aylas M, A., & Paucar C, J. (2019). Anatomía y propiedades físicas de la madera de dos especies del departamento de Puno. *Arnaldoa*, *26*(2), 595-606. https://doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26205

Dong, C., Zhang, S., Wang, J., & Chui, Y. H. (2021). Static bending creep properties of furfurylated poplar wood. *Construction and Building Materials*, *269*, 121308. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121308

Engelund, E., & Fredriksson, M. (2021). Wood Modification as a Tool to Understand Moisture in Wood. Forests, 12, 1-18. doi: https://doi.org/10.3390/f12030372

FAO. (2022). Global demand for wood products. En Global Forest sector outlook 2050 Assessing future demand and sources of timber for a sustainable economy. https://www.fao.org/3/cc2265en/cc2265en.pdf

Fix, G. M., Kim, B., Ruben, M. A., & McCullough, M. B. (2022). Direct observation methods: A practical guide for health researchers. *PEC Innovation*, *1*, 100036. https://doi.org/10.1016/j.pecinn.2022.100036

Gejdoš, M., Suchomel, J., & Danihelová, Z. (2020). Analysis of Qualitative Features of Beech and Oak Trunks as a Determinant of the Quality Assessment. *Forests*, *12*, 15. https://doi.org/10.3390/f12010015

Hamdan, H., Nordahlia, A. S., Anwar, U. M. K., Iskandar, M. M., Omar, M. K. M., & K, T. (2020). Anatomical, physical, and mechanical properties of four pioneer species in Malaysia. *Journal of Wood Science*, *66*(1), 59. https://doi.org/10.1186/s10086-020-01905-z

Hernández-Sampieri, & Torres. (2018). *Metodología de la investigación*. https://scholar.google.es/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=Sl208icAAAAJ&citation_for_view=Sl208icAAAAJ:9ZlFYXVOiuMC

Huarcaya, R. (2016). Anatomía de los vasos de Alnus acuminata a diferentes altitudes, Huancayo—Junín (Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental). *Universidad Nacional Del Centro Del Centro Del Perú*, 81.

Engelund, E., & Fredriksson, M. (2021). Wood Modification as a Tool to Understand Moisture in Wood. Forests, 12, 1-18. doi: https://doi.org/10.3390/f12030372

Jeyakumar, S., Ayyappan, N., Muthuramkumar, S., & Rajarathinam, K. (2017). Impacts of selective logging on diversity, species compostion and biomass of residual lowland dipterocarp forest in central Western Ghats, India. *Tropical Ecology, 58*(2), 315-330. https://www.researchgate.net/publication/319328996_Impacts_of_selective_logging_on_diversity_species_compostion_and_biomass_of_residual_lowland_dipterocarp_forest_in_central_Western_Ghats_India

Kunth, A., Ver, A., Hgo, A., & Sin, A. (1817). *Alnus acuminata*. 45-48.

López, J. E. (2006). *Propiedades físico-mecánicas del Aliso, Alnus acuminata HBK, proveniente de Chalaco-Piura*. 106.

Luostarinen, K., & Hakkarainen, K. (2019). Chemical composition of wood and its connection with wood anatomy in Betula pubescens. *Scandinavian Journal of Forest Research, 34*(7), 577-584. https://doi.org/10.1080/02827581.2019.1662939

Mańkowski, P., Laskowska, A., Mańkowski, P., & Laskowska, A. (2021). Compressive strength parallel to grain of earlywood and latewood of yellow pine. *Maderas. Ciencia y tecnología, 23*. https://doi.org/10.4067/s0718-221x2021000100457

Mascia, N. T., Kretschmann, D. E., & Ribeiro, A. B. (2020). Evaluation of Tension Perpendicular to Grain Strengths in Small Clear Samples of Sugar Maple for Radial,Tangential and 45-Degree Loading Directions. *Materials Research, 23*. https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2019-0323

Maxwald, M., Crocetti, C., Ferrari, R., Petrone, A., Rauch, H., & Prety, F. (2020). Soil and Water Bioengineering Applications in Central and South America: A Transferability Analysis. Sustainability, 12(505), 1-30. doi:http://dx.doi.org/10.3390/su122410505

Mo, L., Crowther, T. W., Maynard, D. S., van den Hoogen, J., Ma, H., Bialic-Murphy, L., Liang, J., de-Miguel, S., & al, e. (2024). The global distribution and drivers of wood density and their impact on forest carbon stocks. *Nature Ecology & Evolution.* https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41559-024-02564-9

Morales Castro, E. P. (2019). Asociación agroforestal entre Alnus acuminata H.B.K. y Pisum sativum L. Quilcas – Huancayo. *Universidad Nacional del Centro del Perú*. http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6237

Ñaupas, H., Valdivia Dueñas, M. R., Palacios Vilela, J. J., & Romero Delgado, H. E. (2018). *Metodología de la investigación: Cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis*.

Odicio, J. (2017). *Relación de las propiedades físicas y genéticas de la madera de Guazuma crinita (bolaina blanca) del rodal semillero del INIA-Pucallpa, proveniente de dos unidades fisiográficas* [Tesis de grado, Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía]. https://repositorio.unia.edu.pe/items/c2534223-d5e9-4cba-96aa-d1861ed101ef

Palla, B., Ladányi, M., Cseke, K., Buczkó, K., & Höhn, M. (2021). Wood Anatomical Traits Reveal Different Structure of Peat Bog and Lowland Populations of Pinus sylvestris L. in the Carpathian Region. *Forests*, *12*(4), Art. 4. https://doi.org/10.3390/f12040494

Parra, A., Garay Rodriguez, S., & Insuasti, A. (2017). Impacto de Alnus acuminata Kunth en los flujos de N2O y calidad del pasto Pennisetum clandestinum Hochst. Ex Chiov. *Colombia forestal*, *21*, 47. https://doi.org/10.14483/2256201X.11629

Poveda Díaz, N. (2019). *Efecto de las giberelinas en la germinación de aliso (Alnus acuminata Kunth) en presencia de arsenato de sodio* [Trabajo de grado - Maestría, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia]. http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/3424

Puuinfo. (2020). Propiedades de humedad de la madera. *Puuinfo*. https://puuinfo.fi/puutieto/la-madera-como-material/propiedades-de-humedad-de-la-madera/?lang=es

R Core Team. (2022). *R: El Proyecto R para Computación Estadística*. https://www.r-project.org/

Ramírez Viena, L., Mostacero León, J., López Medina, E., De La Cruz Castillo, A. J., Gil Rivero, A. E., Ramírez Viena, L., Mostacero León, J., López Medina, E., De La Cruz

Castillo, A. J., & Gil Rivero, A. E. (2020). Aspectos etnobotánicos de Cuspón, Perú: Una comunidad campesina que utiliza 57 especies de plantas en sus diversas necesidades. *Scientia Agropecuaria*, *11*(1), 7-14. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.01

