



Universidad Nacional Autónoma de Chota

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Unidad de Investigación

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

“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia,
y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

La que suscribe, Directora de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, **hace constar** que el Informe Final de Tesis Titulado. “**Variación radial de las características anatómicas de la madera de aliso (*Alnus acuminata Kunth*) procedentes de la provincia de Chota, Cajamarca**”; desarrollado por los **Bach. Dilmer Ivan Benavidez Tantaleán y Bach. Wilson Rojas Díaz** de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, **asesora: M. Sc. Yuli Anabel Chávez Juanito y coasesor: Dr. Roger Chambi Legoas**; presenta un **ÍNDICE DE SIMILITUD DEL 24%** sin incluir bibliografía y citas; 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, 21 de febrero de 2024.

Atentamente

Dra. Doris Elena Delgado Tapia
Directora de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ciencias Agrarias

IT-CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD-UIFC -DIBT&WRD_Variación radial de las características anatómicas de la madera de aliso (*Alnus acuminata Kunth*) procedentes de la provincia de Chota, Cajamarca

INFORME DE ORIGINALIDAD

24%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	2%
3	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	periodicos.ufpel.edu.br Fuente de Internet	1%
5	www.repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unamad.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	1%
9	www.slideshare.net Fuente de Internet	1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL



Variación radial de las características anatómicas de la madera de aliso (*Alnus acuminata* Kunth) procedentes de la provincia de Chota, Cajamarca.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL

AUTORES

Bach. Dilmer Ivan Benavidez Tantaleán

Bach. Wilson Rojas Díaz

ASESORA

M.Sc. Yuli Anabel Chávez Juanito


Ing. Yuli Anabel Chávez Juanito
Docente
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA


Dr. Roger Chambi Legoas

CO-ASESOR

Dr. Roger Chambi Legoas

CHOTA – PERÚ

2024

Anexo 01:

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA Nº 001-2024/EPIA - FCA/UNACH

Siendo las 12:10 horas, del día 14 de febrero de 2024, los miembros del Jurado de Tesis titulada:


"Variación radial de las Características anatómicas de la madera de aliso (*Alnus acuminata* Kunth) procedente de la provincia de Chota, Cajamarca, integrado por:

1. Dr. Alfonso Sánchez Rojas Presidente
2. Msc. Leyla Catherine Alarcón Alarcón Secretario
3. Msc. Alex Wilfredo Huatay Saldaña Vocal

Sustentada por Dilmer Iván Benavidez Tantaleán, Wilson Rojas Díaz, con la finalidad de obtener el título profesional en Ingeniería 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, no aprobar)... la tesis, calificándola con la nota de: (15 en letras Quince), se eleva la presente Acta al Coordinador de la Facultad de Ciencias Agrarias, a fin de que se le declare EXPEDITO para conferirle el título Profesional

Firmado en Colpa Matara, 14 de febrero del 2024


.....
Presidente


.....
Secretario


.....
Vocal

Dedicatoria

Con mucho cariño y gratitud a mis padres Adriano y Fredesbinda, quien con su apoyo moral y económico hicieron posible este sueño de convertirme en profesional, a su vez a mis hermanas por su confianza y ser fuente de motivación e inspiración.

Ivan

A mis padres, por brindarme su cariño y valentía en cada momento de mi vida.

A mi querido hijo, Andréw Leonardo, por ser mi pilar y mi fuerza para seguir adelante.

A mis hermanos, Vilma, Aldomaro, Yovane, Gilmer y Nelson, por su cariño y apoyo incondicional hacia mi persona.

Wilson

Agradecimientos

Nuestro principal agradecimiento a Dios quien nos ha guiado y dado la fortaleza para seguir adelante.

A nuestras familias por su amor y apoyo incondicional para alcanzar nuestras metas.

A nuestra asesora M.Sc. Yuli Anabel Chávez Juanito y co-asesor Dr. Roger Chambi Legoas; por brindarnos su amistad, apoyo y asesoramiento en nuestra investigación, agradecer por su contribución y tiempo dedicado para hacer posible esta investigación y así alcanzar nuestras metas y objetivos trazados

Al Departamento de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios por aceptarnos y autorizarnos para realizar los ensayos de nuestra investigación en su laboratorio de anatomía de la madera; gracias por proporcionarnos los equipos y herramientas necesarias para el desarrollo de nuestra investigación.

Por último, queremos agradecer a nuestros compañeros(a) y amigos(a) quienes nos brindaron su apoyo para la culminación de nuestro trabajo de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Planteamiento del Problema	11
1.2. Formulación del Problema	13
1.3. Justificación	13
1.4. Objetivos de la Investigación	13
1.4.1. Objetivo General.....	13
1.4.2. Objetivos Específicos.....	13
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	14
2.1. Antecedentes.....	14
2.2. Bases Teórico Científicas	18
2.2.1. Anatomía de la Madera	18
2.2.2. Variación Radial de las Características de la Madera de Especies Maderables	21
2.2.3. <i>Alnus acuminata</i>	22
2.2.4. Anatomía de la Madera de <i>Alnus acuminata</i>	23
2.2.5. Normas Técnicas y Metodologías para el Estudio de las Propiedades de la Madera	24
2.3. Marco Conceptual.....	24
2.4. Hipótesis.....	26
2.5. Operacionalización de Variables	27
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	28
3.1. Tipo y Nivel de Investigación	28
3.2. Diseño de Investigación	28
3.3. Métodos de Investigación.....	28

3.3.1.	Área de Estudio.....	28
3.3.2.	Fase de Laboratorio.....	32
3.4.	Población, Muestra y Muestreo	38
3.4.1.	Población.....	38
3.4.2.	Muestra.....	38
3.4.3.	Muestreo.....	38
3.5.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	39
3.5.1.	Técnicas de Recolección de Datos.....	39
3.5.2.	Instrumentos de Recolección de Datos	39
3.6.	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	39
3.6.1.	Técnicas de Procesamiento	39
3.6.2.	Análisis de Datos	39
3.7.	Aspectos Éticos.....	40
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		41
4.1.	Descripción de Resultados	41
4.1.1.	Prueba de Normalidad y Homogeneidad de Varianzas	41
4.1.2.	Descripción de las Características Organolépticas	41
4.1.3.	Descripción de las Características Macroscópicas	42
4.1.4.	Descripción de las Características Microscópicas	43
4.2.	Contrastación de Hipótesis	51
4.2.1.	Prueba de ANOVA y Prueba de Medias de Tukey	51
4.3.	Discusión de Resultados.....	53

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
5.1. Conclusiones.....	58
5.2. Recomendaciones	59
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS.....	60
CAPÍTULO VII. ANEXOS.....	68
7.1. Registro Fotográfico de la Investigación	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de las variables en estudio.....	27
Tabla 2 Datos de árboles muestreados según procedencia.....	29
Tabla 3 Test de Shapiro Wilk y prueba de Bartlett.....	41
Tabla 4 Características organolépticas de <i>A. acuminata</i>	42
Tabla 5 Características macroscópicas de <i>A. acuminata</i>	43
Tabla 6 Valores promedio de los elementos anatómicos según posición radial (médula-corteza)	44
Tabla 7 Valores promedio de los elementos anatómicos según sitio de muestreo	48
Tabla 8 Prueba de análisis de varianza (ANOVA) para todas las variables.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación de muestras para investigación	29
Figura 2 Extracción de baguetas con Barreno de Pressler	31
Figura 3 Delimitación de las posiciones radiales a evaluar en los estudios anatómicos	32
Figura 4 Vista a 10X de los elementos anatómicos en el plano transversal	42
Figura 5 Variación radial de vasos.....	44
Figura 6 Variación radial de radios	45
Figura 7 Variación radial de fibras	46
Figura 8 Variación radial de vasos según lugar de muestreo	49

Figura 9 Variación radial de radios según lugar de muestreo-----	50
Figura 10 Variación radial de fibras según lugar de muestreo-----	51
Figura 11 Identificación de árboles a muestrear-----	68
Figura 12 Extracción de las muestras con Barreno de Pressler-----	68
Figura 13 Prensado y etiquetado de baguetas -----	69
Figura 14 Análisis fisicoquímico de suelo del distrito de Chota -----	70
Figura 15 Análisis fisicoquímico de suelo del distrito de Chalamarca -----	71
Figura 16 Análisis fisicoquímico de suelo del distrito de Querocoto-----	72
Figura 17 Interpretación de resultados de análisis de suelos-----	73
Figura 18 Acreditación del lugar de ejecución del proyecto de tesis -----	74
Figura 19 Cortes histológicos con microtomo de deslizamiento horizontal -----	75
Figura 20 Montaje de láminas histológicas -----	75
Figura 21 Preparación y montaje de tejido macerado -----	76
Figura 22 Toma de imágenes con el Software LAS EZ-----	76
Figura 23 Medición de elementos anatómicos con el Software ImageJ -----	77
Figura 24 Curva de densidad para variables del plano transversal-----	78
Figura 25 Curva de densidad para las variables del plano tangencial-----	78
Figura 26 Curva de densidad para las variables de macerado -----	79

Resumen

La presente investigación tuvo como finalidad determinar la variación radial de las características anatómicas de la madera de *Alnus acuminata* Kunth, procedentes de la provincia de Chota, Cajamarca. Para ello se seleccionó 9 árboles (3 por cada distrito) con características idóneas para el estudio; se extrajeron un total de 18 baguetas radiales de corteza a corteza (2 radios por bagueta) de las cuales se seleccionó el 50% de baguetas que más resalte la médula; luego cada radio se seccionó en 4 posiciones radiales médula corteza (25% – 50% – 75% – 100%) obteniendo un total de 72 secciones. La obtención de datos se llevó a cabo en el Laboratorio de Anatomía de la Madera del Departamento de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Las características anatómicas se realizaron en base a la nomenclatura de la International Association of Wood Anatomists (IAWA). Los resultados mostraron que la madera de *A. acuminata* presenta un color seco al aire anaranjado 7.5 YR 8/6, brillo moderado, olor imperceptible, sabor no distintivo, arcos superpuestos, textura fina y un grano recto a ligeramente entrecruzado, agrupación de poros difusa, poros solitarios y múltiples, parénquima axial apotraqueal difusa, con radios de 1 a 3 series, anillos de crecimiento definidos y poca diferencia entre albura y duramen. El área media de vasos, diámetro tangencial de vasos, espesor de pared de fibra y longitud de fibra en *A. acuminata* presentaron variación radial entre posiciones radiales en dirección médula a corteza, notándose estadísticamente una diferencia significativa ($p < 0.05$). Por otro lado, para las variables área ocupada de vasos, frecuencia de vasos/mm², altura de radio, ancho de radio y frecuencia de radios/mm, diámetro de fibra y diámetro de lumen de fibra, se determinó que entre posiciones radiales no hay variación significativa ($p > 0.05$). Por lo tanto, para todas las variables, la procedencia y las condiciones de lugar no influyen en la variación radial.

Palabras clave: *Alnus acuminata* Kunth, anatomía de la madera, variación radial, vasos, radios, fibras.

Abstract

The purpose of this research was to determine the radial variation of the anatomical characteristics of the wood of *Alnus acuminata* Kunth, from the province of Chota, Cajamarca. For this, 9 trees were selected (3 for each district) with ideal characteristics for the study; A total of 18 radial baguettes were extracted from bark to bark (2 spokes per baguette) from which the 50% of baguettes that most highlighted the pith were selected; Then each radius was sectioned in 4 radial positions of the medullary cortex (25% – 50% – 75% – 100%) obtaining a total of 72 sections. Data collection was carried out in the Wood Anatomy Laboratory of the Department of Engineering Sciences of the National Amazonian University of Madre de Dios. The anatomical characteristics were made based on the nomenclature of the International Association of Wood Anatomists (IAWA). The results showed that the wood of *A. acuminata* presents an orange air dry color 7.5 YR 8/6, moderate gloss, imperceptible odor, non-distinctive flavor, overlapping arches, fine texture and a straight to slightly intertwined grain, diffuse grouping of pores, solitary and multiple pores, diffuse apotracheal axial parenchyma, with rays of 1 to 3 series, defined growth rings and little difference between sapwood and heartwood. The mean vessel area, tangential vessel diameter, fiber wall thickness and fiber length in *A. acuminata* presented radial variation between radial positions in the medulla-to-cortex direction, with a statistically significant difference noted ($p < 0.05$). On the other hand, for the variables occupied area of vessels, frequency of vessels/mm², radius height, radius width and radius frequency/mm, fiber diameter and fiber lumen diameter, it was determined that between radial positions there is no significant variation ($p > 0.05$). Therefore, for all variables, origin and location conditions do not influence radial variation.

Keywords: *Alnus acuminata* Kunth, wood anatomy, radial variation, vessels, radii, fibers.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

El Perú posee una gran diversidad de especies de plantas con aptitud forestal, sin embargo, sólo una pequeña parte se utilizan en la industria maderera, debido a diversos factores entre ellos el desconocimiento de las propiedades tecnológicas de la madera de esas especies. Existe poca importancia para el desarrollo de nuevos estudios tecnológicos de especies con potencial forestal de tal forma que se pueda comprender su comportamiento y a su vez atribuirle una posible aptitud de uso conforme a sus características (Chumbimune, 2017).

A. acuminata, generalmente conocido como aliso, es una especie andina maderable que se sitúa en las zonas altoandinas del Perú, y está clasificada como especie vulnerable según la categorización de especies amenazadas de flora silvestre según el D.S. N° 043–2006-AG. El desarrollo de estudios de esta especie busca conocer la calidad de la madera, puede incrementar su valor comercial, y así impulsar de cierto modo la reforestación de esta especie en suelos degradados y/o el manejo de bosques.

Los estudios de variación radial (corteza-médula) de las propiedades de la madera son necesarios para conocer la diferencia de la calidad de la madera entre árboles jóvenes y maduros, así como para medir la magnitud de esa variación y si pueden comprometer la calidad de las propiedades de la madera para un determinado uso. La variación radial de las características anatómicas de la madera afecta a la utilización de la madera, debido a la relación entre madera juvenil y madera adulta. Comúnmente, la madera juvenil tiene menor calidad que la madera adulta para usos estructurales (Letourneau et al., 2014).

Las características anatómicas de la madera están estrechamente relacionadas con las propiedades físicas y mecánicas de la misma. Las características de las fibras (diámetro, diámetro de lumen, longitud, espesor de la pared) y vasos (área ocupada, área media, frecuencia, diámetro tangencial) son fuertes predictores de densidad de la madera; además, definen los usos de la madera. Por ejemplo, para la fabricación de papel, es recomendable maderas con fibras largas y

de mayor espesor de la pared celular, mientras que para uso estructural es preferible maderas que tienen gran frecuencia de fibras, baja frecuencia y diámetro de vasos, que dan la característica de madera de alta densidad (Shmulsky y Jones, 2011).

Diversas investigaciones de este tipo han sido realizadas en coníferas como el pino y latifoliadas como el eucalipto, entre otras especies, resalta la alta variación radial de las propiedades físicas (contenido de humedad, densidad, dureza, etc.) en estas especies, con un claro patrón de incremento a mayor distancia de la médula. Sin embargo, para *A. acuminata*, no existe información sobre la variación radial de sus características anatómicas.

La comprensión de la estructura anatómica de la madera es muy importante, ya que a partir de ella se puede lograr entender su comportamiento y atribuirle una posible aptitud de un adecuado uso a la madera de *A. acuminata*. En este contexto, la presente investigación aborda el estudio de la variación radial en las características anatómicas de la madera de *A. acuminata* provenientes de los distritos: Chota, Chalamarca y Querocoto, provincia de Chota, departamento de Cajamarca, con el propósito de contribuir al estudio tecnológico de la especie, información muy importante para mejorar el valor agregado de la madera de esta especie y fomentar su reforestación.

1.2. Formulación del Problema

¿Cuál será la variación radial de las características anatómicas de la madera de *Alnus acuminata* procedentes de la provincia de Chota, Cajamarca?

1.3. Justificación

Con el desarrollo del presente estudio se determinó la variación radial de las características anatómicas del *A. acuminata* procedentes de la provincia de Chota, con ello se generó una base científica del estudio anatómico de esta especie maderable con resultados que contribuyan al desarrollo de la industrialización forestal a pequeña, mediana y gran escala en la obtención de productos de mayor calidad con un mejor valor agregado.

Actualmente hay limitada información sobre la estructura anatómica y demás propiedades físicas a nivel macro y microscópicas de especies forestales de origen nativo este desconocimiento conlleva a mal uso y subutilización de su madera (Paucar Calva, 2010). En este contexto, este estudio se vuelve muy importante para favorecer la productividad y calidad de madera, justificándose por la necesidad de incrementar el conocimiento de esta especie para su industrialización.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. *Objetivo General*

- Evaluar la variación radial de las características anatómicas de la madera de *Alnus acuminata* procedentes de la provincia de Chota, Cajamarca.

1.4.2. *Objetivos Específicos*

- Describir y caracterizar las principales estructuras anatómicas de la madera de *Alnus acuminata*.
- Analizar la variación radial de las características macroscópicas de la madera de *Alnus acuminata*.
- Identificar las variaciones en la estructura anatómica en función de la posición radial en el tronco del árbol.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

De una revisión exhaustiva de la literatura científica disponible, se observa que no existen estudios sobre la variación radial de las características anatómicas de *A. acuminata*. Los estudios realizados en esta especie comprenden descripciones generales de las características anatómicas, o estudios de los anillos de crecimiento. Entre ellos tenemos:

Cartuche (2022) estudió la caracterización de la madera de 95 especies forestales con base a sus propiedades organolépticas, físicas y anatómicas en Ecuador; entre ellas la especie de *A. acuminata* determinando que la madera posee color seco al aire rojizo, sabor y olor ausente, brillo bajo, textura intermedia, veteado con arcos superpuestos, grano inclinado; anillos visibles, vasos múltiples radiales, pared de fibra de delgada a gruesa, con parénquima axial apotraqueal difuso y paratraqueal escaso, con radios uniseriados. Finalmente concluyó que al sur de Ecuador, existe una alta variabilidad de las características anatómicas en la madera de especies forestales estudiadas.

Cuapio et al. (2022) evaluaron las características anatómicas macroscópicas y microscópicas de la madera de *Fagus grandifolia* mediante un método no destructivo, extrajeron núcleos del fuste de árboles vivos y trozos del tronco de un árbol derribado por el viento. La descripción anatómica de la madera a nivel macroscópico lo realizaron con tablillas de 7x12x1 en los tres planos de corte (Transversal, tangencial y radial), y microscópico en base a la nomenclatura IAWA. Determinaron que la madera de *Fagus grandifolia* presenta placa de perforación simple y escalariforme, porosidad difusa, fibras libriformes, radios uniseriados, biseriados, multiseriados y agregados, parénquima axial paratraqueal y apotraqueal difuso.

Bracco (2021) evaluó la variación axial y radial de elementos anatómicos en la madera de *Salix babylonica* (sauce). Trabajó con 6 árboles y tomó como muestra la troza basal de 2 m de largo. Se presentó patrones de variación, aunque sin diferencias estadísticas significativas. En cuanto a la frecuencia de vasos y longitud de fibras mostraron un patrón de variación radial de

aumento de médula a corteza y un patrón de variación axial de aumento con la altura. Mientras que en el diámetro de vasos no se observó un patrón de variación radial ni axial definido.

Velásquez (2018) describió la anatomía de la madera de *Rhus terebinthifolia*, *Calliandra grandiflora*, *Amelanchier denticulata* e *Hypocum sp*, procedentes de Puebla, México; determinando así, una homogeneidad de caracteres cualitativos de todas estas especies con respecto a las familias y el género al que pertenecen, hileras radiales y porosidad de anular a difusa; además, muestra valores cuantitativos en cuanto a longitud y diámetro de radios, elementos de vaso (72,87 μm – 625,43 μm ; 10,51 μm – 92,9 μm) y fibras (129,69 μm – 10004,90 μm ; 0,53 μm – 10,40 μm) respectivamente; concluyendo así, que la disminución de valores encontrados en todas estas especies pueden ser debido a factores determinantes como la precipitación, el clima y altura de individuos.

Santos et al. (2018) describieron las características anatómicas y su variación transversal de la madera de la especie *Acacia melanoxylon*, evaluando una muestra de 20 árboles. Sus resultados indican que las fibras de leño temprano tienen menor espesor de pared celular y mayor diámetro, que las fibras de leño tardío; debido a su calidad de pulpa es muy útil para fabricar papel. Además, se determinó que cerca de la médula esta madera presenta una porosidad más baja, debido a un ligero aumento en el número de vasos de pequeño diámetro. Concluyen que la madera de *A. melanoxylon* posee características anatómicas adecuadas para la industria maderera.

Huarcaya (2016) determinó las características anatómicas de los vasos de *A. acuminata* en un rango altitudinal de 216,429 m, donde encontró una variación intraespecífica significativa de la frecuencia de vasos en *A. acuminata*, registrando alrededor de 58 vasos/ mm^2 en el bosque Acopalca, disminuyendo en el orden médula - corteza. La longitud de los vasos también varió significativamente entre las altitudes, siendo mayor en el de Quilcas (891,95 μm) debido a la menor altitud en la que se encuentra ubicado este bosque. Presentaron una porosidad semicircular

y difusa, con poros solitarios y múltiples radiales. Se concluyó que, a diferentes niveles altitudinales, los poros no presentan variación.

Aylas (2018) estudió la relación del crecimiento radial de *A. acuminata* con la estacionalidad climática. Los resultados muestran que la precipitación tiene una influencia positiva para el desarrollo de los anillos de crecimiento, entrando en dormancia en los meses de estiaje. Indica que *A. acuminata* tiene un gran potencial dendrocronológico para posteriores investigaciones, ya que la temperatura y precipitación están relacionadas a la demarcación de los anillos de crecimiento.

En otras especies forestales, la variación de las características anatómicas ha sido ampliamente estudiada, por ejemplo:

Chuquicaja et al. (2020) evaluaron y describieron las características anatómicas de la madera *Tectona grandis* en tres posiciones radiales: 0%, 50%, y 100% en el sentido médula-corteza, de una plantación experimental de 32 años en Chanchamayo - Perú. Los resultados encontrados en 6 árboles muestran que la longitud de las fibras, espesor de la pared celular de las fibras, y diámetro de los vasos, incrementaron significativamente de médula - corteza; en contraste, el número de vasos por mm² disminuyó significativamente desde la médula hacia el centro (posición 50%) manteniéndose invariable hacia la corteza.

Cueva et al. (2020) en su estudio, evaluaron las características anatómicas, variación radial y longitudinal de *Calycophyllum spruceanum* (Benth). Hook., de una plantación en Pucallpa, determinaron que la longitud de vasos, diámetro tangencial de poros, espesor de pared y longitud de fibra se incrementó significativamente hacia la corteza; en tanto la frecuencia de poros disminuyó. En sentido longitudinal, la longitud de vasos y fibras disminuyó significativamente hacia el ápice, por el contrario, la frecuencia de poros aumentó; el diámetro tangencial de poros y la pared de fibras no evidenciaron cambios significativos de la base hacia el ápice.

Condor y Pardo (2021) en su estudio, determinaron las características anatómicas, propiedades físico-mecánicas y químicas de *Pinus radiata* D.Don y *Pinus patula* Schltidl & Cham. de una plantación en Porcón – Cajamarca, tomando como muestra a 3 individuos por especie y basándose según la Lista estándar IAWA-2004, Norma COPANT 1974 Y Normas Técnicas Peruanas; encontrando así que *P. radiata* muestra gran cantidad de canales resiníferos, contorno de traqueidas hexagonales y heptagonales de longitud 2731.36 μm , radios uniseriados y ocasionalmente biseriados, contenido de humedad 131,85 % y densidad básica 0.46 g/cm^3 ; mientras que *P. patula* posee canales resiníferos, contorno de traqueidas pentagonales y hexagonales de longitud 2697,55 μm , radios mayormente uniseriados; contenido de humedad 136,80% y densidad básica 0.45 g/cm^3 ; recomienda utilizar su madera para trabajos de carpintería, obras interiores, artesanía y suministros para deportes y asa de herramientas.

Baselly et al. (2021) realizaron un estudio con el objetivo de caracterizar y determinar las diferencias anatómicas de la madera de las especies *Retrophyllum rospigliosii* y *Prumnopitys harmsiana* en San Ignacio - Cajamarca. Emplearon un método no destructivo para la obtención de las muestras; preparadas y estudiadas mediante la microtomía y maceración; cuya descripción lo realizaron en base a la IAWA. En conclusión, determinaron que ambas especies tienen similar estructura microscópica, sin embargo, la principal característica para diferenciarse es la presencia de parénquima difuso en *R. rospigliosii* y ausente en *P. harmsiana*. También determinaron que *P. harmsiana* presenta mayor altura de radios, mayores dimensiones en diámetro de lumen de traqueidas y menor ancho de radios.

Goycochea (2017) realizó la caracterización anatómica de los anillos de crecimiento de la madera de *Cordia allidora* (Ruiz & Pavón) Oken, procedente de una plantación en Jaén – Cajamarca, utilizando como referencia la Norma IAWA Committee (1989), seleccionando a un individuo y obteniendo como muestra (DAP 1,3 m) a 2 rodajas con un espesor de 5 cm (una para la caracterización macroscópica y la otra para la caracterización microscópica), determinando así que el leño posee anillos de crecimiento definidos, porosidad semicircular, donde en algunos

casos los anillos se interceptan entre sí y la médula no es céntrica, además, presentó variación significativa (a nivel de individuo) en variables de porosidad, altura y ancho de radio; por el contrario para fibras tanto de leño inicial como leño tardío no hubo variación significativa; para el caso de pared de fibra, no se evidenció correlación debido a la transición existente entre el leño inicial y tardío. Concluye que estas características anatómicas sugieren usos como: madera aserrada, energía y producción de pulpa para papel.

2.2. Bases Teórico Científicas

2.2.1. Anatomía de la Madera

Morvely (2014) menciona que la anatomía de la madera implica estudiar sus características organolépticas, macroscópicas y microscópicas. Además, afirma que cada madera presenta características diferentes, y a su vez estas se pueden clasificar de acuerdo a sus características que poseen. Por otro lado, señala que las características anatómicas de una madera van a permitir explicar las causas correspondientes a los cambios dimensionales y el comportamiento de los esfuerzos mecánicos de la madera.

2.2.1.1. Propiedades Anatómicas de la Madera

A. Características Organolépticas. Gonzales refiere que las características que se pueden percibir por los órganos sensoriales. Dentro del mundo vegetal, los elementos organolépticos más importantes que están presentes en la madera de las especies son:

- **Color:** Están al interior de las células leñosas y se debe a sus extractivos.
- **Olor:** Producidos por exudaciones de ciertas sustancias químicas que se encuentran adheridas en la madera y desprenden olores característicos producto de la volatilización.
- **Sabor:** Se da por la presencia de ciertas sustancias que contiene las células de la madera.
- **Brillo:** Se produce por el reflejo causado por los elementos de los radios al ser expuestos a la luz.

- **Grano:** Es una característica notable de la disposición que tienen los elementos xilemáticos de la madera (vasos, traqueidas, parénquima, fibras) con respecto al eje longitudinal del tronco, en su sección radial o tangencial.
- **Textura:** Está determinado por la distribución, proporción y tamaño relativo de los elementos leñosos (poros, parénquima y fibras). (2008, pp. 15-22)

B. Características Macroscópicas

Gonzales menciona que las características macroscópicas “consiste en observar algunas características de la madera a simple vista o con ayuda de una lupa de 10X” (2008, p. 25), “las mismas que incluyen las siguientes categorías: características estructurales (anillos de crecimiento, madera juvenil, madera adulta, duramen y albura) y características anatómicas (poros, radios y parénquima)”. (Armijos, 2019, p. 28)

- Anillos de crecimiento

Se le asigna a toda la serie de círculos concéntricos observados haciendo un corte transversal de una pieza de madera. Los anillos de crecimiento representan la producción de madera realizado por el cambio vascular de acuerdo a condiciones propicias para su desarrollo, lo cual representará una apariencia diferente dependiendo del plano de corte: en la sección transversal denota una serie de círculos concéntricos; en la sección radial ilustra líneas aproximadamente rectas y paralelas; finalmente en el plano de corte tangencial, se muestra conos incluidos uno del otro. La definición y/o fácil visualización de los anillos de crecimiento dependerán directamente del clima y del tipo de madera a estudiar (Chavesta, 2005).

- Porosidad

Término adecuado para el plano transversal de un poro, tomando el aspecto de pequeños agujeros ya sean solitarios y/o múltiples (Gonzales, 2008).

- **Radios**

Están formados por tejido parenquimático, los cuales están orientados perpendicularmente al eje del árbol. Los radios se pueden observar en el plano transversal a simple vista o con ayuda de una lupa de 10X (Gonzales, 2008).

- **Distribución y tipos de parénquima**

Generalmente el parénquima presenta un color más claro que las fibras en la que las paredes son delgadas y las células son de menor tamaño cuya función principal es de almacenar, distribuir y segregar los carbohidratos, así como también producir algunas sustancias orgánicas. Tienen orientación a lo largo del eje del árbol. Según la norma IAWA (1989), los tipos de parénquima que suelen presentar las latifoliadas son las siguientes:

- **Parénquima axial apotraqueal.** Tenemos de 2 tipos: difuso y/o difuso en agregados.
- **Parénquima axial paratraqueal:** Los tipos son diversos: escaso, vasicéntrico, aliforme, adiamantado aliforme, alado aliforme, confluyente y unilateral paratraqueal.
- **Parénquima en bandas:** Pueden ser: con ancho mayor a 3 células, reticulado, escaliforme, bandas marginales o en bandas finas.
- **Parénquima axial por tipo de células:** pueden ser células de parénquima fusiforme y/o parénquima no lignificado. (pp. 270-276)

C. Características Microscópicas

Son aquellas características que contienen elementos que se observan a un gran aumento, es decir, se necesita hacer uso de un microscopio óptico para su identificación; “las características de la madera no solo difieren dentro de un género y especie, sino también a nivel intraespecífico (dentro de un mismo árbol)”. (Armijos Montaña, 2019, p. 28)

2.2.2. Variación Radial de las Características de la Madera de Especies Maderables

Monteoliva e Igartúa señalan que los caracteres anatómicos de la madera pueden variar, dependiendo en parte del genotipo y metabolismo del árbol, “el que a su vez es condicionado por factores ambientales que definen su estrategia de crecimiento” (2010, p. 2), así como factores edafoclimáticos alterando su calidad, “lo cual puede repercutir en la industrialización y procesamiento de las trozas procedentes de las plantaciones forestales”. (Cutter et al., 2004, p. 86)

Según Panshin y De Zeeuw (1980, citado por Cachique, 2014) señala que las propiedades anatómicas están íntimamente relacionadas con las características macro y microscópicas; la variación entre árboles de la misma especie se da en dirección longitudinal, transversal (por distancia de la médula) y también entre diferentes partes del mismo árbol (propiedades físicas, dimensiones de las células, anillos de crecimiento, variación de densidad y composición química).

Los elementos anatómicos (vasos, radios y fibras) pueden variar considerablemente, no sólo entre árboles y especie, sino también dentro del árbol en el sentido radial o longitudinal del fuste del mismo árbol. Además, los elementos más pequeños, generalmente están cerca a la médula (Honjo et al., 2005).

En una sección transversal, se puede determinar la presencia de 3 tipos de madera: temprana, intermedia y tardía (Alteyrac et al., 2006), con límites de establecimiento complejos debido al cambio gradual en la estructura de la madera, siendo posible hallar una zona de madera temprana para cada característica estudiada, ya que éstas son modificadas de manera independiente en un mismo árbol (Bhat et al., 2001).

2.2.3. *Alnus acuminata*

2.2.3.1. Taxonomía. Según trabajos de Reynel et al., se tiene la siguiente clasificación taxonómica:

Nombre científico : *Alnus acuminata* Kunth

Nombres comunes : Aliso, Jaul, Cerezo.

Reino : Plantae

Phyllum : Spematophyta

Subphyllum : Magnoliophytina

Clase : Magnoliopsida

Subclase : Hamamelidas

Orden : Fagales

Familia : Betulaceae

Género : *Alnus*. (2006, p. 28)

2.2.3.2. Descripción de la Especie. Según el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE, 1986), es un árbol de tamaño mediano, de 10 a 25 m de altura (hasta 40 m en plantación), y que su diámetro esta entre 20 m y 50 cm. En condiciones excepcionales algunos ejemplares alcanzan un metro de diámetro. El fuste es cilíndrico con base recta, en algunos casos ligeramente ensanchada y acanalada; copa delgada con follaje verde oscuro; sistema radicular poco profundo, amplio y extendido. Las raíces poseen nódulos que fijan nitrógeno atmosférico por simbiosis con el hongo *Actinomices alni*. La corteza es lisa, llega a ser ligeramente arrugada con fisuras horizontales, de color claro y ligeramente picante. Savia de color claro, muy astringente, se oxida al aire rápidamente tornándose de color rojizo (p. 49).

- A. Distribución.** Como menciona Requena (2015) “habita en climas tropicales y subtropicales de los andes de América, se distribuye entre 12° N a 28° S desde 600 – 3 000 m s.n.m. Tratándose de una de las principales especies arbóreas que crece en los andes centrales de Perú” (p. 250), en los “departamentos de Amazonas, Ancash, Apurímac, Cajamarca, Cusco, Huánuco, Junín, La Libertad, Lambayeque, Lima, Pasco y Piura. El rango de distribución altitudinal oscila entre los 400 y los 3 800 m s.n.m, en ceja de selva, bosques montanos nublados y regiones altoandinas”. (Reyel y Marcelo, 2009, p. 23)
- B. Usos.** Los diferentes usos que se les puede dar a la madera de *A. acuminata* son los siguientes: curtiembre de cueros, teñido de algodón y lana, medicinal (diurético, reumatismo, artritis, resfríos, cicatrizante, etc.), forraje para el ganado, carpintería y ebanistería, capacidad de fijación de nitrógeno y fertilización del suelo a través de sus nódulos radiculares, entre otros (Reyel y Marcelo, 2009).

2.2.4. Anatomía de la Madera de *Alnus acuminata*

- A. Descripción general.** Según Roque et al. el leño de *A. acuminata* presenta las siguientes características: anillos de crecimiento poco visibles, color rojizo (al ser expuesto al aire libre), su tipo de textura va de mediana a fina, sabor y olor imperceptible, brillo oscuro, grano de tipo ondulado y entrecruzado, los anillos de crecimiento están marcados por un ligero engrosamiento de las fibras y que la densidad de su madera secada al aire libre es de 0,43 g/cm³, clasificándose como moderadamente liviana. (2010, p. 45)
- B. Descripción macroscópica.** Roque et al. (2010) comentan que macroscópicamente la madera de *A. acuminata* presenta vasos medianos mayormente solitarios y múltiples, tílides o gomas dentro de los vasos del duramen no observables. También presenta parénquima axial de tipo apotraqueal difuso escaso, parénquima radial de ancho mediano y radios de dos anchos de abundancia media y no estratificado.

C. Descripción Microscópica. Hinostroza (2014, citado por Huarcaya, 2016) menciona que la madera de *A. acuminata* presenta anillos de crecimiento de porosidad difusa, vasos agrupados en múltiples radiales, diámetro de vasos promedio de 79,66 μm (51,21 μm - 106,31 μm), de 16 (10 – 23) vasos por mm^2 . La longitud promedio de vasos fue de 954,30 μm (366,91 μm - 1559,79 μm), con punteaduras intervasculares alternas, fibras no septadas con longitud de 1087,82 (634,93 μm - 1705,04 μm); parénquima axial apotraqueal difuso, ancho de parénquima radial exclusivamente uniseriados y radios no estratificados.

2.2.5. Normas Técnicas y Metodologías para el Estudio de las Propiedades de la Madera

A. Norma IAWA. Tiene como propósito “facilitar la toma, almacenamiento y el intercambio de materiales de investigación; proporcionar bases racionales para el uso coherente de la terminología en las descripciones de la madera y la corteza” (Armijos, 2019, p. 24), y colaborar con otros que tengan objetivos similares en otros campos relacionados con la anatomía de la madera. En esta norma se discute las categorías de las características anatómicas de la madera y sus funciones generales, que pueden ser útiles para los debates dentro de la comunidad de investigación (Beeckman, 2016).