Rodríguez Villamil, J. C. (2018). *Análisis y aplicación de los métodos de corte de árboles y vigas de madera con el uso de explosivos*. http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/17903

Rojas-Badilla, M., Álvarez, C., Velásquez-Álvarez, G., Hadad, M., Le Quesne, C., Christie, D. A., Rojas-Badilla, M., Álvarez, C., Velásquez-Álvarez, G., Hadad, M., Le Quesne, C., & Christie, D. A. (2017). Anomalías anatómicas en anillos de crecimiento anuales de Austrocedrus chilensis (D. Don) Pic.-Serm. Et Bizzarri en el norte de su rango de distribución. *Gayana. Botánica*, *74*(2), 269-281. https://doi.org/10.4067/S0717-66432017000200269

Ruiz, F., Ruiz, S., Sotomayor, J. R., & Carrillo, A. (2019). Energy characteristics of wood and charcoal of selected tree species in México. *Wood Research (Bratislava)*, *64*(1), 71-82.

Ruiz-Aquino, F., Bautista, L. L., Bautista, A. E. L., Santiago-García, W., Pintor-Ibarra, L. F., & Rutiaga-Quinones, J. G. (2020). Anatomical Characterization, Physical, and Chemical Properties of Wood of Quercus macdougallii Martínez, Endemic Species of the Sierra Juárez of Oaxaca, México. *BioResources*, *15*(3), Art. 3.

Sánchez, I. (2022). *ALNUS ACUMINATA*. https://www.academia.edu/5012890/ALNUS_ACUMINATA

Schilling, M., Farine, S., Péros, J.-P., Bertsch, C., & Gelhaye, E. (2021). Chapter Six—Wood degradation in grapevine diseases. En M. Morel-Rouhier & R. Sormani (Eds.), *Advances in Botanical Research* (Vol. 99, pp. 175-207). Academic Press. https://doi.org/10.1016/bs.abr.2021.05.007

Silva, A., Garay, S., & Gómez, A. S. (2018). IMPACTO DE Alnus acuminata Kunth EN LOS FLUJOS DE N 2 O Y CALIDAD DEL PASTO Pennisetum clandestinum

Hochst. Ex Chiov. *Colombia Forestal*, *21*(1), 47-57. https://doi.org/10.14483/2256201x.11629

Smit, B., & Onwuegbuzie, A. J. (2018). Observations in Qualitative Inquiry: When What You See Is Not What You See. *International Journal of Qualitative Methods*, *17*(1), 1609406918816766. https://doi.org/10.1177/1609406918816766

Sotomayor, J. (2018). *Características dinámicas de 22 maderas determinadas por el método de vibraciones transversales | Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/150

Sueros, C. M. (2017). *Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la madera de raleo de Guazuma crinita (Bolaina blana) de tres edades*. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2776

Suesada, H., & Miyamoto, K. (2024). Experimental study on the characteristic values of partial compression perpendicular to the grain of hardwood with edge distance parallel and perpendicular to the grain. *Journal of Wood Science, 70*(43). https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s10086-024-02146-0

Świątek, B., Woś, B., Chodak, M., Maiti, S. K., Józefowska, A., & Pietrzykowski, M. (2019). Fine root biomass and the associated C and nutrient pool under the alder (Alnus spp.) plantings on reclaimed technosols. *Geoderma*, *337*, 1021-1027. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.11.025

Tenorio, C., Moya, R., Navarro-Mora, A., Tenorio, C., Moya, R., & Navarro-Mora, A. (2021). Flooring characteristics of thermo-mechanical densified wood from three hardwood tropical species in Costa Rica. *Maderas. Ciencia y tecnología*, *23*. https://doi.org/10.4067/s0718-221x2021000100416

Ticahuanca, R. C. A., Jihuallanca, E. Á. C., & Cahuana, L. A. P. (2020). Características anatómicas y propiedades físicas de la madera de Cedrela odorata L., de 22 años, San Gabán – Perú. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, *4*(3), Art. 3. https://doi.org/10.25127/aps.20203.564

Tito Alcarraz, C. (2019). Producción de aliso (alnus acuminata hbk) en diferentes porcentajes de tierra negra, arena y compost en vivero Andahuaylas 2017. *Universidad Tecnológica de los Andes*. https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/239

Todorova, M., Bardarov, N., Todorov, V., & Pancheva, T. (2023). Factors influencing of shrinkage processes in wood - An overview. *MANAGEMENT AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT*. https://www.researchgate.net/profile/Martina-Todorova/publication/378214050_FACTORS_INFLUENCING_OF_SHRINKAGE_PROCESSES_IN_WOOD_-AN_OVERVIEW/links/65cddce11e1ec12eff9dff63/FACTORS-INFLUENCING-OF-SHRINKAGE-PROCESSES-IN-WOOD-AN-OVERVIEW.pdf

Totsuka, M., Jockwer, R., Kawahara, H., Aoki, K., & Inayama, M. (2022). Experimental study of compressive properties parallel to grain of glulam. *Journal of Wood Science, 68*(33). https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s10086-022-02040-7

Uri, V., Kukumägi, M., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Soosaar, K., Morozov, G., Ligi, K., Padari, A., Ostonen, I., & Karoles, K. (2017). Carbon budgets in fertile grey alder (Alnus incana (L.) Moench.) stands of different ages. *Forest Ecology and Management*, *396*, 55-67. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.04.004

Vasquez Rodriguez, A. A. (2018). Evaluación de las características anatómicas de la madera de tres especies forestales y su variación en los niveles longitudinales del fuste, Proveniente De La Cuenca Del Río Utuquinía – Provincia Coronel Portillo—Región Ucayali. *Universidad Nacional de Ucayali*. http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4056

Vellanikkara, T. (2020). wood property variation in jack trees (Artocarpus heterophyllus Lam.) grown in thrissur district, kerala. India. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/65232453/Thesis_2020_FINAL_PAVIN_PhD_FINAL_PRINTING-libre.pdf?1608527724=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPh_D_Thesis_on_wood_properties_of_Artoca.pdf&Expires=1731960527&Signature=Y05n73~yiWcEd51DP~U

Wang, J., Cao, X., & Liu, H. (2021). A review of the long-term effects of humidity on the mechanical properties of wood and wood-based products. Eur. J. Wood Prod, 79, 245-259. doi: https://doi.org/10.1007/s00107-020-01623-9

Yalcin, M. (2020). Problems Encountered in Log Depots and Measures to Combat Them: A Review. *BioResources*, *15*(1), Art. 1.