B. Norma Técnica Peruana (NTP) 251. 008. La norma detalla los procedimientos que se deben seguir para seleccionar muestras de madera, con el objetivo de realizar un estudio de sus propiedades físicas y mecánicas. Gracias a esta norma se pueden obtener resultados representativos y comparables para una investigación. (INACAL, 2016, p. 1)

2.3. Marco Conceptual

El Instituto Nacional de Investigación Agraria - Perú y la Organización Internacional de las Maderas Tropicales (INIA y OIMT, 1993) definen los siguientes términos:

2.3.1. Corteza

Se encuentra en la capa exterior del fuste y está conformada por el ritidoma y el floema.

2.3.2. Cambium

Es una capa muy fina que se ubica entre el leño y la corteza del árbol. Es el tejido a partir de cual se origina la corteza hacia afuera y la madera hacia adentro.

2.3.3. Duramen

Es la parte media del cilindro y está compuesto por las diferentes capas internas del leño. Cuando el árbol está en crecimiento el duramen no posee células vivas y todos los materiales que están en reserva se transforman en compuestos fenólicos, mayormente es de color oscuro, también se le llama corazón de la madera.

2.3.4. Albura

Se le denomina albura a la parte joven de la madera, suele ser de color más claro y está conformada por células vivas y algunos materiales de reserva.

2.3.5. Textura

Es la característica dada por la dimensión de los vasos y cantidad proporcional de los elementos leñosos que se presentan en una parte de la madera. Se puede observar en el corte transversal con la utilización de una lupa de 10X, puede ser de diferentes tipos y es muy importante en el acabado de la madera.

2.3.6. Poros

Se atribuye a la parte transversal de una traqueida vascular o un vaso, que tiene forma de pequeños agujeros y se puede apreciar en el plano transversal de la madera.

2.3.7. Radio

Está compuesto por el tejido parenquimatoso, y está orientado de forma perpendicular al eje del árbol. Se puede observar en el corte de tipo transversal ya sea a simple vista o lupa de 10X.

2.3.8. Fibra

Es toda célula delgada y larga puede ser del leño o de la corteza interna que no pertenezca al parénquima o a los vasos. Esta encargada de dar sostén al cuerpo leñoso.

2.3.9. Densidad

Se refiere a la relación existente entre la masa y el volumen, incluyendo espacios vacíos, para un nivel determinado de humedad. Es expresada en gramos por cm cúbico (g/cm^3).

2.3.10. Densidad Básica

Es la relación que existe entre el peso mínimo de la madera (seco en estufa a 105 – 110 °C) y su volumen verde. Es una variable muy usada en la industria forestal.

2.3.11. Variación Intraespecífica

Se conoce así a la diferencia existente entre secciones de un mismo árbol.

2.4. Hipótesis

Hipótesis alternativa (H1): Existe variación radial significativa en las características anatómicas de la madera de *Alnus acuminata* procedente de la provincia de Chota, Cajamarca.

Hipótesis nula (H0): No existe variación radial significativa en las características anatómicas de la madera de *Alnus acuminata* procedente de la provincia de Chota, Cajamarca.

2.5. Operacionalización de Variables

Tabla 1

Operacionalización de las variables en estudio

Tipo de variables	Variables	Definición de variables	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos
	Árboles de <i>A. acuminata</i>	Es un árbol de tamaño mediano, de 10 a 25 m de altura (hasta 40 m en plantación), y diámetro entre 20 m y 50 cm.	-Fuste recto -Mayor diámetro -Mayor altura -Buen estado fitosanitario	9 árboles de <i>A. acuminata</i>	NTP 251.008, GPS, Barreno de Pressler, cinta métrica, cuaderno de campo.
	Características Organolépticas	Son aquellas que pueden ser percibidas por los órganos sensoriales.	-Olor -Color -Sabor -Textura -Grano -Veteado -Brillo	Sentidos, tipo de textura, grano y brillo	Observación.
Variable independiente	Características macroscópicas	Incluye la observación de ciertas características de la madera a simple vista o con ayuda de una lupa de 10X	-Anillos de crecimiento -Poros -Parénquima axial	- Conteo y medición de anillos de crecimiento - Tipo de poros - Tipo de parénquima axial - Área de vasos	Tabla Munsell, pistola de aire, pulidora eléctrica, observación, guías de identificación organoléptica y macroscópica de maderas comerciales CITE madera - 2008, Test de Shapiro-Wilk, Prueba de Bartlett, micrótopo, microscopio, Leica LAS EZ, ImageJ.
	Características microscópicas	Incluye la observación de ciertas características de la madera con ayuda de un microscopio.	-Vasos -Parénquima axial -Radios -Fibras	- Frecuencia de vasos/mm ² - Diámetro de vasos -Tipo de parénquima -Altura y ancho de radios - Frecuencia de radios/mm -Diámetro y longitud de fibras -Diámetro de lumen de fibra - Espesor de pared de fibra Posiciones radiales del fuste (25%, 50%, 75%, 100%).	
Variable dependiente	Variación radial de la madera de <i>A. acuminata</i>	Es la diferencia que existe entre las secciones del mismo individuo.	Patrones de variación radial		Excel, R (Core Team, 2022), RStudio, análisis estadístico, microscopio, estufa, ficha de apuntes, cámara fotográfica.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y Nivel de Investigación

El estudio es de tipo descriptivo correlacional, debido a que se analizó cómo se manifiesta un fenómeno o planteamiento y sus componentes (variables), en este caso cómo varía las características anatómicas en *A. acuminata* desde la médula hasta la corteza. Se calculó con datos numéricos la variación de estas características a fin de determinar la variación radial de la madera de *A. acuminata*.

3.2. Diseño de Investigación

La investigación cuenta con un diseño no experimental transversal, debido a que no se manipula ninguna variable, solo se extrae, analiza, compara y caracteriza la variación radial de las propiedades anatómicas de *A. acuminata*.

3.3. Métodos de Investigación

La investigación tiene un método empírico de tipo cuantitativo o comúnmente llamado método científico general, que comprende la etapa de la observación en la que se utilizó los canales sensoriales (para la identificación de las características macroscópicas de la madera); en la medición se empleó operaciones de comparación a fin de determinar la existencia de la variación según posición radial (Hernández et al., 2018).

3.3.1. Área de Estudio

Este estudio se desarrolló en los distritos de Chota, Chalamarca y Querocoto, pertenecientes a la provincia de Chota, departamento de Cajamarca, con coordenadas geográficas: 6°23'7.07"S y 78°24'35.72"O, 6°21'41.70"S y 79° 2'17.76"O, 6°34'27.12"S y 78°37'13.99"O, con una altitud de 2 800, 2 550 y 2 730 m s.n.m. respectivamente (figura 1).

Figura 1

Mapa de ubicación de muestras para investigación

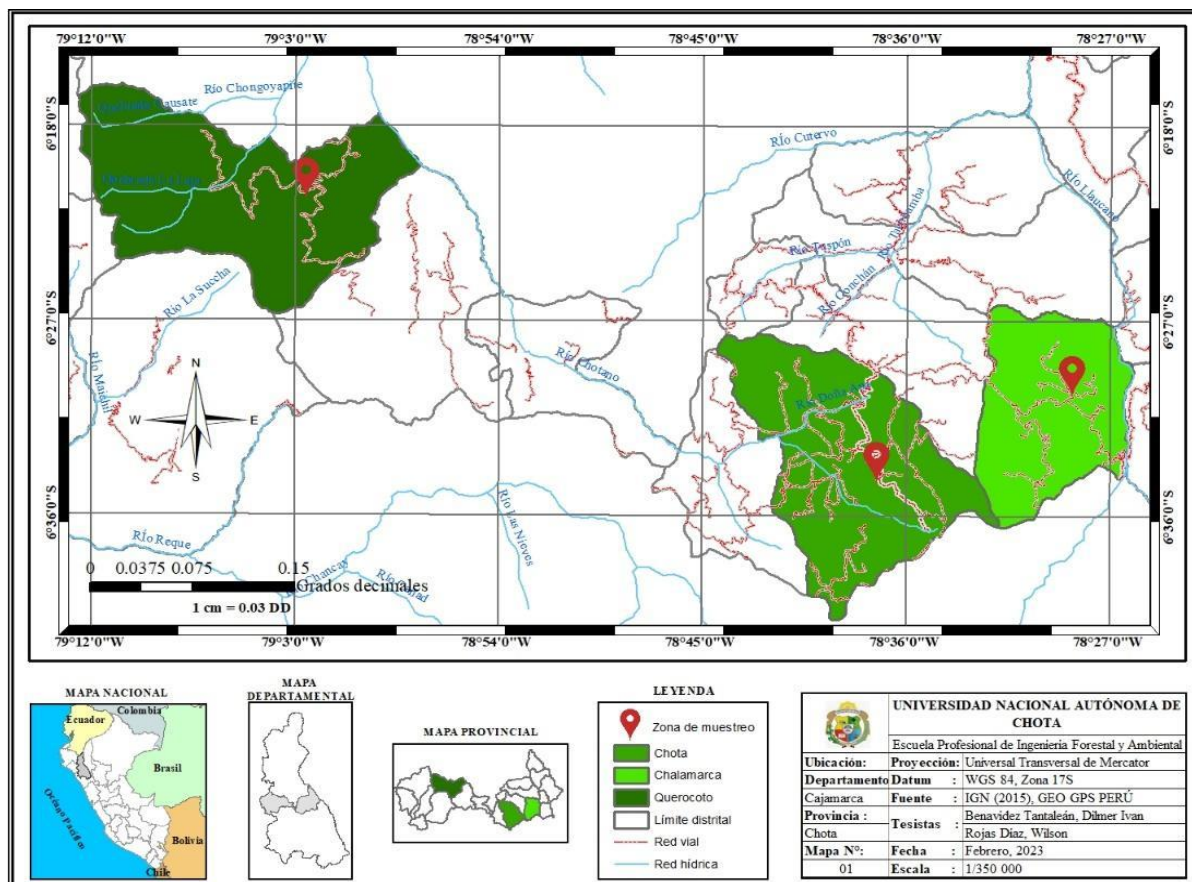


Tabla 2

Datos de árboles muestreados según procedencia

Sitio de muestreo	Árbol	DAP (cm)	Coordenadas geográficas		Altitud (m s.n.m)
			Latitud	Longitud	
Chota	1	26.74	6°34'24.78"S	78°37'18.05"O	2734
	2	25.46	6°34'25.92"S	78°37'18.05"O	2734
	3	38.83	6°34'26.05"S	78°37'17.27"O	2773
Chalamarca	1	28.65	6°30'24.54"S	78°28'39.18"O	2661
	2	30.24	6°30'24.22"S	78°28'40.48"O	2662
	3	27.06	6°30'24.87"S	78°28'40.15"O	2655
Querocoto	1	30.24	6°21'22.30"S	79° 2'32.12"O	2582
	2	36.61	6°21'23.24"S	79° 2'31.99"O	2582
	3	31.83	6°21'25.85"S	79° 2'32.21"O	2600

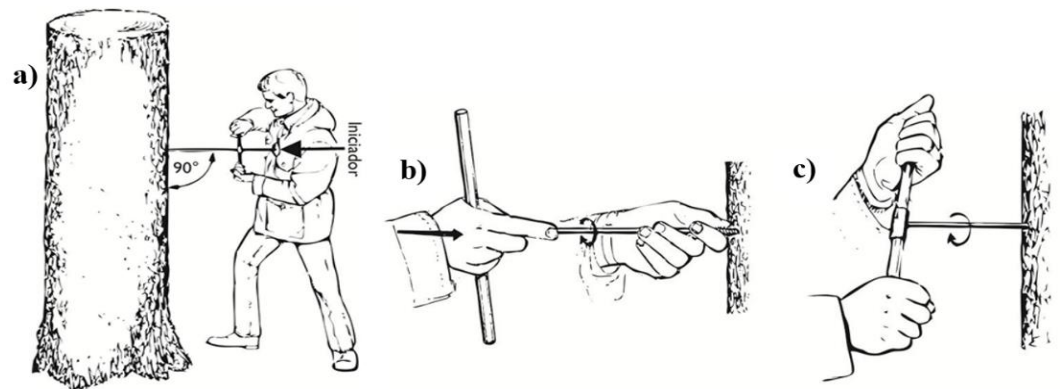
El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), realizó la clasificación climática de la provincia de Chota basándose en el método Thornthwaite, determinando que en la zona es predominante el clima de tipo lluvioso, semifrío y húmedo; con temperaturas máximas promedio entre 19,7 a 20,4 °C y temperaturas mínimas promedio de 12 a 12,9 °C, siendo la precipitación en invierno deficiente (Sánchez y Vásquez, 2010).

3.3.1.1. Identificación del Lugares a Muestrear. Para evaluar las características microscópicas se identificó y extrajo muestras de 3 árboles de *A. acuminata* por cada uno de los distritos de muestreo (9 árboles en total), considerando buen estado fitosanitario, DAP a 1,30 m a la altura del fuste > 20 cm y ubicación accesible. Se recolectó muestras (hojas, flores, frutos) para su identificación taxonómica de esta especie, y para la determinación de las características organolépticas y macroscópicas se taló el árbol N° 2 procedente de la provincia de Chota.

3.3.1.2. Selección, Extracción y Preparación de las Muestras de Madera. Como primera fase, se seleccionó los árboles en base a la norma NTP 251.008 (INACAL, 2016). La extracción de muestras para la identificación de características organolépticas y macroscópicas se realizó mediante la extracción de una sección del fuste del árbol (30 cm de longitud) a la altura del pecho (CAP 80 cm) para posteriormente obtener pequeñas probetas; y para las características microscópicas se realizó usando un barrenador de Pressler (5 mm de diámetro) a la altura del DAP (1,3 m) del fuste; el cual consistió en retirar baguetas radiales de madera (desde la corteza hasta la médula). De cada árbol se extrajo 2 baguetas radiales de corteza a corteza en sentidos opuestos (figura 3).

Figura 2

Extracción de baguetas con Barreno de Pressler

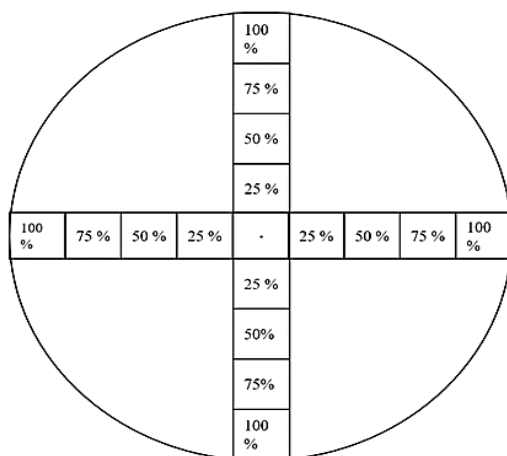


Nota. a) Insertado del barreno de Pressler a la altura del pecho (1,3 m), b) Insertado de barreno ejerciendo presión y girando en dirección de las manecillas del reloj, c) Girado de barreno en dirección de las manecillas del reloj (Gutierrez y Ricker, 2015).

Las muestras obtenidas se dispusieron cuidadosamente en sorbetes para su posterior traslado al Laboratorio de Tecnología de la Madera del Departamento de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, en donde se secaron al aire libre durante 3 días, previamente fijadas sobre un soporte de madera para evitar torceduras y/o deformaciones. Posteriormente, el 50% de baguetas extraídas (9) cada bagueta se subdividió de médula a corteza en 4 posiciones radiales (25%, 50%, 75%, y 100%) del radio del tronco, totalizando 72 secciones de leño a evaluar (9 baguetas x 8 secciones) (figura 3).

Figura 3

Delimitación de las posiciones radiales a evaluar en los estudios anatómicos



3.3.2. Fase de Laboratorio

3.3.2.1. Análisis de las Características Organolépticas. Se determinó las características mediante la utilización de los órganos sensoriales, las mismas se describieron para cada muestra-posición radial y basándonos en el estudio realizado por Gonzales (2008) sobre identificación organoléptica y macroscópica de maderas comerciales, se identificó las siguientes características:

- **Color:** Para la identificación y caracterización, se empleó la Tabla de colores de Munsell.
- **Olor y sabor:** Para la identificación del olor, se utilizó una superficie del duramen recientemente cortada. La identificación del sabor se logró por el efecto del sentido del gusto que es producido por ciertas sustancias adheridas en las células de la madera.
- **Brillo:** El lustre o brillo de la madera se determinó en un plano de corte tangencial, debido a la presencia de mayor cantidad de radios que reflejan más lustre.

- **Veteado:** Se observó en la superficie longitudinal pulida y se determinó en la sección tangencial y radial.
- **Textura:** Se determinó en el corte transversal de la madera.
- **Grano:** Se determinó en la sección transversal de una probeta, empleando una cuchilla y en dirección de los radios.

3.3.2.2. Análisis Macroscópico. Las probetas y baguetas se pulieron con lijas de granulometría creciente (100, 200, 300, 400, 600, 800, 1000); seguidamente en el estereoscopio se observó las siguientes características: la médula, los anillos de crecimiento, radios, poros y parénquima. Las muestras de madera se digitalizaron en un escáner Brother DCP-T420W a una resolución de 1200 ppm para mostrar las diferencias anatómicas macroscópicas entre las posiciones radiales. Los procedimientos para la evaluación de las características macroscópicas se basaron en la norma IAWA los cuales se detallan a continuación (Beeckman, 2016).

- **Médula**

Se realizó mediante la observación y usando un estereoscopio, denotando la orientación de los radios y a su vez el agrupamiento concéntrico de los anillos de crecimiento

- **Anillos de crecimiento**

Al igual que en la estructura anatómica anterior, se observó si los anillos de crecimiento son visibles o no visibles.

- **Vasos/poros**

En esta actividad se determinó el tipo de porosidad, la disposición de vasos/poros y por último el tipo de agrupación de vasos/poros.

- **Determinación del parénquima**

- Se determinó si es parénquima axial apotraqueal (difuso, difuso en agregados), parénquima axial paratraqueal (vasicéntrico, aliforme, aliforme confluyente), parénquima en bandas o parénquima axial por tipo de células.

3.3.2.3. Análisis Microscópico. Primero, se prepararon láminas histológicas y de tejido macerado.

- **Preparación de láminas histológicas de la sección transversal y tangencial**

Se siguió el método estándar de preparación de láminas histológicas para estudios anatómicos de plantas (Johansen, 1945).