You, R., Zhu, N., Deng, X., Wang, J., & Liu, F. (2021). Variation in wood physical properties and effects of climate for different geographic sources of Chinese fir in subtropical area of China. *Scientific Reports*, *11*(1), Art. 1. https://doi.org/10.1038/s41598-021-83500-w

Zapata, M., & Miguel, H. (2019). Especies forestales afectadas en incendios ocurridos en Amazonas: Un análisis de la información fiscal de los casos de Chachapoyas y Luya. *Arnaldoa*, *26*(3), 965-976. https://doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26307

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Anexo 1.

Propiedades fisicoquímicas de Aliso

CONTRACCIÓN RADIAL	CONTRACCIÓN TANGENCIAL	CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA	CONTENIDO DE HUMEDAD	CONTRACCIÓN LONGITUDINAL
5.70%	9.78%	13.33%	131%	**0.90%**
9.64%	10.21%	16.55%	126%	**0.20%**
5.64%	10.77%	13.75%	128%	**0.18%**
8.64%	11.77%	15.49%	132%	**0.14%**
9.53%	9.50%	15.29%	129%	**0.16%**
8.31%	10.46%	14.10%	131%	**0.11%**
4.56%	8.84%	11.55%	132%	**0.06%**
4.77%	8.14%	12.35%	137%	**0.05%**
4.40%	6.46%	11.52%	132%	**0.07%**
5.99%	7.98%	13.86%	137%	**0.05%**
6.71%	7.27%	11.77%	127%	**0.03%**
3.38%	8.30%	11.07%	124%	**0.55%**
1.45%	7.15%	10.41%	124%	**0.49%**
6.00%	5.72%	11.90%	121%	**0.04%**
5.08%	8.73%	11.18%	125%	**0.04%**
2.98%	9.07%	11.54%	118%	**0.05%**
5.25%	8.55%	11.68%	124%	**0.04%**
3.55%	5.65%	9.63%	119%	**0.05%**
3.96%	4.91%	9.92%	103%	**0.22%**
5.83%	6.25%	10.63%	117%	**0.04%**
5.55%	6.85%	11.85%	117%	**0.15%**
5.46%	8.89%	12.77%	162%	**0.03%**
5.00%	3.99%	9.01%	111%	**0.03%**
4.87%	5.83%	10.02%	111%	**0.03%**
4.29%	5.91%	10.91%	119%	**0.04%**
6.92%	3.24%	11.40%	120%	**0.02%**
3.13%	4.86%	10.10%	157%	**0.02%**
1.37%	4.75%	10.37%	127%	**0.06%**
2.86%	5.33%	9.96%	128%	**0.02%**
3.65%	5.27%	10.90%	127%	**0.03%**

Anexo 2.

Compresión perpendicular de aliso

Procedencia	N	NOMENCLATURA	Ph (gr)	Ps (gr)	ANCHO B (CM)	ANCHO PLACA (CM)	P (kg)	P' (kg)	Ch (%)	ELP
Rojaspampa	**1**	R1X	50.72	22.08	5.015	5	589.7	453.6	129.71	18.09
Rojaspampa	**2**	R1Y	51.93	21.4	4.998	5	635	453.6	142.66	18.15
Rojaspampa	**3**	R2X	54.09	22.5	5.03	5	544.3	412.8	140.40	16.41
Rojaspampa	**4**	R2Y	53.32	22.97	5.02	5	680.4	394.6	132.13	15.72
Rojaspampa	**5**	R3X	55.8	22.97	4.995	5	589.7	362.9	142.93	14.53
Rojaspampa	**6**	R3Y	54.05	23.16	5	5	725.7	541.6	133.38	21.66
Cutervo	1	C1X	51.32	21.36	5	5	907.2	635	140.26	25.40
Cutervo	2	C1Y	45.79	18.84	5.01	5	589.7	458.1	143.05	18.29
Cutervo	3	C2X	57.6	24.44	4.93	5	997.9	635	135.68	25.76
Cutervo	4	C2Y	57.46	23.94	4.95	5	952.5	635	140.02	25.66
Cutervo	5	C3X	54.89	24.19	5.05	5	861.8	589.7	126.91	23.35
Cutervo	6	C3Y	51.32	21.81	5.05	5	499	340.2	135.30	13.47
Santa Cruz	**1**	S1X	50.11	21.27	4.915	5	589.7	490.8	135.59	19.97
Santa Cruz	**2**	S1Y	50.89	21.31	4.92	5	771.1	635	138.81	25.81
Santa Cruz	**3**	S2X	54.52	22.62	4.925	5	671.1	635	141.03	25.79

Santa Cruz	**4**	S2Y	44.67	18.15	4.99	5	635	453.6	146.12	18.18
Santa Cruz	**5**	S3X	51.47	22.33	4.975	5	816.5	621.4	130.50	24.98
Santa Cruz	**6**	S3Y	49.61	20.3	4.95	5	635	530.7	144.38	21.44
Querocoto	1	Q1X	47.58	20.03	5.05	5	544.3	340.2	137.54	13.47
Querocoto	2	Q1Y	52.08	21.3	4.995	5	589.7	385.6	144.51	15.44
Querocoto	3	Q2X	46.62	20.06	4.975	5	635	430.9	132.40	17.32
Querocoto	4	Q2Y	44.69	18.62	5.025	5	544.3	444.5	140.01	17.69
Querocoto	5	Q3X	43.96	18.36	5	5	453.6	249.5	139.43	9.98
Querocoto	6	Q3Y	44.54	18.75	4.95	5	453.6	317.5	137.55	12.83
Hualgayoc	1	H1X	54.65	23.97	5	5	517.1	408.2	127.99	16.33
Hualgayoc	2	H1Y	50.67	21.96	4.976	5	489.9	385.6	130.74	15.50
Hualgayoc	3	H2X	53.55	23.1	5	5	462.7	249.5	131.82	9.98
Hualgayoc	4	H2Y	55.17	23.77	5.025	5	508	408.2	132.10	16.25
Hualgayoc	5	H3X	47.8	19.63	4.95	5	499	399.2	143.50	16.13
Hualgayoc	6	H3Y	52.12	21.86	4.97	5	489.9	394.6	138.43	15.88

Anexo 3.

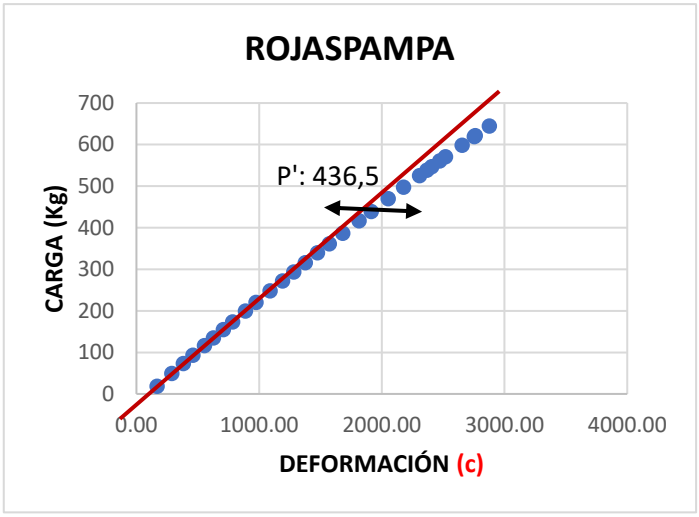
Compresión paralela de aliso

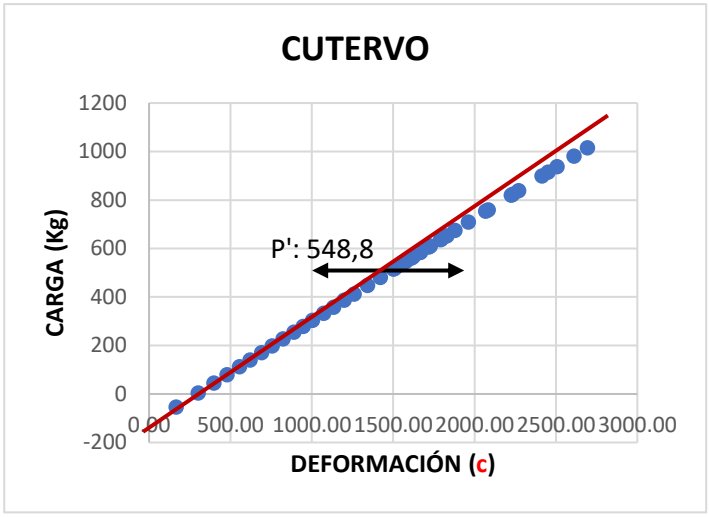
Procedencia	N	NOMENCLATURA	Ph (gr)	Ps (gr)	V (cm3)	ANCHO (CM)	ESPESOR (CM)	L (cm)	P (kg)	P' (kg)	Y' (cm)	Ch (%)	D (GR/CM3)	ELP	MOE	RM
Rojaspampa	**1**	R1X	63.94	25.87	70.75	4.99	5.025	15	2903	2653.5	0.0284	147.16	0.90	105.82	45.08	193.53
Rojaspampa	**2**	R1Y	63.11	26.35	78.67	5.025	5.06	15	3311.2	2966.5	0.0415	139.51	0.80	116.67	72.63	220.75
Rojaspampa	**3**	R2X	56.62	24.33	72.56	4.975	5	15	3492.7	2723.8	0.0295	132.72	0.78	109.50	48.45	232.85
Rojaspampa	**4**	R2Y	53.76	23.11	71.1	4.96	5.03	15	3447.3	3172.9	0.0332	132.63	0.76	127.18	63.33	229.82
Rojaspampa	**5**	R3X	58.78	25.42	71.42	5.05	5.025	15	3175.1	2268	0.0203	131.24	0.82	89.37	27.21	211.67
Rojaspampa	**6**	R3Y	56.91	25.87	69.28	5	5.06	15	3062	1871.1	0.0255	119.98	0.82	73.96	28.29	204.13
Cutervo	1	C1X	57.88	24.75	72.72	5.05	4.965	15	4082.3	3401.9	0.032	133.86	0.80	135.68	65.13	272.15
Cutervo	2	C1Y	54.88	22.58	69.59	5.015	5	15	3674.1	3288.5	0.02	143.05	0.79	131.15	39.34	244.94
Cutervo	3	C2X	50.48	21.13	69.73	4.93	4.925	15	3220.5	2726.09	0.0318	138.90	0.72	112.28	53.56	214.70
Cutervo	4	C2Y	58.86	25.8	79.54	5.025	4.985	15	2631	1632.9	0.0244	128.14	0.74	65.19	23.86	175.40
Cutervo	5	C3X	58.42	25.08	77.52	5.05	4.99	15	2971.4	1927.8	0.029	132.93	0.75	76.50	33.28	198.09
Cutervo	6	C3Y	61.92	26.02	73.41	5	5.025	15	4399.8	2721.6	0.022	137.97	0.84	108.32	35.75	293.32
Santa Cruz	**1**	S1X	79.55	32.02	85.15	5.05	5.02	15	2631	1950.4	0.0308	148.44	0.93	76.94	35.54	175.40
Santa Cruz	**2**	S1Y	51.89	21.83	71.56	5.05	5.025	15	2630.8	1732.7	0.038	137.70	0.73	68.28	38.92	175.39
Santa Cruz	**3**	S2X	52.4	21.94	74.6	5.01	5.025	15	3289	2268	0.0246	138.83	0.70	90.09	33.24	219.27

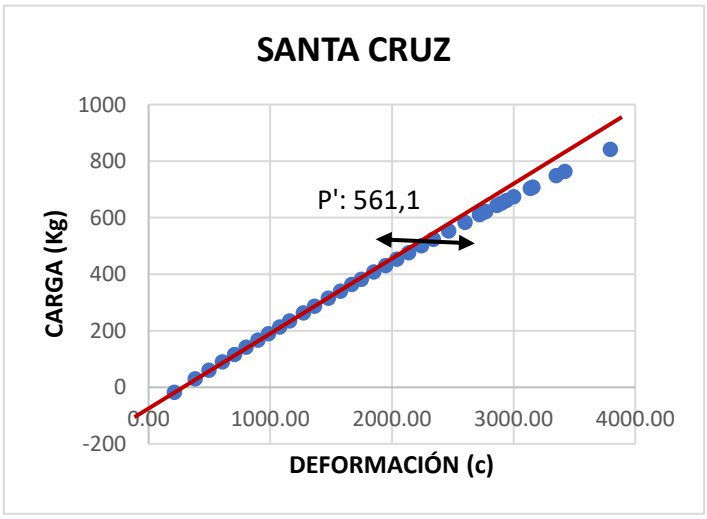
Santa Cruz	**4**	S2Y	48.99	20.31	70.14	5.025	5.03	15	3470	2608.2	0.0202	141.21	0.70	103.19	31.27	231.33
Santa Cruz	**5**	S3X	49.8	21.4	71.08	5.05	5	15	2630.8	2041.2	0.0205	132.71	0.70	80.84	24.86	175.39
Santa Cruz	**6**	S3Y	60.06	26.83	79.99	5	5.06	15	2812.3	2177.2	0.0242	123.85	0.75	86.06	31.24	187.49
Querocoto	1	Q1X	44.82	18.65	74.16	5	5	15	3742.1	3098	0.0266	140.32	0.60	123.92	49.44	249.47
Querocoto	2	Q1Y	53.68	23.11	78.35	5.025	5.05	15	3560.7	2798.7	0.0282	132.28	0.69	110.29	46.65	237.38
Querocoto	3	Q2X	49.23	21.41	73.63	5.015	5	15	2993.7	2517.4	0.0254	129.94	0.67	100.39	38.25	199.58
Querocoto	4	Q2Y	40.64	17	66.7	4.98	4.93	15	2744.2	3494.8	0.0253	139.06	0.61	142.35	54.02	182.95
Querocoto	5	Q3X	60.69	25.82	64.47	5	4.95	15	2812.3	2041.2	0.027	135.05	0.94	82.47	33.40	187.49
Querocoto	6	Q3Y	51.81	21.33	67.06	5	5	15	2268	1533	0.0218	142.90	0.77	61.32	20.05	151.20
Hualgayoc	1	H1X	56.7	24.27	74.79	5.065	5.015	15	4536	3755.7	0.038	133.62	0.76	147.86	84.28	302.40
Hualgayoc	2	H1Y	61.56	27.03	81.32	4.95	4.925	15	4513.2	2835	0.031	127.75	0.76	116.29	54.07	300.88
Hualgayoc	3	H2X	54.04	22.2	71.84	4.975	4.96	15	4831	4082.3	0.0358	143.42	0.75	165.44	88.84	322.07
Hualgayoc	4	H2Y	63.9	26.58	78.65	5	5	15	5012.2	4490.6	0.037	140.41	0.81	179.62	99.69	334.15
Hualgayoc	5	H3X	60.58	25.51	78.26	4.9	4.92	15	4627	3674.1	0.034	137.48	0.77	152.40	77.72	308.47
Hualgayoc	6	H3Y	62.26	25.86	75.55	5.05	5.06	15	3447.3	2807.7	0.0295	140.76	0.82	109.88	48.62	229.82