- **Ablandamiento:** En esta etapa, cada muestra se colocó en un vaso de precipitación de 50 ml con agua destilada, en una placa de calentamiento hasta el punto de ebullición por un tiempo de 1 hora.
- **Corte de láminas:** Las muestras ablandadas fueron cortadas en un microtomo (22 μm de espesor), en su sección transversal, y puestas sobre un vidrio de reloj.
- **Limpieza y blanqueamiento:** Se aplicó una solución de hipoclorito de sodio al 20% para remover las sustancias orgánicas y blanquear levemente el tejido para una obtener una mejor coloración. Posteriormente realizamos el lavado de las láminas utilizando agua destilada hasta lograr la eliminación total del olor de la solución.
- **Deshidratación:** Se aplicó alcohol de 30° por un lapso de 15 minutos, después se eliminó el alcohol de 30° e inmediatamente se realizó el mismo procedimiento para el alcohol de 60°.

- **Coloración:** Luego se procedió a teñir la muestra con safranina (aproximadamente 1 a 2 gotas) donde pudo notarse una coloración homogénea y dejamos reposar por un tiempo aproximado de 3 min. Posteriormente lavamos dos veces la muestra con alcohol de 96°. Por último, lavamos en xilol y dejamos reposar en la solución durante 20 minutos con el objetivo de fijar el colorante.
- **Montaje:** Cada lámina se escuadró con un bisturí y se dispuso en una lámina portaobjeto donde se cubrió con una resina sintética (bálsamo de Canadá) finalmente se colocó la lámina cubreobjeto y se etiquetó correctamente como corresponde.
- **Secado de las láminas:** Se realizó en una estufa, con una temperatura de 30 °C durante 1 día.

- **Preparación del tejido macerado**

Se siguió el procedimiento del método de Franklin, las astillas de cada una de las muestras de las 4 posiciones radiales fueron colocadas y sumergidas en tubos de ensayo (con su respectiva etiqueta) con una solución de peróxido de hidrógeno (1:1) y ácido acético y llevadas a una estufa durante 48 horas a 60° C (Johansen, 1945).

Una vez ablandadas las muestras, se descartó la solución y las muestras fueron lavadas por 6 veces consecutivas con agua desionizada (destilada) teniendo cuidado no perder ninguna de las astillas. A las mismas se agregó safranina (5 a 6 gotas hasta lograr una coloración uniforme) y se dejó por un tiempo de 5 min, posteriormente se apartó una pequeña cantidad de astillas y fue dispuesto sobre una placa Petri; luego se agregó glicerina y se dejó reposar por 30 min. Haciendo uso de una aguja y pincel hipodérmico se procedió a

separar los vasos y fibras en distintos portaobjetos. Finalmente, se colocó el cubreobjeto, se realizó el etiquetado respectivo de cada una de las láminas.

- **Toma de fotografías de los elementos anatómicos.**

Empleando el programa Leica LAS EZ en conjunto con un microscopio de luz equipado con cámara se realizó la toma de fotografías de las láminas a diferentes aumentos: Para la medición del área ocupada de vasos, área promedio de vasos, y diámetro tangencial de vasos se tomaron fotografías a un aumento de 10X; para la medición de longitud de fibras y frecuencia de vasos se tomaron a un aumento de 4X, y para la medición de diámetro de fibra y diámetro de lumen se tomaron fotografías a un aumento de 40X.

En las fotos de las láminas histológicas del corte transversal obtenidas con el microtomo, se midió el diámetro tangencial de los vasos (μm), área ocupada (%), área promedio de vasos (μm) y frecuencia de vasos (Nº de vasos por mm^2).

En las fotos de las láminas histológicas del corte tangencial obtenidas con el microtomo, se midió la altura (μm), ancho (μm) y frecuencia de radios (por mm).

En las fotos de las láminas histológicas obtenidas del macerado, se midió la longitud, espesor de pared, diámetro de lumen y diámetro de las fibras (μm).

- **Medición de los elementos anatómicos**

Se realizó en base a las normas de IAWA Committee (1989); conectado a un microscopio con cámara incorporada a diferentes aumentos (4X, 10X y 40X). Para la medición de vasos, fibras y radios nos basamos en el método que empleó Chambi (2016) en su estudio, se empleó el software ImageJ. A continuación, se describe la forma en que como se midió dichos elementos:

- **Vasos.** Para medir el diámetro de los vasos, se recolectaron imágenes digitales de las secciones transversales de la madera con un aumento de 4X y 10X aplicando el programa ImageJ. Cabe mencionar que se recogieron tantas imágenes necesarias para cubrir una sección radial completa de la muestra. Para la medición de área ocupada (%), área media (μm) y diámetro tangencial (μm) se trabajó en un área de 1.27 mm^2 , mientras que, para la frecuencia de vasos, se trabajó en 1 mm^2 .
- **Radios**

Se recolectaron imágenes (3 por sección) del plano tangencial de la muestra, luego se determinó la altura, ancho y frecuencia de los radios por mm. Se seleccionaron las mejores imágenes para tener un óptimo estudio.
- **Fibras:** Se realizó la disociación celular, lo cual consistió en que los segmentos de la madera (astillas) del *A. acuminata* sean sometidos a maceración a través del método Franklin (Johansen, 1945) transfiriéndoles a tubos de ensayo (ácido acético y peróxido de hidrógeno 120 vol., 1:1) cerrado y mantenido en estufa (60 °C - 48 h). Luego se procedió a eliminar la solución de maceración, las células disociadas se lavaron en agua destilada, se agregó safranina y se montó con glicerina en láminas portaobjetos de vidrio.

Para la medición del diámetro de fibra (40X), diámetro del lumen (40X) espesor de pared de fibra (40X) y longitud de fibra (4X) se realizó mediciones al azar de 35 fibras por sección.

3.4. Población, Muestra y Muestreo

3.4.1. Población

La población estuvo representada por las zonas en el ámbito de la provincia de Chota donde hay presencia de *A. acuminata* y cuyo valor de DAP (1,3 m) supere los 20 cm.

3.4.2. Muestra

La muestra estuvo constituida por 9 árboles de *A. acuminata*, 3 por cada zona de muestreo (Chota, Chalamarca y Querocoto), en base a la NTP 251.008 INACAL (2016), que recomienda que para estudios de propiedades de la madera preliminares se deben tomar como mínimo 3 individuos por lugar. De cada árbol muestreado se extrajo 2 baguetas radiales a la altura del DAP (1,3 m) usando el barrenado de Pressler, totalizando 18 baguetas radiales de *A. acuminata*.

3.4.3. Muestreo

La investigación empleó el método muestral no probabilístico porque se seleccionaron 3 árboles (por zona de estudio) de buen estado fitosanitario, DAP (1,3 m) > 20 cm y ubicación accesible. Esto permitió realizar una descripción de las características anatómicas más exactas posibles de la especie, se evitó el muestreo de árboles enfermos o con daños físicos (común en entornos urbanos y rurales) pues tienen su anatomía afectada (Hernández et al., 2014).

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.5.1. Técnicas de Recolección de Datos

Se realizó mediante la observación directa, la medición (elementos anatómicos en el software ImageJ), y el análisis de datos (RStudio). Para este estudio se revisó las normas: IAWA 1989, NTP 251.008 de selección y colección de muestras de madera, la guía de identificación organoléptica y macroscópica de maderas comerciales CITE madera – 2008, tabla de colores Munsell, Test de Shapiro Wilk y Prueba de Bartlett.

3.5.2. Instrumentos de Recolección de Datos

Se empleó: GPS, barreno de Pressler, software ImageJ para la medición de las dimensiones de las células (vasos, parénquima, radios y fibras), el programa *R* (Core Team, 2022) para el análisis de datos; micrótopo de deslizamiento horizontal, microscopio, estereoscopio, estufa, Microsoft Excel, cámaras fotográficas y cuaderno de apuntes.

3.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

3.6.1. Técnicas de Procesamiento

En esta etapa de investigación los datos obtenidos fueron digitalizados y organizados de tal manera que se puedan diferenciar las 4 posiciones radiales (25%, 50%, 75%, y 100%) para cada variable.

La estadística de los datos fue llevada a cabo en *RStudio* y Microsoft Excel en su versión 2023 (4.3.1) y 2019 (17.0) respectivamente, lo cual nos permitió realizar el conteo de las frecuencias radiales, organizarlas en tablas y la creación de gráficos para su interpretación.

3.6.2. Análisis de Datos

Se determinó el promedio y desviación estándar para las diferentes variables (vasos, radios y fibras). Se comprobó la normalidad de los datos a través de la prueba

de Shapiro Wilk, así mismo se comprobó la homogeneidad de varianzas mediante la aplicación de la prueba de Bartlett, luego de comprobada la normalidad de los datos y homogeneidad de varianzas, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) al 5 % de confianza, para verificar si las diferencias de la variación radial son significativas en la región de la médula, región intermediaria y región de la corteza; y la prueba de Tukey se empleó para comparar las medias entre variables ($p < 0.05$). La información fue sometida a un análisis estadístico con el objetivo de evaluar y contrastar la hipótesis. Además, los resultados se presentan en tablas, figuras y otros formatos, facilitando así su interpretación desde una perspectiva metodológica y temática. Estos análisis se realizaron con los programas *RStudio 2023* (4.3.1) y Microsoft Excel.

3.7. Aspectos Éticos

El presente estudio al igual de otras tesis de grado, sigue los aspectos éticos que están basados en honestidad, objetividad y reconocimiento de los derechos de autor, a fin de evitar algún riesgo o consecuencias que perjudiquen la fiabilidad en nuestra investigación.

Las actividades realizadas en cada una de las fases de la presente investigación se orientaron a asegurar la calidad de tesis de grado como también garantizar el bienestar y sobre todo seguridad de todas las personas involucradas en este estudio, enfatizando el cumplimiento de normas, reglamentos y aspectos legales con el propósito de alcanzar las metas establecidas en nuestra investigación. Asimismo, se dio cumplimiento al Reglamento de Grados y Títulos que establece la UNACH con Resolución de Comisión Organizadora N° 120-2022-UNACH/OGPP de fecha 03 de marzo de 2022. Asimismo, en la elaboración del presente trabajo, cumplimos con respetar los derechos de autoría y propiedad intelectual, citando sus fuentes, de esta manera evitar malas acciones de plagio.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción de Resultados

4.1.1. Prueba de Normalidad y Homogeneidad de Varianzas

En todas las variables estudiadas se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para confirmar la normalidad en la distribución de los datos y la prueba de Bartlett para evaluar la homogeneidad de las varianzas.

- Distribución Normal si p – valor $> 0,05$.
- Homogeneidad de varianzas si p – valor $> 0,05$.

Los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk indicaron que todas las variables siguen una distribución normal, mientras que la prueba de Bartlett indicó que en todas las variables las muestras provienen de poblaciones con la misma varianza (Tabla 3).

Tabla 3

Test de Shapiro Wilk y prueba de Bartlett

Variables	P-valor	
	Test Shapiro - Wilk	Prueba de Bartlett
Área ocupada de vasos	0,22	0,06
Área media de vasos	0,71	0,44
Diámetro tangencial de vasos	0,54	0,55
Frecuencia de vasos/mm ²	0,53	0,50
Altura de radio	0,73	0,33
Ancho de radio	0,92	0,18
Frecuencia de radios/mm	0,07	0,46
Diámetro de fibra	0,45	0,27
Diámetro de lumen de fibra	0,16	0,49
Espesor de la pared de fibra	0,44	0,87
Longitud de fibra	0,09	0,06

4.1.2. Descripción de las Características Organolépticas

Las características organolépticas de *A. acuminata* fueron percibidas por los órganos sensoriales. Entre ellas se incluyen: color, textura, brillo, grano, olor, sabor y vetado (Tabla 4).

Tabla 4*Características organolépticas de A. acuminata*

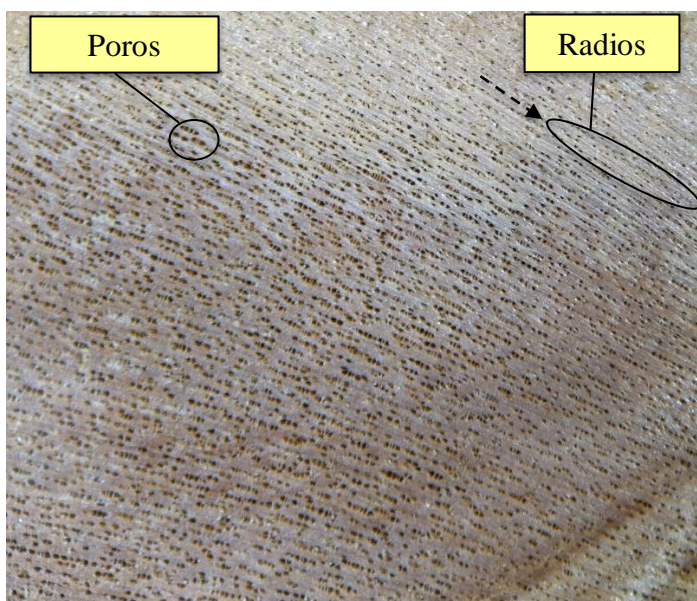
CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Color	Anaranjado 7.5 YR 8/6
Olor	Imperceptible
Sabor	No distintivo
Brillo	Moderado
Veteado	Arcos superpuestos, con líneas más oscuras que el resto de la madera
Textura	Textura fina
Grano	Recto a ligeramente entrecruzado

4.1.3. Descripción de las Características Macroscópicas

Se determinó en el plano de corte transversal con un aumento de 10X (Figura 4).

Figura 4

Vista a 10X de los elementos anatómicos en el plano transversal



Se identificaron los siguientes elementos anatómicos: los poros, parénquima, radios, anillos de crecimiento y la diferenciación entre albura y duramen (Tabla 5).

Tabla 5

Características macroscópicas de A. acuminata

CARACTERÍSTICA		DESCRIPCIÓN
Poros	Visibilidad	Visibles con lupa de 10X
	Agrupación	Difusa, solitarios y múltiples radiales.
	Tamaño	Promedio de diámetro tangencial: 59 a 65 μm
Parénquima	Visibilidad	Visibles con lupa de 10X
	Forma	Axial apotraqueal difusa
Radios	Visibilidad sección transversal	Visibles con lupa de 10X
	Visibilidad sección tangencial	1 a 3 series (Uniseriados, biseriados y triseriados)
Anillos de crecimiento	Visibilidad	Visibles a simple vista
	Definido	Definidos
Demarcación de albura y duramen	No presenta diferencia demarcada	

4.1.4. Descripción de las Características Microscópicas

4.1.4.1. Variación de los caracteres anatómicos según posición radial.

Existieron diferencias significativas entre posiciones radiales para las variables área ocupada de vasos, diámetro tangencial de vasos, espesor de pared de fibra y longitud de fibra. En contraste para las variables frecuencia de vasos/ mm^2 , área ocupada de vasos, altura de radios, ancho de radios, frecuencia de radios/ mm , diámetro de fibra y diámetro de lumen de fibra, no existieron diferencias significativas entre posiciones radiales (Tabla 6).

Tabla 6

Valores promedio de los elementos anatómicos según posición radial (médula-corteza)

Variables	Posición radial (%)							
	0 - 25		25 - 50		50 - 75		75 - 100	
Área ocupada de vasos (%)	16.36	± 2.37	17.97	± 3.84	18.53	± 4.60	23.00	± 3.13
Área media de vasos (µm)	3686.1	± 897.6	4382.5	± 612.3	4458.1	± 492.3	4823.4	± 699.1
Diámetro tangencial de vasos (µm)	56.78	± 7.75	62.54	± 4.46	63.82	± 7.23	65.51	± 6.94
Frecuencia de vasos/mm ² (µm)	45.60	± 8.42	42.37	± 7.43	41.88	± 11.31	50.24	± 8.73
Altura de radio (µm)	244.76	± 20.64	248.86	± 27.72	259.79	± 41.77	272.21	± 35.98
Ancho de radio (µm)	18.61	± 2.13	18.14	± 1.40	18.44	± 1.47	18.83	± 1.94
Frecuencia de radios/mm (µm)	17.59	± 0.97	18.15	± 1.54	17.48	± 1.51	17.59	± 0.53
Diámetro de fibra (µm)	28.47	± 2.06	28.37	± 2.72	29.13	± 3.10	29.53	± 1.79
Diámetro de lumen de fibra (µm)	28.47	± 2.06	19.27	± 2.21	19.55	± 2.65	19.39	± 1.70
Espesor de la pared de fibra (µm)	4.24	± 0.44	4.55	± 0.59	4.79	± 0.36	5.07	± 0.42
Longitud de fibra (µm)	1081.9	± 74.29	1178.7	± 129.9	1211.2	± 105.2	1206.8	± 102.2
	9		4	0	2	3	5	4