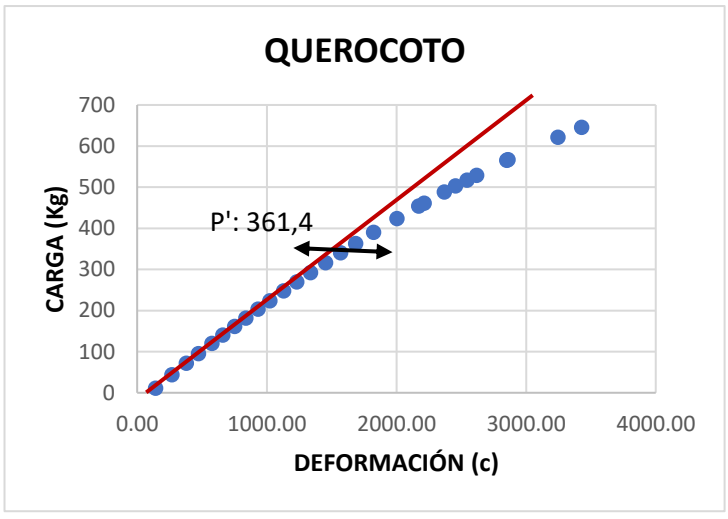
Anexo 3.1

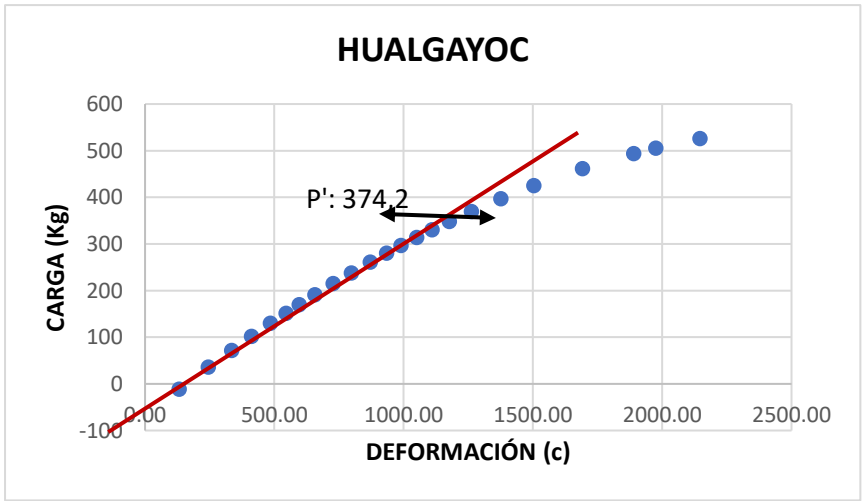
Tablas demostrativas de la deformación del aliso en compresión paralela a las fibras











Anexo 4.

Tensión perpendicular de Aliso

PROCEDENCIA	N	PROBET. Nº	ANILLO	ESPESOR (CM.).	ANCHO (CM.).	CARGA MÁXIMA (P) (KG.).	PESO INICIAL (GRS.).	P. SECO (GRS.).	C.H. (%).	ESF. UNIT. TRAC. PERPEN. (KG/CM2).
Rojaspampa	**1**	R1X		2.75	5.075	409.14	34.39	14.9	130.81	29.32
Rojaspampa	**2**	R1Y		2.825	4.95	252.2	20.03	8.58	133.45	18.04
Rojaspampa	**3**	R2X		3.275	5	336.57	25.53	11.13	129.38	20.55
Rojaspampa	**4**	R2Y		2.675	5.075	190.72	35.66	14.45	146.78	14.05
Rojaspampa	**5**	R3X		2.75	4.95	232.24	13.13	5.57	135.73	17.06
Rojaspampa	**6**	R3Y		2.825	5	153.31	31.07	12.62	146.20	10.85
Cutervo	1	C1X		2.875	5	187.79	34.4	13.97	146.24	13.06
Cutervo	2	C1Y		2.76	5.01	242.22	27.39	11.91	129.97	17.52
Cutervo	3	C2X		2.96	4.98	191.42	25.9	10.56	145.27	12.99
Cutervo	4	C2Y		2.875	5	176.9	22.33	9.25	141.41	12.31
Cutervo	5	C3X		2.96	5.05	325.68	10.88	4.58	137.55	21.79
Cutervo	6	C3Y		3.175	5	293.02	34.02	13.73	147.78	18.46
Santa Cruz	**1**	S1X		2.535	5.03	195.95	13.2	5.63	134.46	15.37
Santa Cruz	**2**	S1Y		2.86	5.025	175.99	20.92	8.6	143.26	12.25
Santa Cruz	**3**	S2X		2.83	5.01	270.34	21.09	9.32	126.29	19.07

Santa Cruz	**4**	S2Y	2.855	5	214.1	19.65	8.51	130.90	15.00
Santa Cruz	**5**	S3X	2.825	5.075	185.97	16.11	6.99	130.47	12.97
Santa Cruz	**6**	S3Y	3	5.05	170.55	15.93	6.87	131.88	11.26
Querocoto	1	Q1X	2.6	4.925	327.49	24.24	10.29	135.57	25.58
Querocoto	2	Q1Y	2.75	5	216.82	27.5	11.14	146.86	15.77
Querocoto	3	Q2X	2.875	4.95	187.79	6.2	2.65	133.96	13.20
Querocoto	4	Q2Y	2.8	5.025	186.68	27.08	10.93	147.76	13.27
Querocoto	5	Q3X	2.55	5.025	395.53	16.24	7.13	127.77	30.87
Querocoto	6	Q3Y	2.88	5	273.06	36.14	14.96	141.58	18.96
Hualgayoc	1	H1X	2.725	5.075	180.53	36.02	14.8	143.38	13.05
Hualgayoc	2	H1Y	2.775	5	148.78	18.81	8.42	123.40	10.72
Hualgayoc	3	H2X	2.825	5.025	262.18	11.55	5.13	125.15	18.47
Hualgayoc	4	H2Y	2.575	5.05	190.51	17.5	7.65	128.76	14.65
Hualgayoc	5	H3X	2.68	4.99	182.34	34.27	13.93	146.02	13.63
Hualgayoc	6	H3Y	2.6	5.085	146.06	24.7	10.34	138.88	11.05

Anexo 5.

Cizallamiento de Aliso

PROCEDENCIA	PROBET. Nº	ANILLO	ESPESOR (CM.).	ANCHO (CM.).	CARGA MÁXIMA (P) (KG.).	PESO INICIAL (GRS.).	P.SECO (GRS.).	C.H. (%).	RESISTENCIA SIZALLAMIENTO (KG/CM2).
Rojaspampa	CIR1x		4.925	4.93	1583.04	36.02	15.03	139.65	65.20
Rojaspampa	CIR1y		4.925	4.95	1097.69	35.86	15.4	132.86	45.03
Rojaspampa	CIR2x		4.95	4.925	1383.46	45.6	19.69	131.59	56.75
Rojaspampa	CIR2y		4.965	4.975	1333.56	24.6	10.09	143.81	53.99
Rojaspampa	CIR3x		4.925	4.9	1292.74	29.56	12.49	136.67	53.57
Rojaspampa	CIR3y		5	4.95	1238.31	34.5	15.17	127.42	50.03
Cutervo	CIC1X		4.9	4.925	1342.63	34.69	14.89	132.98	55.64
Cutervo	CIC1Y		4.9	4.915	1310.88	40.76	16.87	141.61	54.43
Cutervo	CIC2X		4.475	4.9	1628.4	40.83	17.49	133.45	74.26
Cutervo	CIC2Y		4.9	4.915	1310.88	40.76	17.16	137.53	54.43
Cutervo	CIC3X		4.9	4.915	1220.16	36.12	15.66	130.65	50.66
Cutervo	CIC3Y		4.9	4.925	1115.84	40.32	17.79	126.64	46.24
Santa Cruz	CIS1X		4.9	4.925	1446.96	33.89	13.77	146.11	59.96
Santa Cruz	CIS1Y		4.94	4.95	1143.05	34.98	14.31	144.44	46.74
Santa Cruz	CIS2X		5.05	4.95	1288.2	30.12	12.77	135.87	51.53

Santa Cruz	CIS2Y	4.9	4.925	1501.39	31.79	13.44	136.53	62.21
Santa Cruz	CIS3X	4.93	4.94	1397.06	29.95	12.36	142.31	57.36
Santa Cruz	CIS3Y	4.998	4.905	1515	34.72	14.59	137.97	61.80
Querocoto	CIQ1	4.92	4.925	1397.06	34.6	15.19	127.78	57.66
Querocoto	CIQ1	4.895	4.915	1478.71	35.82	14.99	138.96	61.46
Querocoto	CIQ2	5.01	5	1378.92	36.73	15.3	140.07	55.05
Querocoto	CIQ2	4.925	4.953	1242.84	32.69	13.81	136.71	50.95
Querocoto	CIQ3	4.9	4.88	1115.84	31.44	13.58	131.52	46.66
Querocoto	CIQ3	4.93	5.025	884.5	29.47	12.08	143.96	35.70
Hualgayoc	CIH1X	4.95	4.9	1389.81	37.62	15.42	143.97	57.30
Hualgayoc	CIH1Y	4.92	4.875	1651.07	34.49	14.89	131.63	68.84
Hualgayoc	CIH2X	4.95	4.925	1161.2	36.67	15.3	139.67	47.63
Hualgayoc	CIH2Y	4.88	4.925	1297.27	33.94	13.95	143.30	53.98
Hualgayoc	CIH3X	4.975	4.925	1088.62	33.25	14.22	133.83	44.43
Hualgayoc	CIH3Y	4.95	4.875	1270.06	32.2	13.51	138.34	52.63

Anexo 6.