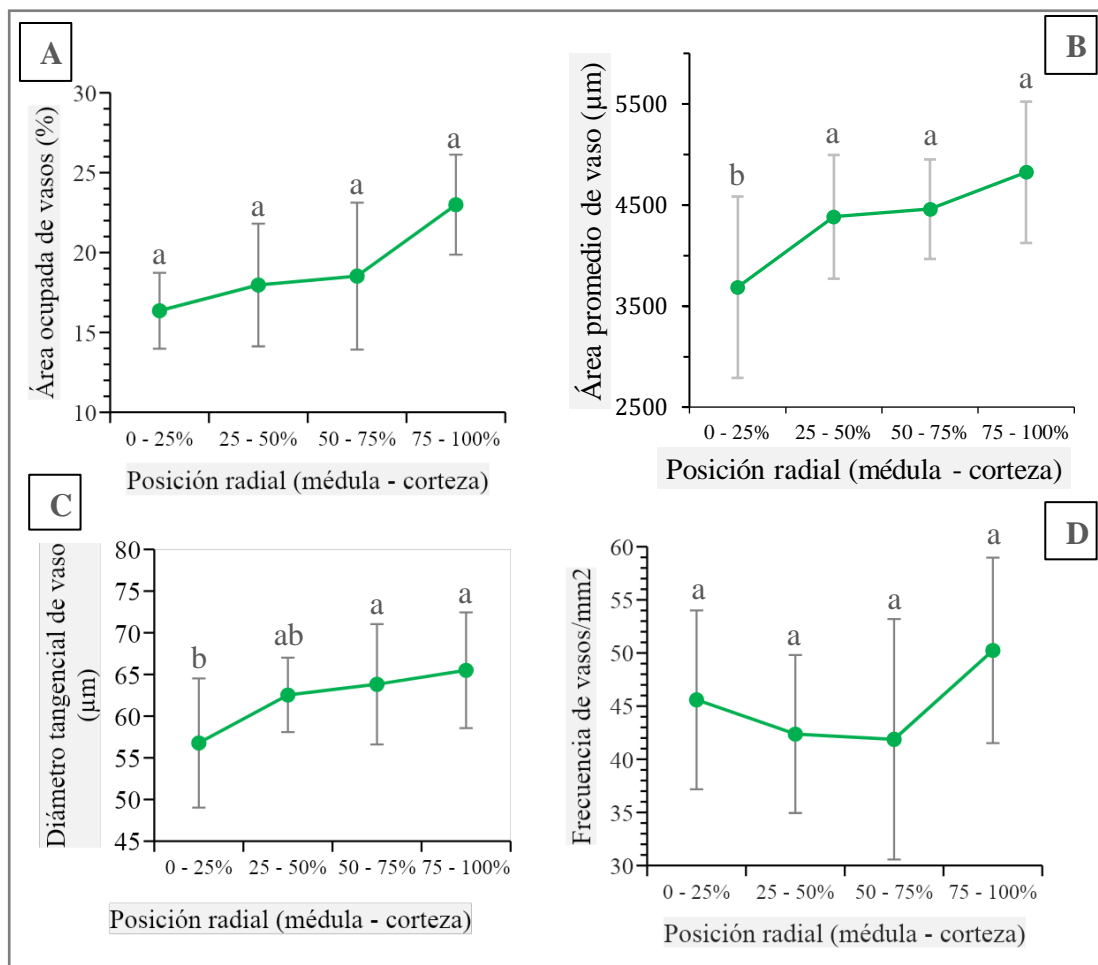
A. Variación radial de vasos

En la figura 5A se aprecia que la variación del área ocupada de vasos fue significativamente mayor en la posición 75% al 100% (cerca a la corteza). Mientras que desde la posición 0% a 75% no presentaron variación significativa. Para el área promedio de vasos, existieron diferencias significativas entre la posición más cercana a la médula 0 – 25% con las posiciones más externas; mientras que entre las posiciones intermedias y externas 25 – 50%, y 50 – 75% y 75 – 100% no hubo diferencias significativas (Figura 5B). El diámetro tangencial de vasos aumentó significativamente hacia la posición 75% - 100% (cerca a la corteza – 65,5 µm), mientras que en el diámetro de los vasos entre las posiciones intermedias (25 - 50% y 50 - 75%) no presentaron diferencias significativas; el perfil radial sugiere un patrón de incremento del diámetro de los vasos desde la médula hasta la corteza (Figura 5C). Respecto a la frecuencia de vasos/mm² se observó mayor frecuencia

de vasos en las posiciones 0-25% (próxima a la médula – 46 μm) y 75-100% (próxima a la corteza – 50 μm); mientras que entre las posiciones intermedias (42 μm) no existió diferencia significativa. Por tanto, el patrón de variación indica una reducción de la frecuencia de vasos desde la médula hasta la tercera parte del radio y a partir de allí un incremento hasta la corteza (Figura 5D).

Figura 5

Variación radial de vasos



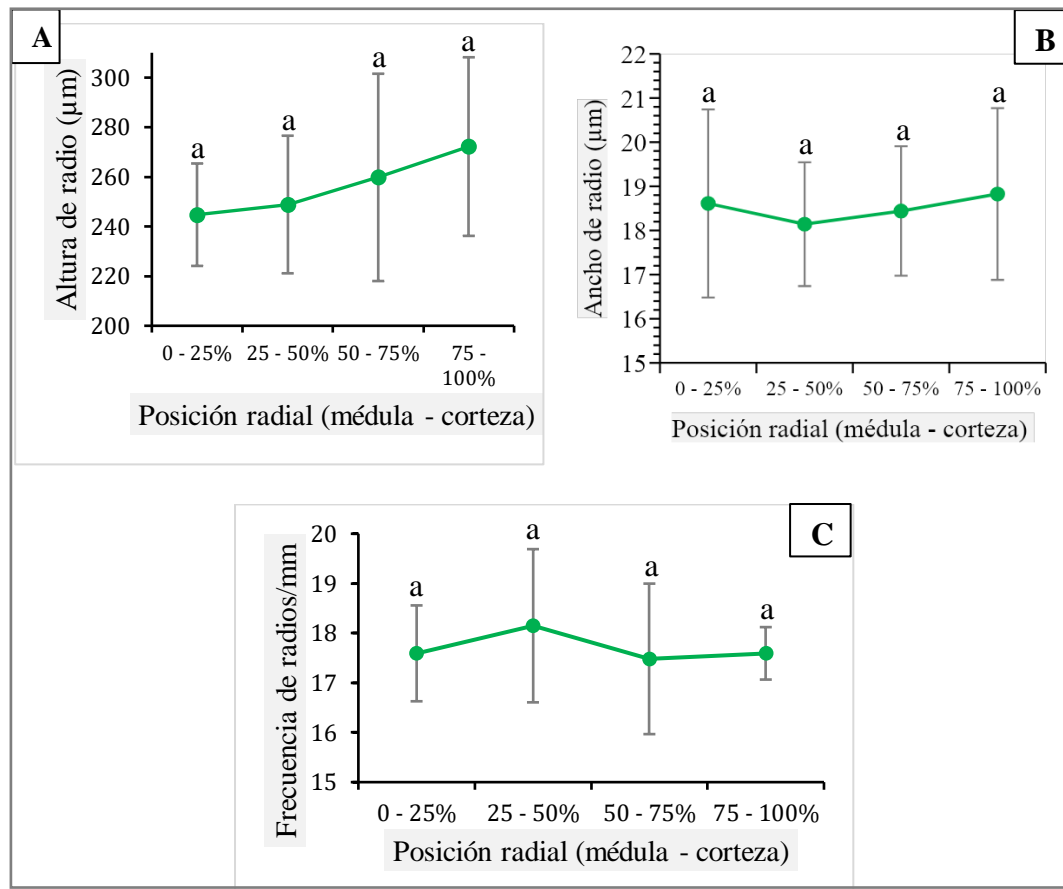
B. Variación radial de radios

No existieron diferencias significativas entre las 04 posiciones radiales respecto a la altura de los radios; el perfil muestra que la altura de los radios no varió desde la médula a la corteza (Figura 6A). Por otro lado, el ancho de los radios no varió significativamente entre las posiciones radiales; el ancho promedio de

radios fue de 18 μm (Figura 6B); en contraste, la frecuencia de radio por mm lineal presentó valores significativamente más altos en la posición 25 – 50% en comparación con las otras posiciones. Sin embargo, no existió un patrón de variación radial bien definido, porque los valores aumentaban y disminuían de la médula a la corteza (Figura 6C).

Figura 6

Variación radial de radios



C. Variación radial de fibras

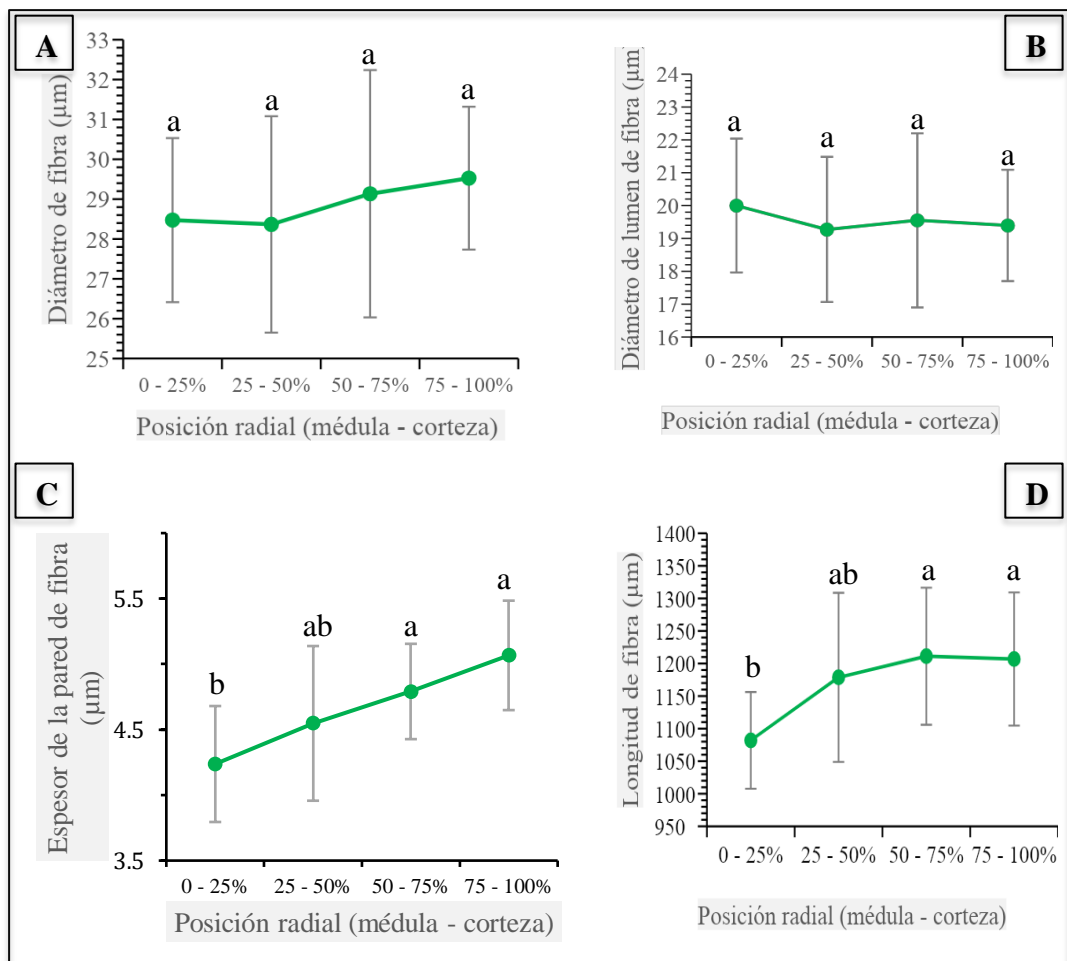
El diámetro de las fibras aumentó significativamente en las posiciones 50 – 75% y 75 – 100%. El perfil radial sugiere que mientras más cerca a la corteza el diámetro de las fibras aumenta (Figura 7A). A diferencia de lo observado para el diámetro de las fibras, el diámetro del lumen no presentó variaciones significativas entre las posiciones radiales. Existió diferencia significativa en la posición 0% –

25% (cerca a la médula – 4,2 μm) con respecto a la posición 75%-100% (cerca a la corteza – 5,06 μm) (Figura 7B). Además, el perfil radial sugiere que el espesor de fibra se incrementa de la médula hacia la corteza (Figura 7C).

La longitud de las fibras de la posición más cercana a la médula (1089,9 μm) fue significativamente menor respecto a las posiciones más externas (1206,8 μm). El perfil de variación radial, muestra un leve incremento hasta la posición intermedia, sin embargo, no hubo un aumento significativo desde la posición 25 – 50% a 75 – 100% (Figura 7D).

Figura 7

Variación radial de fibras



4.1.4.2. Variación de los caracteres anatómicos entre sitios. En la tabla 7, se muestra la estadística básica en función al promedio de las variables estudiadas por cada lugar de muestreo, teniendo su desviación estándar como un indicador de la dispersión respecto a la media.

Tabla 7

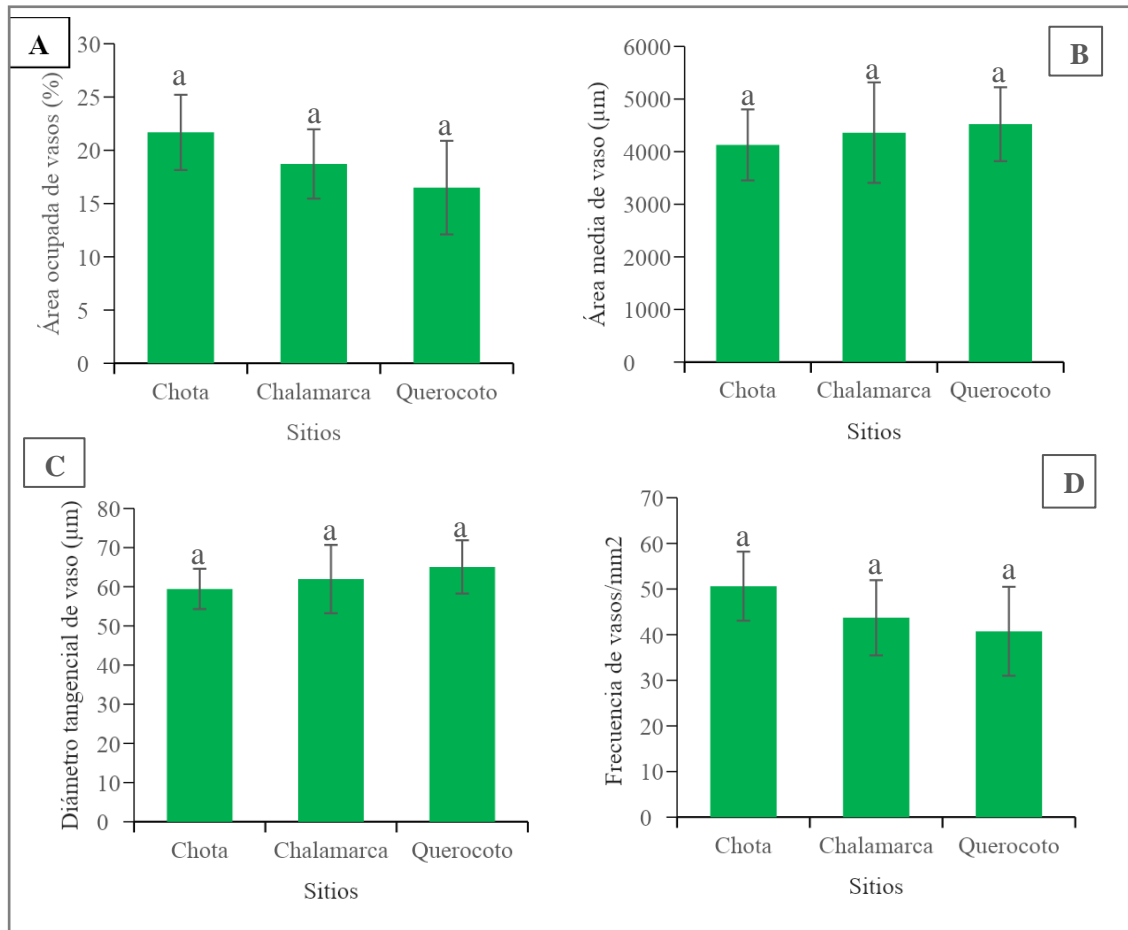
Valores promedio de los elementos anatómicos según sitio de muestreo

Variables	Sitio					
	Chota		Chalamarca		Querocoto	
Área ocupada de vasos (%)	21.68	± 3.53	18.72	± 3.25	16.49	± 4.39
Área media de vasos (μm)	4128.99	± 675.77	4361.28	± 953.77	4522.50	± 701.90
Diámetro tangencial de vasos (μm)	59.44	± 5.16	61.98	± 8.73	65.06	± 6.81
Frecuencia de vasos/ mm^2	50.63	± 7.56	43.71	± 8.25	40.73	± 9.75
Altura de radio (μm)	252.52	± 30.62	264.17	± 38.42	272.71	± 33.56
Ancho de radio (μm)	19.48	± 1.34	18.40	± 1.38	17.63	± 1.91
Frecuencia de radios/mm	17.90	± 1.28	17.74	± 1.15	17.47	± 1.20
Diámetro de fibra (μm)	29.45	± 2.13	27.80	± 1.93	29.37	± 2.90
Diámetro de lumen de fibra (μm)	19.88	± 2.22	18.99	± 1.85	19.80	± 2.26
Espesor de la pared de fibra (μm)	4.79	± 0.41	4.41	± 0.64	4.79	± 0.49
Longitud de fibra (μm)	1104.97	± 112.09	1220.77	± 110.29	1183.37	± 92.16

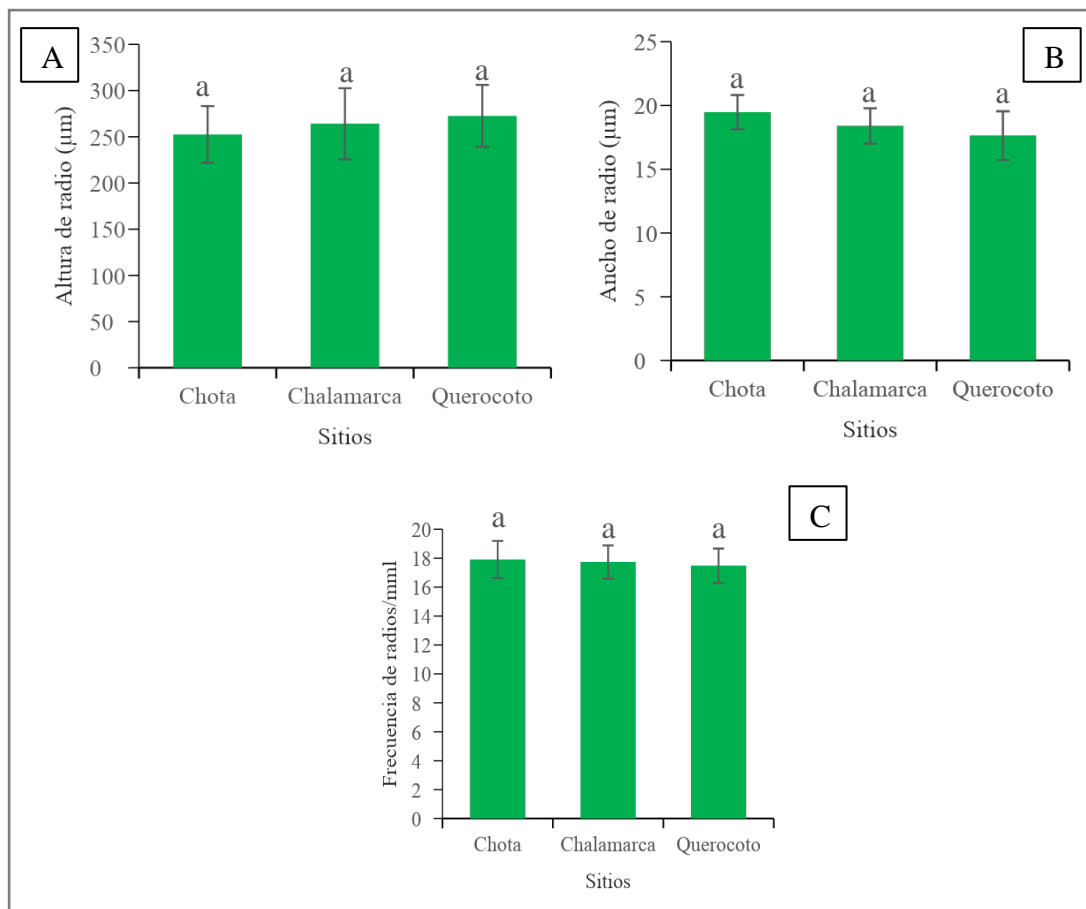
A. Vasos

El porcentaje promedio del área ocupada los elementos vasculares fueron de 19% (variando de 17% a 22%). Aunque el área ocupada por vasos en Chota fue levemente mayor, no existió diferencia significativa con Chalamarca y Querocoto (Figura 8A). Por otro lado, el área media de vasos varió entre 4128,99 μm , 4522,50 μm , sin diferencias significativas entre los sitios (Figura 8B).