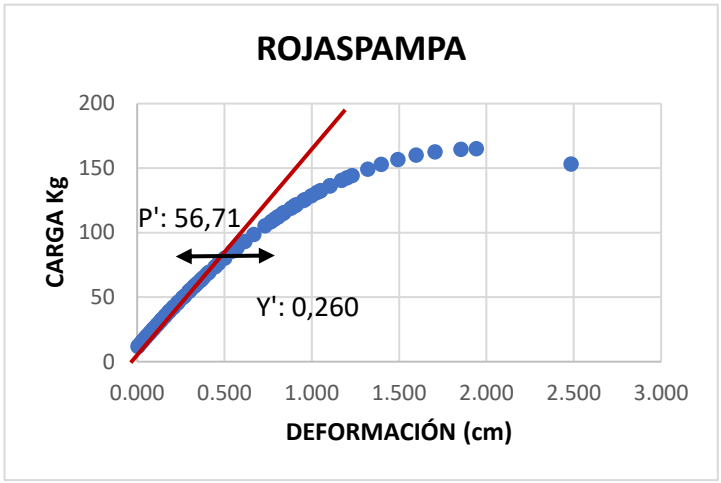
Flexión estática de Aliso

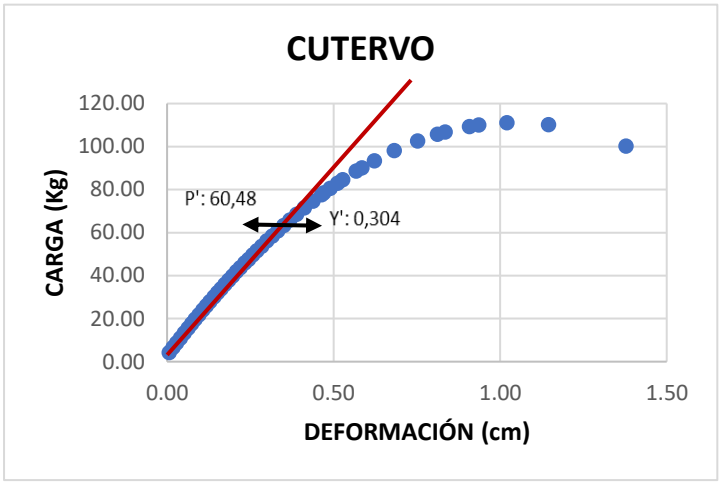
Procedencia	N	NOMENCLATURA	Ph (gr)	Ps (gr)	V (cm3)	ANCHO (c)	ESPESOR (CM)	L (cm)	P (kg)	P' (kg)	Y' (cm)	Ch (%)	D (GR/CM3)	MOR kg/cm$_2$	ELP kg/cm$_2$	MOE kg/cm²
Rojaspampa	**1**	R1X	12.48	5.45	18.59	2.53	2.57	35	90.04	54.43	0.26	128.99	0.67	282.9	171	52250.4
Rojaspampa	**2**	R1Y	13.89	6.09	17.34	2.55	2.53	35	102.06	47.63	0.123	128.08	0.8	328.3	153.2	100512
Rojaspampa	**3**	R2X	12.57	5.44	18.17	2.52	2.5	35	107.96	59	0.252	131.07	0.69	359.9	196.7	63734.6
Rojaspampa	**4**	R2Y	16.83	7.19	18.99	2.44	2.56	35	124.74	56.7	0.242	134.08	0.89	409.5	186.2	61348.2
Rojaspampa	**5**	R3X	14	6.07	19.48	2.57	2.52	35	64.86	31.8	0.2	130.64	0.72	208.6	102.3	41438.7
Rojaspampa	**6**	R3Y	46.93	20.08	78.47	4.97	5.025	70	331.1	90.7	0.48	133.72	0.6	277	75.9	25694.2
Cutervo	1	C1X	15.92	6.59	22.85	2.54	2.85	35	107.27	58.97	0.236	141.58	0.7	273	150.1	45550.7
Cutervo	2	C1Y	15.79	7	17.94	2.63	2.465	35	105.69	71.7	0.35	125.57	0.88	347.2	235.6	55742.8
Cutervo	3	C2X	13.64	5.95	18.86	2.55	2.56	35	108.18	54.4	0.27	129.24	0.72	339.8	170.9	50480
Cutervo	4	C2Y	14.32	6	18.36	2.55	2.54	35	101.38	56.7	0.29	138.67	0.78	323.5	180.9	50152
Cutervo	5	C3X	17.56	7.42	18.86	2.57	2.46	35	82.1	46.3	0.325	136.66	0.93	277.1	156.3	39912
Cutervo	6	C3Y	15.21	6.71	19.14	2.5	2.55	35	113.4	74.8	0.355	126.68	0.79	366.2	241.6	54482.5
Santa Cruz	**1**	S1X	19.44	8.38	22.32	2.55	2.57	35	135.85	85.3	0.31	131.98	0.87	423.5	265.9	68138.4
Santa Cruz	**2**	S1Y	20.26	8.83	23.45	2.53	2.54	35	136.09	83.5	0.29	129.45	0.86	437.7	268.6	74440.8
Santa Cruz	**3**	S2X	16.8	7.12	19.92	2.5	2.53	35	104.3	65.8	0.338	135.96	0.84	342.2	215.9	51540.9

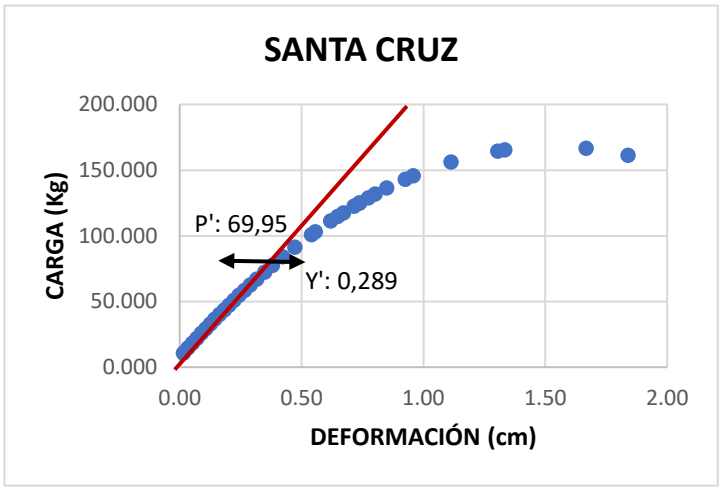
Santa Cruz	**4**	S2Y	15.39	6.64	19.08	2.5	2.59	35	114.76	72.6	0.315	131.78	0.81	359.3	227.3	56876.2
Santa Cruz	**5**	S3X	18.98	8.27	19.51	2.58	2.6	35	108.18	49.9	0.253	129.5	0.97	325.6	150.2	46621.3
Santa Cruz	**6**	S3Y	56.92	24.93	78.19	4.98	5	70	390.09	62.59	0.226	128.32	0.73	329	52.8	38149.7
Querocoto	1	Q1X	15.13	6.33	19.9	2.55	2.59	35	117.25	80.74	0.39	139.02	0.76	359.9	247.8	50087.4
Querocoto	2	Q1Y	13.12	5.77	19.28	2.57	2.57	35	52.16	23.8	0.19	127.38	0.68	161.3	73.6	30777.6
Querocoto	3	Q2X	13.47	5.85	18.05	2.55	2.5	35	80.29	49	0.308	130.26	0.75	264.5	161.4	42798.6
Querocoto	4	Q2Y	15.34	6.35	17.9	2.44	2.59	35	51.7	29.1	0.227	141.57	0.86	165.8	93.3	32413.2
Querocoto	5	Q3X	14.37	6.03	18.48	2.5	2.57	35	58.97	31.75	0.25	138.31	0.78	187.5	100.9	32078.1
Querocoto	6	Q3Y	14.59	6.32	18.74	2.49	2.55	35	84.37	47.6	0.275	130.85	0.78	273.6	154.3	44936.4
Hualgayoc	1	H1X	18.54	7.77	20.4	2.58	2.53	35	117.03	72.6	0.276	138.61	0.91	372	230.8	67482.4
Hualgayoc	2	H1Y	58.07	24.54	82.45	5.05	4.98	70	373.76	119.3	0.525	136.63	0.7	313.4	100	31241.8
Hualgayoc	3	H2X	58.74	24.23	84.51	5.03	4.94	70	358.3	72.6	0.31	142.43	0.7	306.5	62.1	33117.7
Hualgayoc	4	H2Y	58.38	24.17	87.17	5.05	5	70	373.8	111.6	0.49	141.54	0.67	310.9	92.8	30938.6
Hualgayoc	5	H3X	15.79	6.95	19.1	2.56	2.5	35	82.8	52.2	0.315	127.19	0.83	271.7	171.3	44406.3
Hualgayoc	6	H3Y	56.41	23.28	78.95	5.06	5.05	70	385.6	140.6	0.575	142.31	0.71	313.8	114.4	32175.6