En cuanto al diámetro tangencial de vasos el valor promedio es de 62 μm (59 μm , 65 μm) (Figura 8C); y para la frecuencia de vasos/ mm^2 de 45 (41 μm , 51 μm) (Figura 8D), teniendo valores inversamente relativos en función a la zona de estudio para estas dos variables.

Figura 8*Variación radial de vasos según lugar de muestreo***B. Radios**

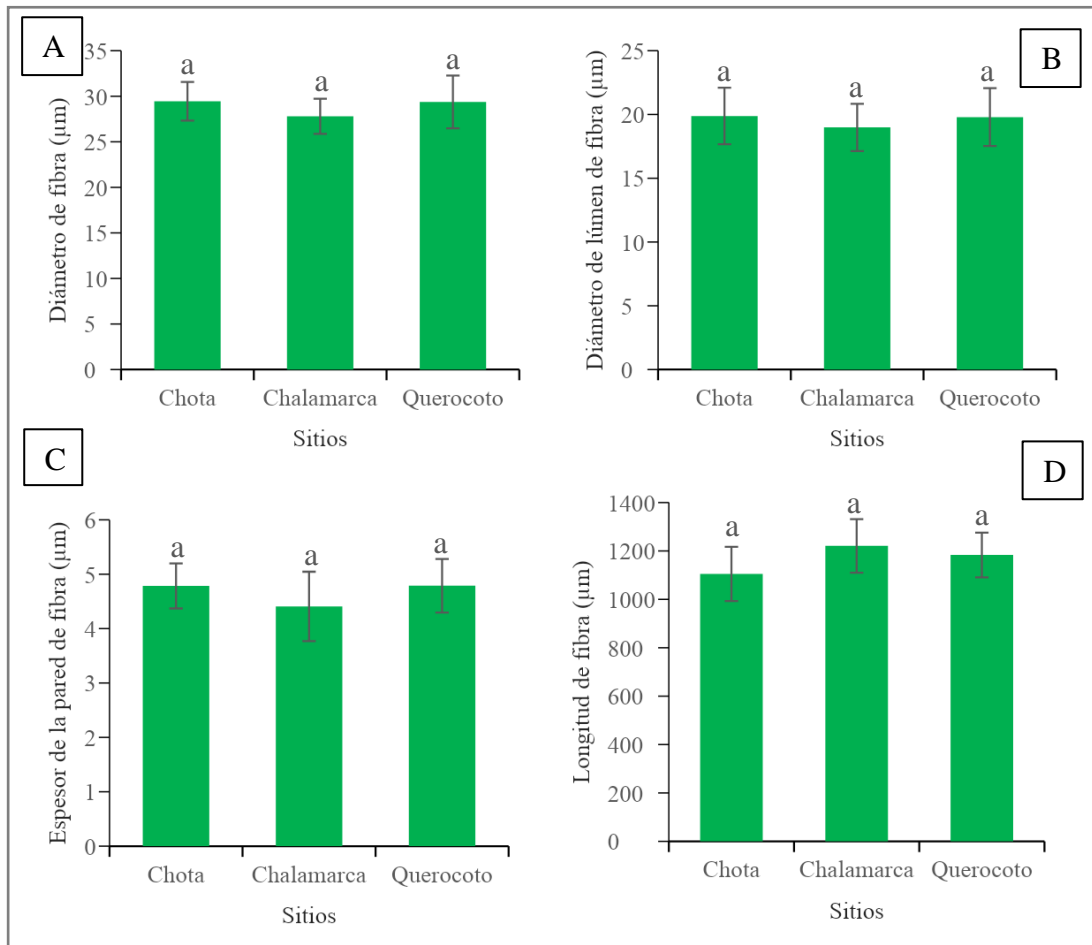
Los datos promedio para altura (Figura 9A) y ancho de radio (Figura 9B) fueron $263,13 \mu\text{m}$ ($252,52 \mu\text{m}$; $272,71 \mu\text{m}$) y $18,51 \mu\text{m}$ ($17,63 \mu\text{m}$; $19,48 \mu\text{m}$) respectivamente, notándose un incremento de altura promedio de radio en Querocoto; los resultados para frecuencia de vasos según lugar de estudio presentan datos homogéneos, es decir su dispersión es baja respecto al promedio (18 radios/mm) (Figura 9C).

Figura 9*Variación radial de radios según lugar de muestreo***C. Fibras**

El patrón de variación radial para diámetro de fibra (Figura 10A) y de lumen (Figura 10B) fue similar, dando como promedios 28,88 µm (27,80 µm y 29,45 µm) y 19,55 µm (18,99 µm y 19,88 µm) respectivamente; en cuanto a la medición del espesor de la pared de fibra tuvo un promedio de 4,66 µm (4,41 µm, 4,79 µm) (Figura 10C) y para longitud de fibra 1 169,70 µm (1 104,97 µm y 1 220, µm) (Figura 10D).

Figura 10

Variación radial de fibras según lugar de muestreo



4.2. Contrastación de Hipótesis

4.2.1. Prueba de ANOVA y Prueba de Medias de Tukey

Hipótesis nula (H_0): No existe variación radial significativa en las características anatómicas de la madera de *Alnus acuminata* procedente de la provincia de Chota, Cajamarca.

Hipótesis alternativa (H_1): Existe variación radial significativa en las características anatómicas de la madera de *Alnus acuminata* procedente de la provincia de Chota, Cajamarca.

Con el propósito de verificar la existencia de diferencias significativas entre variables por posición radial, se realizó análisis de varianza de manera independiente, por cada uno de los elementos estudiados, los cuales se presentan en la tabla 8.

Tabla 8

Prueba de análisis de varianza (ANOVA) para todas las variables

VARIABLE	p-Valor		
	POSICIÓN RADIAL	RADIO	POSICIÓN RADIAL × RADIO
Área ocupada de vasos	7.02E-05	0.6658	0.8922
Área media de vasos	0.000525	0.213397	0.8586644
Diámetro tangencial de vasos	0.008057	0.143242	0.967865
Frecuencia de vasos/mm ²	0.06148	0.28979	0.81985
Altura de radio	0.7283	0.7594	0.3942
Ancho de radio	0.9178	0.5392	0.8944
Frecuencia de radios/mm	0.5717	0.2114	0.6125
Diámetro de fibra	0.5723	0.2073	0.9334
Diámetro de lumen	0.8479	0.3057	0.8968
Espesor de la pared de fibra	0.001044	0.439023	0.388028
Longitud de fibra	0.01043	0.36733	0.92727

*el nivel de significación es de, 0.05.

El nivel de significancia fue mayor a 0,05 para las variables frecuencia de vasos, área ocupada de vasos, altura de radios, ancho de radios, frecuencia de radios, diámetro de fibra y diámetro de lumen, por lo tanto, se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula para estas variables; no existe variación radial entre las 4 posiciones (0-25%, 25 - 50%, 50 - 75% y 75 - 100%).

Todo lo contrario, ocurrió con las variables, área promedio de vasos (p – valor = 0,000525), diámetro tangencial de vasos (p – valor = 0,008057), espesor de la pared de fibra (p – valor = 0,001044), longitud de fibra (p – valor = 0,01043), donde el nivel de significancia fue menor a 0,05, esto quiere decir que se rechaza la hipótesis nula (H₀) y se acepta la hipótesis alterna (H₁); indicando que existe variación radial significativa entre las posiciones radiales; para ello aplicamos la prueba medias de Tukey.

4.3. Discusión de Resultados

a. Características organolépticas de *Alnus acuminata*

En los resultados de nuestro estudio se evidencia que la madera de *A. acuminata* posee un color anaranjado 7.5 YR 8/6, olor imperceptible, sabor no distintivo, brillo moderado, arcos superpuestos, textura fina y un grano recto a ligeramente entrecruzado. De igual manera, Moya et al. (2010) determinó una coloración rosa (7.5 YR 8/4), textura fina, color y olor imperceptible, brillo oscuro, grano de tipo entrecruzado y un vetado poco definido. En contraste, Cartuche (2022) encontró color seco al aire rojizo, sabor y olor ausente, brillo bajo, textura intermedia, vetado con arcos superpuestos, grano inclinado.

b. Características macroscópicas de *Alnus acuminata*

Se evidenció que las características macroscópicas de la madera de *A. acuminata* posee una porosidad difusa, con poros solitarios y múltiples; parénquima axial apotraqueal difusa; con radios de 1 a 3 series (uniseriados, biseriados y triseriados); anillos de crecimiento definidos y poca diferencia entre duramen y albura. De igual manera, Armijos et al. (2017), en su investigación de la misma especie, presentó porosidad difusa, vasos solitarios y múltiples, radios uniseriados de 1 a 3 series. Asimismo, Cartuche (2022) en su investigación evidenció anillos visibles, vasos múltiples radiales, con parénquima axial apotraqueal difuso y paratraqueal escaso, con radios uniseriados.

c. Características microscópicas de *Alnus acuminata*

○ Vasos/poros

Los resultados en el presente estudio, indican que se encontró 50 vasos/mm² en la posición 75% - 100% (cerca a la corteza), mientras que en la posición cerca la médula (0%-25%) encontramos un promedio de 45 vasos/mm²; esto quiere decir que en la especie *A. acuminata* la frecuencia de vasos varía ligeramente entre posiciones radiales; mientras que a nivel de lugares no existen diferencias significativas, debido a que los

árboles muestreados son procedentes de distritos cercanos, es decir, se han desarrollado bajo las mismas condiciones ambientales. Para la variable diámetro tangencial de vasos presentan una variación significativa entre las posiciones radiales, con un valor 56,7 μm cerca a la médula y 65,5 μm cerca a la corteza. Esto quiere decir que mientras nos acercamos a la corteza del leño (75% - 100%) el diámetro de vasos/poros es mayor. Asimismo, Huarcaya (2016), encontró un promedio de 58 vasos por mm^2 , afirmando que existen diferencias significativas dentro del árbol disminuyendo progresivamente desde la posición más próxima a la médula hasta la posición más cercana a la corteza; así mismo Barrera et al. (2018) encontraron 35 vasos/ mm^2 en promedio, concluyendo que el número de vasos/ mm^2 en la madera de esta especie no presentan diferencias significativas entre sitios. Para el diámetro tangencial de vasos se incrementó desde la médula hacia la corteza con valores promedio de 47 μm a 55 μm respectivamente.

Chuquicaja et al. (2020) en *Tectona grandis* evidencio que el diámetro tangencial de poro aumentó en dirección médula (134 μm) – corteza (151 μm). Estadísticamente el número de poros por mm^2 no presentó variación significativa en la posición radial.

Cueva et al. (2020) evaluaron las características anatómicas y variación radial de la especie *Calycophyllum spruceanum*. Determinaron que la longitud y diámetro tangencial de vasos, se incrementó significativamente hacia la corteza; en tanto la frecuencia de vasos disminuyó.

Portal et al. (2018), encontraron variación radial intraespecífica en árboles de *A. cearensis*, para las variables área media de vasos (15 042,33 μm ; 38 973,07 μm) y diámetro tangencial de vasos (118,55 μm ; 228,05 μm) se incrementó desde médula a corteza, mientras que para la frecuencia de vasos por mm^2 ocurrió lo contrario.

Por otro lado, Freitas et al. (2015), afirman que el porcentaje de área ocupada de vasos en *Eucalyptus grandis* aumenta significativamente en función a la edad de los árboles (de 2 a 3 años), del 13 al 15%; para las demás variables como diámetro tangencial (91 a 92 μm) y la frecuencia de vasos (19 a 20%) también se incrementan levemente con el aumento de la edad de los árboles.

○ **Radios**

Según los resultados obtenidos en nuestra investigación, para la altura de radios de *A. acuminata*, no se encuentran diferencias significativas entre posiciones radiales, encontrándose una ligera disminución desde la médula (92,2 μm) hacia la corteza (87,7 μm) del leño. Mientras que en las partes intermedias (25% - 50% y 50% - 75%), no difieren significativamente. En el ancho de radios no presentó variación significativa entre las 4 posiciones radiales, en todas las posiciones se obtuvo un valor promedio de ancho de radios de 18 μm . En frecuencia de radios/mm se encontró que la posición (25% - 50% - 18 radios/mm) presenta mayor frecuencia de radios con respecto a las otras posiciones, mientras que en las posiciones (0% - 25%, 50% - 75% y 75% - 100%) la frecuencia de radios es similar con un valor promedio de 17 radios/mm.

Goycochea (2017) en su estudio encontró que la especie *Cordia allidora* presentó variación significativa a nivel de individuo en variables de altura y ancho de radio.

Mientras que en la especie *Micropholis guianensis*, Bolzon et al. (2013) encontraron una variación de radios de 95 – 259 – 391 μm de longitud y 11–21–29 μm de ancho; y se observó un aumento en la frecuencia de radios, lo cual fue de 8 – 14 – 20 radios/mm.

Por otro lado, Moya et al. (2009) en *Tectona grandis* encontraron un ancho de radios promedio de 29 a 90 μm y N° de radios/mm de 15 a 34 manteniéndose

relativamente constante. En relación al ancho y frecuencia de radios no presentó diferencia significativa entre lugares.

○ **Fibras**

Se determinó que el diámetro de fibras entre las posiciones 0 – 25% (28,4 μm) y 25-50% (28,3 μm) es menor que en las posiciones 50-75% (29,1 μm) y 75%-100% (29,5 μm). Esto quiere decir que mientras nos acercamos a la corteza del árbol el diámetro de fibra aumenta lo cual coincide con los hallazgos de Santos et al. (2018), indicaron que en la madera de *Acacia melanoxylon* las fibras de leño temprano tienen menor espesor de pared celular y mayor diámetro, que las fibras de leño tardío, del mismo modo Cueva et al. (2020) determinaron en *Calycophyllum spruceanum* que el espesor de pared y longitud de fibra se incrementa significativamente hacia la corteza. En cuanto al diámetro del lumen de fibra podemos manifestar que no existen diferencias significativas en las 4 posiciones radiales, obteniendo un promedio de 19 μm /fibra. En longitud de fibras se encontró, que la posición cerca a la médula (1089,9 μm) varía significativamente con respecto a la posición cerca a la corteza del leño (1206,8 μm), esto quiere decir que mientras nos vamos acercando a la corteza la longitud de fibra va aumentando, este comportamiento está vinculado al cambio de madera en etapa temprana a madera en etapa adulta. Resultados semejantes encontraron Moya et al. (2010), en su investigación sobre *A. acuminata*, evidenciaron fibras con diámetro promedio de 35 μm , diámetro promedio de lumen de 23 μm y longitud promedio de fibra de 1020 μm . En *Tectona grandis*, Chuquicaja et al. (2020) registraron que el espesor de la pared de fibra en la sección intermedia (3,1 μm) es mayor a la posición cercana a la médula (2,8 μm) pero con la sección próximo a la corteza (3,1 μm) no existió diferencias significativas; en tanto, la longitud de fibra se incrementó progresivamente en sentido de médula (1255 μm) a corteza (1447 μm). Asimismo, en

Acacia mangium, Nugroho et al. (2012), manifiestan que la longitud de la fibra varía significativamente según lugar de procedencia en la región cerca de la médula (0,53 mm) y cerca a la corteza (1,08 mm). Por el contrario, el diámetro y el espesor de la pared de fibra no difirieron significativamente entre las procedencias.

Los valores encontrados de las variables estudiadas pueden presentar variaciones a causa de diferentes factores como lo es el clima, la cantidad de precipitación, las características edáficas, estrés hídrico, edad y la altura de los individuos (Velásquez, 2018).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se determinó la variación radial de las características anatómicas de la madera de *A. acuminata*, y de esta manera se logró comprender el comportamiento de los elementos anatómicos dentro de esta especie.
- La madera de *A. acuminata* procedente de la provincia de Chota, presentó un color anaranjado 7.5 YR 8/6, olor y sabor imperceptible, brillo moderado, textura fina y grano recto; y además posee una porosidad difusa, con poros solitarios y múltiples radiales, parénquima axial apotraqueal difusa, con radios de 1 a 3 series, anillos de crecimiento definidos y poca diferencia entre duramen y albura; constituyéndose en las principales características para la identificación de esta especie.
- Se demostró que existen diferencias significativas entre posiciones radiales en las variables área media de vasos (μm), diámetro tangencial de vasos (μm), espesor de la pared fibra (μm) y longitud de fibra (μm); para estas variables el patrón de variación radial indicó un incremento significativo de médula a corteza; por el contrario, para las variables de radios (μm), área ocupada de vasos (%), frecuencia de vasos (mm^2), diámetro de fibra (μm) y diámetro de lumen de fibra (μm) no se encontró un patrón de variación significativo.
- Por último, se determinó que los elementos de vasos, radios y fibras no presentaron diferencias significativas entre árboles de *A. acuminata* de diferentes sitios (Chota, Chalamarca y Querocoto).

5.2. Recomendaciones

- Realizar estudios de las características físicas y mecánicas de la madera de *A. acuminata* para así tener un estudio completo sobre la estructura anatómica de esta especie; con el objetivo de darle las mejores aptitudes de uso.
- Difundir esta investigación a las industrias madereras (carpinterías, aserraderos, etc.) y a todas las personas que trabajen con la madera de *A. acuminata*, los cuales pueden ser empleados para mejorar la calidad y trabajabilidad en la elaboración de distintos productos maderables para que así obtengan una mejor ganancia.
- Desarrollar estudios de variación radial en zonas de vida diferentes, gradientes altitudinales superiores a 300 m s.n.m. y en árboles de diferentes edades.
- Se recomienda a la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNACH, implementar los laboratorios con más equipos necesarios (como balanza eléctrica, horno de secado, maquina pulidora, soplador eléctrico) para el estudio de las características anatómicas y físico mecánicas de la madera de distintas especies que se encuentran en nuestra provincia.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS

- Alteyrac, J., Cloutier, A., y Zhang, S. Y. (2006). Characterization of juvenile wood to mature wood transition age in black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) at different stand densities and sampling heights. *Wood Science and Technology*, 40(2), 124-138. <https://doi.org/10.1007/s00226-005-0047-4>
- Angyalossy, V., Pace, M. R., Evert, R. F., Marcati, C. R., Oskolski, A. A., Terrazas, T., Kotina, E., Lens, F., Mazzoni-Viveiros, S. C., Angeles, G., Machado, S. R., Crivellaro, A., Rao, K. S., Junikka, L., Nikolaeva, N., y Baas, P. (1989). IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Journal*, 10(3), 219-332. <https://doi.org/10.1163/22941932-20160151>
- Armijos, A., Alvarado, J., Quito, J. G., León, T., Guamán, L., y Pucha, D. (2017). Anatomía de la madera de diez especies forestales de bosque andino del sur del Ecuador. *CEDAMAZ*, 7, 83-95. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/375/330>
- Armijos Montaña, A. (2019). *Evaluación anatómica de 50 especies forestales en el sur del Ecuador* [Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Forestal, Universidad Nacional de Loja]. [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/21992/1/Andrés Roosevelt Armijos Montaña.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/21992/1/Andrés%20Roosevelt%20Armijos%20Monta%C3%B1o.pdf)
- Aylas Huamán, F. (2018). *Determinación de la relación del crecimiento radial de especies arbóreas con la estacionalidad climática del Valle del Mantaro* [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Continental]. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/4999>
- Barrera, E., Castro, J., Muñoz, D., y Pucha, D. (2018). Variabilidad anatómica de la madera en cuatro especies forestales de diferentes procedencias al sur del Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 8(2), 16-29. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/download/491/386/1449>

- Baselly Villanueva, J., Goycochea Casas, G., Macedo Ladeira Carvalho, A., Roncal Briones, W., Chumbimune Vivanco, S., y Chavesta Custodio, M. (2021). Caracterización y diferencias anatómicas de maderas de *Retrophyllum rospigliosii* (Pilg.) C.N. Page Y *Prumnopitys harmsiana* (Pilg.) de Laub. (Podocarpaceae) Procedentes de la provincia de San Ignacio - Perú. *Folia Amazónica*, 30(2), 137-148. <https://doi.org/10.24841/fa.v30i2.587>
- Beeckman, H. (2016). Wood anatomy and trait-based ecology. *IAWA Journal*, 37(2), 127-151. <https://doi.org/10.1163/22941932-20160127>
- Bhat, K. M., Priya, P. B., y Rugmini, P. (2001). Characterisation of juvenile wood in teak. *Wood Science and Technology*, 34(6), 517-532. <https://doi.org/10.1007/s002260000067>
- Bolzon, G. I., Faria França, R., Edis Fiorese, A., y Nisgoski, S. (2013). Análisis de la estructura anatómica de la madera y del carbón de dos especies de Sapotaceae. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 15(ahead), 0-0. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2013005000024>
- Bracco, V. (2021). *Estudio de la morfometría de fibras y durabilidad del sause ragonese «131-27» (Salix Babylonica x Salix alba)*. <https://repositorio.unnoba.edu.ar/xmlui/handle/23601/225>
- Cachique Córdoba, B. (2014). «*Determinación de los valores de algunas propiedades físicas de la madera de Guazuma ulmifolia Lam (bolaina negra) y su variación por niveles del fuste» procedente de Cicfor - Macuya* [Tesis para obtener el Título de Ingeniero Forestal, Universidad Nacional de Ucayaly]. <http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3955/000001952T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cartuche Peralta, K. (2022). *Caracterización de la madera de 95 especies forestales del sur de Ecuador con base a sus propiedades físicas , organolépticas y anatómicas* [Tesis para obtener el Título de Ingeniero Forestal, Universidad Nacional de Loja].

<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/24554>

- CATIE. (1986). Silvicultura de especies promisorias para producción de leña en América Central. En *CATIE* (Vol. 86, p. 226). CATIE-ROCAP. http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/3972/Silvicultura_de_especies_promisorias.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chambi Legoas, R. (2016). *Efeito do potássio e do sódio no crescimento e nas propriedades do lenho de árvores de Eucalyptus grandis sob duas condições de regime hídrico* [Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/D.11.2016.tde-08032016-134053>
- Chavesta Custodio, M. (2005). *Separata de capacitación sobre identificación de maderas*. Universidad Nacional Agraria la Molina & United States Agency for International Development. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2131/L02-C389-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chumbimune Vivanco, S. (2017). *Caracterización anatómica y propiedades físicas de la madera de Ulcumano (Retrophyllum rosspigliosii) de una plantación de café en Villa Rica, Perú*. [Tesis para obtener el título de Ingeniero Forestal, Universidad Nacional Agraria la Molina]. http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/733/1/Chumbimune-Tesis-Caracterizacion_anatomica...madera_Ulcumano.pdf
- Chuquicaja, C., Pereira, M., Klitzke, R., y Gonzales, E. (2020). Caracterización anatómica radial y axial de la madera de teca (*Tectona grandis* L. f.) plantada en Chanchamayo – Perú. *Revista Ciência da Madeira - RCM*, 11(2), 107-120. <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v11n2p107-120>
- Condor, J., y 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* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental,

Universidad Nacional del Centro del Perú].

<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5992>

- Cuapio Hernández, L., Borja de la Rosa, A., Reyes Trejo, B., Villanueva Morales, A., Machuca Velazco, R., y Corona Ambris, A. (2022). Anatomía de la madera de *Fagus grandifolia* subsp. mexicana (Fagaceae), especie endémica de México. *Acta Botánica Mexicana*, 129(e.1989). <https://doi.org/https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1989>
- Cueva Gálvez, G., Pereira da Rocha, M., Jorge Klitzke, R., y Gonzales Mora, E. (2020). Caracterización anatómica y variabilidad de los componentes de la madera de *Calycophyllum spruceanum* (Benth). Hook. *Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*, 11(2), 93-106. <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v11n2p93-106>
- Cutter, B. E., Coggeshall, M. V., Phelps, J. E., y Stokke, D. D. (2004). Impacts of forest management activities on selected hardwood wood quality attributes: A review. *Wood and Fiber Science*, 36(1), 84-97. <http://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/684>
- Freitas, P., Sette, C., Castro, V., Chaix, G., Laclau, J. P., y Tomazello, M. (2015). Efeito da disponibilidade hídrica e da aplicação de potássio e sódio nas características anatômicas do lenho juvenil de *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, 39(2), 405-416. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000200020>
- Gonzales Maguiña, E. (2008). Identificación organoléptica y macroscópica de maderas comerciales. *CITE MADERA*, 1, 13-24. <https://www.gob.pe/institucion/citemadera/informes-publicaciones/462514-identificacion-organoleptica-y-macroscopica-de-madera-comerciales>
- Goycochea, G. (2017). *Caracterización anatómica de los anillos de crecimiento en plantación de cordia alliodora (ruiz & pavón) oken en la Provincia de Jaén, Cajamarca* [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17444.40327>

- Gutierrez, G., y Ricker, M. (2015). *Manual para tomar virutas de madera con el barreno de Pressler en el Inventario Nacional Forestal y de Suelos*. April 2014, 29. [http://www.rainfor.org/upload/ManualsSpanish/wood_density_spanish\[1\].pdf](http://www.rainfor.org/upload/ManualsSpanish/wood_density_spanish[1].pdf)
- Hernández Escobar, A. A., Ramos Rodríguez, M. P., Placencia López, B. M., Indacochea Ganchozo, B., Quimis Gómez, A. J., y Moreno Ponce, L. A. (2018). Metodología de la investigación científica. En *Metodología de la investigación científica* (1.ª ed., Número March). Editorial Científica 3Ciencias. <https://doi.org/10.17993/CcyLI.2018.15>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Balpista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (S. A. D. C. . McGraw-Hill/Interamericana Editores (ed.); 6.ª ed.). <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2. Hernandez, Fernandez y Baptista-Metodología Investigacion Cientifica 6ta ed.pdf>
- Honjo, K., Furukawa, I., y Sahri, M. (2005). Radial variation of fiber length increment in *Acacia mangium*. *IAWA Journal*, 26(3), 339-352. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000119>
- Huarcaya, R. (2016). *Anatomía de los vasos de *Alnus acuminata* a diferentes altitudes, Huancayo - Junín*. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Forestal y Ambiental, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3470>
- INACAL. (2016). Maderas. Selección y Colección de Muestras. *Wood and Woodwork for Construction*, 2(Lima 27), 23.
- Instituto Nacional de Investigación Agraria - Perú, y Organización Internacional de las Maderas Tropicales. (1993). Manual de Identificación de Especies Forestales de la Subregión Andina. En *Instituto Nacional de Innovación Agraria* (Grupo Stre). <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/inia/983>
- Johansen. (1945). Preparation of Thin Sections of Synthetic Resins and Wood-Resin

Composites, and a New Macerating Method for Wood. *Nature*, 155(3924), 51-51.
<https://doi.org/10.1038/155051a0>

Letourneau, F., Medina, A., Andia, I., Andenmatten, E., De Agostini, N., y Mantilaro, N. (2014). Caracterización xilo-tecnológica de la madera de una plantación adulta de *Pinus ponderosa* de la Patagonia Argentina. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 40(2), 196-201. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86431785014>

Monteoliva, S., y Igartúa, D. (2010). Variación anatómica de la madera de *Acacia melanoxylon* implantada en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista de la Facultad de Agronomía, la Plata*, 109(1), 1-7.
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/15703/Documento_completo_.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Morvely, W. (2014). *Determinación de las características anatómicas y propiedades físicas de la madera de las especies *erisma uncinatum* warm y *dacryodes peruviana* (loes.) h.j. lam proveniente de la provincia de Tambopata - Madre de Dios* [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios].
<http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/97/004-2-3-022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Moya, R., Berrocal, A., Serrano, J. R., y Tomazello, M. . (2009). Variación radial de la anatomía, densidad y durabilidad de la madera de teca (*Tectona grandis*) procedente de dos calidades de sitio y dos regiones climáticas de Costa Rica. *Investigacion Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 18(2), 119-131. <https://doi.org/10.5424/fs/2009182-01055>

Moya, R., Muñoz, F., Salas, C., Berrocal, A., Leandro, L., y Esquivel, E. (2010). Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas. *Revista Forestal Mesoamericana*

- Kurú*, 7(18-19), pág. 1-208. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/383>
- Nugroho, W. D., Marsoem, S. N., Yasue, K., Fujiwara, T., Nakajima, T., Hayakawa, M., Nakaba, S., Yamagishi, Y., Jin, H., Kubo, T., y Funada, R. (2012). Radial variations in the anatomical characteristics and density of the wood of *Acacia mangium* of five different provenances in Indonesia. *Journal of Wood Science*, 58(3), 185-194. <https://doi.org/10.1007/s10086-011-1236-4>
- Paucar Calva, H. (2010). *Crecimiento radial de seis especies maderables y su relación con los factores climáticos y fenológicos del bosque nublado en la Estación Científica San Francisco* [Tesis para obtener el Título de Ingeniero Forestal, Universidad Nacional de Loja]. [http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5562/1/Paucar Henry.pdf](http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5562/1/Paucar%20Henry.pdf)
- Portal, L. A., Figueiredo, J. V., Camargo, J. H., Vieira, G. C., Oliveira, D., Alves, L. M., y Figueiredo, J. (2018). Variabilidad radial física y anatómica del leño de árboles de *Amburana cearensis*. *Colombia forestal*, 22(1), 17-26. <https://doi.org/10.14483/2256201X.13083>
- Requena, E. (2015). Dendrocronología de *Alnus acuminata* en el bosque reservado de San Pedro de Saño, Huancayo. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 05(02), 249-256. <https://doi.org/10.18259/acs.2015035>
- Reyel, C., y Marcelo, J. (2009). *Árboles de los ecosistemas forestales andinos. Manual de identificación de especies* (Programa R). Serie de Investigación y Sistematización. <https://www.asocam.org/node/51594>
- Reynel, C., Pennington, T. D., Pennington, R. T., Marcelo, J., y Daza, A. (2006). *Arboles útiles del Ande peruano: una guía de identificación, ecología y propagación de las especies de la Sierra y los bosques montanos en el Perú* (p. 238). Tarea gráfica del Perú. <https://kupdf.net/download/arboles-utiles-del-ande-peruano-version-word->

completa_5967c4c4dc0d600958a88e87_pdf

- Roque, R., Muñoz, F., Salas Garita, C., Berrocal Jiménez, A., Leandro Zúñiga, L., y Esquivel Segura, E. (2010). Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas. En *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* (Vol. 7, Números 18-19). <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/383>
- Sánchez, A., y Vásquez, C. (2010). *Mapa climatico*. <http://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/MapaClimatico.pdf>
- Santos, A., Pereira, H., y Anjos, O. (2018). Characterization and within-tree variation of wood anatomy of *Acacia melanoxylon*. *Millenium - Journal of Education, Technologies, and Health*, 2(05), 13-19. <https://doi.org/10.29352/mill0205.01.00150>
- Shmulsky, R., y Jones, P. (2011). *Forest Products and Wood Science* (Sixth Edit). Wiley-Blackwell. <https://vdocuments.mx/forest-products-and-wood-science-588141479c5ac.html>
- Velásquez Vásquez, D. (2018). *Descripción anatómica de la madera de cuatro arbustos de la sierra de Tentzo* [Tesis para obtener el título de Licenciada en Biología, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/9111>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

7.1. Registro Fotográfico de la Investigación

Figura 11

Identificación de árboles a muestrear



Figura 12

Extracción de las muestras con Barreno de Pressler



Figura 13

Prensado y etiquetado de baguetas

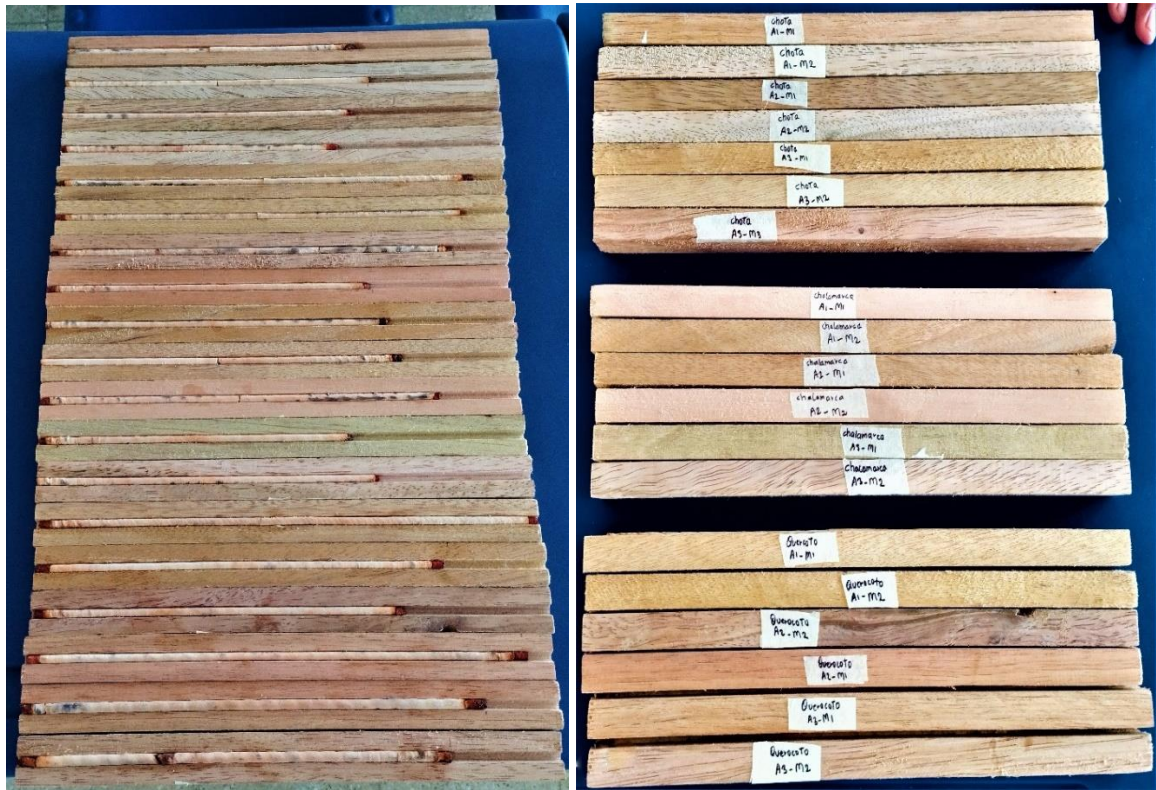


Figura 14

Análisis físicoquímico de suelo del distrito de Chota



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 200



INFORME DE ENSAYO

N° 03124-23/SU/ LABSAF - BAÑOS DEL INCA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : WILSON ROJAS DÍAZ
 Propietario / Productor : MARIA IDROGO BUSTAMANTE
 Dirección del cliente : AV. AGRICULTURA S/N - CHOTA
 Solicitado por : Cliente
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 01 muestras
 Producto declarado : Suelo Agrícola
 Presentación de las muestras(s) : Bolsas de plástico oscura
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente
 Procedencia de muestra(s) : SAN PEDRO / CUYUMALCA / CHOTA / CAJAMARCA
 Fecha(s) de muestreo : 23/02/2023
 Fecha de recepción de muestra(s) : 03/03/2023
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliar - LABSAF Baños del Inca
 Fecha(s) de análisis : 03/03/2023
 Cotización del servicio : 065-23-BI
 Fecha de emisión : 21/03/2023

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio	SU119-BI-23					
Matriz Analizada	Suelo					
Fecha de Muestreo	: 23/02/2023					
Hora de Inicio de Muestreo (h)	11:00					
Condición de la muestra	Conservada					
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	M1					
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
pH	unid. pH	0,1	7,9			
Aluminio (**)	meq/100 g	–	–			
Materia Orgánica	%	0,1	2,8			
Fósforo (**)	ppm	–	3,89			
Potasio (**)	ppm	–	375			
Conductividad Eléctrica	mS/m	0,1	12,1			
Análisis de Textura						
Arena (**)	%	–	12			
Limo (**)	%	–	66			
Arcilla (**)	%	–	22			
Clase Textural (**)	–	–	Arcilloso			