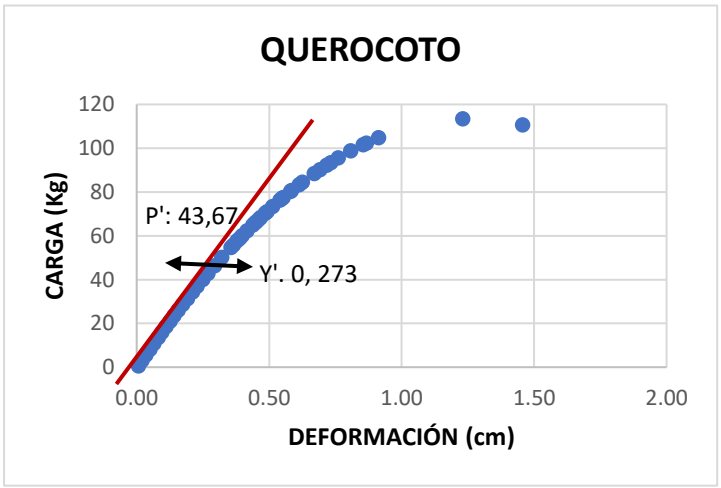
Anexo 6.1

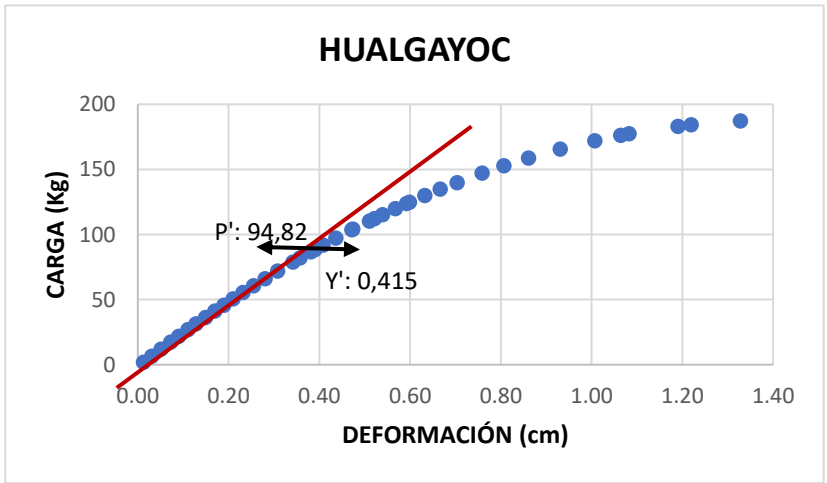
Tablas demostrativas de la deformación del aliso en flexión estática.











Anexo 7.

Dureza de aliso

N	NOMENCLATURA	EXTREMOS (Kg)		LADOS (%)				PESO INICIAL (GRS.).	P.SECO (GRS.).	C.H. (%).	PROMEDIO EXTREMOS KG.	PROMEDIO LADOS KG.
				RADIAL (Kg)		TANGENCIAL (Kg)						
1	R1X	430	418	458	518	430	576	39.62	16.67	137.67	192.32	224.75
2	R1Y	392	424	432	512	440	388	45.15	18.98	137.88	185.07	200.94
3	R2X	488	458	524	520	408	458	46	19.31	138.22	214.55	216.59
4	R2Y	398	410	340	556	372	582	44.36	18.88	134.96	183.25	209.79
5	R3X	432	444	462	468	436	500	58.77	24.91	135.93	198.67	211.6
6	R3Y	422	425	480	448	368	520	42.51	17.7	140.17	192.1	205.93
1	C1X	390	412	412	520	460	368	50.43	20.72	143.39	181.89	199.58
2	C1Y	412	382	448	468	424	540	42.41	18.49	129.37	180.08	213.19
3	C2X	352	378	400	320	280	440	43.49	17.96	142.15	165.56	163.29
4	C2Y	352	370	288	352	388	192	42.71	17.92	138.34	163.75	138.35
5	C3X	340	444	450	360	370	540	37.74	15.91	137.21	177.81	195.04
6	C3Y	634	606	790	738	750	632	70.45	28.51	147.11	281.23	329.99
1	S1X	396	500	480	518	418	540	65.61	27.71	136.77	203.21	221.81
2	S1Y	528	468	532	392	390	518	44.72	18.33	143.97	225.89	207.75
3	S2X	480	404	450	518	392	478	74.44	31.86	133.65	200.49	208.43

4	S2Y	408	444	460	490	542	620	68.43	29.38	132.91	193.23	239.5
5	S3X	454	518	450	512	388	502	38.69	15.92	143.03	220.45	210.01
6	S3Y	432	380	500	560	378	522	47.26	19.27	145.25	184.16	222.26
1	Q1X	314	332	348	362	327	414	55.69	23.61	135.87	146.51	164.54
2	Q1Y	304	342	318	318	378	220	52.55	22.36	135.02	146.51	139.93
3	Q2X	300	324	360	420	420	340	61.71	26.38	133.93	141.52	174.63
4	Q2Y	292	330	352	324	440	320	67.83	29.69	128.46	141.07	162.84
5	Q3X	402	408	378	466	432	422	44.46	18.38	141.89	183.7	192.55
6	Q3Y	460	470	508	458	508	374	45.44	18.86	140.93	210.92	209.56
1	H1X	448	450	412	498	422	360	64.66	26.31	145.76	203.66	191.87
2	H1Y	382	558	452	374	380	300	70.03	30.12	132.50	213.19	170.78
3	H2X	452	490	388	430	338	414	65.24	27.93	133.58	213.64	178.03
4	H2Y	476	472	534	544	512	500	51.39	21.4	140.14	215	237
5	H3X	446	448	360	434	370	394	62.72	25.97	141.51	202.76	176.67
6	H3Y	456	452	520	530	420	448	45.44	18.97	139.54	205.93	217.5

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES: FAX: 349-2041, TEF: 349-5647 / 349-5669, Anexo .203
APDO.456 - LA MOLINA LIMA PERU

CONSTANCIA

El que suscribe, **JEFE DE LOS LABORATORIOS DE ANATOMÍA DE LA MADERA Y PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA MADERA,** deja constancia que, el Bach. Carlos Percy Sánchez Bach. de la Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de Chota ha culminado la realización de ensayos de laboratorio de su tesis titulada "Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Alnus acuminata* Kunth del departamento de Cajamarca, Perú". Los ensayos fueron realizados entre 06 de marzo y 11 de abril del presente año.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LAB. ANATOMIA DE LA MADERA
FAC. CIENCIAS FORESTALES
LA MOLINA

Ing. Manuel Chavesta Custodio
Lab. Anatomía y Propiedades Físico Mecánicas de la Madera

La Molina, 12 de abril de 2024