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliar
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017
Dirección: Jr. Wiracocha s/n Baños del Inca, Cajamarca – Cajamarca



Firmado digitalmente por:
FLORIAN ALCANTARA
Amarante Nicolas FAJ 20131365904
soft
Motivo: Soy el autor
documento
Fecha: 22/03/2023 11:25:20-0500

Figura 15

Análisis físicoquímico de suelo del distrito de Chalamarca



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 200



INFORME DE ENSAYO
N° 03125-23/SU/ LABSAF - BAÑOS DEL INCA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : WILSON ROJAS DÍAZ
 Propietario / Productor : MANUEL ELIAS VASQUEZ VASQUEZ
 Dirección del cliente : AV. AGRICULTURA S/N - CHOTA
 Solicitado por : Cliente
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 01 muestras
 Producto declarado : Suelo Agrícola
 Presentación de las muestras(s) : Bolsas de plástico oscura
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente
 Procedencia de muestra(s) : CHALAMARCA / CHOTA / CAJAMARCA
 Fecha(s) de muestreo : 24/02/2023
 Fecha de recepción de muestra(s) : 03/03/2023
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliare - LABSAF Baños del Inca
 Fecha(s) de análisis : 06/03/2023
 Cotización del servicio : 065-23-BI
 Fecha de emisión : 21/03/2023

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio	SU120-BI-23					
Matriz Analizada	Suelo					
Fecha de Muestreo	: 24/02/2023					
Hora de Inicio de Muestreo (h)	12:00					
Condición de la muestra	Conservada					
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	M2					
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
pH	unid. pH	0,1	5,1			
Aluminio (**)	meq/100 g	—	0,70			
Materia Orgánica	%	0,1	2,2			
Fósforo (**)	ppm	—	0,68			
Potasio (**)	ppm	—	235			
Conductividad Eléctrica	mS/m	0,1	—			
Análisis de Textura						
Arena (**)	%	—	50			
Limo (**)	%	—	30			
Arcilla (**)	%	—	20			
Clase Textural (**)	—	—	Franco Arcillo Arenoso			



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliare
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017
Dirección: Jr. Wiracocha s/n Baños del Inca, Cajamarca – Cajamarca



Firmado digitalmente por:
FLORIAN ALCANTARA
Amarante Nicolas FAJ 20131365994
soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 22/03/2023 11:26:02-0500

Figura 16

Análisis físicoquímico de suelo del distrito de Querocoto



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 200



INFORME DE ENSAYO

N° 03126-23/SU/ LABSAF - BAÑOS DEL INCA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : WILSON ROJAS DIAZ
 Propietario / Productor : FRANKLIN JARA ALARCON
 Dirección del cliente : AV. AGRICULTURA S/N - CHOTA
 Solicitado por : Cliente
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 01 muestras
 Producto declarado : Suelo Agrícola
 Presentación de las muestras(s) : Bolsas de plástico oscura
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente
 Procedencia de muestra(s) : LA COMPUERTA / QUEROCOTO / CHOTA / CAJAMARCA
 Fecha(s) de muestreo : 25/02/2023
 Fecha de recepción de muestra(s) : 03/03/2023
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliarés - LABSAF Baños del Inca
 Fecha(s) de análisis : 06/03/2023
 Cotización del servicio : 065-23-BI
 Fecha de emisión : 21/03/2023

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio	SU121-BI-23					
Matriz Analizada	Suelo					
Fecha de Muestreo	: 25/02/2023					
Hora de Inicio de Muestreo (h)	14:00					
Condición de la muestra	Conservada					
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	M3					
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
pH	unid. pH	0,1	5,3			
Aluminio (**)	meq/100 g	--	0,45			
Materia Orgánica	%	0,1	4,9			
Fósforo (**)	ppm	--	6,19			
Potasio (**)	ppm	--	245			
Conductividad Eléctrica	mS/m	0,1	--			
Análisis de Textura						
Arena (**)	%	--	32			
Limo (**)	%	--	54			
Arcilla (**)	%	--	14			
Clase Textural (**)	--	--	Arcilloso			



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliarés
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017
Dirección: Jr. Wiracocha s/n Baños del Inca, Cajamarca – Cajamarca



Firmado digitalmente por:
FLORIAN ALCANTARA
Amarante Nicolas FAL...
soft
Motivo: Soy el autor
documento
Fecha: 22/03/2023 11:26:34-0500

Figura 17

Interpretación de resultados de análisis de suelos



INTERPRETACIONES DE RESULTADOS DE ANALISIS

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN VALOR DE PH

pH	Evaluación	Efectos
< 5.0	Fuertemente ácido	Condiciones muy desfavorables.
5.1 - 6.5	Moderadamente ácido	Deficiente asimilación de algunos elementos
6.6 - 7.3	Neutro	Efectos tóxicos mínimos
7.4 - 8.5	Medianamente alcalino	Existencia de carbonato cálcico. Deficiente asimilación de algunos nutrientes
> 8.5	Alcalino	Presencia de carbonato sódico. Poca asimilación de algunos nutrientes

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN EL VALOR DE LA CONDUCTIVIDAD (CE)

CLASIFICACION	CE (mS/m)	Efectos
Normal	<100	Efecto despreciable de la salinidad. No existe restricción para ningún cultivo, aunque algunos cultivos muy sensibles pueden ser afectados en sus rendimientos.
Muy Ligeramente salino	110 - 200	Los rendimientos de cultivos sensibles pueden verse afectados en sus rendimientos.
Moderadamente salino	210 - 400	Los rendimientos de cultivos pueden verse afectados en sus rendimientos.
Suelo salino	410 - 800	El rendimiento de casi todos los cultivos se ve afectado por esta condición de salinidad.
Fuertemente salino	810 - 1600	Solo los cultivos muy resistentes a la salinidad pueden crecer en estos suelos.
Muy fuertemente salino	> 1600	Prácticamente ningún cultivo convencional puede crecer económicamente en estos suelos.

Nota: 1 dS/m = 100 mS/m

MATERIA ORGANICA

Clasificación	%MO
Muy Bajo	<0.5
Bajo	0.6 - 1.5
Medio	1.6 - 3.5
Alto	3.6 - 6.0
Muy Alto	> 6.0

FÓSFORO

Clasificación	mg/kg de P
Bajo	<5.5
Medio	6.5 - 11
Alto	>11

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

Clasificación	CIC (Cmol/Kg suelo)	Efectos
Muy Bajo	< 5.0	Suelo muy pobre
Bajo	5.0 - 15	Suelo pobre
Medio	15 - 25	Suelo medio
Alto	25 - 40	Suelo rico
Muy Alto	> 40	Suelo muy rico

Nota: 1 Cmol/Kg = meq/100 g

CATIONES INTERCAMBIABLES (Ca, Mg, K Cmol/kg)

Clase	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Potasio (K)
Muy Baja	<2.0	<0.5	<0.2
Baja	2.0 - 5.0	0.5 - 1.3	0.2 - 0.3
Media	5.0 - 10	1.3 - 3.0	0.3 - 0.6
Alta	>10	>3.0	>0.6

Nota: 1 Cmol/Kg = meq/100 g

SATURACIÓN DE BASES CAMBIABLES

Calificativo	Saturación de Bases (%)	Efectos
Bajo	< 35	Suelo muy ácido. Aconsejable una enmienda caliza.
Medio	35 - 80	Suelo medio. Su riqueza dependerá de la CIC.
Alto	> 80	Suelo neutro a alcalino. Suelo saturado de bases.

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002)



Firmado digitalmente por:
FLORIAN ALCANTARA
Aparante Nicolas FAU 20131385994
soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 22/03/2023 11:26:51-0500

Figura 18

Acreditación del lugar de ejecución del proyecto de tesis



UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA



CONSTANCIA

El que suscribe, **RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANATOMÍA DE LA MADERA**, de la Planta Piloto de Tecnología de la Madera – Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, deja constancia que, el Bach. Dilmer Ivan Benavidez Tantaleán y el Bach. Wilson Rojas Díaz, de la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de Chota han culminado la realización de ensayos de laboratorio de su proyecto de tesis titulada **“Variación radial de las características anatómicas de la madera de aliso (*Alnus acuminata* Kunth) procedentes de la provincia de Chota, Cajamarca”**. Los ensayos fueron realizados entre 06 marzo y 07 de abril del presente año.

Se expide la presente constancia a solicitud de los interesados para los fines que estimen conveniente.

Puerto Maldonado, 02 de mayo de 2023

Atentamente:

.....
Dr. Roger Chambi Legoas

Responsable del laboratorio de Anatomía de la Madera - UNAMAD

Figura 19*Cortes histológicos con microtomo de deslizamiento horizontal***Figura 20***Montaje de láminas histológicas*

Figura 21

Preparación y montaje de tejido macerado

**Figura 22**

Toma de imágenes con el Software LAS EZ



Figura 23

Medición de elementos anatómicos con el Software ImageJ

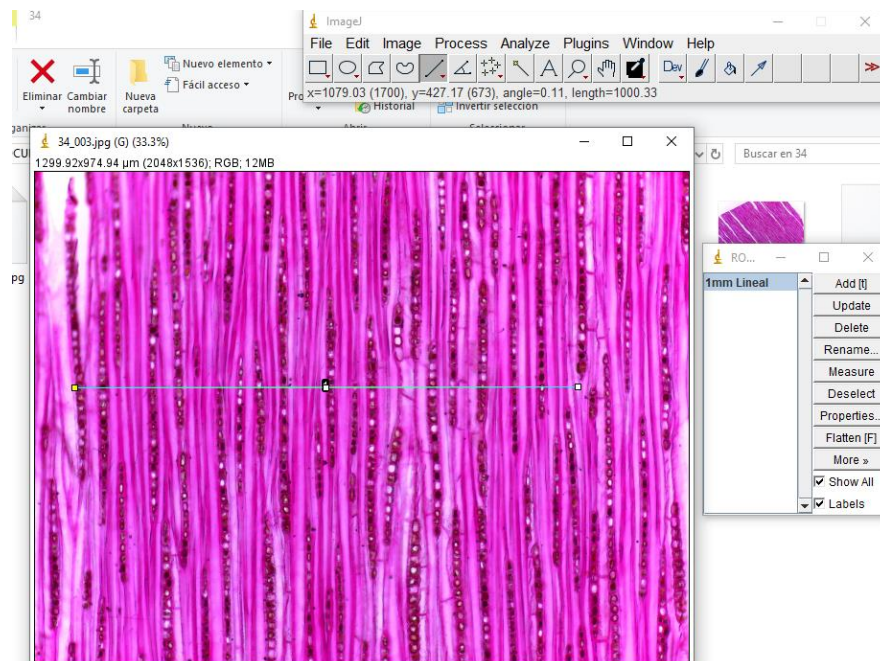
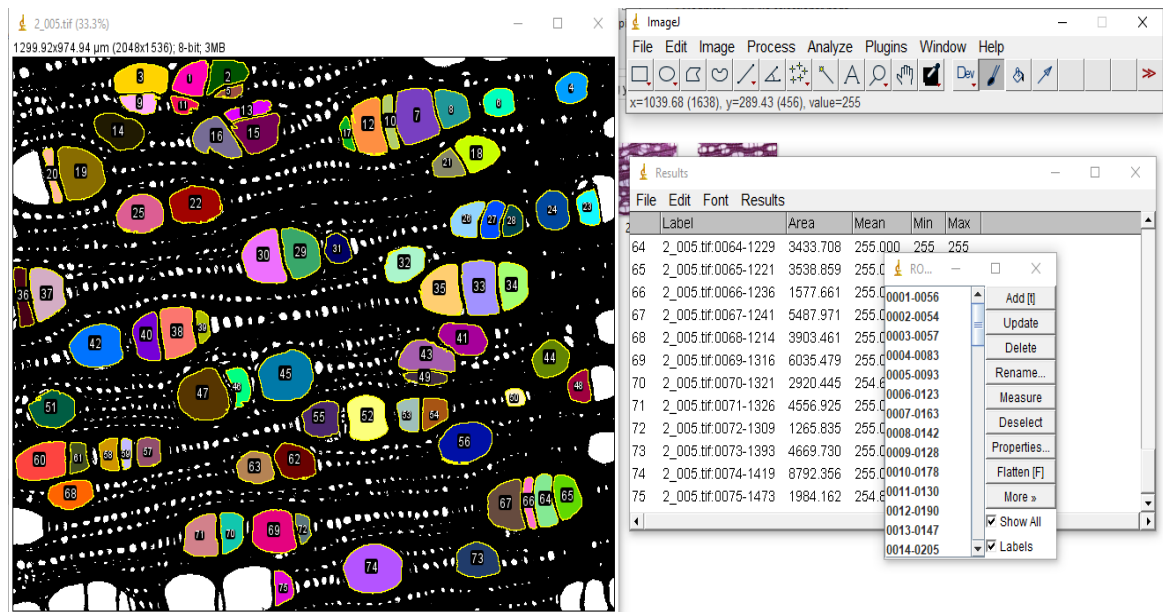


Figura 24

Curva de densidad para variables del plano transversal

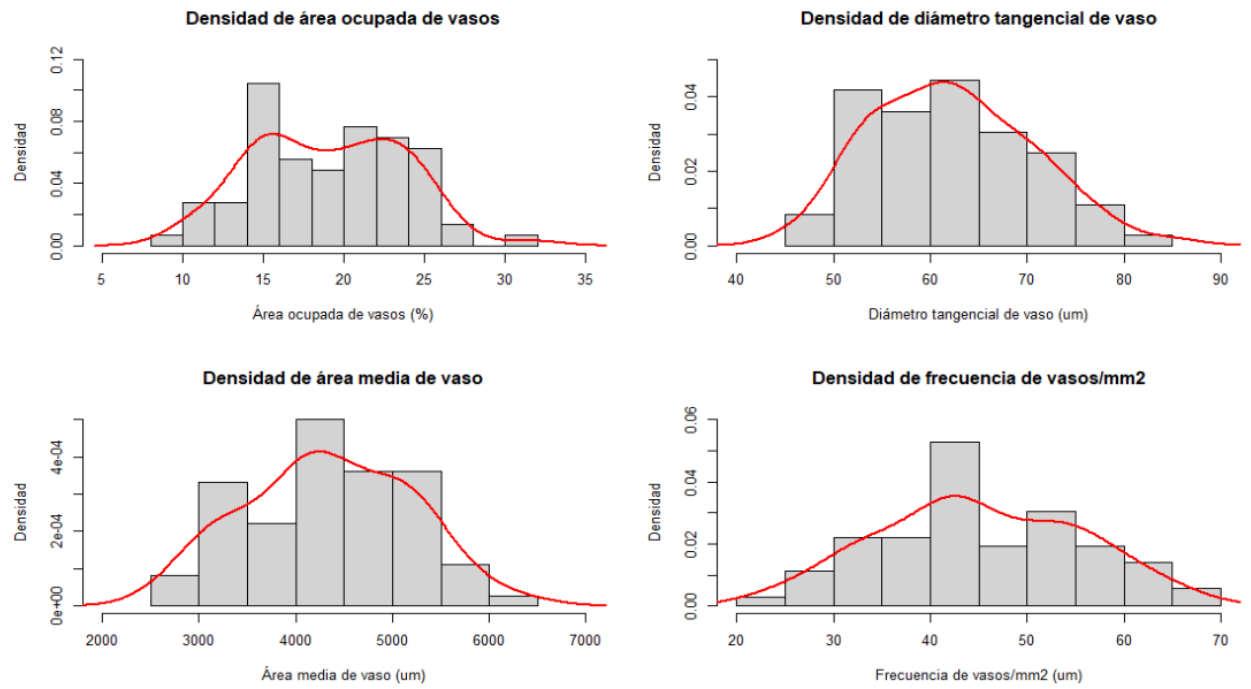


Figura 25

Curva de densidad para las variables del plano tangencial

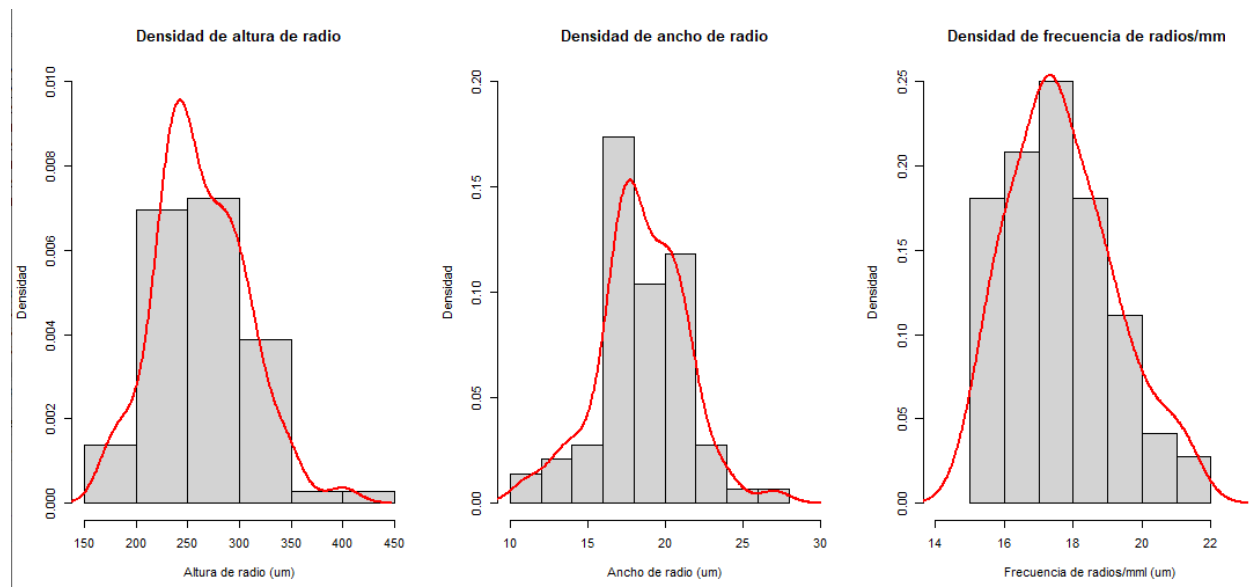


Figura 26

Curva de densidad para las variables de macerado

